

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale  
*Analisi dei dati di consumo ai fini della diagnosi  
energetica del "sito virtuale" di GTT*



Relatori  
Enrico Pons  
Pietro Colella  
Andrea Tortora  
Marianna Costa

Candidato  
Andrea Dutto

Dicembre 2019



## Sommario

Sommario.....	1
Abstract.....	3
1 Panorama internazionale.....	5
1.2 Evoluzione delle emissioni globali.....	7
1.3 Situazione europea.....	9
1.4 Situazione italiana .....	11
2 La diagnosi energetica.....	15
2.1 Linee guida per lo svolgimento della diagnosi energetica.....	17
2.2 Caso studio: azienda di trasporto pubblico .....	22
2.3 Struttura energetica aziendale .....	24
3 Rete tranviaria.....	27
3.1 Aspetti generali rete tranviaria GTT.....	27
3.2 Motrici serie 2800.....	28
3.2.1 Calcolo consumi singola motrice serie 2800.....	29
3.3 Motrici serie 5000.....	34
3.3.1 Calcolo consumi singola motrice serie TPR 5000.....	36
3.4 Motrici serie 6000.....	38
3.4.1 Calcolo consumi singola motrice serie 6000.....	40
3.5 Cremagliera Sassi-Superga .....	42
3.5.1 Calcolo consumi cremagliera .....	43
3.6 Deposito Venaria .....	55
3.6.1 Calcolo consumi deposito Venaria .....	57
3.7 Calcolo dei consumi annui rete tranviaria .....	66
3.7.1 Consumo annuo motrici serie 2800, 5000 e 6000 .....	66
3.7.2 Consumo annuo cremagliera Sassi – Superga.....	70
3.7.3 Consumo annuo Ristocolor, Gustotram e tram storico .....	71
3.7.4 Consumo annuo deposito Venaria .....	73
3.7.5 Consumo annuo altri depositi.....	75
3.7.6 Altri consumi .....	89
3.7.7 Riassunto consumi rete tranviaria.....	93
4 Trasporto su gomma Urbano ed Extraurbano .....	95
4.1 Rete urbana e suburbana .....	95

4.1.1 Monitoraggio consumi rete urbana e suburbana.....	99
4.2 Rete extraurbana.....	112
4.2.1 Calcolo consumi rete extraurbana .....	115
4 Metropolitana e linee ferroviarie.....	119
4.1 Metropolitana di Torino.....	119
4.1.2 Consumi metropolitana .....	120
4.2 Linee ferroviarie .....	121
4.2.1 Consumi rete ferroviaria .....	122
5 Indicatori consumi.....	125
5.1 Indicatori rete tranviaria.....	128
5.2 Indicatori rete di superficie su gomma urbana e suburbana.....	129
5.3 Indicatori rete di superficie su gomma extraurbana .....	131
5.4 Indicatori metropolitana.....	132
5.5 Indicatori rete ferroviaria .....	133
5.6 Confronto consumi trasporto elettrico .....	135
6 Conclusioni .....	137
Allegato 1 .....	144
Allegato 2 .....	148
Allegato 3 .....	149
Bibliografia e sitografia.....	150

## Abstract

Questo lavoro di Tesi, svolto in collaborazione con il Gruppo Torinese Trasporti (GTT), si pone come obiettivo l'analisi dei consumi dell'intero settore dei trasporti gestito dal gruppo, al fine di usare tali risultati all'interno della diagnosi energetica.

Si è partiti esaminando gli accordi internazionali riguardanti la riduzione del fabbisogno energetico al fine di ridurre le emissioni inquinanti che hanno portato ad accordi europei, i quali mirano a fissare obiettivi comunitari. Tra gli accordi europei si trova la Direttiva sull'efficienza energetica 2012/27/UE che, fissando obiettivi in linea con gli accordi internazionali, presenta la diagnosi energetica come procedura cardine per fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati individuando e quantificando così le opportunità di risparmio energetico.

Analizzando il Decreto legislativo 102/14 e le Linee guida per lo svolgimento della diagnosi energetica proprie del settore dei trasporti, si è verificato che GTT rientrasse nella definizione di grande impresa (impresa con fatturato maggiore di 50 milioni di euro e con più di 250 dipendenti).

Si è quindi passati ad analizzare nel dettaglio i consumi di ogni settore del trasporto pubblico offerto da GTT, caratterizzando per ognuno di essi la categoria di veicoli impiegati e calcolandone successivamente i consumi.

Per il calcolo dei consumi della rete tranviaria si sono effettuate misure spot su una motrice e sulla cremagliera presente sulla linea Sassi - Superga per conoscerne i consumi reali, usando invece misure effettuate precedentemente per le altre due famiglie di tram. Oltre aver calcolato i consumi energetici delle motrici tranviarie, si è effettuata una misurazione all'interno di un deposito, grazie alla quale è stato possibile calcolarne il consumo annuo dovuto all'alimentazione dei tram e ricavare, tramite ipotesi di calcolo, il fabbisogno dei restanti depositi in cui sono presenti motrici tranviarie.

Per giustificare il consumo totale tranviario rilevato dai contatori fiscali si è quindi passati ad analizzare il sistema d'alimentazione della rete tranviaria ed alcuni dispositivi aggiuntivi.

Per il trasporto urbano e suburbano di superficie ed il trasporto extraurbano di superficie su gomma sono stati scaricati dal sistema gestionale SAP in uso da GTT i dati delle percorrenze e dei rifornimenti di ogni vettura, che sono state successivamente raggruppate in base alla famiglia di bus appartenenti. In questo modo si è risaliti ai chilometri totali percorsi ed ai litri di gasolio e chilogrammi di metano utilizzati nel 2018. Non essendo presenti tra questi dati gli assorbimenti dei bus elettrici, per queste famiglie di bus, si sono analizzati i dati provenienti dai contatori che alimentano le linee sulle quali questi vengono ricaricati.

Per il calcolo dei consumi della metropolitana e della rete ferroviaria, invece, è stata eseguita un'analisi riguardante solamente i consumi totali annui e le percorrenze totali forniti direttamente da GTT.

Avendo a questo punto a disposizione i consumi annui per tutti i settori del trasporto pubblico si è calcolato il fabbisogno di energia primaria, convertendo i consumi ottenuti

in TEP, ricavando degli indicatori che permettano il confronto tra le diverse tipologie di trasporto.

In conclusione, si sono riportate le criticità operative riscontrate durante lo svolgimento di questo lavoro di Tesi, riportando per ognuna i possibili interventi migliorativi e sono inoltre stati analizzati possibili interventi di efficientamento energetico volti a ridurre il fabbisogno di energia primaria.



Un altro fondamentale passo avanti verso la riduzione delle emissioni climalteranti è stato ottenuto durante la ventunesima Conferenza delle Parti di Parigi (COP21) nel dicembre 2015 in cui si è firmato un patto climatico globale e condiviso. L'Accordo di Parigi, è stato adottato da 197 Paesi ed è entrato in vigore nel novembre 2016. Questo definisce un piano d'azione globale e giuridicamente vincolante per limitare il riscaldamento terrestre ben al di sotto dei 2 °C, e per proseguire con gli sforzi al fine di limitare l'aumento di temperatura a 1,5° C rispetto ai livelli preindustriali.[1]

Pur con la consapevolezza del dovere agire per ridurre gli effetti negativi che stanno avendo e avranno in futuro i cambiamenti climatici, dal 2017 le emissioni di CO<sub>2</sub> legate ai processi energetici sono tornate a crescere dopo 3 anni in cui erano rimaste all'incirca costanti.

Nonostante gli accordi internazionali volti a contenere le emissioni e mantenere l'incremento di temperatura media globale al di sotto della soglia critica dei 2°C, vista la continua crescita economica globale, l'aumento della popolazione e il miglioramento dello standard di vita, l'IEA (International Energy Agency), prevede un incessante incremento dei consumi energetici a livello planetario. Aumento dei consumi che si tramuteranno, nel 2040, in un fabbisogno energetico di circa 17700 Mtep, oltre il 25% in più del fabbisogno attuale.[4] Queste previsioni vengono riportate nel *New Policy Scenario* (previsioni che includono sia le politiche energetiche già attuate sia quelle programmate) considerato nel World Energy Outlook 2018.

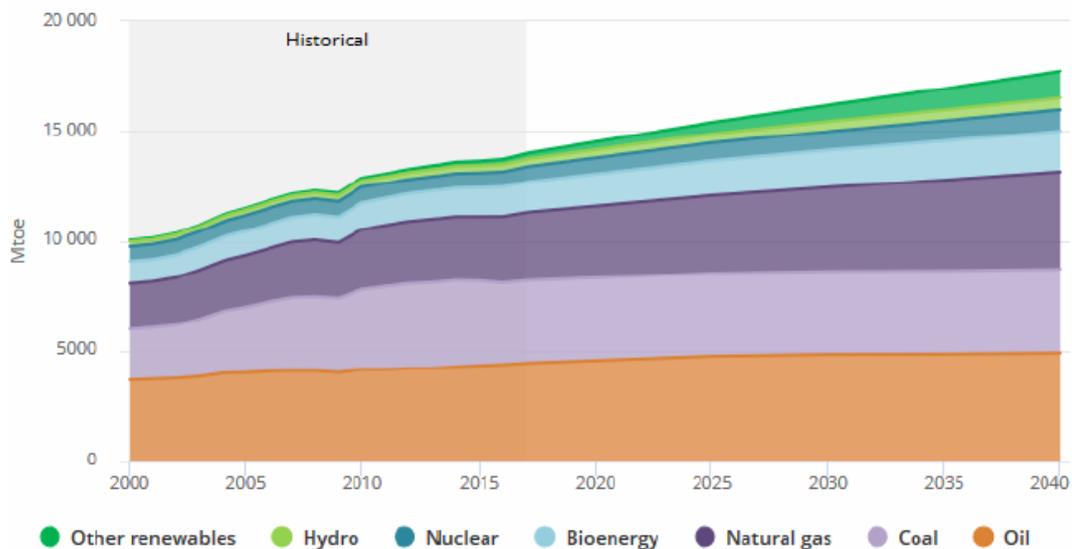


Figura 2 - Proiezioni dei consumi energia primaria globale di IEA (New Policy scenario)

Questo incremento è dovuto principalmente al forte sviluppo economico dei Paesi asiatici, in special modo Cina e India. In generale, nelle economie in forte espansione, si prevede che la domanda di energia primaria aumenterà del 45% al 2040. Allo stato attuale gli Stati Uniti d'America e l'Europa rappresentano il 40% della richiesta dell'energia mondiale, mentre le economie emergenti asiatiche solamente il 20%, ma nel 2040 la situazione sarà completamente ribaltata.

## 1.2 Evoluzione delle emissioni globali

Alla crescita di fabbisogno energetico è inevitabilmente legato un aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> aumenteranno di circa il 20% al 2040 nei settori dell'industria e dei trasporti. La crescita delle emissioni dell'industria avverrà nonostante l'aumento dell'uso di elettricità e gas, a scapito carbone. L'aumento delle vendite di auto elettriche e i miglioramenti dell'efficienza dei veicoli e della logistica limiteranno la crescita delle emissioni di CO<sub>2</sub> nel settore trasporti, permettendo così una riduzione del 15%, ma le emissioni di CO<sub>2</sub> in altri settori del trasporto aumenteranno più del 40%. [4]

	2000	2017	New Policies	
			2025	2040
Coal	8 951	14 448	14 284	14 170
Oil	9 620	11 339	11 862	11 980
Gas	4 551	6 794	7 757	9 731
<b>Total CO<sub>2</sub></b>	<b>23 123</b>	<b>32 580</b>	<b>33 902</b>	<b>35 881</b>

Note: Mt = million tonnes.

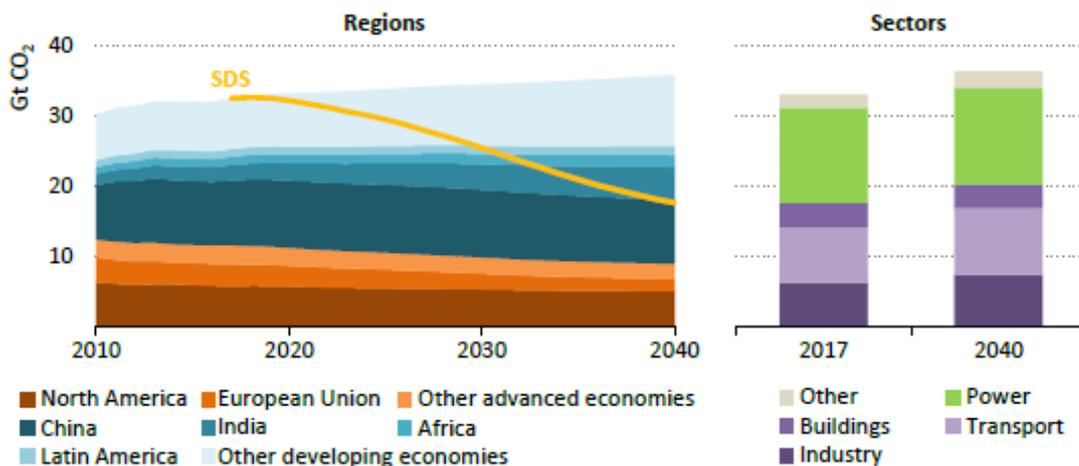


Figura 3 – Stima emissioni di CO<sub>2</sub> al 2040

Le prospettive di emissioni di CO<sub>2</sub> nel *New Policy Scenario* variano considerevolmente a seconda delle Regioni considerate: nell'Unione europea, l'attuazione del nuovo pacchetto sull'energia (*Clean Energy Package*) prevede una riduzione delle emissioni rispetto ai livelli del 2017 del 29% nel 2030 e del 45% nel 2040. [5] Negli Stati Uniti, le emissioni sono previste in diminuzione del 15% rispetto ai livelli del 2017 nel 2040: le emissioni del settore energetico diminuiscono a causa del più ampio uso di energie rinnovabili e del gas, mentre le emissioni dei trasporti supereranno quelle del settore energetico nel 2020. In Cina le emissioni crescono lentamente nel *New Policy Scenario* fino al 2030 per poi iniziare una lenta riduzione. Le emissioni dell'India continuano a crescere fino al 2040, ma ad un ritmo più lento rispetto agli ultimi anni.

Un annuncio chiave della politica internazionale è l'accordo dei membri dell'International Maritime Organization (IMO) per ridurre le emissioni totali di CO<sub>2</sub> dovute alle spedizioni marittime di almeno il 50% rispetto al 2008 entro il 2050. Questo ambizioso obiettivo non è sostenuto da misure concrete e vincolanti per far rispettare il suo successo, e quindi non è incluso nel *New Policy Scenario*.

Un ruolo fondamentale nel limitare il fabbisogno energetico e dunque le emissioni di anidride carbonica lo ha svolto l'efficientamento dei sistemi energetici. Nel 2017 il consumo finale totale globale è stato di quasi 9700 Mtep, in aumento dell'1,7% rispetto al 2016. Nel *New Policy Scenario*, questo è destinato a salire a quasi 12 600 Mtep entro il 2040, con un aumento medio dell'1,1% all'anno, mentre l'intensità energetica globale (misura dell'efficienza energetica del sistema economico di una nazione, calcolata come unità di energia diviso unità di prodotto interno lordo (PIL)[6]) migliora del 2,3% all'anno. Politiche governative e misure a livello nazionale, comprese le normative obbligatorie in materia di efficienza energetica, guidano gran parte del miglioramento dell'intensità energetica che frena la crescita del consumo energetico e delle emissioni.

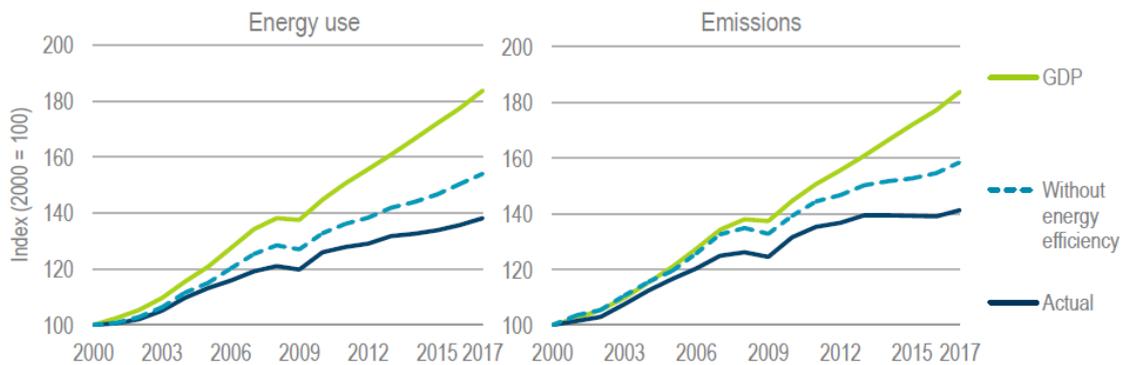


Figura 4 - Influenza dell'efficienza energetica sul fabbisogno energetico e sulle emissioni in atmosfera

Proprio l'efficienza energetica ha avuto un ruolo decisivo nel contesto energetico globale ed europeo, a tal punto da essere definita dalla IEA come “il primo combustibile” in assoluto capace di favorire la crescita economica, ridurre le emissioni inquinanti e migliorare la sicurezza energetica.

Nell'ultimo rapporto IEA sull'efficienza energetica appare evidente come in assenza degli interventi di efficienza realizzati dal 2000 ad oggi nelle principali economie globali, i consumi finali di energia sarebbero aumentati del 65% in 18 anni, mentre nella realtà sono aumentati circa del 33%.[7]

Secondo la IEA le misure di efficienza energetica hanno dato buoni risultati in questi ultimi anni, ma il potenziale da sfruttare è ancora molto ampio e tuttavia queste misure risultano attualmente non sufficienti. Analizzando le serie storiche dal 1990 ad oggi si apprende che la domanda di energia nel settore industriale è aumentata circa del 2% annuo. Secondo le stime dell'IEA vi sarà un rallentamento nei prossimi anni con una crescita annua attorno all'1,2% grazie soprattutto ad un continuo incremento degli interventi di efficienza energetica, soprattutto nei Paesi non-OCSE. Senza questi

interventi infatti, si stima che la crescita annuale della domanda di energia industriale al 2040 sarebbe circa il doppio.[4]

### 1.3 Situazione europea

Nel 1998 l'Europa fu una dei firmatari del Protocollo di Kyoto. Nonostante l'adesione al Protocollo e benché si parlasse da anni di sicurezza degli approvvigionamenti, competitività economica e sostenibilità ambientale, bisognò aspettare il 2006 con l'emanazione della Direttiva 2006/32/CE concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, per vedere per la prima volta degli obiettivi fissati a livello comunitario e indirizzati agli Stati membri con un obiettivo nazionale indicativo di risparmio energetico negli usi finali pari al 9% entro il 2016.[8]

Con il Piano d'Azione per l'efficienza energetica datato marzo 2007, invece, si posero le basi per un punto di partenza verso una politica energetica efficace per l'Europa al fine di combattere i cambiamenti climatici, promuovere l'occupazione e la crescita e limitare la vulnerabilità esterna della UE sotto il profilo delle importazioni di gas e di petrolio. Si parlò per la prima volta di "Piano 20-20-20": si posero gli obiettivi, entro il 2020, di ridurre le emissioni di gas serra derivanti dal suo consumo di energia del 20% rispetto ai livelli del 1990, ad aumentare l'efficienza energetica del 20% rispetto alle proiezioni ed innalzare la quota di energia rinnovabile nel mix energetico al 20%.[9]

Queste intenzioni vennero adottate nella Direttiva 2009/29/CE[10], anche conosciuta come Pacchetto Clima-Energia, nel 2009. Questa Direttiva, oltre ricalcare gli obiettivi prefissati nel Piano d'Azione per l'efficienza energetica, forniva gli strumenti legislativi per mettere in atto gli obiettivi entro il 2020, ponendo come vincoli la riduzione dei consumi e la riduzione delle emissioni.

Nel 2012 l'Unione Europea adottò la Direttiva Europea 2012/27/UE sull'efficienza energetica. Questo fu un altro importante punto di svolta nella lotta ai cambiamenti climatici in quanto per la prima volta l'efficienza energetica venne definita come risorsa primaria nel mercato energetico. Si affermava infatti che l'efficienza energetica era un valido strumento per affrontare sfide come scarsità di risorse energetiche, la necessità di limitare i cambiamenti climatici e di superare la crisi economica, dato che essa riduce il consumo di energia primaria e diminuisce le importazioni di energia, contribuendo a migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento. L'efficienza energetica inoltre contribuisce a ridurre le emissioni di gas serra in modo efficiente in termini di costi e quindi a ridurre i cambiamenti climatici.[11]

Successivamente agli impegni presi dall'Europa con la firma del Trattato di Parigi sul clima del 2015, è stato presentato nel 2016, ma approvato solamente nella seconda metà del 2018, a livello comunitario il "Clean Energy Package" (Energia pulita per tutti gli europei)[12]. Questo contiene al suo interno una serie di provvedimenti che delineano le politiche energetiche dell'Unione Europea al 2030, con l'assunzione di nuovi obiettivi, i quali vengono riportati all'interno della Direttiva 2018/2002[13], che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica: riduzione delle emissioni di gas serra del 40% rispetto i livelli del 1990, raggiungimento di una quota pari almeno al 32% di energia rinnovabile all'interno del mix energetico ed un miglioramento di almeno il 32,5% dell'efficienza energetica. Proprio in questo documento l'Europa afferma che l'efficienza

energetica “*deve essere equiparata a una fonte di energia a sé stante*”[13] dato che un miglioramento dell'efficienza energetica può contribuire a migliorare i risultati economici. Gli Stati membri e l'Unione dovrebbero dunque puntare a ridurre il consumo di energia a prescindere dai livelli di crescita economica.

Anche in Europa, nonostante gli impegni istituzionali volti a ridurre i consumi e le emissioni di gas serra, nel 2017 il consumo di energia ha continuato ad aumentare per il terzo anno consecutivo, allontanandosi così dal raggiungimento degli obiettivi prefissati. Il consumo di energia primaria ammontava a 1561 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (Mtep), mentre il consumo finale di energia ha raggiunto 1222 Mtep. Rispetto all'anno precedente, il consumo di energia primaria è aumentato di circa l'1%[14].

Gli impegni presi dall'Unione Europea per il 2020, dovrebbero portare ad un consumo di energia primaria non superiore a 1483 Mtep e il consumo finale di energia a non più di 1086 Mtep. La direttiva riveduta sull'efficienza energetica che prevede un nuovo obiettivo di efficienza energetica per il 2030 dovrebbe portare ad un consumo di energia primaria non superiore a 1273 Mtep ed un consumo energetico finale non superiore a 956 Mtep (equivalente a una riduzione del 32,5%)[11].

Nel 2017 il consumo di energia primaria nell'Europa è stato del 5,3% superiore all'obiettivo di efficienza per il 2020. Dal 1990, il primo anno per il quale sono disponibili i dati, i consumi sono diminuiti dello 0,4%. Tuttavia, nel corso degli anni, il consumo di energia primaria ha oscillato notevolmente. Ha raggiunto il picco nel 2006 (1729 Mtep che rappresenta un divario del 16,6% rispetto all'obiettivo del 2020), mentre nel 2014 è stato raggiunto un minimo record (1511 Mtep che rappresenta un divario dell'1,9% rispetto all'obiettivo del 2020)[15].

Questi dati sono importanti per capire il ruolo da protagonista dell'Europa a livello globale: nonostante questa abbia una popolazione pari al 7% del totale, rappresenta attualmente circa il 12% dei consumi globali di energia.

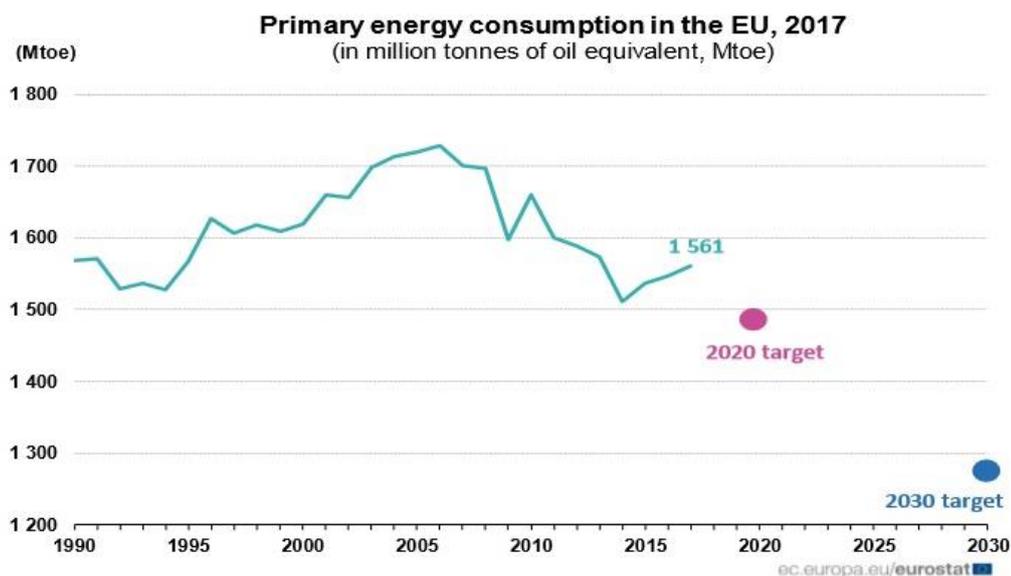


Figura 5 - Andamento dei consumi di energia primaria in Europa confrontato con gli obiettivi al 2020 e al 2030

## 1.4 Situazione italiana

Come Stato membro dell'Unione Europea, anche l'Italia nel corso degli anni ha adottato normative e sviluppato piani strategici volti a promuovere l'efficienza energetica e a rimuovere gli ostacoli che ne ritardano la diffusione, in modo tale da migliorare insieme sicurezza energetica, tutela dell'ambiente con una riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti ed accessibilità dei costi dell'energia, tracciando il percorso verso gli obiettivi di risparmio energetico al 2020 e al 2030.

Lo Stato italiano è da anni promotore di misure di efficientamento energetico, di riduzione dei consumi e delle emissioni. Un esempio virtuoso del Suo impegno in questo ambito è la scelta, nel 2004, di un programma di incremento dell'efficienza energetica obbligatorio basato su un meccanismo di mercato, conosciuto come sistema dei titoli di efficienza energetica o Certificati Bianchi, primo esempio al mondo.

Con il recepimento della Direttiva Europea 2006/32/CE tramite il D.Lgs. 115/2008, venne affidato ad ENEA il ruolo di "Agenzia Nazionale per l'Efficienza Energetica", con il compito di stilare annualmente il "Rapporto annuale per l'efficienza energetica" (RAEE) al fine di fornire il dettaglio degli impegni nazionali volti al raggiungimento degli obiettivi nei diversi settori economici ed energetici.[16] Proprio quell'anno, vi fu la pubblicazione del primo Piano d'azione italiano per l'efficienza energetica (PAEE), in cui si fissavano degli obiettivi di risparmio energetico del 9,6% da raggiungere entro il 2016 per tutti i settori economici. Il PAEE comprende: le misure significative per il miglioramento dell'efficienza energetica; i risparmi di energia conseguiti e attesi, inclusi quelli nella fornitura, trasmissione e distribuzione dell'energia nonché negli usi finali della stessa; le stime aggiornate sul consumo di energia primaria previsto al 2020; un esame qualitativo riguardante lo sviluppo attuale e futuro del mercato dei servizi energetici.

Una prima importante revisione del PAEE si ebbe nel 2011, dove visti i brillanti risultati ottenuti in materia di riduzione dei consumi, si proponeva una ulteriore riduzione al 20% della domanda di energia al 2020.

Per delineare un percorso finalizzato al conseguimento degli obiettivi dettati dall'Europa tramite il Pacchetto europeo Clima-Energia 2020 (il cosiddetto "20-20-20") e per dare continuità agli sforzi fino ad allora compiuti nella riduzione dei consumi, il Governo italiano pubblicò nel 2013 la "Strategia Energetica Nazionale" (SEN)[17]. All'interno di essa erano contenuti gli obiettivi principali del nostro Paese: la riduzione dei costi energetici per consumatori ed imprese; la riduzione dell'impatto ambientale; una maggiore sicurezza ed indipendenza di approvvigionamento; favorire una crescita economica sostenibile. Venivano inoltre riportati gli obiettivi da raggiungere, fissati ad una riduzione del 24% dei consumi primari rispetto all'andamento inerziale al 2020 ed una riduzione delle emissioni di gas serra pari al 18% rispetto alle emissioni del 2005[17].

Attraverso il D.Lgs. n. 102/2014[18], l'Italia recepì la Direttiva sull'efficienza energetica 2012/27/UE, in cui riportò gli obiettivi di risparmio energetico che il nostro Paese si prefiggeva di raggiungere al 2020 e i relativi obblighi di programmazione e rendicontazione alle Istituzioni europee circa i risparmi conseguiti in termini di efficienza energetica. L'articolo 3 del decreto, in particolare, fissava come obiettivo la riduzione dei consumi di energia primaria, entro l'anno 2020, di 20 Mtep e di 15,5 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio di energia finale, conteggiati a partire dal 2010, con una riduzione

di tali consumi del 24% rispetto alle previsioni. Al 2020, il consumo programmato in termini energia primaria dovrebbe dunque essere di 158 Mtep e di 124 Mtep di energia finale.[18]

A garanzia del raggiungimento di questi obiettivi, il D.Lgs. n. 102/2014 disponeva inoltre, a partire dal 2014 e successivamente ogni 3 anni, l'approvazione del Piano d'azione nazionale per l'efficienza energetica, PAEE da parte del Ministro dello sviluppo economico.

A novembre 2017 viene invece adottata la Strategia energetica nazionale (SEN), documento programmatico in materia energetica adottato dal Governo. La nuova SEN 2017 si muove nel quadro degli obiettivi di politica energetica delineati a livello europeo, ulteriormente implementati con l'approvazione da parte della Commissione UE, a novembre 2016, del Clean Energy Package.

Nella SEN 2017[19] veniva evidenziato che, in vista dell'adozione del Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC), previsto appunto dal Clean Energy Package, questa costituiva la base programmatica e politica per la preparazione del Piano stesso e che gli strumenti nazionali per la definizione degli scenari messi a punto durante l'elaborazione della SEN 2017 sarebbero stati utilizzati per le sezioni analitiche del Piano, contribuendo anche ad indicare le traiettorie di raggiungimento dei diversi target e l'evoluzione della situazione energetica italiana.

In accordo con la Road Map europea, la SEN ha prefissato ulteriori obiettivi al 2030: il target previsto è un risparmio di 10 Mtep con una riduzione dei consumi di energia finali da 118 Mtep (al 2030) a 108 Mtep (al 2030); un'accelerazione nella decarbonizzazione del sistema energetico, a partire dall'uso del carbone nell'elettrico per intervenire gradualmente su tutto il processo energetico, per conseguire rilevanti vantaggi ambientali e sanitari e contribuire al raggiungimento degli obiettivi europei con una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> al 2030 del 39% rispetto ai livelli 1990 e la cessazione della produzione termoelettrica a carbone al 2025; lo sviluppo di fonti rinnovabili per raggiungere il 28% di rinnovabili sui consumi complessivi al 2030 rispetto al 17,5% del 2015.

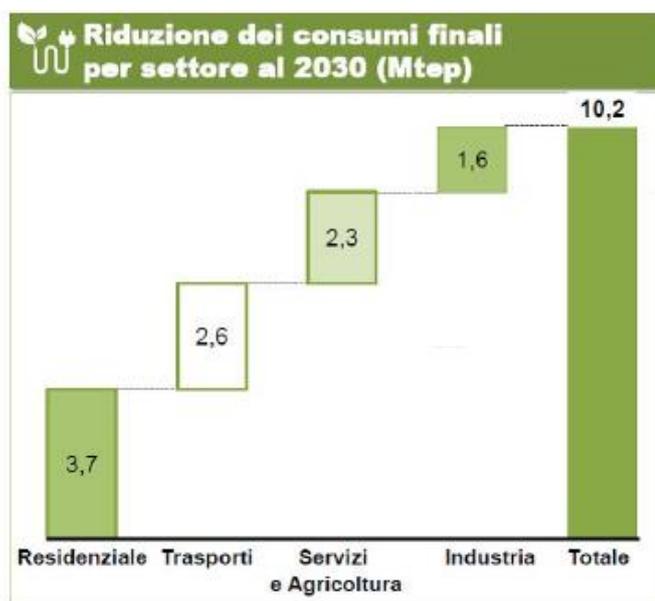


Figura 6 - Riduzione dei consumi finali, SEN 2017

Il Ministero dello sviluppo economico ha inviato alla Commissione europea, in data 8 gennaio 2019, la proposta di Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC)[20] per gli anni 2021-2030. Il PNIEC è un documento che ogni Stato membro deve sottoporre alla Commissione Europea per illustrare i propri obiettivi e le proprie politiche nazionali inerenti le cinque dimensioni dell'Unione dell'Energia: decarbonizzazione, efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno e ricerca, innovazione e competitività. In questo documento gli obiettivi risultano più ambiziosi di quelli delineati nella SEN 2017 e prevedono una riduzione dei consumi al 2030 pari al 43% dell'energia primaria e del 39,7% dell'energia finale rispetto allo scenario di riferimento del 2007, ottenendo così un consumo di energia primaria pari a 132 Mtep e 103,8 Mtep di energia finale.

	Obiettivi 2020		Obiettivi 2030	
	UE	ITALIA	UE	ITALIA (PNEC)
<b>Energie rinnovabili (FER)</b>				
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia	20%	17%	32%	30%
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi di energia nei trasporti	10%	10%	14%	21,6%
Quota di energia da FER nei Consumi Finali Lordi per riscaldamento e raffrescamento			+1,3% annuo (indicativo)	+1,3% annuo (indicativo)
<b>Efficienza Energetica</b>				
Riduzione dei consumi di energia primaria rispetto allo scenario PRIMES 2007	-20%	-24%	-32,5% (indicativo)	-43% (indicativo)
Risparmi consumi finali tramite regimi obbligatori efficienza energetica	-1,5% annuo (senza trasp.)	-1,5% annuo (senza trasp.)	-0,8% annuo (con trasporti)	-0,8% annuo (con trasporti)
<b>Emissioni Gas Serra</b>				
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti gli impianti vincolati dalla normativa ETS	-21%		-43%	
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti i settori non ETS	-10%	-13%	-30%	-33%
Riduzione complessiva dei gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990	-20%		-40%	

Figura 7 - Obiettivi su energia e clima dell'UE e dell'Italia al 2020 e al 2030

Secondo l'ultimo Rapporto Annuale dell'ENEA sull'Efficienza Energetica, pubblicato a luglio 2019, l'intensità energetica primaria italiana nel 2017 ha subito un aumento dell'1,8% rispetto al 2016, a causa dell'effetto combinato dell'aumento della domanda di energia primaria (+3,4%) e dell'incremento del PIL (+1,6%). L'intensità energetica nel periodo 1995-2017 ha avuto comunque un andamento tendenzialmente decrescente; in particolare, si è ridotta del 14,2% rispetto al 2005, anno di entrata in vigore del meccanismo dei Certificati Bianchi. Nonostante il lieve aumento degli ultimi anni i valori dell'intensità energetica primaria del nostro Paese sono inferiori nel 2017 sia alla media dei 28 Paesi dell'Unione Europea (117,8 tep/M€2010), sia dei Paesi appartenenti alla Zona Euro (114,2 tep/M€2010), con scostamenti percentuali rispettivamente del 15,4% del 12,6%. Valori molto positivi perché, tanto più basso è il valore dell'intensità

energetica, tanto più è alta l'efficienza energetica del Paese. Questo a dimostrazione dell'impegno del nostro Paese verso gli obiettivi comunitari e globali che puntano ad una riduzione dei consumi e delle emissioni[21].

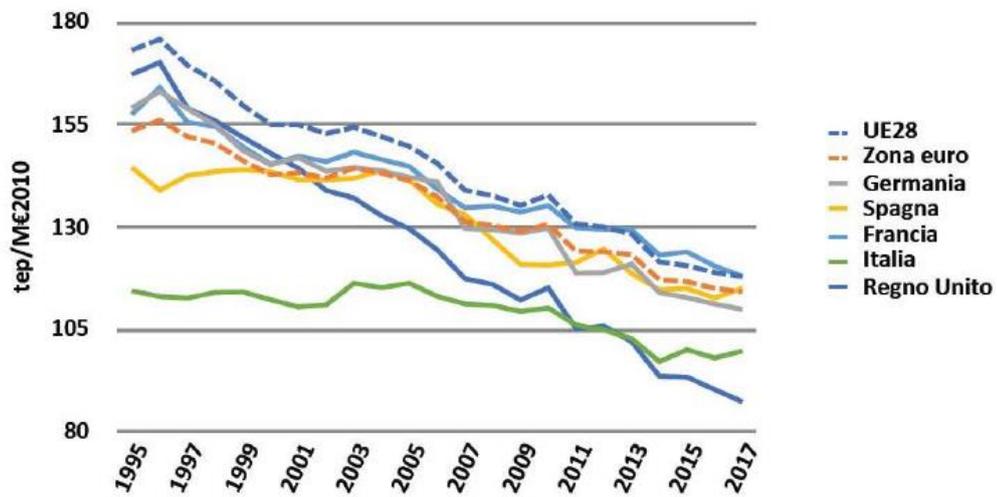


Figura 8 - Intensità energetica primaria in alcuni paesi dell'Unione Europea

## 2 La diagnosi energetica

Troviamo la definizione di diagnosi energetica all'interno della Direttiva 2006/32/CE “concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici” intesa come *procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.*[18]

Come detto nel capitolo precedente, con la Direttiva Europea 2012/27/UE sull'efficienza energetica e successivamente con la Direttiva 2018/2002 che andava a modificare la precedente, venivano introdotti gli obiettivi europei di riduzione dei consumi di energia e delle emissioni in atmosfera. Un altro punto fondamentale introdotto dalla Direttiva Europea 2012/27/UE[11], è il tema dell'efficienza energetica. Questa viene definita come un ottimo strumento da utilizzare al fine del raggiungimento degli obiettivi prefissati, diminuendo i consumi e riducendo allo stesso tempo le importazioni di energia. Inoltre, la diminuzione del consumo di energia grazie a misure che permettono di migliorare l'efficienza energetica potrebbe svincolare risorse pubbliche da destinare ad altri fini. A tale scopo ciascuno Stato membro deve istituire un regime nazionale obbligatorio di efficienza energetica.

Nel testo della direttiva, viene evidenziato come gli Stati membri dovrebbero attuare politiche che mirano ad un incoraggiamento delle piccole e medie imprese (PMI) a sottoporsi ad audit energetici (audit energetico: *una procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati*[18]), mentre le grandi imprese dovrebbero essere obbligate a tale procedura con una cadenza periodica, dato che potrebbero derivarne risparmi significativi.

L'Italia, stabilisce un proprio quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica che concorrono al conseguimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico per mezzo del D.Lgs. 102/14[18]. Gli obiettivi programmatici descritti nel decreto sono già stati analizzati in precedenza. Il decreto promuove inoltre l'efficienza energetica sia nel settore industriale sia nel settore edilizio pubblico e privato, dettando obblighi di riqualificazione energetica per edifici appartenenti alla pubblica amministrazione. La parte fondamentale di questo documento, pilastro di questa tesi è l'introduzione, nell'Articolo 8, dell'obbligo della Diagnosi Energetica (o audit energetico). Sono obbligate a sottoporsi a diagnosi energetica tutte le grandi imprese ed imprese energivore con siti produttivi localizzati sul territorio nazionale, ad esclusione delle grandi imprese che hanno adottato sistemi di gestione conformi EMAS e alle norme ISO 50001 o EN ISO 14001. Le Piccole e Medie Imprese (PMI) invece non hanno alcun obbligo di eseguire la diagnosi, ma tuttavia è previsto nel decreto un bando per il cofinanziamento di programmi presentati dalle Regioni per sostenere la realizzazione delle diagnosi energetiche anche in queste imprese, con incentivi che

vengono concessi a seguito della realizzazione delle misure di efficientamento energetico identificate nella diagnosi.

La diagnosi energetica, viene eseguita da società di servizi energetici (ESCO), esperti in gestione dell'energia (EGE) o auditor energetici per la prima volta entro il 5 dicembre 2015 e successivamente, ogni 4 anni.[18]

Viene affidato ad ENEA il compito di gestire la banca dati delle imprese soggette a diagnosi energetica e di controllare la conformità delle diagnosi presentate, in misura di almeno il 3%.

Per essere considerate conformi al D.Lgs. 102/14 le diagnosi devono soddisfare i requisiti minimi riportati nell'Allegato 2 dello stesso decreto:

- 1) Basarsi su dati di consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e sui profili di carico (per l'energia elettrica);
- 2) Comprendere un esame dettagliato del profilo di consumo energetico di edifici, di attività o impianti industriali, compresi i servizi di trasporto;
- 3) Basarsi, dove possibile, sull'analisi del costo del ciclo di vita degli interventi proposti, anziché su semplici periodi di ammortamento, in modo da tener conto dei risparmi a lungo termine, dei valori residuali degli investimenti e dei tassi di sconto;
- 4) Essere proporzionati e sufficientemente rappresentativi per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale e di individuare in modo affidabile le opportunità di miglioramento più significative;[18]

Con questo decreto la diagnosi energetica assume un ruolo fondamentale nel determinare le opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica e di riduzione dei costi oltre che da un lato pratico, anche dal punto di vista legislativo.

L'ENEA oltre il compito di supervisore dello svolgimento della diagnosi energetica, vede conferitosi il compito di dettare le linee guida per i diversi settori, in supporto al MISE (Ministero dello Sviluppo Economico) per l'attuazione del decreto. Le linee guida ENEA hanno quindi il compito di dettare una procedura operativa e sistematica al fine di uniformare le diagnosi energetiche da parte dei diversi certificatori e garantirne la conformità normativa.

Per la conformità normativa si fa riferimento alla serie di norme di buona tecnica EN 16247, che stabiliscono i requisiti e forniscono indicazioni per effettuare audit energetici. La serie di norme EN 16247 è così composta:

- La norma UNI CEI EN 16247-1 definisce i requisiti, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche. Si applica a tutte le aziende ed organizzazioni, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l'esclusione delle singole unità immobiliari residenziali. Definisce i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi energetiche.[22]
- La norma UNI CEI EN 16247-2 è applicabile alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici. Essa definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica di una

diagnosi energetica relativa a un edificio o a un gruppo di edifici, escludendo le singole residenze private.[23]

- La norma UNI CEI EN 16247-3 definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica di una diagnosi energetica nell'ambito di un processo, relativamente a:
  - a) organizzare e condurre una diagnosi energetica;
  - b) analizzare i dati ottenuti con la diagnosi energetica;
  - c) riportare e documentare i risultati della diagnosi energetica. La norma si applica ai luoghi in cui l'uso di energia è dovuto al processo.[24]
- La norma UNI CEI EN 16247-4, determina i requisiti, la metodologia e la reportistica specifici per le diagnosi energetiche nel settore dei trasporti e affronta ogni situazione in cui viene effettuato uno spostamento, non importa chi sia l'operatore (compagnia pubblica o privata o se l'operatore si dedica esclusivamente al trasporto oppure no). Le procedure qui descritte si applicano alle diverse modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, aereo), oltre che ai differenti ambiti (locale, a lunga distanza) e all'oggetto trasportato (fondamentalmente merci e persone).[25]
- La norma UNI CEI EN 16247-5 riguarda infine le competenze dell'auditor energetico: essa può essere utilizzata per definire schemi nazionali di qualificazione della figura dell'auditor energetico, per permettere alle imprese di nominare un auditor energetico competente, per assicurare - applicandola insieme alle altre parti della serie - un processo di diagnosi energetica di buona qualità.[26]

Il caso studio di questa tesi sarà proprio l'analisi dei consumi di una grande impresa che opera nel campo dei trasporti.

## 2.1 Linee guida per lo svolgimento della diagnosi energetica

In accordo con il decreto legislativo e le norme di buona tecnica il MISE, con il supporto di ENEA ha pubblicato nel 2016 "*Chiarimenti in materia di diagnosi energetica nelle imprese ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legislativo n. 102/2014*"[27] documento con cui vengono forniti chiarimenti operativi per le disposizioni del decreto e successivamente, a febbraio 2019, per una maggiore completezza nell'esecuzione della diagnosi energetica ENEA ha pubblicato le linee guida aggiornate e manuale operativo.

Le grandi imprese[27] che sono tenute ad effettuare la diagnosi energetica quelle che soddisfano una delle seguenti condizioni:

- Impresa che occupa più di 250 persone e presenta un fatturato superiore a 50 milioni di euro e realizza un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro;
- impresa che occupa più di 250 persone e presenta un fatturato superiore a 50 milioni di euro;
- impresa che occupa più di 250 persone e realizza un totale di bilancio annuo superiore a 43 milioni di euro.

Viene inoltre precisato che l'impresa è soggetta all'obbligo di diagnosi entro il 5 dicembre dell'anno n-esimo (a decorrere dal 2015) solo se la condizione di grande impresa è verificata nei due anni precedenti a quello considerato (ovvero anno n-1 ed n-2).

Sono allo stesso modo tenute ad effettuare la diagnosi energetica le imprese a forte consumo di energia (o energivore), imprese iscritte nell'elenco annuale istituito presso la Cassa per i servizi energetici e ambientali (CSEA) e che risultino iscritte nell'elenco pubblicato nell'anno n-1. A differenza delle grandi imprese, queste hanno l'obbligo di adottare gli interventi di efficienza energetica individuati dalla diagnosi o, alternativamente, adottare un sistema di gestione dell'energia conforme alla norma ISO 50001.

Se per l'anno di riferimento l'impresa risulta essere sia grande impresa sia impresa energivora, essa deve essere considerata grande impresa.

Sono obbligate ad eseguire una diagnosi energetica anche le imprese che pur non rientrando nella definizione di grande impresa abbiano almeno il 25% del proprio controllato direttamente o indirettamente da uno o più organismi collettivi pubblici o enti pubblici che abbiano un budget annuale superiore a 10 milioni di euro e più di 5000 abitanti.[28]

Per la valutazione dei consumi energetici si considera l'anno solare precedente all'anno n-esimo, in cui il soggetto risulta obbligato all'esecuzione della diagnosi.

L'oggetto da sottoporsi a diagnosi energetica è il sito produttivo. Il sito produttivo è una località geograficamente definita, nella quale viene prodotto un bene e/o fornito un servizio.

Per le aziende di trasporto, i siti produttivi sono diversi e comprendono sia i luoghi in cui vengono svolte le attività complementari al trasporto (uffici, depositi, officine, ecc.), sia il trasporto stesso, che viene considerato come un unico sito virtuale anche se diffuso su tutto il territorio nazionale ed estero. Come detto in precedenza, questa tesi si baserà proprio sull'analisi dei consumi del sito virtuale di un'azienda di trasporto pubblico, al fine di avere dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili compresi di un esame dettagliato del profilo di consumo energetico, come richiesto dal decreto legislativo.

Secondo la norma UNI CEI EN16247 parte 4, relativa alle diagnosi energetiche sui trasporti, per trasporto si intende qualsiasi spostamento di persone o merci da un punto A ad un punto B. In realtà, da questa definizione generale sono da escludersi le movimentazioni all'interno degli impianti e dei nodi della rete di trasporto. La Diagnosi energetica sui trasporti è dovuta sia per servizi resi a terzi sia per attività in conto proprio, a prescindere dall'ambito territoriale entro il quale il trasporto viene realizzato e dalla modalità utilizzata.[25]

Le imprese multisito soggette all'obbligo devono effettuare la diagnosi su un numero di siti proporzionati e sufficientemente rappresentativi per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale dell'impresa e di individuare in modo affidabile le opportunità di miglioramento più significative. Vengono dunque forniti dalle linee guida ENEA i criteri di clusterizzazione dei vari siti, con limiti di

ammissibilità all'obbligo di diagnosi in base al consumo di energia primaria. Nonostante questa parte sia una corposa sezione della diagnosi energetica, non sarà base di studi per questa Tesi, la quale farà riferimento al solo sito virtuale.

All'interno della diagnosi è necessario individuare la struttura energetica delle attività di trasporto[29] distinguendo le diverse funzioni di trasporto (livello 1) e, all'interno di queste, le diverse Reti di Trasporto (livello 2), le strutture interne alle Reti (Linee/Collegamenti, livello 3) ed infine i Fattori della Produzione (veicoli e conducenti, livello 4).

Per "funzione di trasporto" si intende l'insieme di oggetto e motivazione del trasporto, ad esempio un servizio di trasporto passeggeri, la raccolta dei rifiuti urbani oppure un servizio di trasporto merci. Per "rete di trasporto" si intende una struttura attraverso la quale viene realizzata una funzione di trasporto ad esempio una rete di linee metro o i servi ferroviari o aerei di linea tra aeroporti nazionali. Per "linea di trasporto" si intende un collegamento tra un punto A e un punto B, con o senza fermate intermedie, realizzato con frequenza più o meno regolare; tra le linee di trasporto: possiamo considerare ad esempio una linea urbana di autobus, il complesso dei collegamenti aerei tra due aeroporti oppure il complesso dei collegamenti ferroviari tra due stazioni. In fine per "fattore di produzione" si intende la componente tecnologica e quella umana; sono quindi fattori di produzione i veicoli, i loro particolari componenti o dispositivi ausiliari e i conducenti.

L'attività di trasporto di una grande impresa di trasporto pubblico passeggeri[28] si struttura in un'unica funzione di trasporto: *Servizio di trasporto passeggeri* (livello 1).

Se l'azienda di trasporto gestisce anche un'infrastruttura ferroviaria (sottostazioni, linee di contatto, ecc.), può considerare come funzione di trasporto: *Servizio di gestione infrastruttura ferroviaria* (livello 1).

Al livello 2 si individuano le *Reti di trasporto*, ovvero le strutture di offerta attraverso le quali si realizza il servizio di trasporto.

Il livello 3 rappresenta una prima fase di dettaglio che comprende un sottoinsieme omogeneo di componenti del trasporto (ad esempio una tipologia di veicoli). La scelta effettuata nelle Linee Guida per l'esecuzione della diagnosi energetica nel trasporto pubblico è di considerare come livello 3 i veicoli, essendo essi lo strumento con cui le aziende forniscono il servizio.

All'interno delle Linee Guida[29] vengono anche forniti i fattori di conversione per convertire i consumi del sito virtuale in energia primaria. I fattori di conversione dei consumi in TEP sono quelli che vengono esplicitati nella Circolare del MISE "Nomina del responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia".

Combustibile	Unità	Fattore di conversione in tep
Gasolio <sup>(1)</sup>	t	1,02
	1.000 litri	0,860
Olio combustibile	t	0,98
Gas di petrolio liquefatti (GPL) <sup>(6)</sup> - stato liquido	t	1,10
Gas di petrolio liquefatti (GPL) <sup>(2)(6)</sup> - stato liquido	1.000 litri	0,616
Gas di petrolio liquefatti (GPL) <sup>(3)(5)(6)</sup> - stato gassoso	1.000 Sm <sup>3</sup>	2,53
Gas di petrolio liquefatti (GPL) <sup>(3)(5)(6)</sup> - stato gassoso	1.000 Nm <sup>3</sup>	2,67
Benzine autotrazione <sup>(4)</sup>	t	1,02
	1.000 litri	0,765
Oli vegetali	t	0,88
	1.000 litri	0,79
Pellet	t	0,40
Legna macinata fresca (cippato)	t	0,20
Gas naturale <sup>(5)</sup>	1.000 Sm <sup>3</sup>	0,836
	1.000 Nm <sup>3</sup>	0,882
Gas Naturale Liquefatto (GNL)	t	1,08
Biogas <sup>(5)</sup>	1.000 Sm <sup>3</sup>	0,52
	1.000 Nm <sup>3</sup>	0,55
Elettricità approvvigionata dalla rete elettrica	MWh	0,187
Elettricità prodotta in loco da idraulico, eolico, fotovoltaico e geotermia	MWh	0,187
Calore consumato da fluido termovettore acquistato	MWh	0,103
	GJ	0,029
<p>È stata considerato un fattore di conversione pari a 4,19 kJ/kcal.  <sup>(1)</sup> È stata adottata una densità di 0,84 kg/dm<sup>3</sup>  <sup>(2)</sup> È stata adottata una densità di 0,56 kg/l  <sup>(3)</sup> È stata adottata una densità di 2,3 kg/m<sup>3</sup> a T= 15,5° C e pressione atmosferica  <sup>(4)</sup> È stata adottata una densità di 0,74 kg/dm<sup>3</sup>  <sup>(5)</sup> È stato adottato un fattore di conversione da Nm<sup>3</sup> a Sm<sup>3</sup> pari a: 1000 Nm<sup>3</sup>= 1055 Sm<sup>3</sup>  <sup>(6)</sup> È stata considerata una proporzione tra Butano e Propano rispettivamente pari al 70% e 30%</p>		

Figura 9 - Tabella di conversione consumi-TEP [30]

Anche per il sito virtuale vi è la necessità di individuare degli indicatori energetici[28]. A termine delle consultazioni che hanno portato alla stesura dei Chiarimenti MISE del 2016, si è deciso che l'indicatore più espressivo per valutare l'effettiva efficacia del trasporto pubblico sarebbe stato il Load Factor. Questo rappresenta il rapporto fra passeggeri Km e posti Km ed indica il coefficiente di riempimento dei mezzi. Allo stato attuale della tecnologia presente sui mezzi di trasporto questo sarebbe di difficile stima visto il non vincolo di validazione del biglietto in entrata ed uscita dai mezzi pubblici da parte dei passeggeri. Proprio a fronte di questa mancanza il Ministero dei Trasporto e delle Infrastrutture ha ritenuto non idoneo l'utilizzo di questo indicatore.

Le aziende di trasporto sono quindi tenute all'individuazione di indicatori di performances energetiche dei veicoli nel caso di autolinee, filovie/tranvie e navigazione interna:

TIPOLOGIA VEICOLO	INDICATORE
Autobus Gasolio	Consumo specifico (l/Km)
Autobus Metano	Consumo specifico (Kg/Km)
Autobus Elettrico	Consumo specifico (kWh/Km)
Autobus Ibrido	Consumo specifico (l/Km)
Filobus/Tram	Consumo specifico (kWh/Km)
Battelli Gasolio	Consumo specifico (Kg/h)

Figura 10 –Indicatori di performances energetiche autolinee, filovie/tranvie e navigazione interna

Per l'infrastruttura con impianti fissi di trazione elettrica, è invece necessario individuare indicatori di monitoraggio performances energetiche:

STRUTTURA	INDICATORE
Infrastruttura elettrica	Consumo specifico (kWh totali / Trenkm Totali)
Infrastruttura elettrica	Consumo specifico (kWh totali / N° treni circolati)
Sottostazione elettrica	Indicatore di utilizzo (kWh totali SSE / kW installati SSE)

Figura 11 - Indicatori di monitoraggio performances energetiche impianti fissi di trazione elettrica

Per il trasporto ferroviario e metropolitano, infine vengono consigliati i seguenti indicatori energetici:

STRUTTURA	INDICATORE
Linee ferroviarie/ Impianti a fune	Consumo specifico (TEP/Km linea annuo)
Linee ferroviarie/ Impianti a fune	Consumo specifico (TEP/ VetturaKm annuo)

Figura 12 - Indicatori di monitoraggio performances energetiche trasporto ferroviario e metropolitano

Per la determinazione di tali indicatori, la normativa[31] richiede di effettuare misurazioni in condizioni standardizzate di minor perturbazione (per quanto possibile all'interno del programma di esercizio Aziendale senza modificarlo in misura sostanziale), per un campione di veicoli sufficientemente rilevante e rappresentativo della composizione della flotta.

La diagnosi energetica deve quindi concludersi con l'individuazione di un percorso virtuoso in termini di efficienza energetica, tale da ridurre i fabbisogni energetici a parità di attività/servizio fornito[28]. Grazie alla diagnosi energetica l'azienda è in grado di individuare il peso dei diversi settori di consumo, le criticità e dunque gli ambiti di miglioramento in modo da ottenere un risparmio energetico, obiettivo principale della diagnosi energetica.

## 2.2 Caso studio: azienda di trasporto pubblico

Questa tesi si prefigge lo scopo di analizzare i consumi di una grande impresa di trasporto pubblico. L'azienda in analisi è GTT, Gruppo Trasporti Torinese.

GTT[32] è un'azienda pubblica di trasporto pubblico locale nata il 1° gennaio 2003 dalla fusione di ATM Azienda Torinese Mobilità e SATTI. Entrambe le società erano di proprietà pubblica: l'ATM, del comune di Torino, gestiva il trasporto su gomma e ferro sulla rete urbana di Torino e i parcheggi pubblici, mentre la SATTI gestiva i trasporti su gomma e ferro in ambito regionale e la Linea 1 della metropolitana di Torino.

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 della 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;
- 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, navetta che collega il Castello di Rivoli alla metropolitana, bus che collega Torino con la Reggia di Venaria.

**I DATI INDUSTRIALI 2018 DI 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 extra urbana su gomma	10,4 milioni
Produzione ferroviaria (treni km)	1,2 milioni

<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

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

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

<b>NUMERO ADDETTI (Forza puntuale al 31 dicembre 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

*Figura 13 - Dati industriali di GTT [33]*

## 2.3 Struttura energetica aziendale

Secondo la definizione dell'art. 2 del D.Lgs. 102/14 e del paragrafo 1.1 dei Chiarimenti in materia di diagnosi energetica, GTT si configura come grande impresa, dato che il proprio fatturato è maggiore di 50 milioni di euro e possiede più di 250 dipendenti. Non ricade però nella categoria di azienda a forte consumo di energia in quanto non risulta iscritta nell'elenco pubblicato presso la Cassa per i servizi energetici e ambientali nel 2017.

Essendo dunque una grande impresa, l'azienda è soggetta all'obbligo di diagnosi energetica.

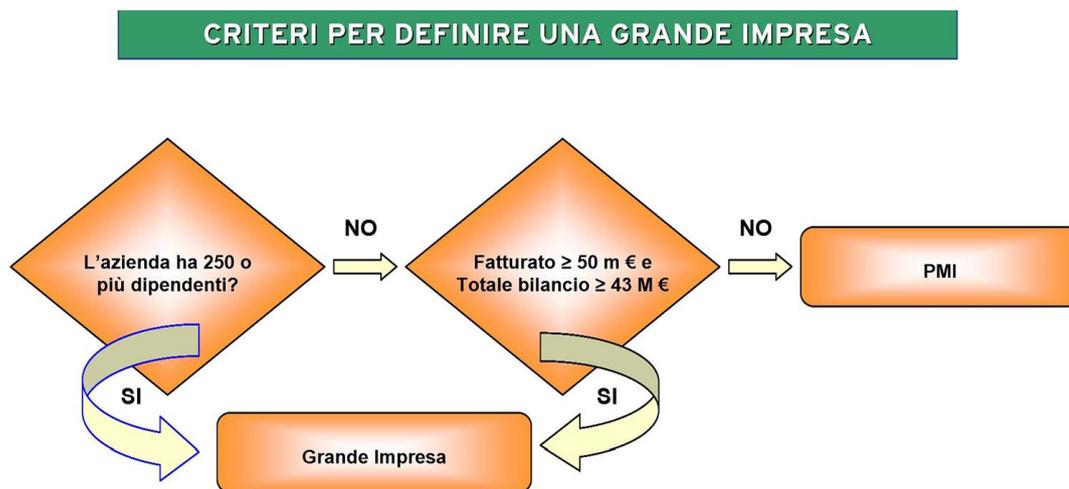


Figura 14 - Schema a blocchi per la definizione di grande impresa

Vi è dunque la necessità di definire una struttura energetica aziendale al fine di determinare i diversi siti produttivi da sottoporre a diagnosi. Come detto in precedenza, per quanto riguarda le grandi imprese di trasporto, i siti produttivi comprendono sia i luoghi dove si svolgono attività complementari al trasporto (officine, depositi, parcheggi, uffici, ecc.) sia il trasporto stesso considerato come unico sito virtuale anche se diffuso su territorio nazionale.

La figura sotto riportata rappresenta lo schema di riferimento su cui viene eseguita l'analisi energetica.



*Figura 15 - Struttura energetica aziendale*

L'attività di trasporto di GTT si struttura in un'unica funzione di trasporto: servizio di trasporto passeggeri (livello 1).

A livello 2 si individuano le reti di trasporto, ovvero le strutture omogenee di offerta attraverso cui si realizza il servizio di trasporto, ad esempio:

- una rete di linee ferroviarie
- una rete di linee metro
- una rete di linee tranviarie
- una rete di linee su gomma in ambito urbano e suburbano
- una rete di linee su gomma in ambito extraurbano

Il livello 3 rappresenta una prima fase di dettaglio che comprende un sottoinsieme omogeneo di componenti del trasporto raggruppato per tipologia di veicoli.

La figura sotto riportata rappresenta la struttura energetica dell'attività di trasporto:

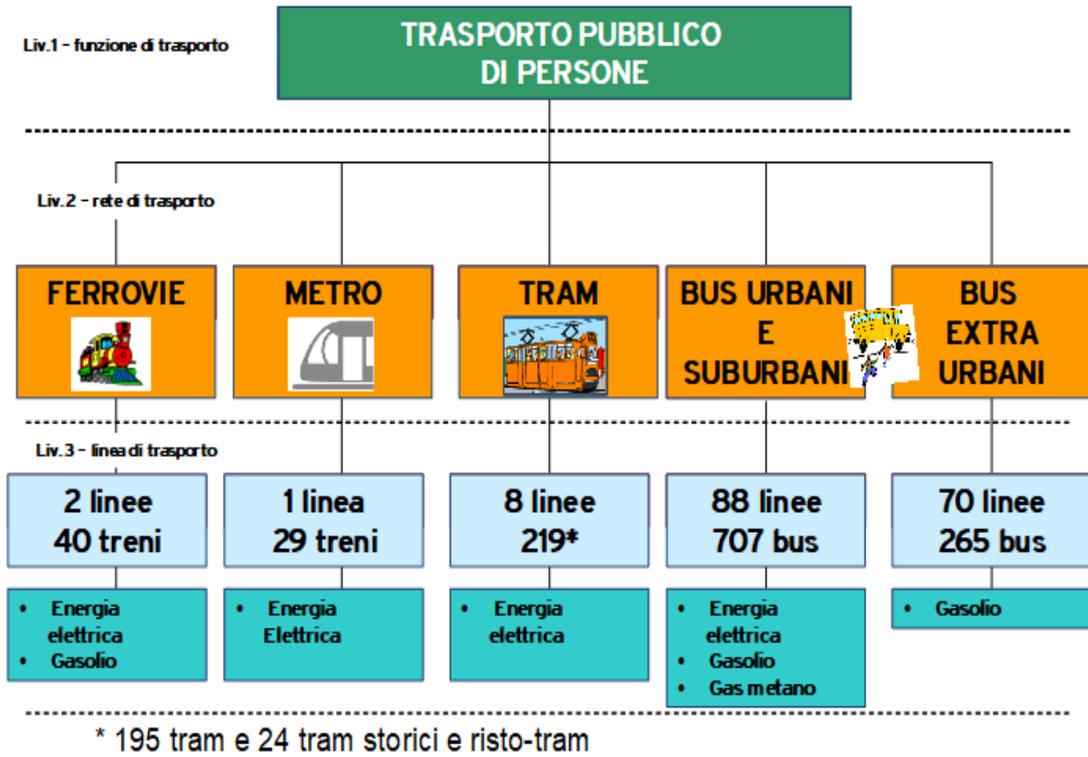


Figura 16 - Struttura energetica attività di trasporto

### 3 Rete tranviaria

Dopo un breve inquadramento e descrizione del trasporto pubblico gestito da GTT passiamo ad analizzarlo nel dettaglio per le diverse reti di trasporto.

Per la prima diagnosi, eseguita nel 2015, nel caso di non disponibilità dei dati dettagliati di monitoraggio dei consumi nei diversi settori, l'analisi poteva essere limitata ai dati tecnici. A partire dalla seconda diagnosi energetica, ovvero quella da effettuare nel 2019 riguardante i consumi del 2018, vengono richieste misurazioni in condizioni standardizzate di minor perturbazione, per un campione di veicoli rappresentativo della composizione della flotta finalizzate a determinare per ciascuna tipologia veicolare un valore di riferimento a cui rapportare gli altri valori di misura.[31]

In questa sezione del lavoro di tesi, vengono quindi esposte le diverse misurazioni effettuate al fine di avere un quadro dettagliato dei consumi dell'azienda per la rete tranviaria.

Nel 2018 la sola rete tranviaria ha avuto un consumo pari a 24.944.950 kWh. Questo consumo è il consumo energetico totale, dato dalla somma delle misure dei diversi contatori fiscali. Ai fini della diagnosi bisogna dunque verificare che con le misurazioni ed i calcoli effettuati il consumo calcolato sia al più diverso del  $\pm 5\%$ .

#### 3.1 Aspetti generali rete tranviaria GTT

La rete tranviaria al servizio della città di Torino è costituita da 8 linee distribuite sull'intera superficie della città. Oltre queste è da citare la presenza della cremagliera al servizio della tratta Sassi-Superga e della linea storica 7, gestita nei fine settimana ed in alcuni periodi di rilevante affluenza turistica.

La lunghezza delle 8 linee tranviarie attualmente gestite è pari a 73,06 km in asse (146,12 km in andata e ritorno).

L'intera rete aerea tranviaria è suddivisa in 49 zone che vengono alimentate da 22 sottostazioni elettriche (21 nel 2018 dato che una è rimasta fuori servizio per l'intero anno a causa di importanti lavori di manutenzione) le quali alimentano la linea aerea alla tensione nominale di 600 Vdc. Ogni zona è isolata rispetto alle zone adiacenti da un tratto di materiale isolante lungo circa 70 cm chiamato divisore di zona. Questo permette, in caso di guasto circoscritto ad una sola zona, di isolare dal resto della rete questa parte, per permettere la risoluzione del problema senza l'interruzione dell'intero servizio tranviario. La linea aerea è anche presente nei diversi depositi per permettere la movimentazione dei tram nelle fasi di messa in servizio e fine servizio.

Ogni zona è percorsa da diversi tipi di motrice: la serie 2800, la serie 5000 e la serie 6000, molto diverse tra loro sia per il periodo di costruzione (le 2800 risalgono agli anni '60, con un successivo intervento di rinnovo negli anni 80, le 5000 agli anni '90 e le 6000 agli inizi del 2000) sia per la tecnologia e il confort di bordo.

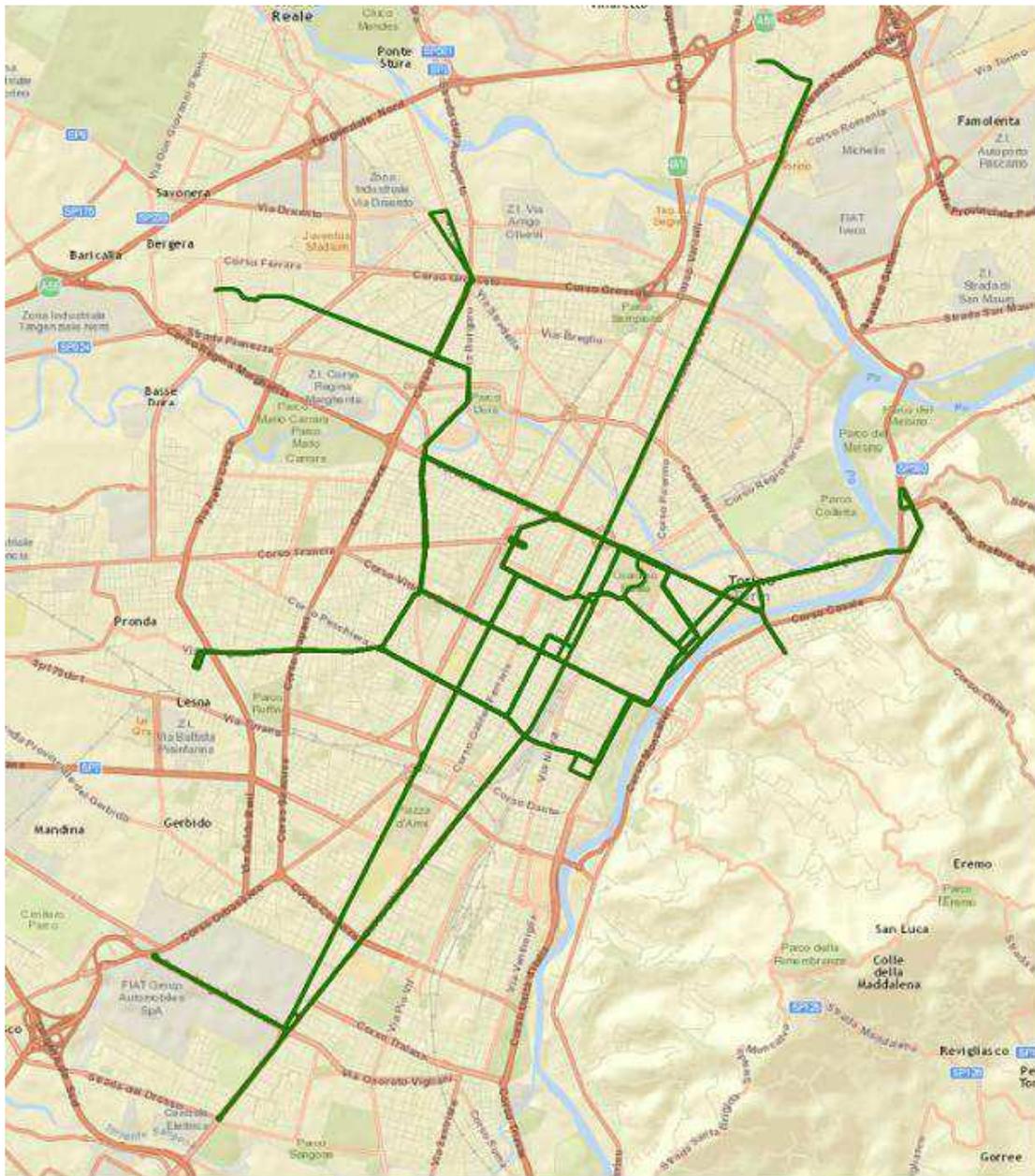


Figura 17 - Rete tranviaria torinese

### 3.2 Motrici serie 2800

Con 73 motrici in funzione nel 2018, le motrici della serie 2800 costituiscono l'asse portante del trasporto tranviario torinese.

Sono le motrici più vecchie al momento in circolazione sulla rete torinese e non presentano elettronica a bordo vettura per la gestione della trazione.

Nonostante ad una prima occhiata sembrano tutte uguali, in realtà sono il frutto di complesse rielaborazioni di tram molto più vecchi e diversi tra loro. In particolare questa serie è suddivisa in 2 sotto-serie dipendenti dai lotti di produzione: 2800-2857 e 2858-2902.[34]

La trazione di queste motrici è gestita da 6 motori DC distribuiti sui sei assi del tram con potenza nominale pari a 144 kW (6x24 kW), gestiti in serie oppure in parallelo tramite dei resistori, con avviamento reostatico con inseritore, il quale permette l'avviamento della motrice evitando l'assorbimento di correnti transitorie troppo elevate. Se necessaria un'inversione di marcia, questa viene gestita tramite contattori che invertono la polarità dell'alimentazione ai capi del motore.

La frenatura di servizio, di tipo elettropneumatico, è gestita da freni elettrici e freni pneumatici ed è attivabile posizionando il rubinetto del freno in due posizioni diverse:

- con la prima posizione viene inserita una resistenza di carico ad ogni coppia di motori;
- con la seconda si esclude una parte di resistenza ad ogni coppia di motori, in modo da aumentare la potenza generata e di conseguenza la forza frenante.

La tecnologia installata a bordo delle motrici serie 2800 non permette quindi la frenata con recupero di energia in rete.

Nella frenatura di emergenza invece, intervengo anche i pattini elettromagnetici.



Figura 18 - Esempio di tram della serie 2800

### 3.2.1 Calcolo consumi singola motrice serie 2800

#### Descrizione delle misure

Le misure sono state eseguite il 20 marzo 2019 a bordo della motrice 2875. La misura è stata effettuata senza utilizzare zavorre. Il carico della motrice è dato dal solo peso delle persone a bordo (circa 800 kg). Per l'esecuzione delle misure è stato utilizzato un registratore digitale Hioki modello MR 8880-20 di proprietà del Politecnico installato all'interno del veicolo. Per la misura dell'assorbimento di corrente totale della motrice si è utilizzata una pinza amperometrica Hioki modello 3285, sempre di proprietà del Politecnico, mentre per la misura di tensione è stata utilizzata una sonda differenziale Hioki 9322 di proprietà di Infra.To. La pinza amperometrica è stata installata direttamente a valle del pantografo ed è stata collegata al registratore all'interno del veicolo tramite cavo con connettore BNC, mentre la sonda differenziale è stata installata sul quadro della motrice e anch'essa collegata al registratore tramite cavo con connettore BNC. I registratori Hioki e le sonde differenziali di tensione sono stati alimentati tramite inverter,

alimentato a valle delle batterie, ai 24 V e collegato ad una presa di corrente presente sulla motrice.

Il tragitto percorso è stato registrato mediante GPS.

La misura è stata effettuata su parte del percorso della linea 10 con punto di partenza e arrivo al deposito di corso Tortona. La lunghezza del tragitto percorso è di circa 25 km e il tempo di percorrenza è stato di circa 2 ore e 20 minuti, facendo gran parte delle fermate previste per la linea 10 e aspettando fermi circa 15 minuti al capolinea di Corso Settembrini.

A partire dalle misure di tensione e corrente è possibile calcolare la potenza istantanea assorbita dalla motrice durante le diverse fasi della marcia; è poi possibile calcolare l'energia assorbita integrando la potenza istantanea assorbita nel tempo. Conoscendo il tempo di campionamento è possibile effettuare una integrazione numerica.

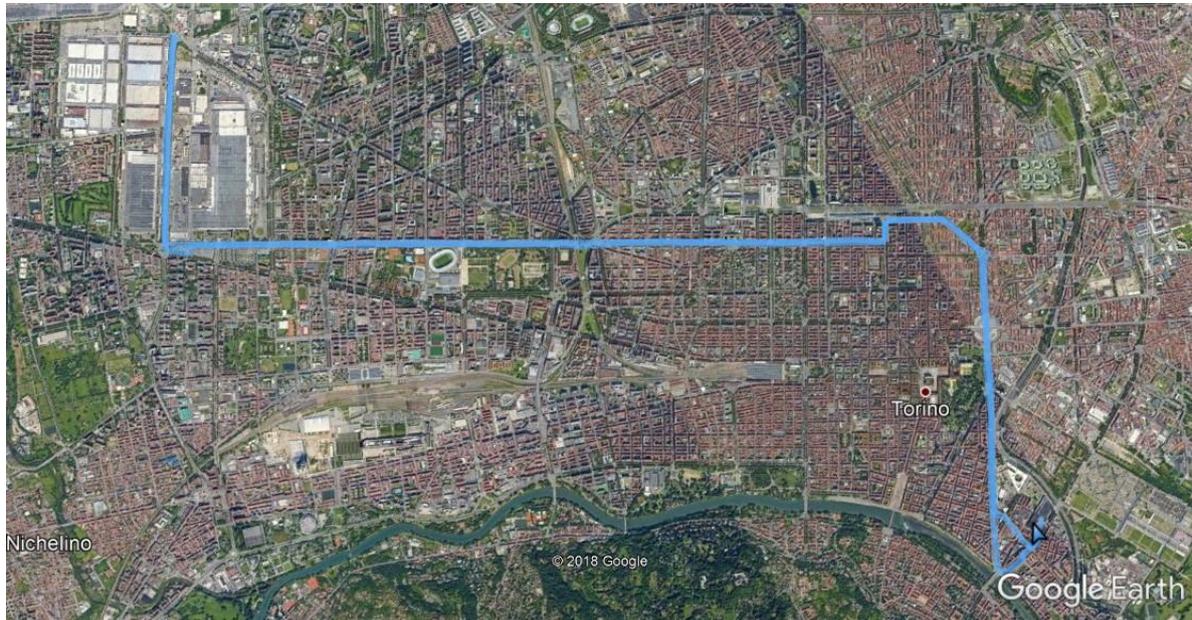


Figura 19 - : Registratore digitale Hioki MR 8880 e pinza amperometrica Hioki 3285



Figura 20 - Sonde di tensione Hioki 9322 e pico Technology TA044 e posizionamento della pinza amperometrica a valle del pantografo

Nella figura successiva è mostrato il percorso su cui sono state eseguite le misure:



*Figura 21 - : Percorso su cui è stata effettuata la misura*

Nella pagina successiva sono riportati nell'ordine: la distanza percorsa rispetto al tempo e gli andamenti di tensione (blu), corrente assorbita (rosso) e potenza istantanea (verde) durante tutta la durata della misura. Nel grafico in cui sono riportate tensione, corrente e potenza, si notano dei cali di tensione durante la marcia: questi sono dovuti al passaggio della motrice tra due zone elettriche differenti. Il transito delle motrici in corrispondenza di qualsiasi divisore di zona deve avvenire con trazione elettrica disinserita, cioè in marcia inerziale (coasting), in modo da evitare la formazione di archi elettrici che producono danni sia allo strisciante del pantografo, sia al materiale isolante costituente il divisore stesso.

### Cumulative Ground Track Distance in km

20-Mar-2019

Total Distance in km: 24.9019

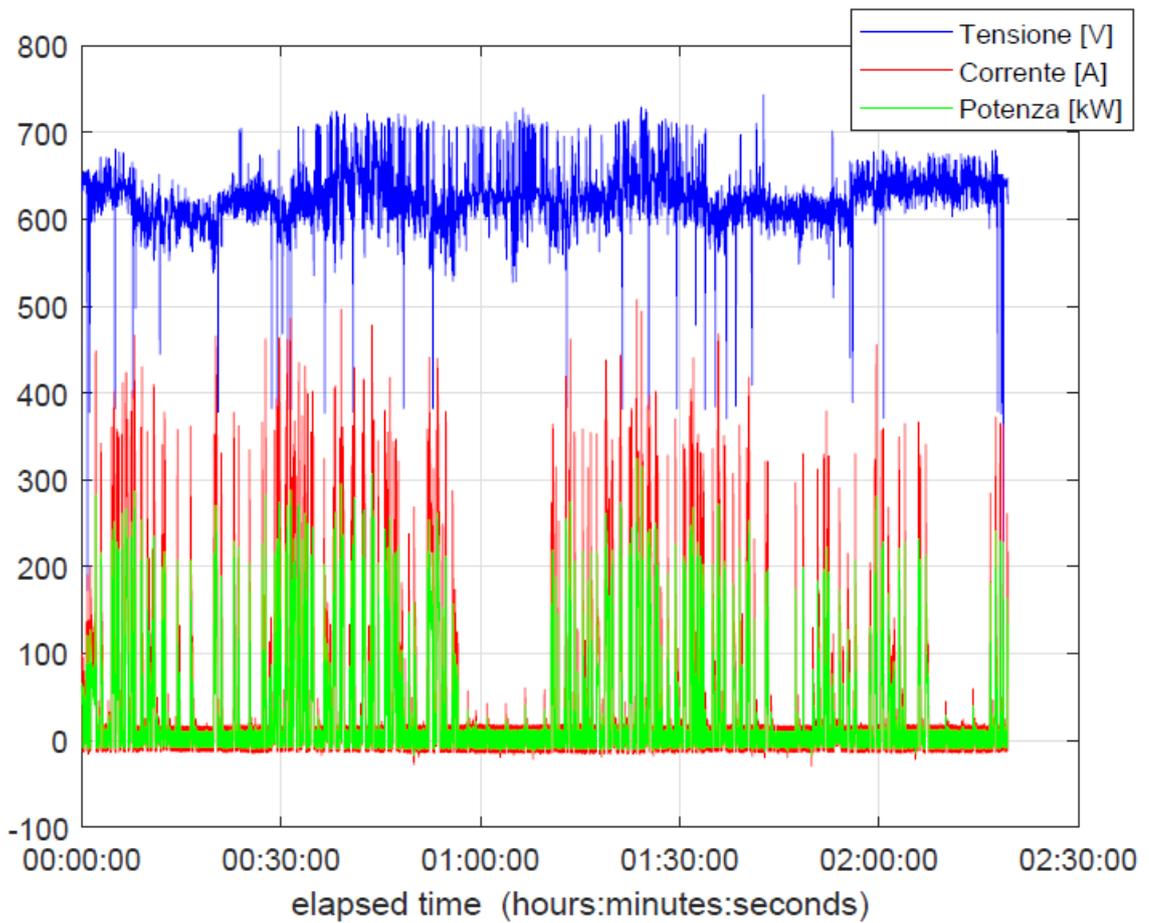
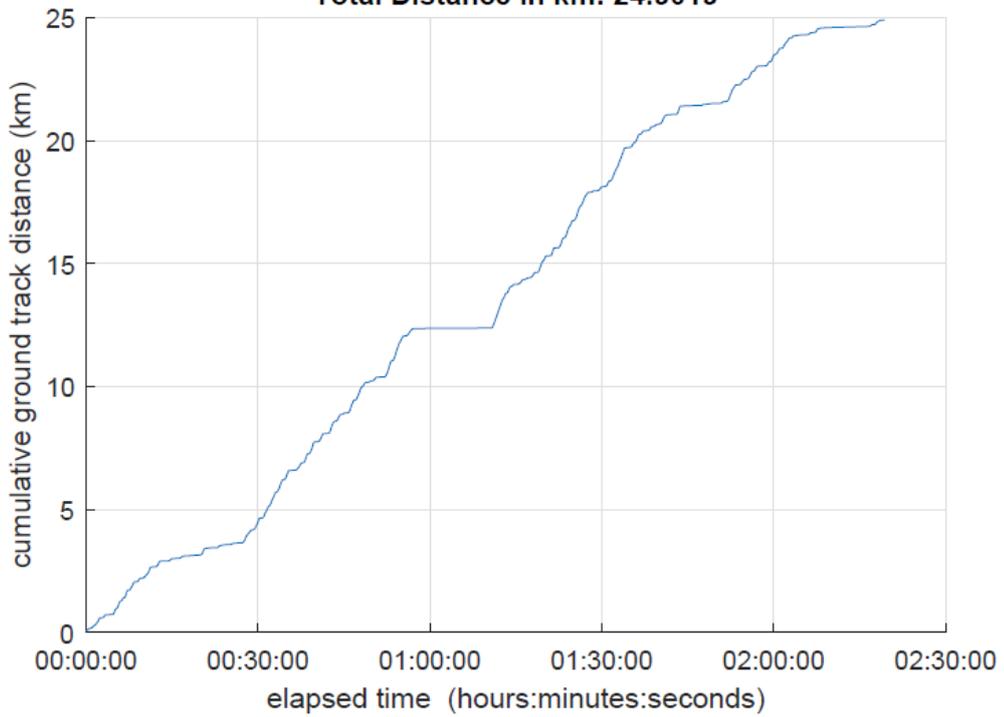


Figura 22 - Andamenti delle grandezze elettriche in funzione del tempo

### Motrice ferma al capolinea di Corso Settembrini

Vengono qui riportati gli andamenti di tensione (blu), corrente assorbita (rosso) e potenza istantanea (verde) riguardanti la sosta al capolinea della linea 10 situato in Corso Settembrini (il grafico relativo alla distanza percorsa rispetto al tempo non è riportato in quanto la motrice è ferma). In questa figura si possono osservare gli avviamenti del compressore che comportano un aumento della potenza istantanea assorbita e gli sbalzi di tensione di linea dovuti alla presenza di motrici della serie 5000 e 6000 nella stessa zona elettrica e in fase di recupero, le quali provocano un aumento della tensione. Durante la fase di sosta si può registrare un consumo di energia pari a  $E_A = 0,357\text{kWh}$ .

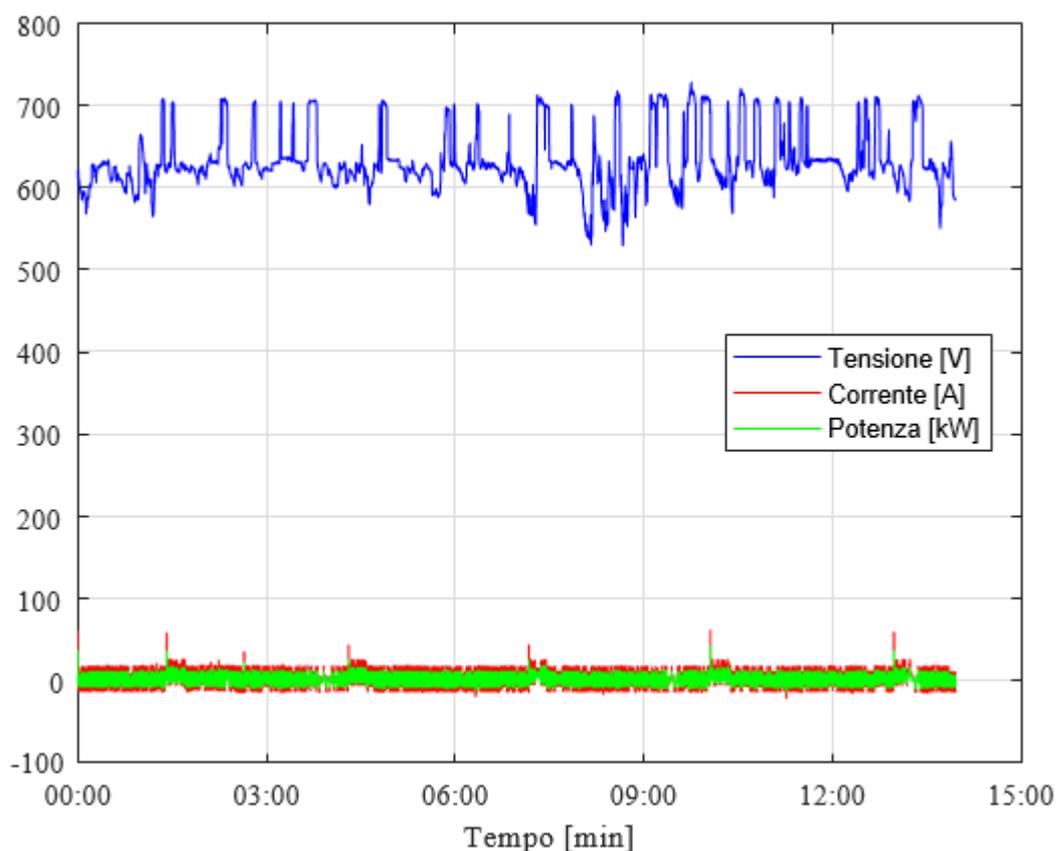


Figura 23 – Andamenti grandezze elettriche in funzione del tempo durante la sosta al capolinea

Si riportano, per curiosità del lettore, gli andamenti di tensione, corrente e potenza istantanea, nel caso di un'accelerazione tipica della motrice serie 2800. L'energia assorbita durante questa fase di accelerazione risulta essere circa  $E_A = 1\text{ kWh}$ .

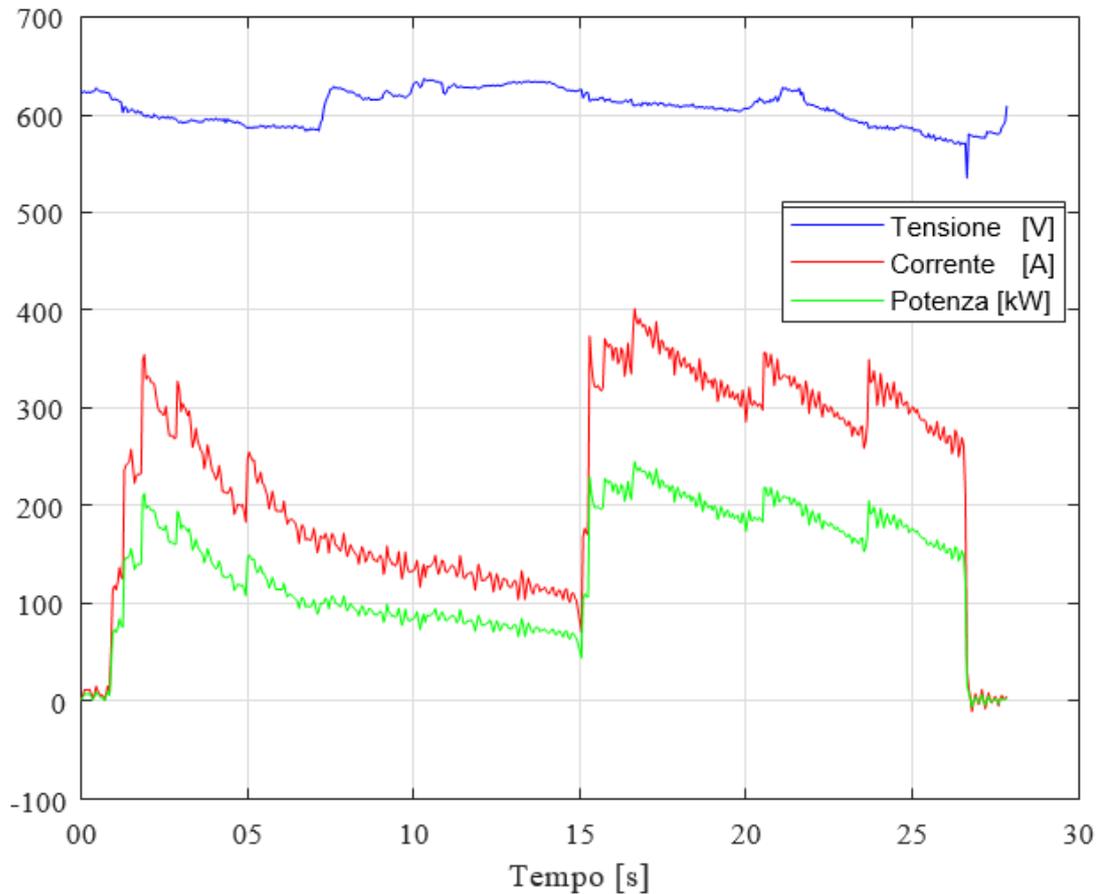


Figura 24 - Grandezze elettriche durante un'accelerazione tipica

### Conclusioni

In conclusione, per l'intera durata della prova, si è ottenuto un consumo di energia totale pari a  $E_A = 73,55$  kWh.

Per una distanza percorsa di circa 25 km ciò corrisponde ad un consumo chilometrico di circa 2,954 kWh/km,

L'energia assorbita durante la sosta al capolinea (durata circa 14 minuti) è  $E_S = 0,357$  kWh.

Questo corrisponde ad un consumo, quando il veicolo è in sosta, di circa 1,535 kWh/h.

### 3.3 Motrici serie 5000

In occasione dei mondiali del 1990, per la nuova linea tranviaria (attuale linea 9) che collegava il nuovo Stadio delle Alpi, fu acquistata una nuova serie di vetture, denominate TPR 5000 (TPR è l'acronimo di "tram a pianale ribassato"). Il suo utilizzo su tutta la rete tranviaria è però datato solamente 2006.

Queste sono la naturale evoluzione delle motrici della serie 2800. A differenza di quest'ultime le TPR presentano il grande vantaggio dell'assenza di gradini, permettendo quindi un accesso molto più agevolato a disabili e carrozzine e permettono inoltre uno spostamento più rapido dei passeggeri al momento della salita o discesa dal mezzo.

Delle 54 vetture originariamente acquistate, ad oggi ne rimangono solamente 53, dato che una andò distrutta in un incidente, ma nel 2018 sono risultate circolanti solamente 49 motrici.[34]

Le motrici serie 5000 sono alimentate da 2 motori DC a 4 poli, non compensati ed autoventilati con potenza nominale pari a 300 kW (2x150 kW). I motori sono posti sui carrelli di estremità e sono azionati a chopper realizzati con tiristori GTO raffreddati al freon. Il convertitore di potenza del tipo "full chopper" è l'elemento principale dell'azionamento in quanto controlla e regola la corrente in avviamento e frenatura del motore di trazione in base agli ordini inviati dal banco di manovra.

Le 5000 possiedono diversi circuiti elettrici che si possono distinguere in:

- Circuiti di trazione: dedicati all'azionamento dei motori per la trazione;
- Ausiliari AT (600 Vdc): motocompressore per impianto pneumatico, convertitore statico per la ricarica delle batterie 600/24 Vdc e il riscaldamento della cabina di guida;
- Carichi BT (24 Vdc): quelli alimentati dal convertitore statico e si distinguono in carichi BT con alimentazione non privilegiata e in carichi BT con alimentazione privilegiata. Quelli con alimentazione non privilegiata raggruppano quelle utenze che, in caso di disinserzione o avaria del convertitore statico carica batterie, vengono automaticamente escluse, esse sono: scaldia cristalli frontale e laterale, elettroventilatori aerotermo cabina di guida e illuminazione interna fluorescente di servizio.

I carichi con alimentazione privilegiata sono le rimanenti utenze che, in caso di disinserzione o avaria del convertitore statico, vengono direttamente alimentate dalle batterie.

Le motrici della serie TPR 5000, a differenza delle 2800, possono contare su diversi tipi di freni a seconda della frenatura richiesta:

- di servizio: entrano in gioco un freno elettrodinamico ed un freno pneumatico;
- di emergenza: massima frenatura pneumatica ed elettrodinamica con azionamento dei pattini elettromagnetici;
- di soccorso: azionabile solo in caso di estrema gravità. Consiste nella massima frenatura pneumatica non graduabile su tutti i carrelli, dovuta allo scarico della condotta generale freno.

Nella frenatura di servizio, quando interviene il freno elettrodinamico, si assiste a due fasi diverse: la prima è quella relativa alla frenata di tipo rigenerativo e la seconda è quella relativa alla frenata reostatica. Nella frenata di tipo rigenerativo si invertono i poli dell'armatura del motore che passa quindi da assorbitore di energia a produttore di energia da reimmettere in rete causando così una diminuzione dell'energia cinetica del tram che di conseguenza porta ad un suo rallentamento. Questo tipo di frenata avviene solamente a patto che la tensione di rete sia minore di una certa soglia, se la rete può dunque essere ricettiva. Infatti l'immissione di potenza da parte del tram altera il profilo di tensione della rete, con un picco in prossimità del pantografo della vettura in frenata.

È quindi il convertitore a chopper a consentire la frenatura con recupero di energia in linea, oltre che la frenatura reostatica con passaggio dall'una all'altra in modo automatico a seconda delle condizioni della tensione di linea.

L'energia reimpressa in rete durante questa fase può però essere assorbita solamente da altre motrici che richiedono potenza e si trovano in quell'istante nelle zone alimentate dalla stessa SSE che alimenta la zona dove è presente la motrice in frenata. Non è infatti possibile reimmettere potenza nella rete di distribuzione di media tensione oppure in zone servite da altre SSE, in quanto i raddrizzatori a valle delle sottostazioni sono unidirezionali in corrente. Quindi se tutta la maglia alimentata da una certa SSE è percorsa da un unico tram, quel tram può effettuare solamente la frenata reostatica, che avviene dissipando l'energia cinetica del tram su dei grossi resistori alloggiati sull'imperiale del veicolo.



*Figura 25 - Esempio di tram TPR 5000*

### 3.3.1 Calcolo consumi singola motrice serie TPR 5000

Come effettuato per le motrici della serie 2800 anche per le motrici della serie TPR 5000 il Politecnico di Torino ha effettuato, precedentemente a questo lavoro di tesi, una prova su una motrice al fine di conoscerne i consumi.

#### Descrizione delle misure

Le misure sono state eseguite a bordo della motrice 5051. Per effettuare la misura in condizioni di funzionamento il più realistiche possibili la motrice è stata zavorrata con una massa di circa 6 tonnellate. Per eseguire la prova sono stati utilizzati, come per le motrici della serie 2800: un registratore digitale Hioki modello MR 8880-20 di proprietà del Politecnico; una pinza amperometrica Hioki modello 3285 per la misura dell'assorbimento di corrente totale della motrice, installata sull'imperiale della stessa, sempre di proprietà del Politecnico; una sonda differenziale Hioki 9322 di proprietà di GTT per la misura di tensione.

Anche in questo caso il tragitto percorso è stato registrato mediante GPS e la misurazione si è svolta sul percorso di andata e ritorno della linea 3, sul tragitto che va da corso Tortona al piazzale Vallette. La lunghezza del tragitto percorso è di circa 17,7 km e il tempo di percorrenza è stato di 1 ora e 46 minuti, facendo tutte le fermate previste per la linea 3 e aspettando fermi circa una decina di minuti al capolinea delle Vallette. Durante la sosta si è deciso di mantenere acceso il riscaldamento presente unicamente in

cabina di guida. Questo poiché essendo il tempo di sosta solitamente breve durante il servizio del tram, la maggior parte delle volte gli operatori rimangono in cabina e dunque mantengono acceso il riscaldamento o il raffrescamento.

A partire dalle misure di tensione e corrente è possibile calcolare la potenza istantanea assorbita dalla motrice durante le diverse fasi della marcia; è poi possibile calcolare l'energia assorbita integrando la potenza istantanea assorbita nel tempo. Conoscendo il tempo di campionamento è possibile effettuare una integrazione numerica.[35]



Figura 26 - Percorso su cui è stata effettuata la misura

Vengono mostrati i dati registrati per l'intera durata della prova nella figura successiva.

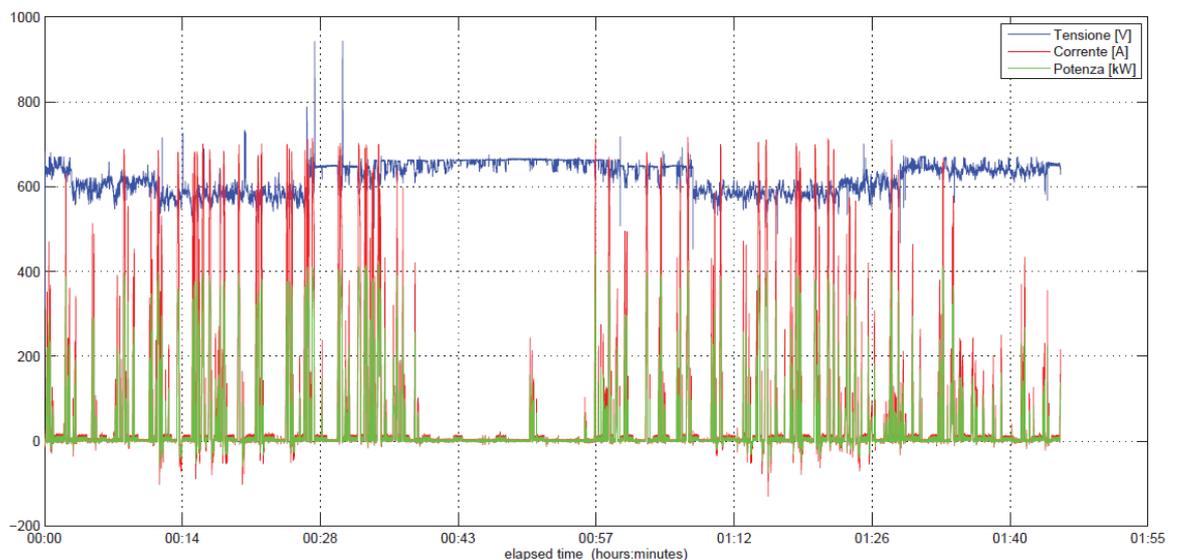


Figura 27 - Andamenti grandezze elettriche in funzione del tempo

Nella figura successiva vengono invece mostrate tensione, corrente e potenza in fase di frenata rigenerativa. Come si può notare la corrente e quindi la potenza assumono valori negativi poiché gli strumenti erano impostati ed installati per considerare gli assorbimenti della motrice e nel momento in cui il verso della corrente si inverte, lo strumento registra questa corrente come negativa.

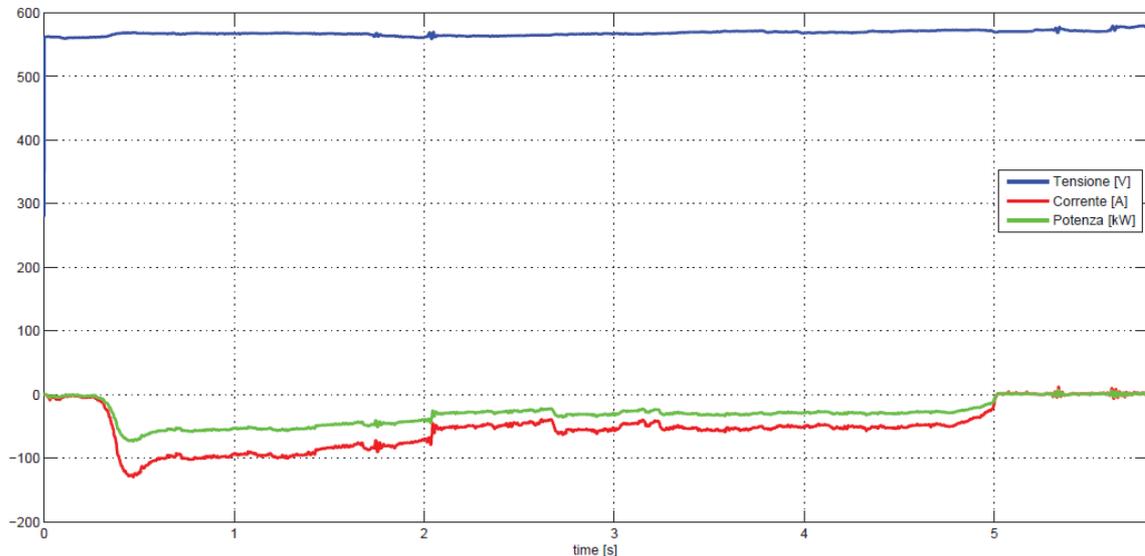


Figura 28 - Andamenti delle grandezze elettriche filtrate in fase di recupero

### Conclusioni

Per le fasi di accelerazione e frenatura con recupero tipiche, le energie assorbite e recuperate risultano essere rispettivamente  $E_A = 0,32$  kWh e  $E_R = 0,048$  kWh.

L'energia assorbita durante la sosta (circa 11 minuti) è  $E_S = 0,29$  kWh. Questo corrisponde ad un consumo, quando il veicolo è in sosta, di circa 1,58 kWh/h.

Per l'intera durata della prova si è invece ottenuto un consumo di energia pari a  $E_A = 59$  kWh ed una energia recuperata totale pari a  $E_R = 0,82$  kWh. Il consumo netto è quindi  $E_N = E_A - E_R = 58,2$  kWh. Per una distanza percorsa di 17,7 km ciò corrisponde ad un consumo chilometrico di circa 3,3 kWh/km.

L'energia recuperata in fase di frenata, rappresenta quindi appena lo 0,08%.

### 3.4 Motrici serie 6000

Le 6000, ufficialmente chiamate *Cityway*, sono i tram più moderni e più lunghi (34 m) presenti sulla rete tranviaria di Torino, costruiti dalla francese Alstom e messi in servizio agli inizi degli anni 2000. Il progetto iniziale prevedeva tram monodirezionali, ma per permettere l'utilizzo dei nuovi tram sull'intera rete ed in particolare sulla linea 4, è stato ordinato all'Alstom di equipaggiare tutte le nuove vetture con la doppia cabina. Ad oggi sono in circolazione 49 di queste vetture.

Il pianale è totalmente ribassato e proprio questa caratteristica favorisce una buona fruibilità a tutte le utenze; inoltre Tutti gli apparati di bordo sono stati spostati dalla parte inferiore del tram alla zona dell'imperiale rendendo così le vetture molto comode.

La modernità di queste motrici è però causa di problemi che sugli altri veicoli non si riscontrano. La complessa elettronica presente a bordo delle motrici rende queste vetture molto delicate, infatti il loro MTBF (mean time between failures) reale registrato dalle officine GTT è il più breve tra le diverse tipologie di motrici. I sistemi di sicurezza di queste macchine essendo molto sensibili impongono soventi passaggi obbligatori in officina e se da un lato questo garantisce l'immissione in servizio di vetture in condizioni ottimali, dall'altro lato, molte segnalazioni sono superflue su un veicolo che circola solo in città. I sistemi di sicurezza della vettura sono infatti molto vicini a quelli di una motrice di tipo ferroviario, per questo la diagnostica di bordo è molto sensibile e per minime inefficienze sono richiesti interventi di un operatore.[34]

Le 6000 sono dotate di 12 motori asincroni con funzionamento AC, con una potenza nominale pari a 492 kW (12x41 kW). Questi sono azionati tramite inverter, installati a valle del filtro d'ingresso che è costituito da un'induttanza ed un condensatore, che serve a limitare le correnti di picco causate da transitori di tensione provenienti dalla linea e per limitare la corrente assorbita dalla linea durante la chiusura dell'interruttore extrarapido che collega il pantografo alla motrice.

Come descritto per le TPR 5000, anche le 6000 possiedono circuiti elettrici dedicati alla trazione, agli ausiliari ad AT e ai carichi BT e anche queste nella frenata di servizio prevedono il recupero dell'energia grazie ad una frenata elettrodinamica rigenerativa, a patto che si verifichino le condizioni precedentemente descritte, ma a differenza di quanto capita sulle 5000, il recupero avviene anche per tensioni maggiori di 600 V senza che si generino sovratensioni significative, dato che per queste motrici il flusso di corrente in uscita viene regolato tramite inverter. In questo modo quando la tensione ai capi della motrice raggiunge un livello critico (800 V) per cui non è più sufficiente la regolazione dell'inverter, il chopper di frenatura, anch'esso installato a valle del filtro d'ingresso, inserisce un reostato che serve a dissipare l'energia in eccesso, diminuendo così l'energia cinetica del tram.



*Figura 29 - Esempio di tram serie 6000*

### 3.4.1 Calcolo consumi singola motrice serie 6000

Come effettuato per le motrici delle altre serie, anche per le 6000 il Politecnico di Torino ha effettuato, precedentemente a questo lavoro di tesi, una prova su una motrice per conoscerne i consumi.[36]

#### Descrizione delle misure

Le misure sono state eseguite a bordo della motrice 6031. Non essendo possibile zavorrare la motrice senza procedere allo smontaggio di alcune parti, il carico a bordo della motrice è dato dal solo peso delle persone a bordo (circa 800 kg). Per eseguire la prova sono stati utilizzati, come per le motrici analizzate in precedenza: un registratore digitale Hioki modello MR 8880-20 di proprietà del Politecnico ed installato a bordo del veicolo; una pinza amperometrica Hioki modello 3285 di proprietà del Politecnico per la misura dell'assorbimento di corrente totale della motrice; una sonda differenziale Hioki 9322 di proprietà di GTT per la misura di tensione.

Anche in questo caso il tragitto percorso è stato registrato mediante GPS e la misurazione si è svolta sul percorso della linea 4 con punto di partenza e arrivo al deposito di corso Tortona. La lunghezza del tragitto percorso è di circa 36 km e il tempo di percorrenza è stato di circa 3 ore, facendo tutte le fermate previste per la linea 4 e aspettando fermi una ventina di minuti al capolinea di Falchera. Nell'effettuare la sosta al capolinea si è deciso di mantenere i riscaldatori della vettura accesi. Questo ne aumenta di molto il consumo orario, dato che sono presenti 8 condizionatori d'aria distribuiti su tutta la lunghezza del tram, mentre per le TPR 5000 e alcune motrici 2800 è presente la climatizzazione solo all'interno della cabina di guida mentre le restanti 2800 ne sono completamente sprovviste. Si è fatta questa scelta poiché da esperienze pregresse, visto il ristretto lasso di tempo di permanenza al capolinea, molti autisti optano per non spegnere il riscaldamento (in inverno) o il raffrescamento (in estate).

A partire dalle misure di tensione e corrente è possibile calcolare la potenza istantanea assorbita dalla motrice durante le diverse fasi della marcia; è poi possibile calcolare l'energia assorbita integrando la potenza istantanea assorbita nel tempo. Conoscendo il tempo di campionamento è possibile effettuare una integrazione numerica.

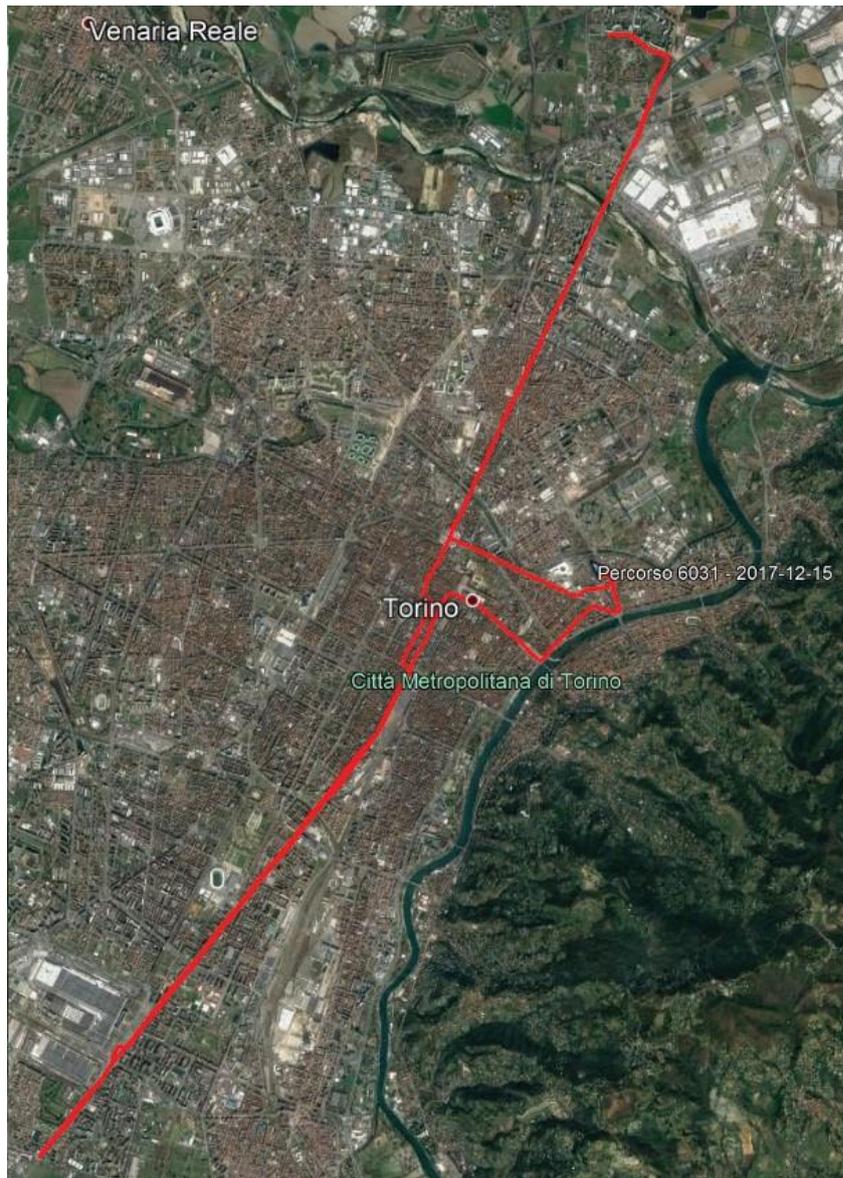


Figura 30 - Percorso su cui è stata effettuata la misura

Anche nel caso delle 6000 vengono analizzati, come nel caso delle precedenti motrici, l'assorbimento totale in marcia, il consumo chilometrico (ottenuto dividendo il consumo della vettura per i chilometri percorsi), l'assorbimento durante la sosta al capolinea e l'energia recuperata in frenata.

### Conclusioni

In conclusione, per l'intera durata della prova, si è ottenuto un consumo di energia totale pari a  $E_A = 192,7$  kWh ed una energia recuperata totale pari a  $E_R = 21,7$  kWh. Il consumo netto è quindi  $E_N = E_A - E_R = 171$  kWh.

Per una distanza percorsa di 36 km ciò corrisponde ad un consumo chilometrico di circa 4,74 kWh/km.

L'energia assorbita durante la sosta al capolinea (durata circa 18 minuti) è  $E_S = 7,2$  kWh. Questo corrisponde ad un consumo, quando il veicolo è in sosta, di circa 28,4 kWh/h.

In questo caso l'energia recuperata in fase di frenatura risulta essere circa l'11,26% dell'energia lorda assorbita.

Le 6000 possiedono un sistema di diagnostica proprio della motrice e confrontando i dati di consumo misurati dal sistema con i consumi netti misurati con la strumentazione installata appositamente sulla motrice, si può ipotizzare che il "Consumo Montante" rappresenti con buona approssimazione il consumo netto della motrice (è presente uno scostamento del +2,24% dei consumi misurati dal sistema a bordo della motrice e gli strumenti appositamente installati per la prova), mentre i dati di energia recuperata misurati dalla motrice non coincidono affatto con quelli misurati dalla strumentazione esterna.

### 3.5 Cremagliera Sassi-Superga

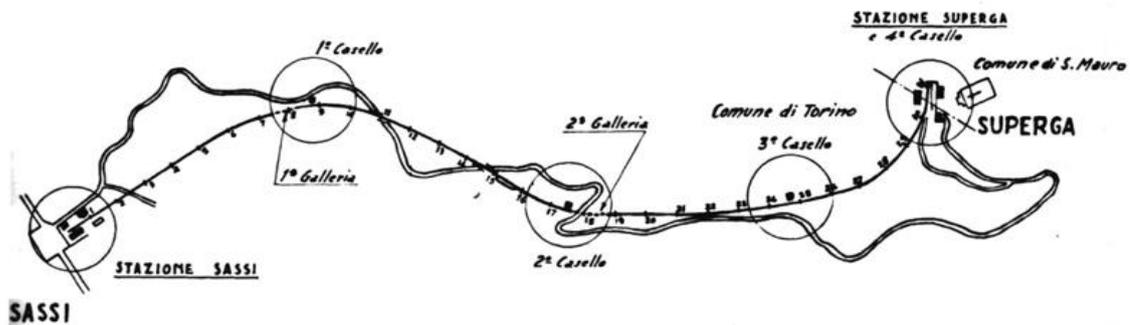


Figura 31 - Percorso Sassi – Superga

La cremagliera per Superga è una storica tranvia a dentiera che collega la borgata Sassi alla vetta della collina più alta di Torino, dove sorge la basilica di Superga.

La linea Sassi-Superga è lunga circa 3,1 Km, supera un dislivello di 425 metri con una pendenza media del 13,5% e punte massime del 21% nel tratto finale. E' una linea a binario unico, tranne per un breve tratto (circa 35 metri a metà del percorso) dove è presente un raddoppio per permettere l'incrocio a due convogli (uno in salita ed uno in discesa).

Il primo impianto è datato 1884 e prevedeva una funicolare mossa tramite un ingegnoso sistema di cavi d'acciaio che scorrevano, su pulegge poste lungo il percorso, parallelamente al binario. Fu sostituito nel 1934 da quello attuale, composto da un binario tradizionale affiancato da una terza rotaia per la presa di corrente e da una cremagliera centrale di tipo Strub, detta comunemente "dentiera", che permette la salita.

Le motrici che effettuano servizio su questa linea, sono una motrice a due assi (D1) e due motrici a quattro assi, o a carrelli (D2 e D3). Ad integrazione delle motrici vi sono quattro rimorciate (due estive e due invernali); queste vengono utilizzate nelle giornate in cui l'afflusso di gente è maggiore, come ad esempio la domenica pomeriggio e nelle principali festività.

Il ruolo della D1 è quello di riserva principalmente a causa di due fattori: da un lato le sue ridotte dimensioni e l'impossibilità di agganciare rimorciate ne limitano molto la

capacità, dall'altro il truck dal lunghissimo passo di 4 metri consuma notevolmente il binario.

Le D2-D3 sono quindi le motrici prevalentemente usate sulla linea Sassi-Superga, dato che permettono il traino di una rimorchiata, e consentono, in caso di affluenza eccezionale il traino fino a due rimorchiata contemporaneamente.

L'orientamento del tram è fisso, sebbene sia bidirezionale. Le motrici sono inoltre sprovviste di pantografo. Proprio a causa di questi due fattori le vetture richiedono la presenza di un locomotore di manovra per la movimentazione in deposito, che si trova alla partenza a Sassi. Questo locomotore è la motrice T450. Il locomotore è alimentato, tramite pantografo, dalla linea aerea presente in deposito a 600 Vdc.[34]

La motrice D1 è dotata di due motori DC con potenza nominale pari a 118 kW (2x59 kW) ad avviamento reostatico con inseritore per ridurre l'assorbimento di correnti transitorie in fase di partenza, mentre le motrici D2 e D3 sono dotate ognuna di quattro motori DC con potenza nominale pari a 236 kW (4x59 kW) anche queste con avviamento reostatico con inseritore. Proprio la maggior potenza installata permette a queste motrici di trainare fino a due rimorchiata, per un totale di 210 passeggeri in totale.

Sull'imperiale delle motrici si trovano i dissipatori di calore che entrano in funzione in fase di discesa per dissipare il calore generato dall'impianto frenante che non prevede una frenata rigenerativa.



Figura 32 - Cremagliera con rimorchiata a sinistra e a destra motrice T450

### 3.5.1 Calcolo consumi cremagliera

#### Descrizione delle misure

Le misure sono state eseguite a partire dalla mattina di giovedì 13 giugno 2019, fino alla sera di domenica 16 giugno 2019. Per l'esecuzione delle misure è stato utilizzato un registratore digitale Hioki modello MR 8880-20 di proprietà del Politecnico. Il registratore è stato impostato per registrare ogni 500 ms i valori di tensione e corrente. Per la misura dell'assorbimento di corrente totale del sito (che comprende sia la linea aerea presente nel piazzale di manovra sia la linea che alimenta la dentiera) è stata utilizzata una pinza amperometrica Hioki modello 3285, sempre di proprietà del

Politecnico, mentre per la misura di tensione è stata utilizzata una sonda differenziale pico Technology modello TA044 di proprietà del Politecnico.

Come mostrato in figura 33, la pinza amperometrica è stata installata sul cavo in ingresso al sito e proveniente dalla sottostazione elettrica Vanchiglia, dedicato esclusivamente all'alimentazione del sito Sassi-Superga ed è stata collegata al registratore tramite cavo con connettore BNC, mentre la sonda differenziale è stata installata sulla lama di connessione all'arrivo del cavo proveniente dalla sottostazione elettrica e anch'essa collegata al registratore tramite cavo con connettore BNC.

Il registratore Hioki, la sonda differenziale di tensione e le due pinze amperometriche sono stati collegati alla rete elettrica per garantire un'alimentazione continua.

Come nelle misurazioni precedenti, a partire dalle misure di tensione e corrente è possibile calcolare la potenza istantanea richiesta dal sito; è poi possibile calcolare l'energia assorbita applicando il metodo di integrazione dei trapezi.

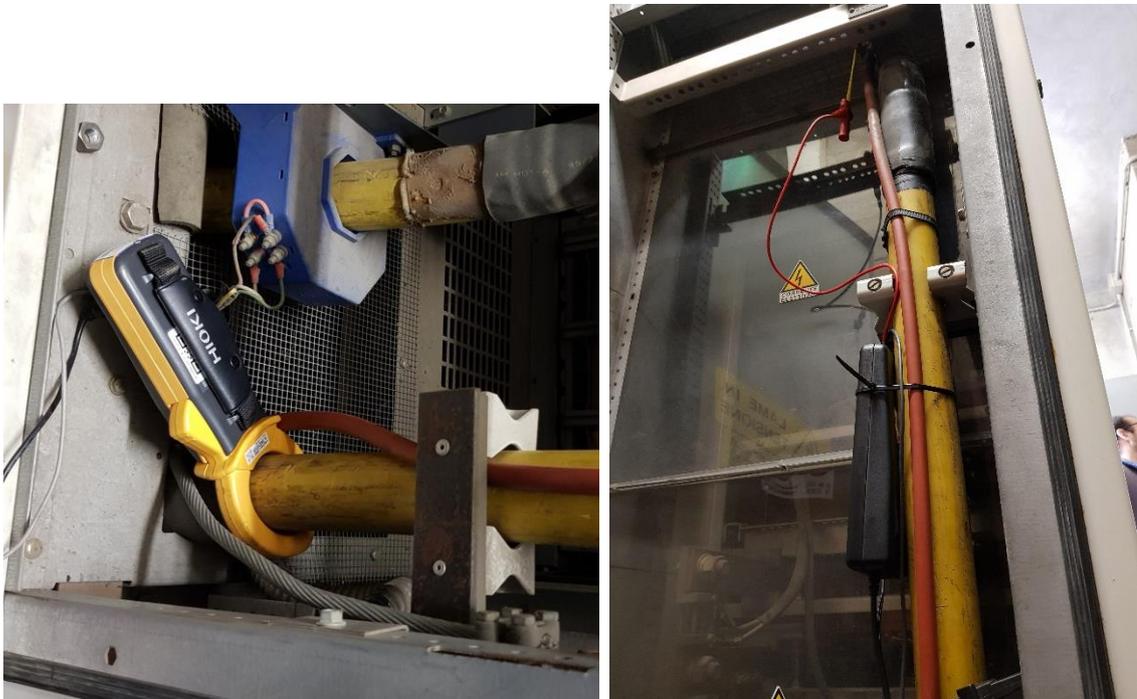


Figura 33 - Installazione pinza amperometrica e sonda di tensione su cavo in arrivo dalla sottostazione

### Risultati

Ogni giorno, a fine servizio della tranvia viene staccato l'interruttore generale del sito, per essere poi reinserito il mattino seguente, circa un'ora prima della prima corsa per permettere le operazioni di manovra. Per questo motivo in questa analisi si è scelto di considerare solamente gli orari in cui effettivamente il sito richiede energia elettrica.

Per evitare di non considerare qualche dato, visto che l'inserimento e il distacco dell'interruttore non avvengono secondo un orario preciso, si considera il lasso di tempo che va da un'ora e dieci minuti prima della prima partenza da Sassi a trenta minuti dopo l'arrivo in stazione a Sassi dell'ultima corsa della giornata.

Nella figura successiva è mostrata la potenza istantanea assorbita dal sito istante per istante per tutte le ore in cui è stato effettuato il monitoraggio. Da questo grafico si può notare la presenza di lunghi periodi in cui la potenza richiesta è nulla, dovuto al fatto che l'interruttore generale di sito è staccato e quindi l'assorbimento risulta nullo.

Si è inoltre deciso di considerare l'assorbimento del sito in base ai giorni in cui questo viene misurato, così da creare dei profili di consumo giornalieri sia per i giorni festivi sia per i giorni feriali.

Le energie giornaliere assorbite nei rispettivi orari considerati vengono riportate in tabella 1.

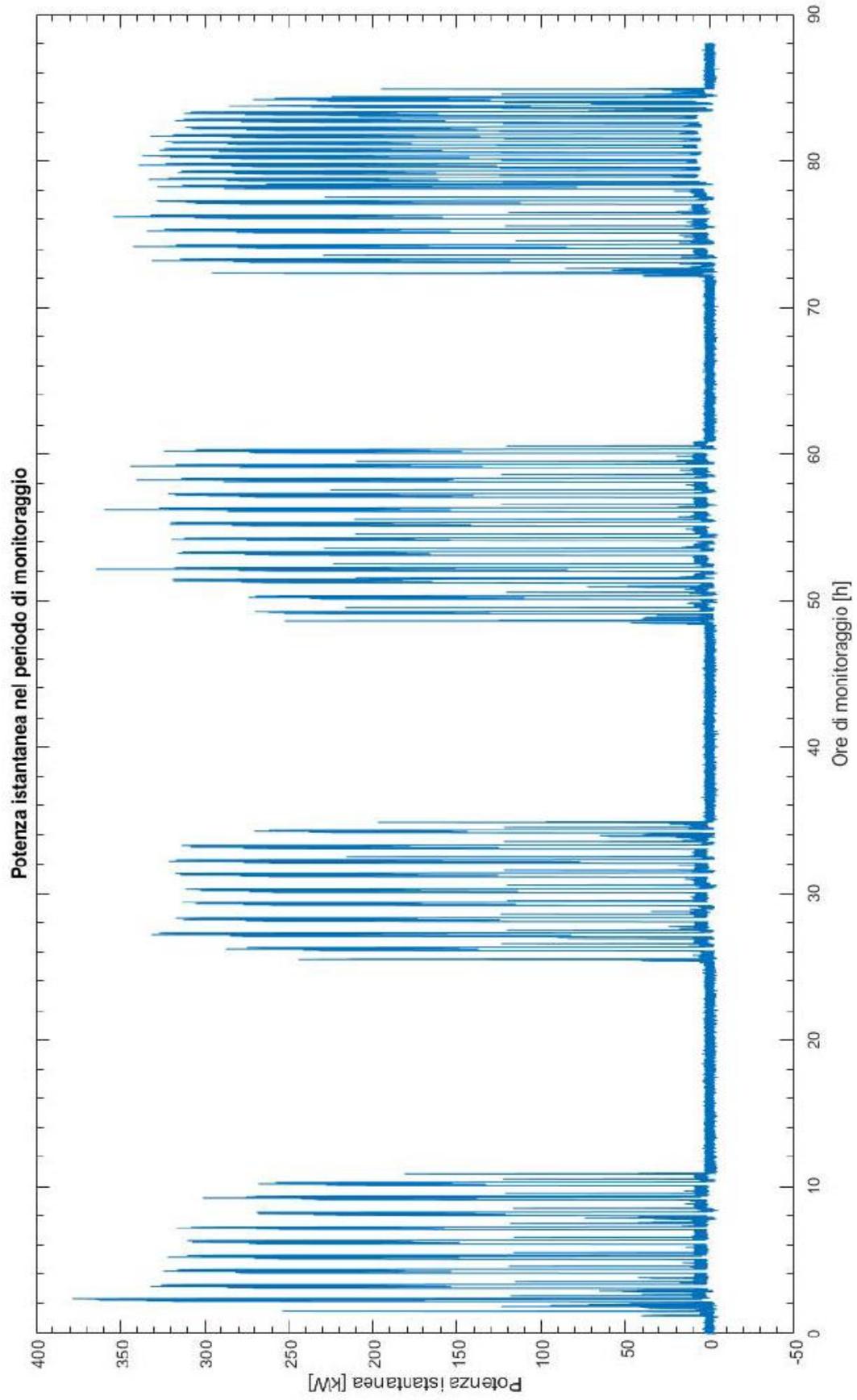


Figura 34 - Potenza istantanea richiesta per tutto il periodo di misura

	<b><i>Giovedì</i></b>	<b><i>Venerdì</i></b>	<b><i>Sabato</i></b>	<b><i>Domenica</i></b>
<b><i>Ora inizio misurazione</i></b>	8.50	8.50	7.50	7.50
<b><i>Ora fine misurazione</i></b>	19.15	19.15	21.15	21.15
<b><i>Corse effettuate</i></b>	9	9	12	18
<b><i>Energia giornaliera assorbita [kWh]</i></b>	593	573	764	1200

*Tabella 1 - Orari misurazione, corse effettuate ed energia assorbita per giorno*

Conoscendo quindi l'energia giornaliera assorbita ed il numero di corse effettuate, si può facilmente ricavare l'energia media assorbita per tratta (che comprende andata e ritorno), per i giorni infrasettimanali, per il sabato e per la domenica.

Come si può vedere nei successivi grafici, all'inizio delle misurazioni vi è un picco di assorbimento di breve durata, nonostante la cremagliera non sia ancora entrata in servizio. Questo è dovuto all'assorbimento della motrice di servizio T450 intenta a manovrare la motrice per posizionarla alla partenza della linea. Essendo che il cavo in ingresso al sito alimenta sia la linea aerea sia la motrice durante la salita, non è possibile separare i due consumi. I consumi medi risultanti tengono quindi anche conto di questo consumo.

$$\text{Consumo media per tratta} = \frac{\text{Energia giornaliera assorbita}}{\text{Numero di corse}} \quad [\text{kWh}]$$

	<b><i>Giovedì</i></b>	<b><i>Venerdì</i></b>	<b><i>Sabato</i></b>	<b><i>Domenica</i></b>
<b><i>Energia media assorbita a tratta [kWh]</i></b>	65,9	63,7	63,7	66,7

*Tabella 2 - Consumo medio a tratta*

Volendo avere dei dati più precisi sui consumi della singola tratta bisogna eseguire un'integrazione numerica della potenza istantanea e ricavare così l'energia per ogni singola tratta. Si fanno questi calcoli sfruttando un'integrazione con il metodo dei trapezi sfruttando il programma di calcolo MATLAB®. I risultati di questa integrazione vengono riportati nella tabella 3:

	<b>Giovedì</b>	<b>Venerdì</b>	<b>Sabato</b>	<b>Domenica</b>
<i>Energia tratta 1</i> [kWh]	86,24	51,65	48,50	64,23
<i>Energia tratta 2</i> [kWh]	67,89	67,91	48,92	65,97
<i>Energia tratta 3</i> [kWh]	67,29	64,99	65,51	67,78
<i>Energia tratta 4</i> [kWh]	64,10	63,12	64,48	72,15
<i>Energia tratta 5</i> [kWh]	62,63	62,21	61,86	67,90
<i>Energia tratta 6</i> [kWh]	63,07	64,31	62,06	66,21
<i>Energia tratta 7</i> [kWh]	49,48	62,88	64,97	67,32
<i>Energia tratta 8</i> [kWh]	53,95	63,80	67,87	67,02
<i>Energia tratta 9</i> [kWh]	48,33	49,72	66,02	67,57
<i>Energia tratta 10</i> [kWh]	-	-	64,08	70,12
<i>Energia tratta 11</i> [kWh]	-	-	64,19	67,99
<i>Energia tratta 12</i> [kWh]	-	-	61,77	69,36
<i>Energia tratta 13</i> [kWh]	-	-	-	66,84
<i>Energia tratta 14</i> [kWh]	-	-	-	65,07
<i>Energia tratta 15</i> [kWh]	-	-	-	62,43
<i>Energia tratta 16</i> [kWh]	-	-	-	64,02
<i>Energia tratta 17</i> [kWh]	-	-	-	50,14
<i>Energia tratta 18</i> [kWh]	-	-	-	50,55
<b><i>Energia media</i></b> <b>[kWh]</b>	62,55	61,18	61,69	65,15

Tabella 3 - Consumi medi cremagliera calcolati per ogni tratta

Si riporta in figura 35 l'andamento della potenza durante una corsa tipo, in cui l'energia assorbita risulta essere circa 65 kWh. Quella riportata in figura è la terza corsa della giornata di venerdì, con partenza da Sassi alle 12 (arrivo previsto a Superga alle

12.18) e ritorno con partenza da Superga alle 12.30 (arrivo a Sassi previsto per le 12.48). Come si può vedere da profilo di carico ottenuto dalle misurazioni, l'energia viene assorbita quasi totalmente nella fase di risalita, mentre nella fase di discesa, grazie alle pendenze importanti affrontate dalla motrice, si usa solamente la frenata di servizio di tipo elettrico e pneumatico, che dissipa l'energia cinetica della cremagliera senza assorbire energia elettrica.

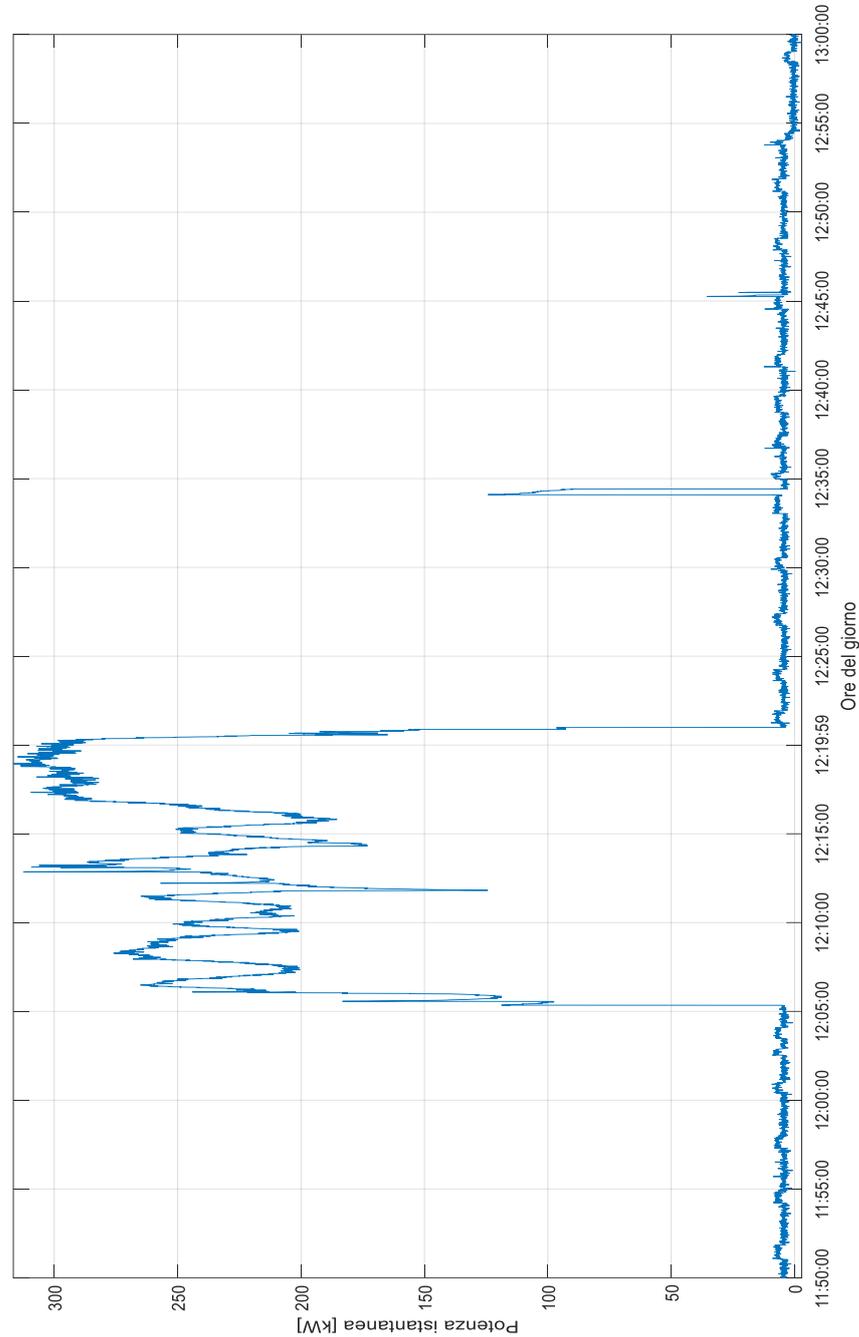


Figura 35 - Profili di carico di una corsa tipo

Si è comunque scelto, per i calcoli che verranno illustrati nel capito successivo, di considerare le medie a tratta comprensive dei consumi della motrice T450, per non perdere così una parte degli assorbimenti che altrimenti non verrebbe considerata.

Grazie ai resoconti GTT si sa che nei giorni del monitoraggio, hanno lavorato sulla linea:

- giorno 13/06 dalle 10:00 alle 11:00: D2 con D12-D13
- giorno 13/06 dalle 12:00 alle 16:00: D2 con D12
- giorno 14/06 dalle 10:00 alle 19:00: D2 con D14
- giorno 15/06 dalle 11:00 alle 19:00: D2 con D14
- giorno 16/06 dalle 09:00 alle 20:00: D2 con D14
- giorno 16/06 dalle 14:30 alle 19:30: D2 con D13 (raddoppio).

Come detto precedentemente, la sigla D2 indica la motrice, mentre le sigle D12, D13 e D14 indicano le rimorchiare della Sassi-Superga. L'unica differenza tra loro è che la D12 è coperta e la D13 e D14 sono scoperte pertanto varia la tara: la D12 ha una tara di 9400 kg mentre la D13 e D14 hanno una tara di 8800 kg.

Il giorno 13/06 dove è indicato D12-D13 vuol dire che hanno lavorato entrambe le rimorchiare per la corsa delle ore 10.00. Poi ha lavorato soltanto la D12.

Le rimorchiare sono sempre abbinate alle motrici D2 o D3.

Una prima considerazione da fare a fronte di questi risultati è che, diversamente da quanto si credeva, i consumi della linea sono perlopiù indipendenti dalla rimorchiata trainata, nonostante la massa vari considerevolmente a seconda delle rimorchiare utilizzate. Stesso discorso si può fare per la domenica pomeriggio, unico momento in cui è stato effettuato il raddoppio delle rimorchiare, vista la maggior affluenza dovuta sia al bel tempo di quella giornata sia alla festività (domenica): i consumi a tratta si mantengono su valori confrontabili e paragonabili con i consumi degli altri giorni.

Nelle figure successive vengono riportati i profili di carico ottenuti dalle misurazioni nei diversi giorni.

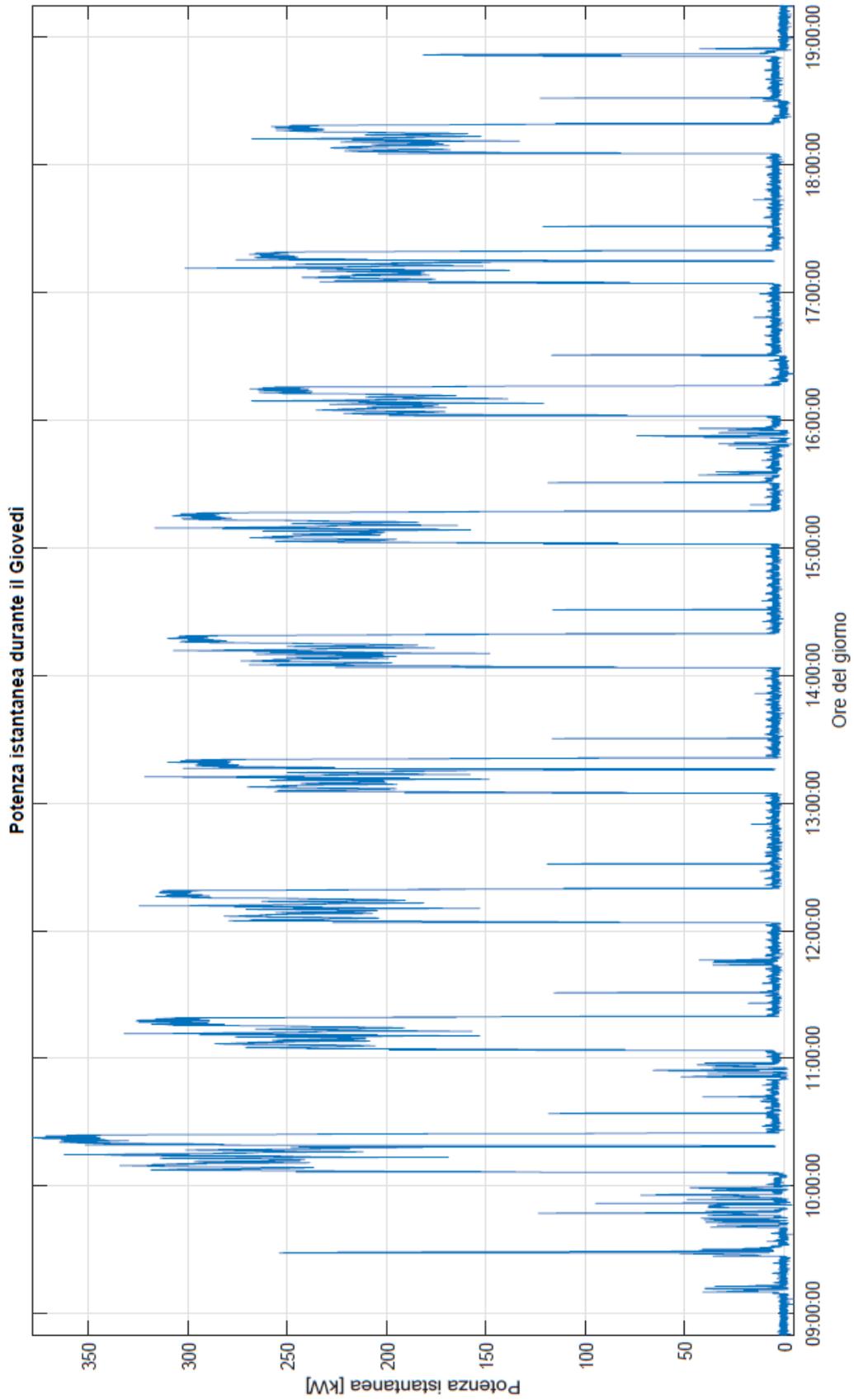


Figura 36 - Profilo di carico giovedì

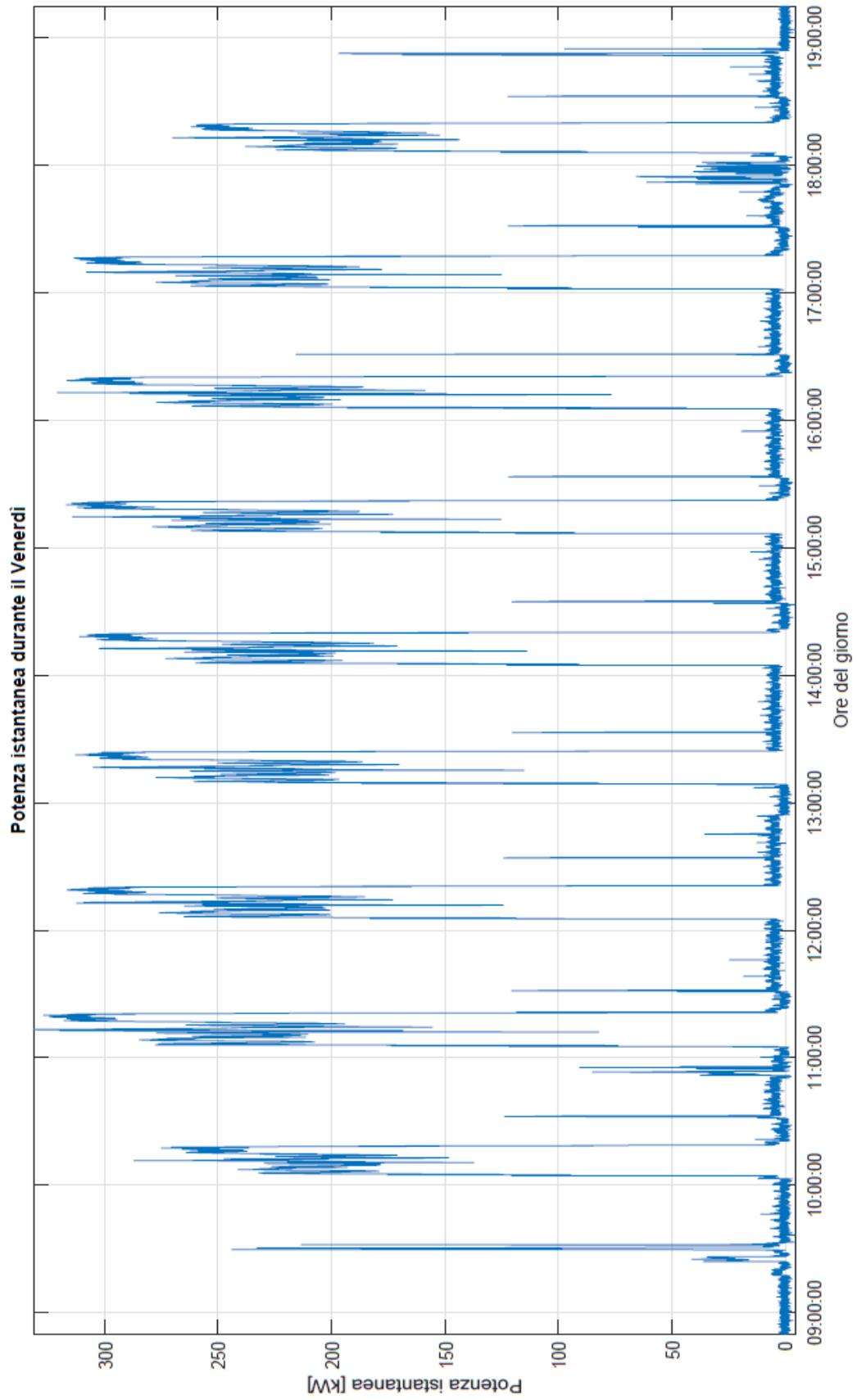


Figura 37 - Profilo di carico venerdì

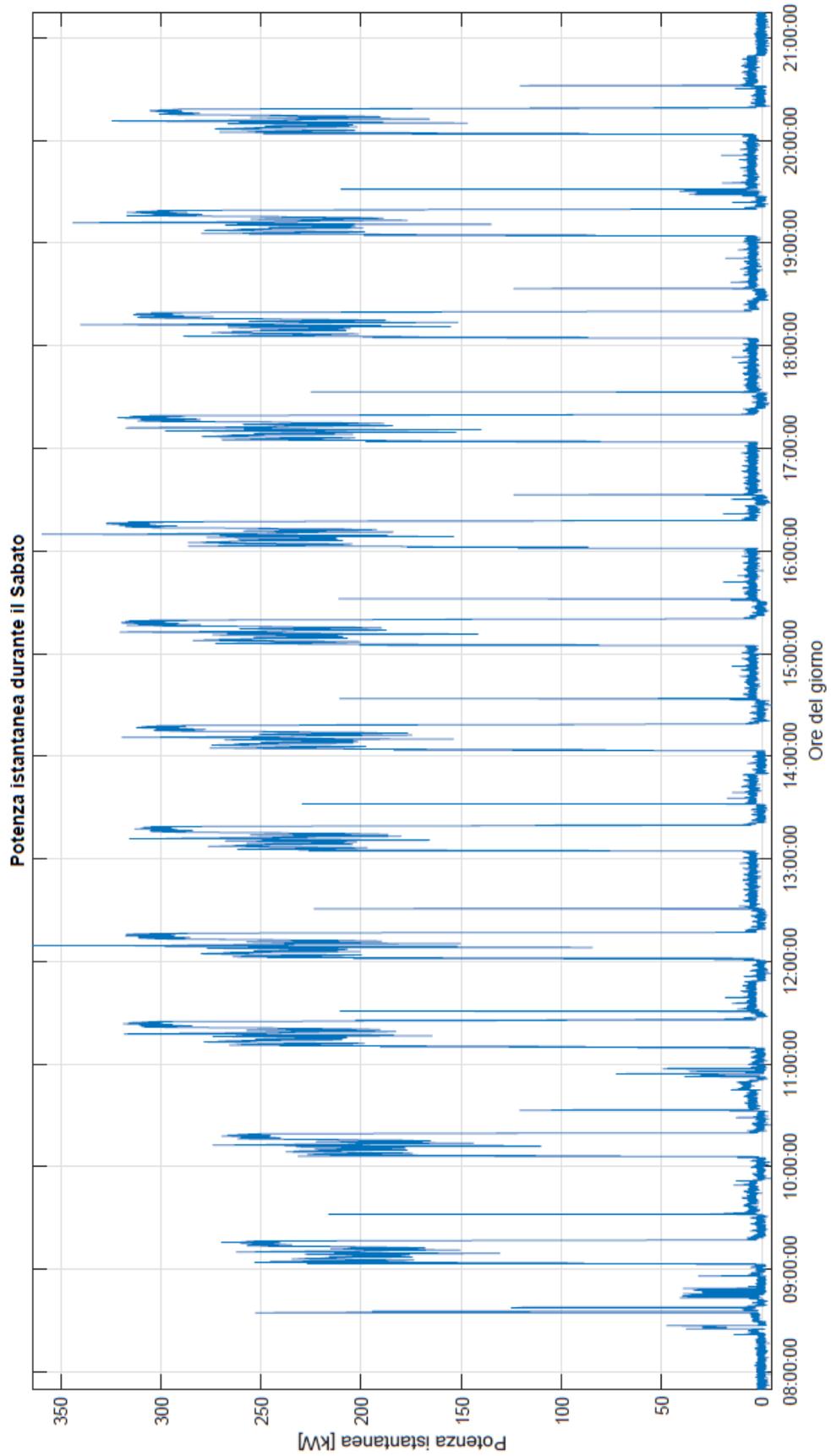


Figura 38 - Profilo di carico sabato

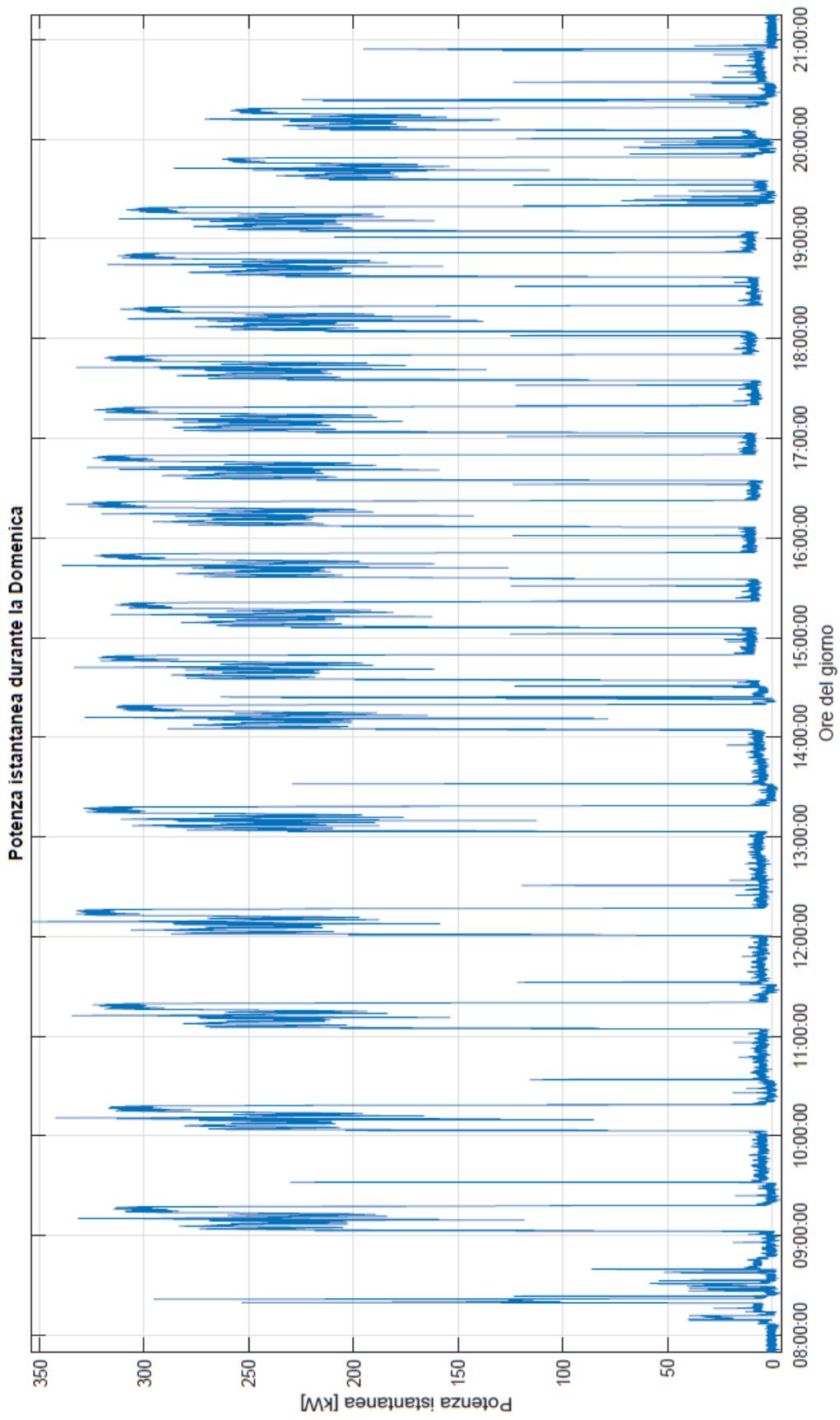


Figura 39 - Profilo di carico domenica

### 3.6 Deposito Venaria

Allo stato attuale sono attivi 9 depositi, di cui però solo 5 destinati ad autobus e tram e tra questi vi è anche il deposito di Sassi dove, sono ricoverate le motrici della tranvia a dentiera Sassi-Superga.

Ogni stabilimento è caratterizzato da un'attività specifica:

- Tortona e Nizza: officine di manutenzione bus (compresi i bus elettrici) e tram e deposito mezzi

- San Paolo: officine di manutenzione bus (compresi i bus elettrici) e tram e deposito mezzi e officina binari nonché opere civili (che si occupa della manutenzione e gestione degli stabili aziendale, comprese le corsie riservate e le pensili/fermate e della linea aerea tram)

- Venaria: officina di manutenzione bus e tram con un maggior numero di veicoli in dotazione rispetto al Tortona e deposito mezzi

- Gerbido: officina di manutenzione bus (compresi i bus elettrici) e deposito mezzi

- Comprensorio Metropolitana: officina manutenzione e rimessaggio treni VAL, centrale controllo linea automatica e stazioni.

Da questo elenco sono esclusi i depositi per i veicoli extraurbani, localizzati fuori dal territorio del comune di Torino.[34]

Nei periodi di stazionamento in ciascun deposito, soprattutto durante la notte, vengono effettuate sui tram diverse lavorazioni, nel seguito riportate:

Nel periodo marzo/settembre:

SABBIERA:

- Lunedì e martedì le motrici 2800 di Tortona e San Paolo vengono movimentate per il rifornimento sabbia;
- Martedì le motrici 2800 di Venaria e Nizza vengono movimentate per il rifornimento sabbia;
- Mercoledì tutte le 5000 nei depositi dove presenti;
- Le 6000 vengono rifornite solo al bisogno (hanno una spia collegata all'indicatore come il carburante) in media 4 o 5 a sera;

LAVAGGIO:

I lavaggi dovrebbero essere effettuati il giovedì e venerdì per tutti i veicoli, nella realtà:

- Tortona: il lavaggio si fa 1 volta a settimana tutti i veicoli tra giovedì e venerdì;
- Nizza: il lavaggio si fa 1 volta al mese il giovedì o il venerdì;
- Venaria: il lavaggio si fa 1 volta ogni 3 settimane il giovedì o il venerdì;
- S Paolo: il lavaggio si fa 2 volte al mese il giovedì o il venerdì.

Nel periodo settembre/febbraio (percorsi più km in servizio)

SABBIERA:

- Lunedì e martedì le motrici 2800 di Tortona e San Paolo vengono movimentate per il rifornimento sabbia;
- Martedì le motrici 2800 di Venaria e Nizza vengono movimentate per il rifornimento sabbia;

- Mercoledì tutte le 5000 nei depositi dove presenti;
- Giovedì e venerdì le motrici 2800 di Tortona e San Paolo vengono movimentate per il rifornimento sabbia;
- Venerdì le motrici 2800 di Venaria e Nizza vengono movimentate per il rifornimento sabbia;
- Le 6000 vengono rifornite solo al bisogno (dato che hanno una spia collegata ad un indicatore) in media 4/5 a sera.

#### LAVAGGIO:

I lavaggi vengono effettuati il giovedì e venerdì in concomitanza con il rifornimento sabbiera per le 2800. Il lavaggio in tutti i depositi determina la necessità di un doppio giro percorso dal tram rispetto alla sola sabbiera, solo al Tortona non viene fatto il doppio giro per via del posizionamento più comodo del lavaggio prima della sabbiera.

La frequenza è la stessa di cui al periodo precedente ossia i lavaggi dovrebbero essere effettuati il giovedì e venerdì per tutti i veicoli, nella realtà:

- Tortona: il lavaggio lo fanno 1 volta a settimana tutti i veicoli tra giovedì e venerdì;
- Nizza: il lavaggio lo fanno 1 volta a mese il giovedì o il venerdì;
- Venaria: il lavaggio lo fanno 1 volta ogni 3 settimane il giovedì o il venerdì;
- S Paolo: il lavaggio lo fanno 2 volta al mese il giovedì o il venerdì;



Figura 40 - Mappa depositi GTT

I depositi adibiti al rimessaggio o alla manutenzione dei tram, possiedono, oltre al collegamento elettrico destinato all'officina, al lavaggio o alle utenze degli uffici presenti in sito, anche una linea aerea dello stesso tipo della rete aerea presente sulle linee dei tram. Questa, esattamente come la rete delle diverse zone è alimentata da una sottostazione elettrica a 600 Vdc per permettere ai tram gli spostamenti in sito senza l'intervento di un carro manovratore.

Il deposito è elettricamente isolato dal resto della rete tranviaria e proprio per questo motivo si è scelto di effettuare un monitoraggio dei consumi, al fine di ottenere un profilo di carico del deposito Venaria, misurando la tensione e la corrente direttamente a valle del trasformatore della SSE, che per l'occasione è stata destinata alla sola alimentazione del deposito. Oltre alla possibilità di sopperire alla mancanza di energia elettrica dovuto allo stacco della SSE su una parte di linea da parte di un'altra sottostazione, si è scelto il deposito Venaria poiché è il deposito con la rimessa tranviaria più grande, in cui vi sono parcheggiate tutte e tre le serie di tram (2800, 5000, 6000).



Figura 41 - Parcheggio coperto Venaria lato tram[32]

### 3.6.1 Calcolo consumi deposito Venaria

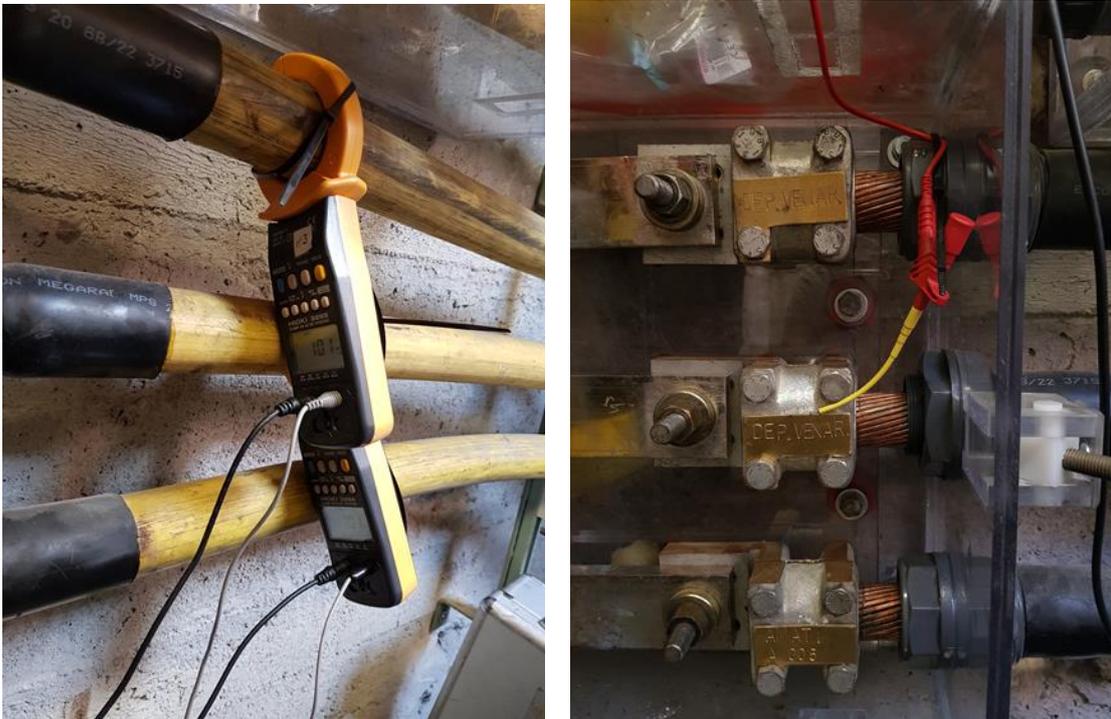
#### Descrizione delle misure

Le misure sono state eseguite a partire dalle 15:42 del 10 giugno 2019, per una durata complessiva di 96 ore (4 giorni). Per l'esecuzione delle misure è stato utilizzato un registratore digitale Hioki modello MR 8880-20 di proprietà del Politecnico, installato direttamente a valle della cabina di conversione che si trova in via Refrancore, 71. Il registratore è stato impostato per registrare ogni 500 ms i valori di tensione e corrente. Per la misura dell'assorbimento di corrente totale del sito sono state utilizzate due pinze amperometriche Hioki modello 3285, sempre di proprietà del Politecnico. Per questa misura sono state necessarie due pinze amperometriche in quanto il deposito è alimentato da due cavi collegati in parallelo alla sottostazione, come si può vedere in figura 42. Per la misura di tensione è stata utilizzata una sonda differenziale pico Technology modello TA044 di proprietà del Politecnico. In questo caso è sufficiente collegare un'unica sonda differenziale alla lama di collegamento di un cavo in quanto la tensione è la stessa per tutta la cabina.

Le due pinze amperometriche sono state installate sui cavi in uscita dal trasformatore della cabina di conversione, i quali alimentano esclusivamente il deposito di Venaria e sono state collegate al registratore tramite cavo con connettore BNC, mentre la sonda differenziale è stata installata sulla lama di connessione di un solo cavo in uscita al trasformatore e diretto al deposito (è sufficiente misurare la tensione su un cavo, dato che la tensione è uguale in tutta la maglia di rete servita dalla cabina di conversione) e anch'essa collegata al registratore tramite cavo con connettore BNC.

Il registratore Hioki, la sonda differenziale di tensione e le due pinze amperometriche sono stati collegati alla rete elettrica per avere un'alimentazione continua.

A partire dalle misure di tensione e corrente è possibile calcolare la potenza istantanea richiesta dal deposito; è poi possibile calcolare l'energia assorbita integrando la potenza istantanea assorbita nel tempo. Conoscendo il tempo di campionamento è possibile effettuare una integrazione numerica.



*Figura 42 - Pinze amperometriche installate sui cavi e sonda di tensione su lama di connessione*

### Risultati

Siccome le misure sono iniziate nel pomeriggio di giovedì 6 giugno e sono terminate alla stessa ora di lunedì 10 giugno, si è deciso di unire le misure delle due mezze giornate in modo tale da creare misure consecutive di un unico giorno, dalle 00.00 alle 23.59. È possibile fare questa assunzione dato che si tratta di due giorni feriali, in cui quindi la programmazione di uscita e rientro dei tram è uguale dato che si tratta di servizio infrasettimanale. Si ha così la disponibilità delle misure di quattro giorni consecutivi, che comprendono due giorni lavorativi, un sabato ed un giorno festivo.

Nella figura successiva è mostrata la potenza istantanea assorbita dal deposito istante per istante per tutte le 96 ore di monitoraggio.

Si è inoltre deciso di suddividere l'assorbimento del deposito in base ai giorni, così da creare dei profili di carico giornalieri sia per i giorni festivi sia per i giorni feriali. Si considera quindi l'intero arco della giornata che va dalle 00:00:00 alle 23.59:59 di ogni singolo giorno di cui sono disponibili le misure.

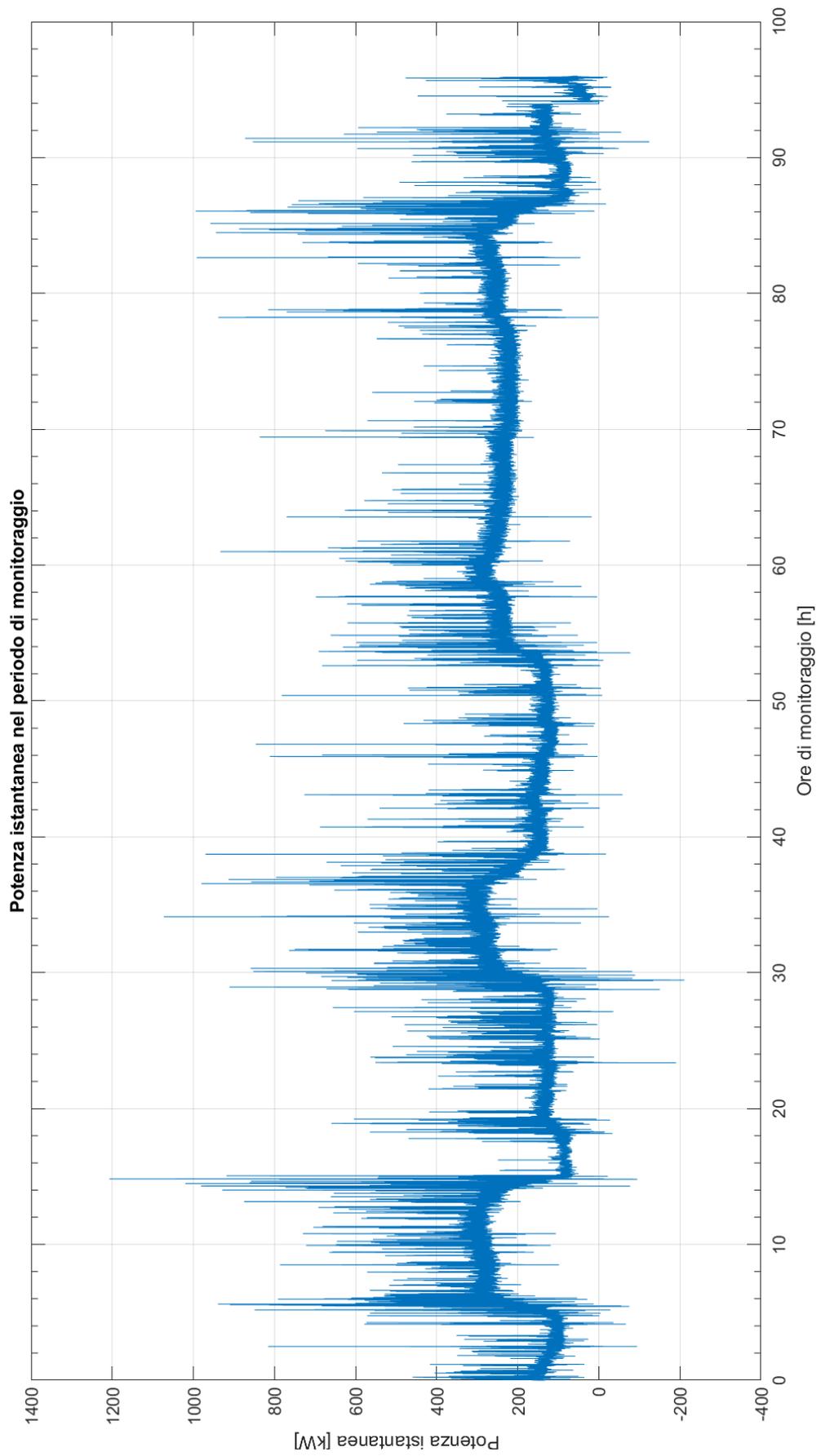


Figura 43 - Profilo di carico deposito Venaria durante la misura

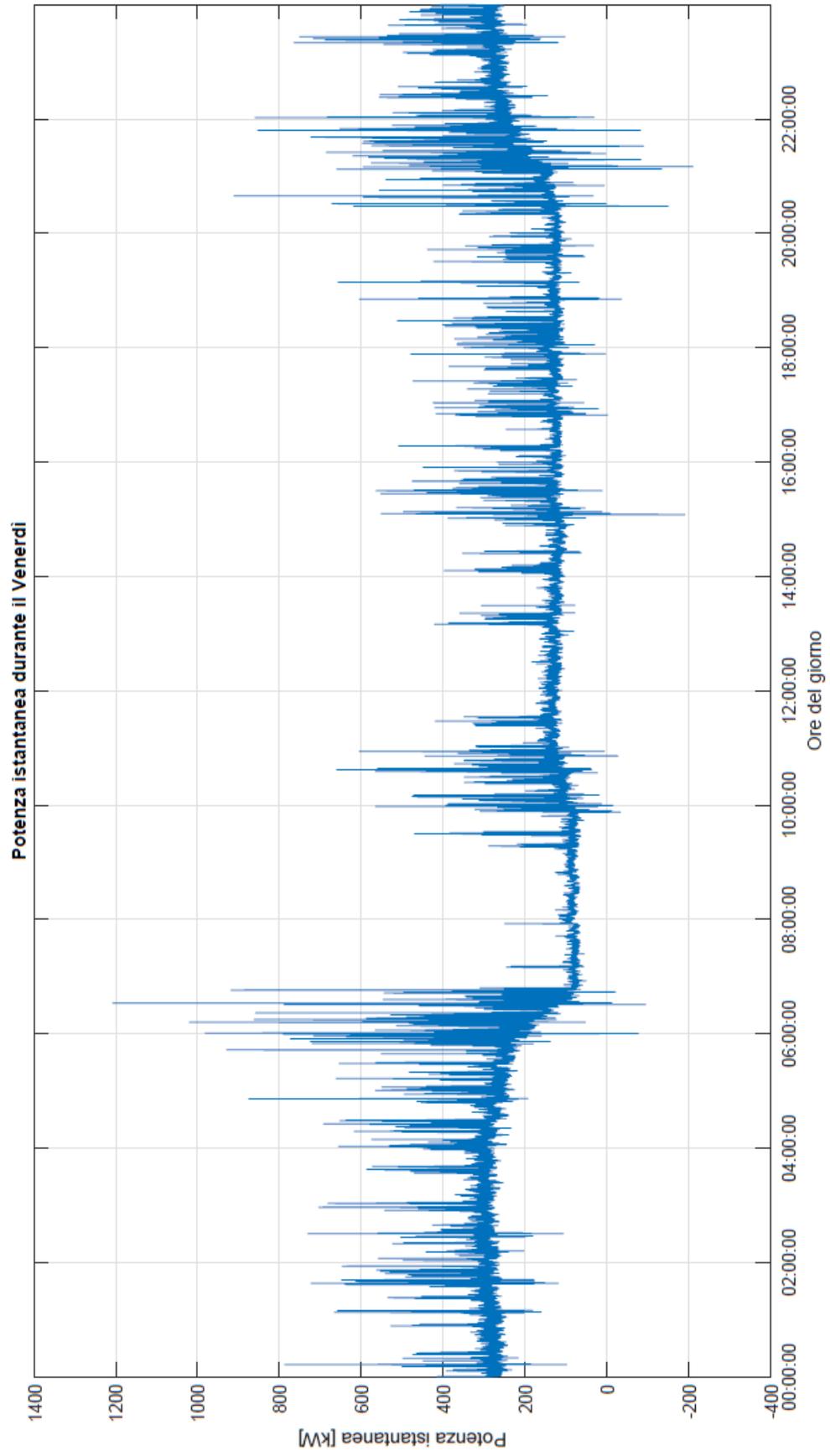


Figura 44 - Profilo di carico venerdì

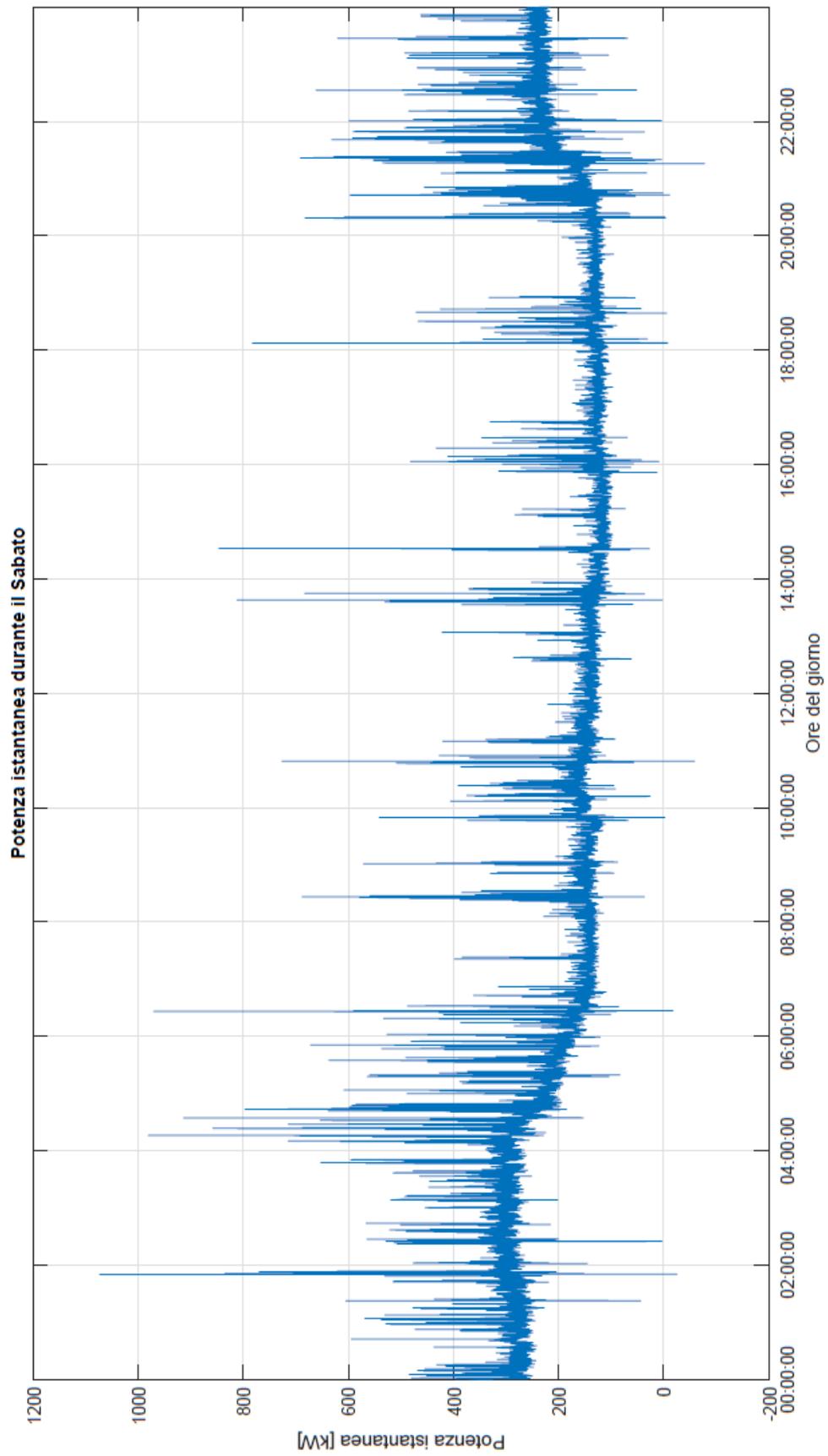


Figura 45 - Profilo di carico sabato

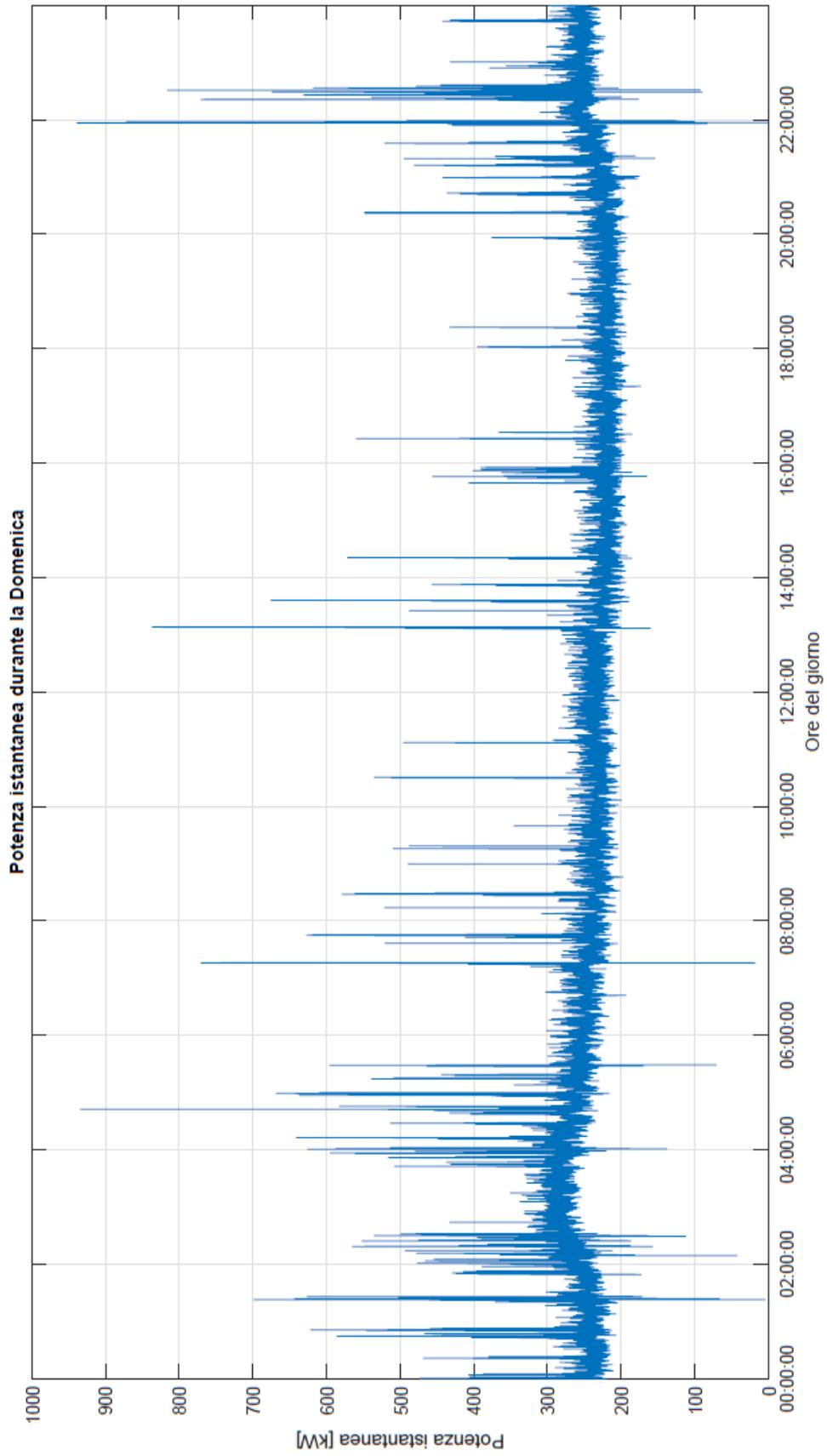


Figura 46 - Profilo di carico domenica

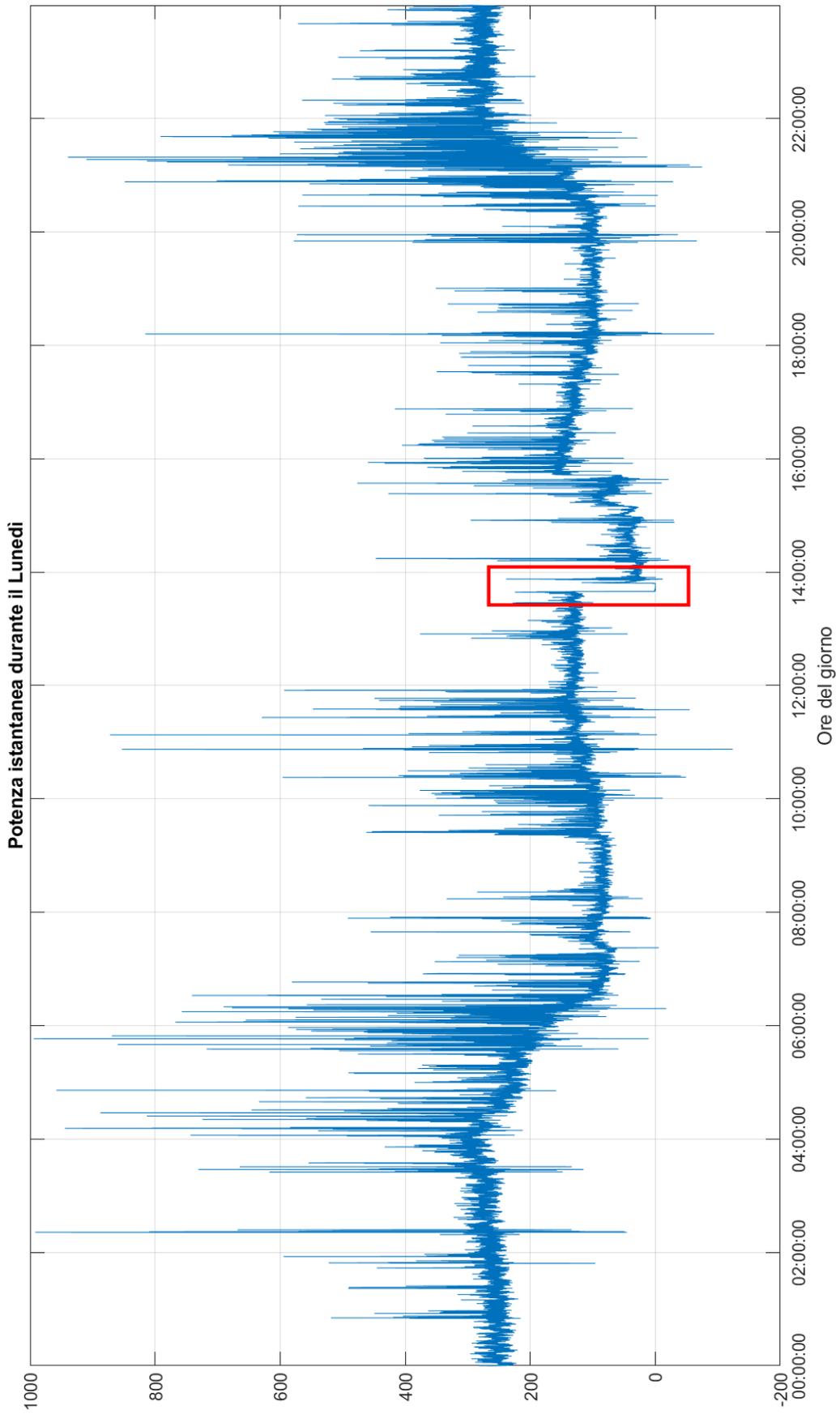


Figura 47 - Profilo di carico lunedì

L'energia assorbita durante i giorni risulta quindi:

	<i>Venerdì</i>	<i>Sabato</i>	<i>Domenica</i>	<i>Lunedì</i>
<i>Energia [kWh]</i>	4510	4532	5799	4118

Tabella 4 - Energia giornaliera assorbita dal deposito

Dai profili di carico si può notare come i consumi elettrici aumentino di molto durante la notte, arco di giornata in cui il deposito funziona a pieno regime, dato che non vi sono tram in circolazione sulla rete e tutti vengono momentaneamente stoccati nei depositi. Aumento che avviene però nonostante i tram siano parcheggiati ed apparentemente con consumi ridotti al minimo. Questo aumento si nota anche la domenica dato che i tram in servizio sono inferiori in numero e quelli non in servizio rimangono parcheggiati in deposito. Nonostante vengano effettuate diverse movimentazioni in deposito per le diverse lavorazioni, non giustificano però un tale aumento di potenza, che rimane a livelli elevati e costanti durante tutta la notte e durante il giorno festivo, in cui quindi non vengono effettuate lavorazioni, se non in casi eccezionali.

Nel periodo di monitoraggio, la sottostazione che alimenta il deposito è stata messa fuori servizio per alcuni minuti, per permettere dei lavori di manutenzione programmata nella giornata di lunedì. Lo si può notare dal grafico della potenza istantanea, in cui la potenza rimane costante e pari a 0 kW per un breve lasso di tempo. Dall'elaborazione dati si rileva che questo stacco è durato 8 minuti e 25 secondi a partire dalle 13:39:30, come si può notare in figura 47 (riquadro rosso). Risulta quindi interessante focalizzarsi sulla potenza assorbita dal deposito nel periodo precedente e in quello successivo allo stacco: da questo si evince che la potenza media impiegata nella mezz'ora precedente allo stacco è pari a 132 kW, mentre la potenza media impiegata nella mezz'ora dopo lo stacco è pari a 37 kW. La messa fuori servizio della sottostazione elettrica ha quindi comportato una riduzione di potenza assorbita del 72% circa. Questa riduzione è dovuta al fatto che le motrici della serie 6000 hanno, a valle del pantografo, un IR (interruttore extrarapido) di tipo non tradizionale, ovvero un contattore coordinato con fusibile AT che permette la protezione contro sovratensioni e cortocircuiti dell'intero convertitore della motrice. L'apertura e la chiusura del contattore sono comandate dal regolatore di trazione in parallelo con il comando di un relè differenziale, collegato direttamente sull'ingresso dell'alta tensione. In caso di perdita di isolamento dei carichi della motrice o dei motori il relè comanda l'apertura del contattore. Allo stesso modo, in mancanza di alimentazione dalla rete, il contattore si apre e il tram usa le proprie batterie di backup per mantenere attivi i soli carichi con alimentazione privilegiata, lasciando la motrice disconnessa dalla rete.

Nel momento della ripresa del servizio della sottostazione elettrica le uniche motrici effettivamente collegate alla rete erano dunque le motrici 2800 e 5000, le quali non possiedono questo tipo tecnologia per prevenire i cali di tensione.

### 3.7 Calcolo dei consumi annui rete tranviaria

Avendo a disposizione i dati di consumo dei diversi tram e del deposito Venaria, che come detto precedentemente ospita tutte e tre le famiglie di tram, è possibile ricostruire il consumo annuo della rete tranviaria, ricordando che per il solo servizio tram il consumo del 2018 è stato di circa 24945 MWh. Questo consumo è il consumo energetico totale, dato dalla somma delle misure dei diversi contatori fiscali.

#### 3.7.1 Consumo annuo motrici serie 2800, 5000 e 6000

Le percorrenze di ogni motrice vengono registrate automaticamente da un GPS di bordo e registrate sui server ad uso di GTT.

Nel 2018 i tram hanno percorso un totale chilometrico pari a 5154501 km così distribuiti:

	<i>Chilometri serie 2800 [km]</i>	<i>Chilometri serie 5000 [km]</i>	<i>Chilometri serie 6000 [km]</i>
<i>Gennaio</i>	140746	146830	150168
<i>Febbraio</i>	118333	151367	139446
<i>Marzo</i>	128449	156791	167768
<i>Aprile</i>	132147	165172	165875
<i>Maggio</i>	160088	165080	181135
<i>Giugno</i>	110928	152151	145939
<i>Luglio</i>	54583	134276	134193
<i>Agosto</i>	28642	114607	111611
<i>Settembre</i>	123514	145563	178406
<i>Ottobre</i>	161874	150446	198841
<i>Novembre</i>	147400	160397	182139
<i>Dicembre</i>	133300	148728	167568
<i>Totale</i>	1440004	1791408	1923089
<b>TOTALE</b>	5154501		

Tabella 5 - Percorrenze chilometriche per famiglia di tram 2018

Questi chilometri comprendono sia i chilometri effettuati durante il servizio, sia i chilometri di fuori servizio, ovvero quando la motrice percorre la tratta in direzione del capolinea ad inizio servizio o viceversa percorre la tratta verso il deposito a fine servizio. Nel conteggio totale, sono invece esclusi i chilometri che ogni tram percorre all'interno del deposito, poiché, oltre al fatto che il GPS non fornirebbe una misura corretta in un

ambiente chiuso, il rilevatore GPS viene staccato all'ingresso dei vari depositi. Nel consumo calcolato quindi, sono considerate esclusivamente le percorrenze dei tram, mentre i consumi che si hanno all'interno del deposito verranno stimati successivamente partendo proprio dalle misure effettuate sul deposito Venaria. Avendo le percorrenze chilometriche di ogni famiglia si può determinare l'incidenza di ogni famiglia sul totale annuo, come riportato in figura 48.

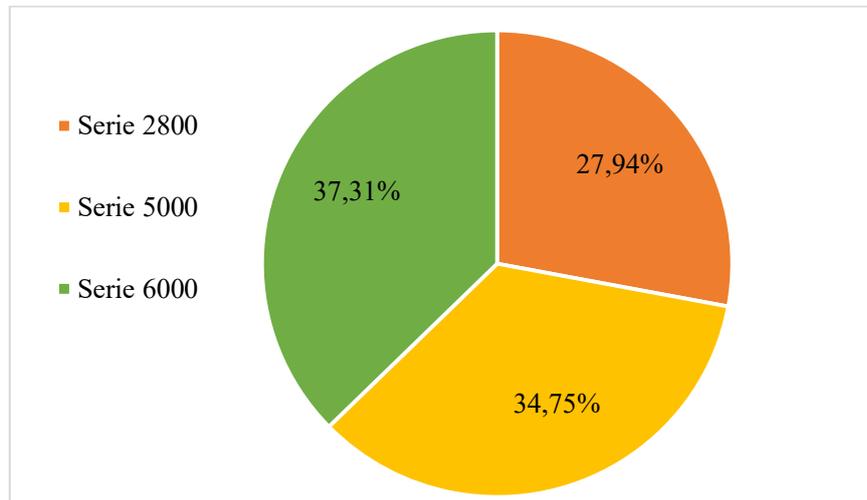


Figura 48 - Distribuzione chilometrica percentuale in base alla famiglia 2018

Grazie alle misurazioni precedentemente descritte e conoscendo le percorrenze di ogni famiglia di tram, è possibile calcolare l'assorbimento totale annuo per ciascuna famiglia.

$$\text{Consumo totale [kWh]} = \text{Consumo specifico [kWh/km]} * \text{Percorrenza [km]}$$

	<b>Consumo calcolato [kWh/km]</b>	<b>Distanza percorsa [km]</b>	<b>Consumo totale annuo [kWh]</b>
<b>Serie 2800</b>	2,95	1440004	4253772
<b>Serie 5000</b>	3,30	1791408	5911646
<b>Serie 6000</b>	4,74	1923089	9115442
<b>Consumo Totale [kWh]</b>	19280860		

Tabella 6 - Consumo annuale motrici tram in movimento

Circa il 77% dei consumi totali della rete tranviaria è dunque dovuto alla movimentazione delle motrici lungo la linea. Resta però da analizzare il restante 23%.

Il calcolo dei consumi chilometrici per la trazione tram, non tiene però conto delle soste delle motrici ai capilinea. Infatti ogni motrice durante il servizio staziona per alcuni minuti al capolinea, in attesa della ripartenza. Proprio per il fatto che questo tempo solitamente non è superiore ai 10-15 minuti, nelle misurazioni dei consumi sulle diverse

motrici si è deciso di mantenere attivi e funzionanti i diversi servizi ausiliari, dato che nella maggior parte dei casi l'autista opta per il non spegnimento delle diverse utenze. Al consumo derivante dalla trazione bisogna quindi aggiungere il consumo delle motrici in servizio, ma in sosta al capolinea.

Questo calcolo risulta affetto da molta imprecisione, in quanto non è presente un database contenente i tempi di sosta.

I calcoli vengono basati sulle stime effettuate dal reparto Programmazione di GTT riguardanti i tempi di guida e i tempi di sosta dei tram in circolazione su ogni linea di un giorno tipo. Da questo si ricava l'incidenza percentuale delle soste sul tempo di percorrenza:

<b>LINEA</b>	<b>Tempi GUIDA</b>	<b>Tempi SOSTA</b>	<b>incidenza %</b>
3	163:43:00	23:17:00	14,22%
4	387:40:00	41:07:00	10,61%
9	144:21:00	18:02:00	12,49%
10	174:28:00	29:14:00	16,76%
13	156:17:00	23:38:00	15,12%
15	241:47:00	28:17:00	11,70%
16-16D	205:37:00	38:44:00	18,84%
<b>Totale</b>	<b>1473:53:00</b>	<b>202:19:00</b>	<b>13,73%</b>

*Tabella 7 - Tempi di guida e sosta linee tranviarie*

Per i calcoli che seguono si considera l'incidenza delle soste costante durante l'intero anno e pari al 13,73%.

Si potrebbe considerare il tempo di guida giornaliero totale e moltiplicarlo per 365 giorni, ma da come si può vedere in tabella 5, le percorrenze nei mesi estivi, soprattutto luglio e agosto, siano di molto inferiori rispetto a quelle degli altri mesi, quindi i tempi di guida sarebbero molto sovrastimati. Inoltre i dati riportati in tabella 7 fanno riferimento ad un giorno lavorativo tipo invernale, ma sia nel periodo estivo, sia durante i sabati e nei festivi il numero di corse è ridotto, quindi i tempi di percorrenza si riducono drasticamente.

Si può quindi utilizzare la velocità commerciale dei tram torinesi, stimata dal PUMS (Piano Urbano Mobilità Sostenibile) Città di Torino del 31/12/12 a 14,8 km/h per calcolare il tempo totale di guida durante l'intero anno. Nonostante questo sia uno studio non più recente si può ancora considerare accettabile questa velocità, infatti da rilevazioni di 5T e GTT la velocità commerciale della linea 16 è di circa 13 km/h, quella della linea 15 è invece di circa 12 km/h, mentre quella della linea 4 di quasi 19 km/h (caso unico sull'intera linea tranviaria, dato che sulla linea 4 circolano solamente motrici 6000 e può contare di una sede tranviaria per lo più autonoma e protetta, che permette di aumentare notevolmente la velocità commerciale).

Il tempo totale di percorrenza risulta quindi:

$$\text{Tempo percorrenza totale [h]} = \frac{\text{Chilometri percorsi [km]}}{14,8 \text{ [km/h]}}$$

Conoscendo il tempo totale di percorrenza si ipotizza che mediamente il 13,73% di questo tempo lo si trascorre fermi al capolinea, e conoscendo quindi il consumo medio orario di ogni famiglia di motrici si può calcolare il consumo annuo dovuto alla sosta.

Si ottiene così:

	<i>Chilometri percorsi [km]</i>	<i>Ore stimate percorrenza [h]</i>	<i>Ore stimate sosta [h]</i>	<i>Consumo orario [kWh/h]</i>	<i>Consumo annuo in sosta [kWh]</i>
<b>Serie 2800</b>	1440004	97298	13356	1,54	20501
<b>Serie 5000</b>	1701408	121041	16615	1,58	26252
<b>Serie 6000</b>	1923089	129938	17836	28,4	506553
<b>Consumo totale [kWh]</b>	553306				

Tabella 8 - Consumi per famiglia di tram in sosta

In definitiva si ottiene un consumo totale per famiglia di tram dovuto al servizio pari a:

	<i>Consumo annuale [kWh]</i>
<b>Serie 2800</b>	4.274.273
<b>Serie 5000</b>	5.937.898
<b>Serie 6000</b>	9.621.994
<b>Totale</b>	19.834.166

Tabella 9 - Consumi motrici riferite al 2018 durante il servizio

Come visto in figura 48, avendo il consumo annuo di ogni famiglia di tram è possibile valutare l'incidenza dei consumi di ogni famiglia di vetture sul totale dei consumi elettrici dei tram. Confrontando i risultati ottenuti in figura 48 e in figura 49, si può notare che circa la metà dei consumi è dovuta alle motrici 6000, nonostante queste incidano solo per il 37% sulla percorrenza, confermando che queste siano le motrici maggiormente dispendiose a livello energetico. Questo maggiore consumo è dovuto al fatto che queste motrici, rispetto alle altre, dispongono di molti servizi ausiliari in più, per un maggior confort dei passeggeri.

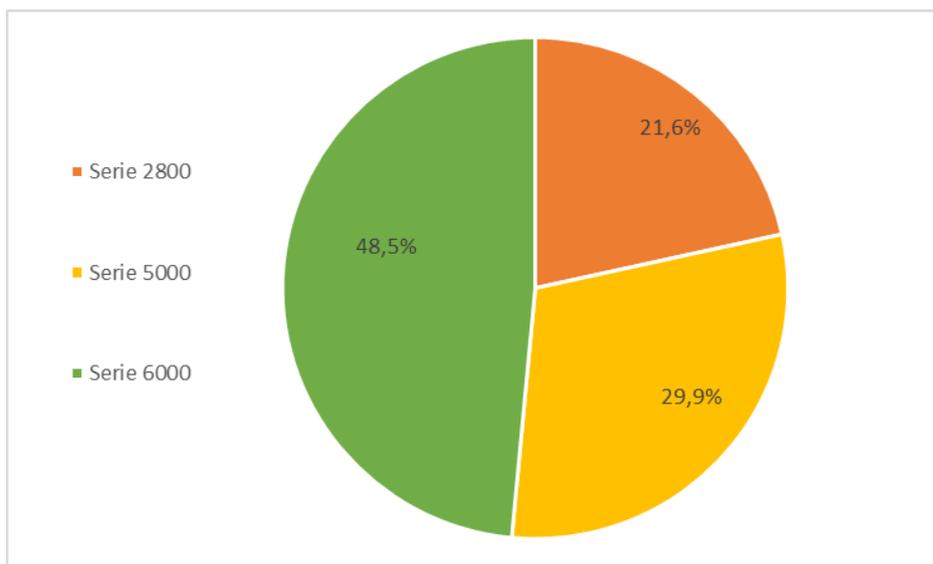


Figura 49 - Contributo di ogni famiglia al consumo totale

La movimentazione dei tram quindi partecipa in modo maggioritario al consumo totale della rete tranviaria, in quanto il loro consumo risulta essere il 79,5% dei consumi totali.

Bisogna ora analizzare il restante 20,5% dei consumi.

### 3.7.2 Consumo annuo cremagliera Sassi – Superga

Grazie alle misure effettuate, come precedentemente descritto, si conosce il consumo medio a tratta per i giorni feriali, sabato e festivi.

GTT nel 2018 ha registrato un totale di 2844 corse. In modo semplificato si potrebbe moltiplicare questo numero per la media dei consumi a tratta (65 kWh/tratta, come calcolato in precedenza) e si otterrebbe un consumo annuo pari a 184860 kWh.

Per un maggior dettaglio però, si può ricostruire il consumo annuo in base alle corse effettuate nei diversi giorni della settimana.

In base a quanto riportato da GTT per le corse della cremagliera abbiamo un orario invernale ed un orario estivo:

Orario invernale, in vigore dal 2 novembre 2018 (per il periodo che va dal 2 novembre 2017 al 31 marzo 2018 si fa riferimento all'orario invernale del 2017, che è però invariato rispetto a quello del 2018):

- giorni feriali (mercoledì escluso per chiusura impianto): 3 corse al giorno;
- periodo natalizio (dal 24 dicembre al 5 gennaio): 9 corse al giorno;
- sabato, domenica e festivi: 9 corse al giorno;
- 31 ottobre e 2 novembre: 11 corse al giorno.

Orario estivo tranvia Sassi-Superga, in vigore dal 1° aprile 2018;

- giorni feriali (mercoledì escluso per chiusura impianto, eccetto il 15 agosto 2018 e 25 dicembre 2018 che sono giorni festivi): 9 corse al giorno;
- sabato: 12 corse al giorno;
- domenica e festivi (compreso il 24 giugno): 18 corse al giorno.

È da sottolineare la chiusura infrasettimanale dal 5 a 20 novembre 2018 a causa di verifiche strutturali delle gallerie della linea e della sostituzione di alcuni tratti di binari.

Confrontando quindi dati con il calendario del 2018 otteniamo:

	<i>Numero di corse</i>	<i>Consumo medio a tratta [kWh/tratta]</i>	<i>Assorbimenti [kWh]</i>
<b><i>Giorno infrasettimanale</i></b>	1308	64,8	84759
<b><i>Sabato</i></b>	531	63,7	33825
<b><i>Festivi</i></b>	1005	66,7	67034
<b><i>Totale</i></b>	2844	-	185.618

*Tabella 10 - Consumi annui Sassi - Superga*

Il consumo annuo della cremagliera Sassi - Superga è dunque 185.618 kWh.

Nonostante le motrici datate e le pendenze importanti che devono essere affrontate nella tratta, questa incide solamente dello 0,75% sul consumo elettrico totale della rete tranviaria.

### 3.7.3 Consumo annuo Ristocolor, Gustotram e tram storico

Sicuramente poco rilevanti data la ridotta percorrenza, ma che meritano di essere analizzati sono il Ristocolor, Gustotram e il tram storico della linea 7 e i diversi tram storici a disponibili per il noleggio.

Il tram storico circola sulla linea 7 storica della rete tranviaria solamente il sabato e la domenica e nei giorni festivi: al sabato effettua 11 corse mentre la domenica e nelle altre giornate festive effettua 16 corse.

I tram circolanti sono risalenti ad un periodo compreso tra gli anni '30 e gli anni '50, ma per la messa in servizio sono stati completamente restaurati: oltre ad essere stati riportati all'estetica originale, sono anche stati aggiornati negli apparati tecnici, elettrici e meccanici per offrire la stessa sicurezza dei mezzi più moderni, mentre alcuni sono motrici serie 2800 nella colorazione originale verde. Proprio per gli aggiornamenti eseguiti i consumi delle motrici non appartenenti alla serie 2800 sono comunque riconducibili agli assorbimenti delle 2800.

Considerando le corse effettuate il sabato e la domenica, in tutto nel 2018 sono state eseguite 1483 corse, che per una distanza media del tragitto di 7 km porta ad una percorrenza annua di 10381 km.

A questi chilometri vanno aggiunti i chilometri effettuati dalle motrici disponibili per il noleggio, che con 84 corse hanno percorso 1327 km.

L'assorbimento totale dovuto alla percorrenza di queste motrici risulta quindi essere di 34585 kWh annui.

Il Ristocolor nasce invece dalla trasformazione del tram 2841, a seguito di un incidente che lo rese inutilizzabile. Gli interni sono stati completamente ridisegnati rispetto al compito asservito originariamente: sono stati installati tavoli con due o quattro

sedili, nuove luci e sono state ridipinte le pareti. Nella parte posteriore, dove è presente la quarta porta, si è creata una piccola cucina e si è predisposta la presenza di un bagno chimico. Il tram è stato inoltre dotato di riscaldamento per tutto il tram e raffrescamento per la sola cucina.[34]

Visto il successo del Ristocolor, nel 2011 GTT inaugura il nuovo Gustotram, progettato e costruito in moto analogo al Ristocolor, se non per i diversi colori del veicolo. Per il Gusto tram viene usata come base la motrice 2823, anch'essa allestita come un ristorante, con tavoli, posti a sedere, cucina ed un bagno chimico.

Nascendo da una motrice della serie 2800 i consumi in percorrenza di questi tram speciali risultano essere uguali a quelli misurati in precedenza, quindi per un totale di 6260 km il loro consumo annuo dovuto alla trazione risulta essere pari a 18492 kWh.

Il consumo di questi due tram però, è dato però anche dagli accessori che servono al servizio di ristorazione. Nonostante il tram sia dotato di cucina, questa non consente la preparazione dei pasti a bordo della vettura, ma il catering che gestisce il servizio, la usa solamente per riscaldare i piatti da servire durante la cena.

Gli accessori installati a bordo tram con le rispettive potenze di targa sono:

- 11 lampadine a incandescenza da 40 W;
- 4 faretti alogeni da 50 W;
- Cappa aspirante da 275 W;
- Forno elettrico da 2050W;
- Forno microonde da 1100 W;
- Frigorifero da 100 a 300 W;
- Congelatore da 100 a 300 W;
- Boiler per acqua calda sanitaria da 1200 W;
- Asciugamani elettrico da 1950W;
- Pompa elettrica del WC elettrico 25-30 W;
- Climatizzatore 1600 W;

Il servizio viene offerto dal mercoledì alla domenica secondo la seguente distribuzione:

- Mercoledì (in base ai mesi tutti i mercoledì del mese oppure a settimane alterne): un solo tram-ristorante in circolazione su due turni;
- Giovedì: solitamente un tram-ristorante disponibile su due turni;
- Venerdì e sabato: due tram-ristorante in circolazione su due turni;
- Domenica: servizio ristorazione disponibile mediamente solo due domeniche al mese, con un tram-ristorante disponibile per un turno.

In totale nel 2018 ci sono stati 95 giorni con due mezzi operativi e 87 giorni con un solo risto-tram in circolazione.

Se il consumo in percorrenza è già stato calcolato, ora bisogna stimare il contributo di tutti gli accessori installati a bordo.

Di tutti gli strumenti installati sul tram gli unici a rimanere attivi 24 ore su 24 sono il frigo e il congelatore presenti in cucina, dato che continui stacchi ne provocherebbero una rapida usura.

Nei giorni invernali di utilizzo i tram iniziano la preparazione per l'uscita serale intorno alle 15.30, quando un addetto accende il riscaldamento del tram, mentre nei mesi più caldi questa fase ovviamente non è presente. Questo rimane acceso fino all'arrivo del catering

intorno alle 19.00. Tra le 19.30 e le 20 il tram è pronto ad uscire per il primo servizio. Una volta terminata sosta in Piazza Castello per essere nuovamente preparato per il secondo turno.

Buona parte dei consumi del Ristocolor e Gusto tram sono dati dal riscaldamento, dal frigo, dal congelatore e dalle luci, mentre si possono trascurare il consumo della pompa elettrica del WC chimico data la potenza irrisoria e il consumo del condizionatore della cucina, dato che questo viene acceso solo all'occorrenza dal personale del catering. Per il riscaldamento possiamo considerare un assorbimento alla potenza nominale di 1600 W per un periodo di 6 ore, acceso nel periodo di accensione del riscaldamento (che per Torino va da 15 ottobre al 15 marzo), si traduce in un assorbimento annuo pari a 1162 kWh.

Il frigorifero e il congelatore, nonostante siano collegati all'alimentazione elettrica 24 ore su 24, non hanno un funzionamento continuativo, ma si accendono per raffreddare solo in caso di necessità. È molto difficile quindi stimare il reale consumo di questi elettrodomestici senza conoscerne il profilo di carico. Si fa dunque riferimento ai consumi standard di frigo e congelatori di quel tipo che stimano un assorbimento elettrico anno pari a 350 kWh per il frigorifero e 400 kWh per il congelatore.

Per le luci si può ipotizzare un utilizzo medio di 4,5 ore ad uscita (dalle 19 alle 23.30), per un consumo annuo pari a 800 kWh.

I consumi derivati dall'asciugamani elettrico sono anch'essi trascurabili in quanto, nonostante l'elevata potenza richiesta, questo funziona per un tempo molto ridotto.

Per il boiler dell'acqua calda sanitaria, possiamo invece ipotizzare un tempo di funzionamento pari a 1,5 ore per ogni uscita, il che porta ad un consumo annuo pari a 500 kWh.

Anche i consumi della cappa aspirante e del forno microonde non vengono considerati nel calcolo del consumo totale dei due tram speciali, in quanto il loro funzionamento è molto variabile e a discrezione del catering, il che rende molto difficile un'ipotesi di tempo di funzionamento. Differente situazione di ha per il forno elettrico presente nella cucina, in quanto il catering non cucina direttamente a bordo del tram, ma principalmente riscalda ed impiatta i piatti precedentemente preparati. Si può dunque ipotizzare un funzionamento del forno pari a 2 ore per ogni uscita dei tram, che per tutte le uscite effettuate nel 2018 porta ad avere un consumo annuo di 1135 kWh.

Considerando dunque i consumi derivanti dagli accessori necessari alla ristorazione installati a bordo del tram e il consumo chilometrico della motrice, si ottiene un consumo annuo del Gustotram e Ristocolor pari a 22836 kWh.

Il totale dei consumi dei tram speciali, ovvero dei due tram ristorante e dei tram storici rappresenta circa lo 0,2% dei consumi totali.

#### 3.7.4 Consumo annuo deposito Venaria

Come visto in precedenza, anche per il deposito Venaria si sono misurati i consumi dedicati all'alimentazione tranviaria derivanti dalla linea aerea a 600 Vcc per un giorno infrasettimanale, un sabato e una domenica.

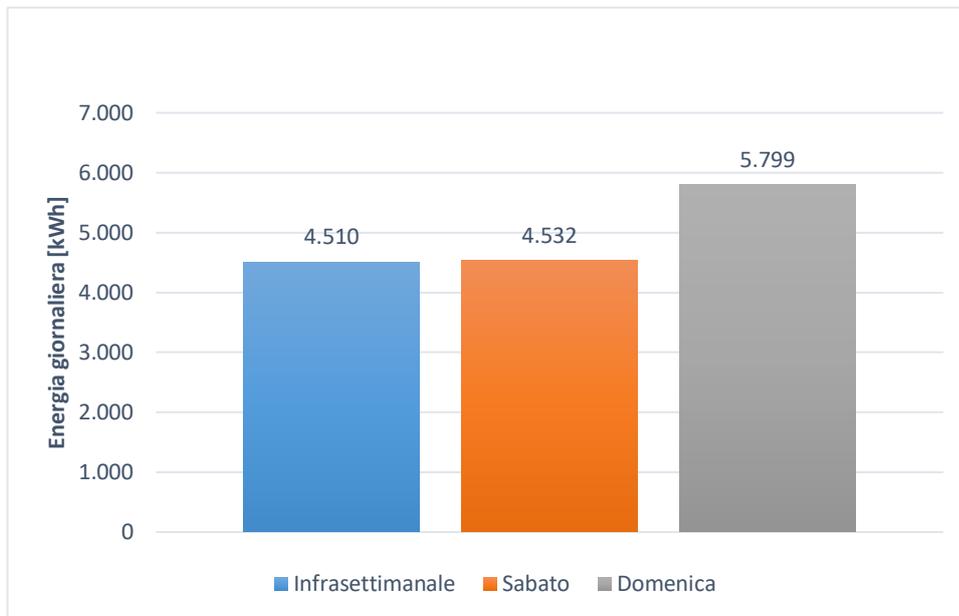


Figura 50 - Consumi giornalieri deposito Venaria

Avendo a disposizione le misure presentate in figura 50 (per il consumo dei giorni infrasettimanali consideriamo solo il consumo del venerdì dato che il lunedì i dati sono falsati da uno stacco dell'alimentazione che riduce quindi i consumi, ma le misure del lunedì verranno utilizzate più avanti) si può ipotizzare che durante l'anno i consumi non varino nei corrispettivi giorni. Contando quindi i giorni lavorativi, i sabati e i festivi del 2018 otteniamo il consumo totale del deposito.

Va sottolineato inoltre che le misure sono state fatte in periodo scolastico, quando cioè il servizio di trasporto pubblico funziona a pieno regime, dato che la flotta tranviaria durante il giorno non si trova in deposito come invece accade durante l'estate, periodo in cui il servizio viene ridotto riducendo le corse dei tram e aumentando dunque l'attesa tra un passaggio e l'altro, facendo così aumentare il numero di tram presenti in deposito e aumentando quindi la potenza necessaria ad alimentare il compressorio. La stima eseguita dovrebbe quindi essere abbastanza fedele ai consumi reali.

Contando da calendario nel 2018 ci sono stati:

- 252 giorni infrasettimanali;
- 49 sabati;
- 64 giorni festivi.

Alla luce di ciò si può facilmente arrivare al consumo totale del deposito moltiplicando i consumi misurati per gli effettivi giorni presenti nel 2018:

	<i>Consumi per l'anno 2018 [kWh]</i>
<b><i>Infrasettimanale</i></b>	1136543
<b><i>Sabato</i></b>	222068
<b><i>Festivi</i></b>	371159
<b><i>Totale</i></b>	1.729.770

Tabella 11 - Consumi anno 2018 deposito Venaria

Il solo consumo del deposito Venaria è quindi responsabile del circa 7% dei consumi totali della rete tranviaria.

### 3.7.5 Consumo annuo altri depositi

Oltre il Venaria, sono presenti anche altri depositi di dimensioni inferiori che ospitano motrici tranviarie. Questi sono il comprensorio Tortona, deposito San Paolo e il deposito Nizza.

Risulta però difficile stimare la ripartizione dei consumi per ciascun deposito, considerato che ciascun sito ospita motrici differenti in quantità differenti come si può notare nella tabella 12:

	<i>Serie 2800</i>	<i>Serie 5000</i>	<i>Serie 6000</i>	<i>Tram storici</i>
<i>Deposito Venaria</i>	19	19	41	\
<i>Deposito Nizza</i>	3	10	8	\
<i>Deposito Tortona</i>	23	10	\	8
<i>Deposito San Paolo</i>	28	10	\	\

*Tabella 12 - Dotazione motrici per deposito*

Non è quindi possibile estendere le misure fatte per il Venaria e applicando lo stesso diagramma di carico anche agli altri depositi.

Nel corso del rilevamento strumentale dei consumi fatto a Venaria sono però stati eseguiti dei sopralluoghi in sito per osservare il numero di motrici effettivamente presenti durante l'arco della giornata, contando quelle con il pantografo alzato e connesso alla linea aerea. Le osservazioni di questi sopralluoghi vengono riportati nella tabella 13.

	<i>Ora</i>	<i>2800 presenti</i>	<i>5000 presenti</i>	<i>6000 presenti</i>
<i>Venerdì</i>	8:50	1	4	14
<i>Venerdì</i>	10.50	13	8	19
<i>Venerdì</i>	17.00	15	15	26

*Tabella 13 - Motrici presenti in deposito durante i sopralluoghi*

Grazie a questi sopralluoghi è stato possibile rilevare il numero di motrici presenti il lunedì intorno alle 13.15. Questo è stato di grande aiuto poiché nello stesso giorno, alle 13.39 la sottostazione monitorata è stata messa fuori servizio per circa 7 minuti poiché erano previsti dei lavori di manutenzione sui trasformatori presenti nella SSE, interrompendo l'alimentazione al deposito portando la potenza assorbita a 0 kW.

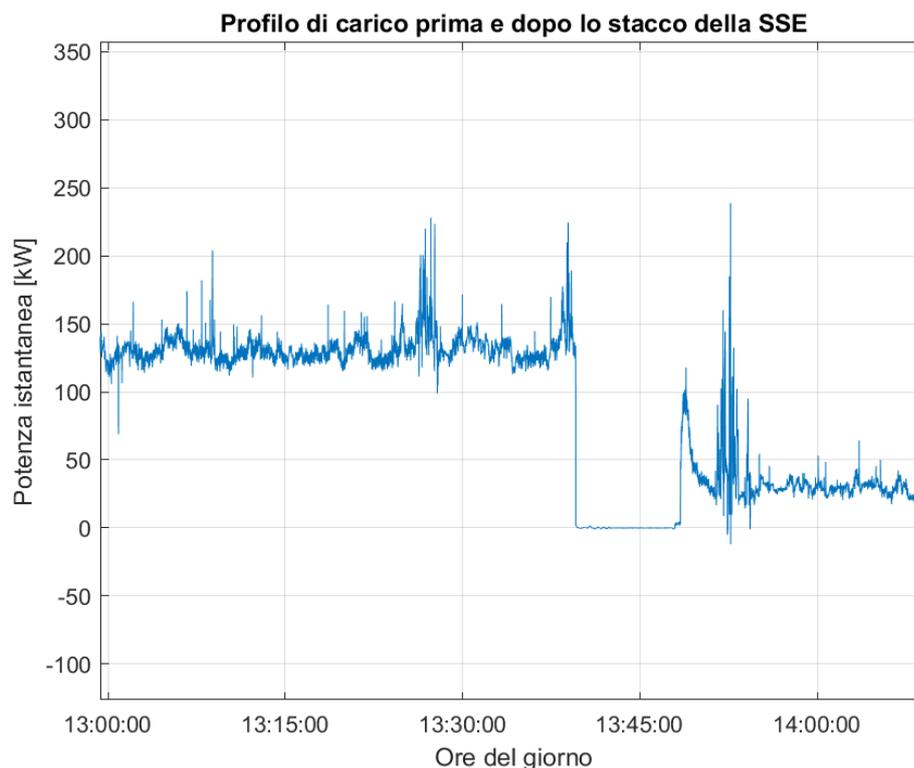


Figura 51 - Potenza istantanea richiesta dal deposito Venaria prima e dopo lo stacco della SSE

Come si può vedere dal diagramma di carico registrato dagli strumenti che stavano monitorando i consumi riportato in figura 51, prima dello stacco la potenza media assorbita era circa 130 kW, mentre nei minuti successivi al riaggancio della linea (dopo una prima fase transitoria con picchi di assorbimento anche elevati, dovuti al riaggancio degli ausiliari elettrici dei tram con pantografo alzato e quindi non considerata nel calcolo della potenza media richiesta) la potenza media risulta essere solamente 30 kW, con una riduzione del 77,8%. La riduzione dei consumi è dovuta alla presenza nel deposito delle motrici serie 6000: queste hanno, a valle del pantografo, un interruttore extrarapido (interruttore IR), che serve a proteggere l'intero convertitore di tensione da eventuali sovratensioni. L'interruttore però, si apre anche in caso di tensione al di sotto di una certa soglia, in modo tale da preservare il convertitore e gli ausiliari elettrici della motrice dai cali di tensione o da micro interruzioni.

Percependo quindi l'assenza di tensione gli IR delle 6000 si sono aperti lasciando di fatto sconnesse dalla rete le motrici nel momento in cui la cabina è stata riarmata. Al ripristino del normale servizio quindi le uniche motrici rimaste connesse alla rete erano le 2800 e le 5000 presenti.

Al momento dello stacco nel deposito Venaria erano presenti, con pantografo alzato e connesso alla rete: 7 motrici 2800, 13 motrici 5000 e 18 motrici 6000.

Conoscendo quindi la potenza media successiva allo stacco si può risalire al consumo delle 2800 e 5000 in deposito. Calcolando poi la differenza tra la potenza media prima dello stacco e la potenza media successiva alla ripresa della messa in servizio si ottiene l'effettivo assorbimento delle 6000, in quanto, come detto, sono le uniche motrici a disconnettersi in modo autonomo dalla rete, mentre per le altre motrici intervengono le

batterie ausiliarie che mantengono il pantografo in posizione, fin quando ritorna la corrente.

Queste considerazioni sono necessarie in quanto gli unici dati in possesso sui consumi in sosta delle motrici sono quelli presentati precedentemente, che però erano consumi durante soste di breve durata ed inoltre mantenendo tutti gli ausiliari elettrici funzionanti, mentre per la sosta in deposito i tram sono in uno stato di veglia, cioè lo stato del banco viene posizionato su OFF e come da procedura dettata dall'ordine di servizio, gli ausiliari elettrici devono essere tutti spenti. Essendo in questo stato i carichi di bassa tensione comunque inseriti ma spenti, in caso di necessità (ad esempio durante la pulizia notturna), consentono l'accensione semplicemente premendo la pulsantiera interessata. Se questo è un vantaggio per le azioni che sono svolte sui tram durante la notte dato che permette il facile azionamento di un ausiliario, dall'altra parte è un meccanismo che porta ad avere consumi molto elevati in quanto nel caso in cui qualche ausiliario venga dimenticato acceso non vi è modo, se non con una verifica visiva diretta, di spegnerlo, facendo così aumentare in modo esponenziale i consumi.

CONDIZIONE MOTTRICE SERIE 6000	SEZIONATORI BATTERIE	CARICHI B.T	CONTATTORI A.T. (IR)	STATO DEL BANCO (CHIAVE)
SERVIZIO	CHIUSI	TUTTI INSERITI	CHIUSI	ON
				Cambio di stato agendo sulla chiave ↓↑
VEGLIA	CHIUSI	TUTTI INSERITI	CHIUSI	OFF
			Cambio di stato aprendo gli IR ↓	Cambio di stato alzando il pantografo e chiudendo gli IR ↑
ALIMENTAZIONE B.T.	CHIUSI	TUTTI INSERITI	APERTI	OFF
		Cambio di stato agendo su SCCV ↓↑	Cambio di stato in automatico dopo 4' ↓	
RIPOSO	CHIUSI	SOLO CARICHI GARANTITI	APERTI	OFF
		Cambio di stato agendo sui sezionatori batterie ↓↑		
MANUTENZIONE B.T.	APERTI	NESSUN CARICO	APERTI	OFF

Figura 52 - Esempio di stati delle 6000

Per quanto riguarda le 2800 e le 5000 queste non hanno tanti ausiliari come le 6000, ma anche queste sono lasciate in deposito in stato di veglia, con la possibilità di accensione (o dimenticanza) degli ausiliari presenti anche con il tram fermo in deposito. In ogni caso tutte le motrici in deposito con pantografo alzato hanno la necessità di azionare ciclicamente il compressore per l'aria compressa che serve a mantenere il pantografo in contatto con la linea aerea, quindi i consumi in sosta non sono mai nulli.

Sapendo dunque che le dotazioni ausiliarie elettriche delle 2800 e delle 5000 non sono molto diverse e confrontando anche i consumi orari delle due motrici in sosta ai capolinea durante le misurazioni, si può verosimilmente affermare che le due motrici hanno un consumo orario in deposito praticamente identico.

Con questa assunzione, conoscendo l'assorbimento del deposito dopo lo stacco e il numero di motrici presenti in quell'istante collegate alla rete, si può risalire al consumo medio di ogni motrice:

$$\text{Potenza richiesta singola motrice} = \frac{\text{Potenza media impegnata}}{n^{\circ} \text{ motrici presenti}}$$

Si ottiene dunque una potenza unitaria a motrice serie 2800 e 5000 pari a 1,46 kW/motrice.

Confrontando questo valore con i risultati ottenuti eseguendo le misurazioni sulle motrici ferme al capolinea riportati in tabella 8, si nota che il consumo delle motrici in deposito non varia significativamente rispetto a quelle misure. Si era infatti ottenuto un consumo pari a 1,54 kWh/h per le 2800 e 1,58 kWh/h per le 5000.

I consumi sono molto simili in quanto i carichi ausiliari delle motrici in deposito sono inseriti, ma disattivati, mentre in occasione delle misurazioni sulla motrice in sosta al capolinea questi erano inseriti e attivi. La limitata differenza presente è dovuta al fatto che i servizi ausiliari sulle motrici di queste due serie comprendono solamente le luci fluorescenti installate a bordo vetture e il riscaldamento della cabina di guida per le motrici 5000, che erano per l'appunto in funzione nelle misurazioni eseguite, mentre per ordine di servizio, vanno spente quando le motrici sono in sosta in deposito.

Eseguendo la differenza tra la potenza istantanea richiesta negli istanti prima dello stacco con la potenza istantanea alla ripresa del servizio si ottiene la potenza effettivamente richiesta dalle 6000 e conoscendo il numero di motrici presenti in quell'istante se ne ricava il consumo unitario:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \text{potenza media prima dello stacco} - \text{potenza media dopo lo stacco} = 131 - 29 \\ &= 102 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potenza richiesta da ogni motrice} &= \frac{\Delta P}{n^{\circ} \text{ 6000 presenti}} = \frac{102}{18} \\ &= 5,61 \text{ kW/motrice} \end{aligned}$$

Il consumo calcolato per la motrice in deposito varia considerevolmente rispetto al consumo misurato per la motrice ferma al capolinea, che risultava essere 28,4 kWh/h. Questa differenza, come visto per le 2800 e le 5000, è dovuta al consumo dei servizi ausiliari. In particolare, in fase di rilevamento dei consumi della motrice in sosta al capolinea, oltre alle luci installate a bordo vettura, anche il riscaldamento della vettura è

stato mantenuto acceso, mentre, come per le 2800 e le 5000, l'ordine di servizio prevede che tutti i carichi di bassa tensione siano inseriti, ma disattivati manualmente dall'operatore che parcheggia la vettura all'interno di un deposito.

Il maggior consumo delle 6000 rispetto al consumo delle motrici 2800 e 5000, è giustificabile dal fatto che le 6000, in fase di veglia, mantengono attivi sia i convertitori ausiliari, sia i moduli di potenza degli inverter, dispositivi, questi ultimi, non presenti sulle motrici delle altre serie.

Per verificare la correttezza di queste deduzioni di consumi, è possibile confrontare la potenza media calcolata considerando questi consumi con la potenza media effettiva misurata nei quarti d'ora (un tempo maggiore sarebbe forviante dato che in deposito vi sono continuamente spostamenti) compresi tra i periodi dei sopralluoghi mostrati in tabella 13.

	<i>Potenza calcolata [kW]</i>	<i>Potenza misurata [kW]</i>	<i>Scostamento</i>
<i>Venerdì ore 8.50</i>	85,8	85,0	+0,94%
<i>Venerdì ore 10.50</i>	143,7	137,2	+4,7%
<i>Venerdì ore 17.00</i>	129,4	140,8	-8,1%

*Tabella 14 - Scostamenti potenza calcolata dalla potenza misurata*

L'andamento del diagramma di carico registrato al Venaria, si può approssimare con un andamento lineare a tratti suddividendo il giorno in considerazione in diversi intervalli temporali in base agli andamenti di potenza, che variano in base al periodo del giorno:

- Notte: potenza circa costante in quanto le motrici sono parcheggiate all'interno del deposito;
- Mattina: prima fase in cui la potenza decresce dato che le motrici escono per il servizio della mattina fino a stabilizzarsi su valori circa costanti. Seconda parte, circa a metà mattina: la potenza aumenta leggermente in quanto alcune motrici rientrano dal servizio;
- Pomeriggio: la potenza media richiesta resta circa costante al valore raggiunto dopo il rientro mattutino;
- Sera: prima fase in cui la potenza aumenta dato che vi è il rientro delle motrici che hanno completato il servizio giornaliero e aumentano dunque le motrici in deposito. Seconda fase: la potenza richiesta resta circa costante per periodo rimasto dato che il deposito ha raggiunto la sua capienza e non vi sono ulteriori rientri.

Con l'ipotesi di diagramma di carico lineare a tratti, è possibile, per ogni intervallo orario considerato, calcolare la potenza media impiegata. Avendo la potenza media per ogni intervallo è poi possibile, per ogni giorno, calcolare la distribuzione percentuale della potenza media, considerando come 100% l'intervallo di tempo in cui la potenza media è la maggiore.

L'esattezza dell'approssimazione lineare a tratti è verificata in quanto le energie giornaliere calcolate sulla base delle potenze medie coincidono con le energie calcolate con integrazione numerica derivanti dalle misurazioni eseguite in deposito.

Per questi calcoli si è considerato come consumo nei giorni infrasettimanali il profilo di carico ottenuto il venerdì, escludendo il profilo di carico del lunedì, in quanto la variazione di potenza dovuta allo stacco della cabina elettrica rappresenta un'eccezione.

Nelle pagine che seguono vengono riportate:

- Tabelle riportanti gli intervalli temporali considerati per dedurre la curva lineare a tratti, con le rispettive potenze medie e distribuzione della potenza media rispetto all'intervallo in cui si ha la potenza media maggiore;
- Profilo di carico reale e curva lineare a tratti dedotta;
- Profilo di carico fittizio riportante le potenze medie nei diversi intervalli temporali.

Ognuna per il giorno infrasettimanale, per il sabato e per la domenica.

#### Giorno infrasettimanale

<b><i>Infrasettimanale</i></b>	<b><i>Orario inizio intervallo</i></b>	<b><i>Orario fine intervallo</i></b>	<b><i>Potenza media [kW]</i></b>	<b><i>Distribuzione rispetto al max</i></b>
<b><i>i</i></b>	0:00	4:30	299,71	<b>100,00%</b>
<b><i>ii</i></b>	4:30	6:50	192,10	<b>64,09%</b>
<b><i>iii</i></b>	6:50	9:55	84,49	<b>28,19%</b>
<b><i>iv</i></b>	9:55	11:00	110,00	<b>36,70%</b>
<b><i>v</i></b>	11:00	21:00	135,51	<b>45,21%</b>
<b><i>vi</i></b>	21:00	22:30	210,50	<b>70,24%</b>
<b><i>vii</i></b>	22:30	0:00	285,49	<b>95,26%</b>

Tabella 15 - Intervalli giornalieri infrasettimanali con relativa potenza media

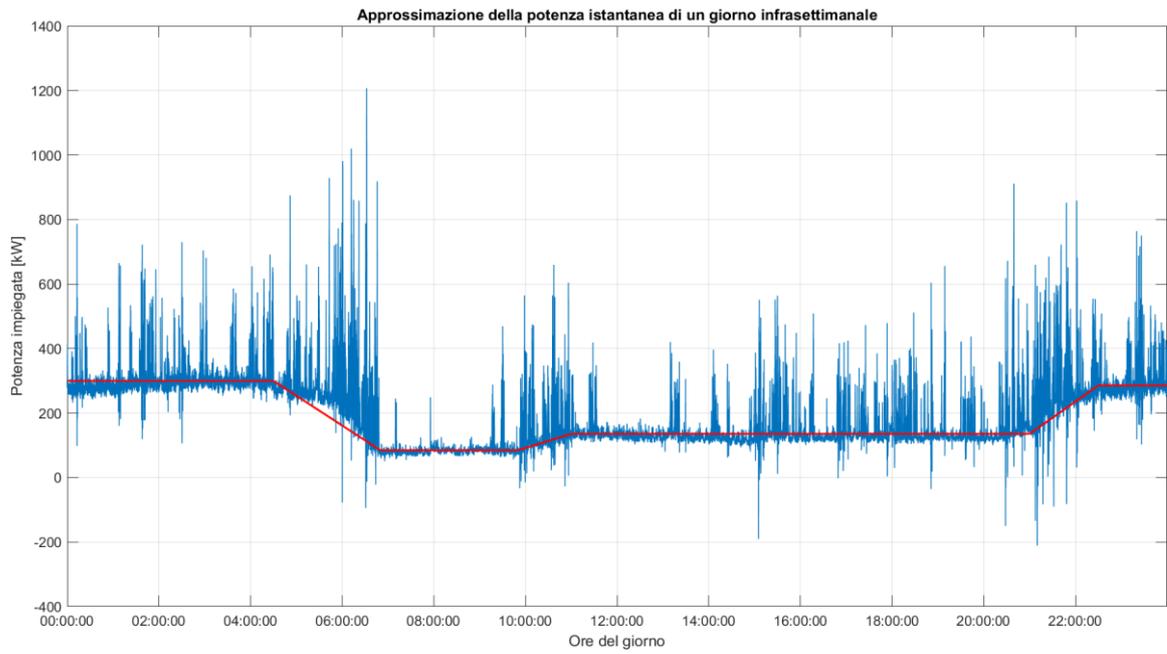


Figura 53 - Aprossimazione lineare diagramma di carico giorno infrasettimanale

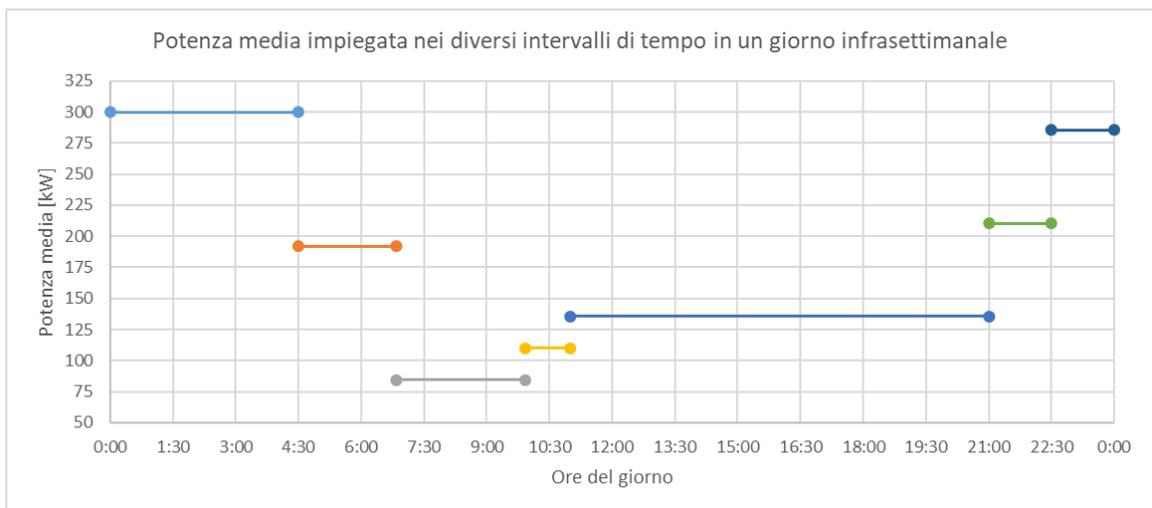


Figura 54 - Potenza media nei diversi intervalli

## Sabato

<i>Sabato</i>	<i>Orario inizio intervallo</i>	<i>Orario fine intervallo</i>	<i>Potenza media [kW]</i>	<i>Distribuzione rispetto al max</i>
<i>i</i>	0:00	4:00	296,59	<b>100,00%</b>
<i>ii</i>	4:00	6:50	222,41	<b>74,99%</b>
<i>iii</i>	6:50	9:50	148,24	<b>49,98%</b>
<i>iv</i>	9:50	10:30	164,12	<b>55,34%</b>
<i>v</i>	10:30	11:00	156,70	<b>52,84%</b>
<i>vi</i>	11:00	20:30	133,41	<b>44,98%</b>
<i>vii</i>	20:30	22:30	187,68	<b>63,28%</b>
<i>viii</i>	22:30	24:00:00	241,96	<b>81,58%</b>

Tabella 16 - Intervalli giornalieri sabato con relativa potenza media

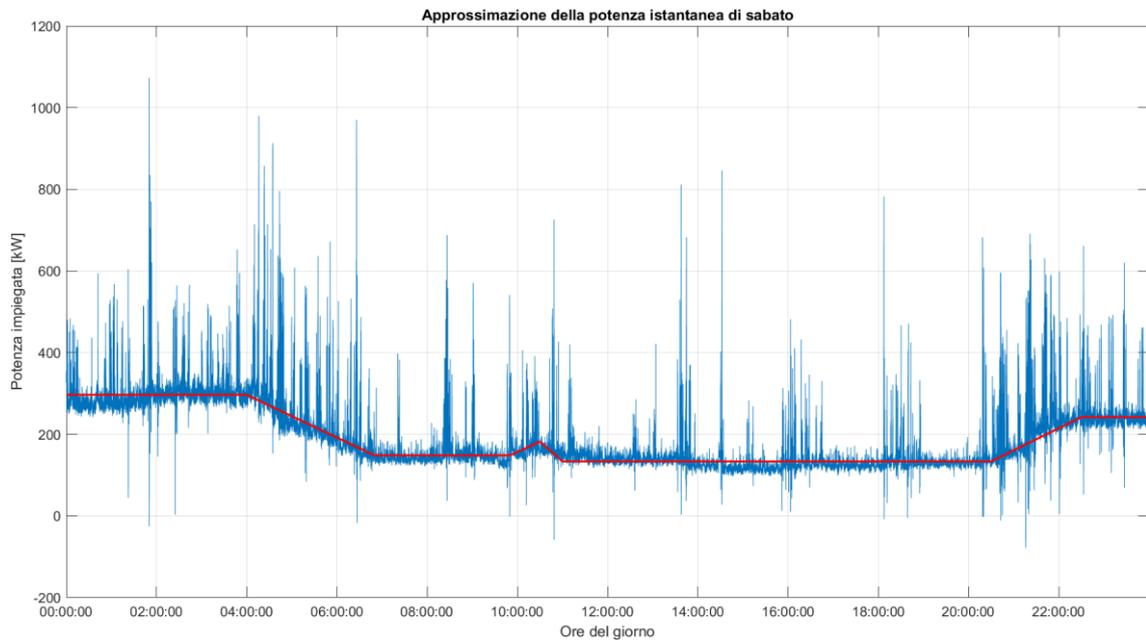


Figura 55 - Approssimazione lineare diagramma di carico giorno del sabato

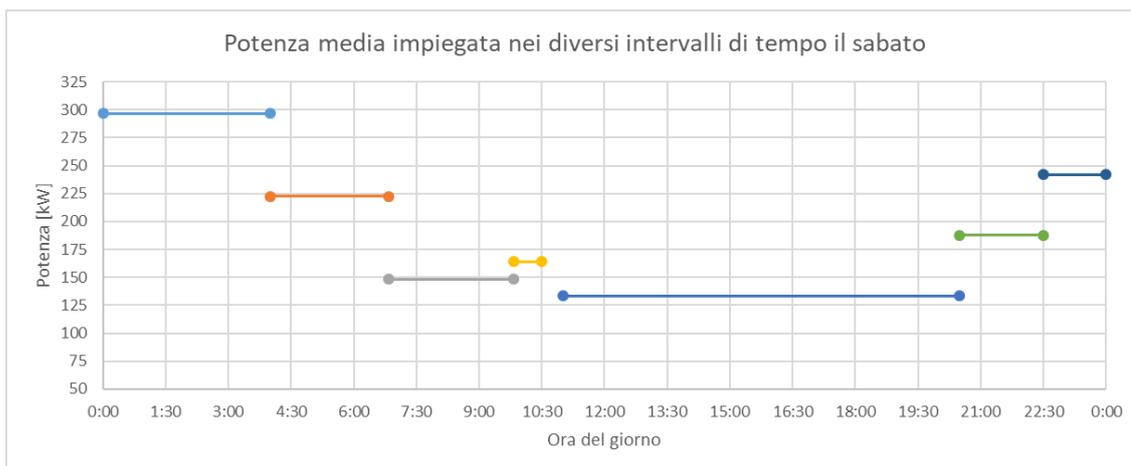


Figura 56 - Potenza media nei diversi intervalli

### Domenica

<i>Domenica</i>	<i>Orario inizio intervallo</i>	<i>Orario fine intervallo</i>	<i>Potenza media [kW]</i>	<i>Distribuzione rispetto al max</i>
<i>i</i>	0:00	2:00	246,95	<b>92,85%</b>
<i>ii</i>	2:00	3:00	265,98	<b>100,00%</b>
<i>iii</i>	3:00	7:15	262,50	<b>98,69%</b>
<i>iv</i>	7:15	13:00	237,80	<b>89,41%</b>
<i>v</i>	13:00	14:00	227,79	<b>85,64%</b>
<i>vi</i>	14:00	20:30	219,98	<b>82,71%</b>
<i>vii</i>	20:30	22:30	238,14	<b>89,54%</b>
<i>viii</i>	22:30	24:00:00	256,31	<b>96,37%</b>

Tabella 17 - Intervalli giornalieri domenica con relativa potenza media

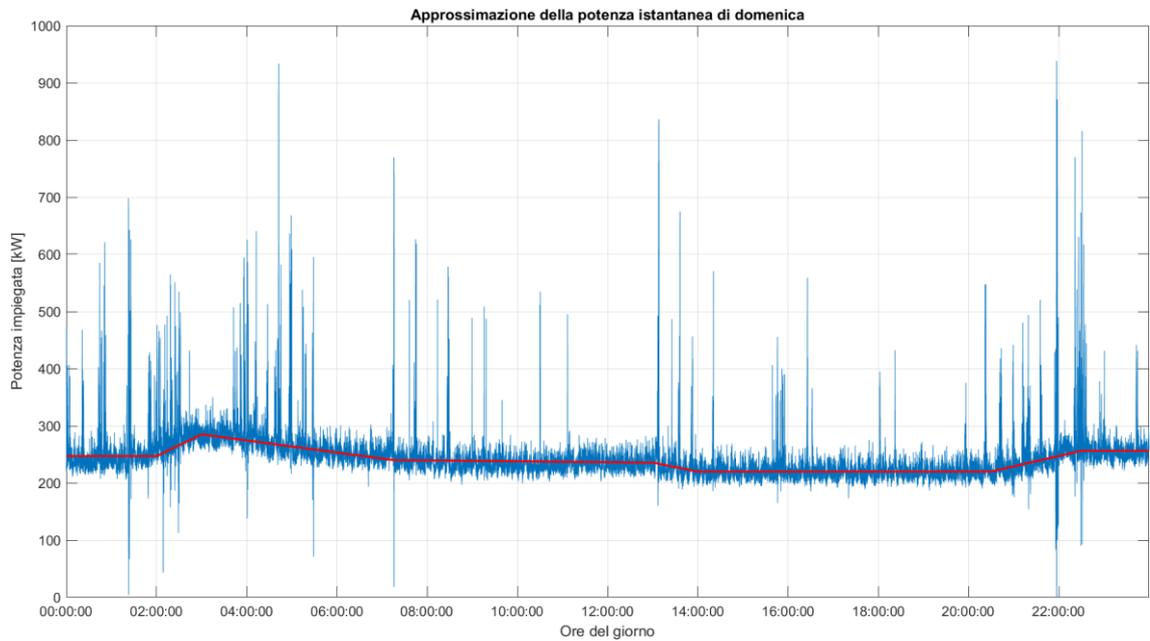


Figura 57 - Approssimazione lineare diagramma di carico giorno della domenica

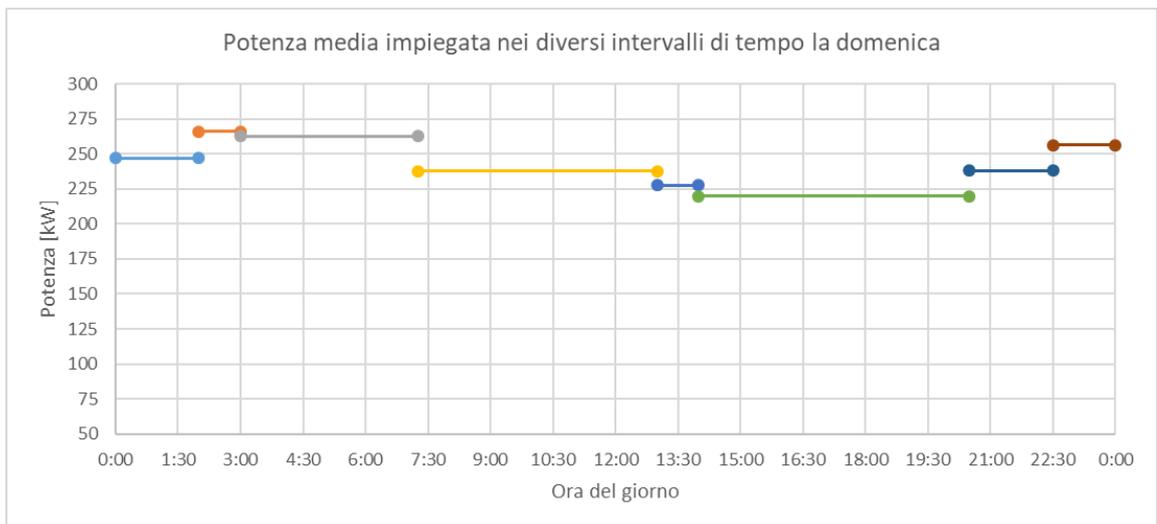


Figura 58 - Potenza media nei diversi intervalli

Se il diagramma di carico non può essere assunto uguale nei diversi depositi, la distribuzione della potenza media invece sì, dato che i tram effettuano tutti servizio sulle stesse linee urbane e sottostanno quindi tutti agli stessi orari operativi. Conoscendo dunque le motrici affidate ad ogni deposito si può ricavarne la potenza massima necessaria, ovvero quando tutte le motrici sono presenti in deposito, e calcolare la potenza negli altri intervalli giornalieri in base alla distribuzione percentuale ottenuta dalla linearizzazione a tratti del diagramma di carico del Venaria e integrando numericamente si può risalire al fabbisogno energetico giornaliero e annuo degli altri depositi.

#### Deposito Nizza

Motrici presenti: 3 serie 2800, 10 serie 5000 e 8 serie 6000.

La potenza massima assorbita dal deposito in presenza di tutte le motrici risulta quindi essere:

$$P = \sum (n^{\circ} \text{ motrici} \cdot \text{cosnsumo motrice calcolato}) = 3 \cdot 1,46 + 10 \cdot 1,46 + 8 \cdot 5,61 \\ = 63,81 \text{ kW}$$

Conoscendo quindi la potenza massima assorbita dal deposito la si usa come riferimento per il calcolo della potenza media impiegata, usando la distribuzione rispetto alla potenza massima dedotta dal profilo di carico del deposito Venaria. Conoscendo la durata dell'intervallo in cui viene richiesta tale potenza si risale così all'energia media assorbita. Questo procedimento si ripete il giorno infrasettimanale, per il sabato e per la domenica. Successivamente si esegue lo stesso procedimento per i restanti depositi. Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati ottenuti per ogni giorno in analisi per ogni deposito.

<b>GIORNO FERIALE</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
i	0:00	4:30	4:30	4,50	100,00%	63,8	287,2
ii	4:30	6:50	2:20	2,33	64,09%	40,9	95,4
iii	6:50	9:55	3:05	3,08	28,19%	18,0	55,5
iv	9:55	11:00	1:05	1,08	36,70%	23,4	25,4
v	11:00	21:00	10:00	10,00	45,21%	28,9	288,5
vi	21:00	22:30	1:30	1,50	70,24%	44,8	67,2
vii	22:30	0:00	1:30	1,50	95,26%	60,8	91,2
<b>TOTALE</b>						<b>910,3</b>	

<b>SABATO</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
i	0:00	4:00	04:00	4,00	100,00%	63,81	255,25
ii	4:00	6:50	02:50	2,83	74,99%	47,85	135,58
iii	6:50	9:50	03:00	3,00	49,98%	31,89	95,68
iv	9:50	10:30	00:40	0,67	55,34%	35,31	23,54
v	10:30	11:00	00:30	0,50	52,84%	33,72	16,86
vi	11:00	20:30	09:30	9,50	44,98%	28,70	272,68
vii	20:30	22:30	02:00	2,00	63,28%	40,38	80,76
viii	22:30	24:00	01:30	1,50	81,58%	52,06	78,09
<b>TOTALE</b>						<b>958,44</b>	

<b>DOMENICA</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
<b>i</b>	00:00	2:00	02:00	2,00	92,85%	59,25	118,49
<b>ii</b>	2:00	3:00	01:00	1,00	100,00%	63,81	63,81
<b>iii</b>	3:00	7:15	04:15	4,25	98,69%	62,98	267,65
<b>iv</b>	7:15	13:00	05:45	5,75	89,41%	57,05	328,05
<b>v</b>	13:00	14:00	01:00	1,00	85,64%	54,65	54,65
<b>vi</b>	14:00	20:30	06:30	6,50	82,71%	52,78	343,05
<b>vii</b>	20:30	22:30	02:00	2,00	89,54%	57,13	114,27
<b>viii</b>	22:30	24:00	01:30	1,50	96,37%	61,49	92,24
						<b>TOTALE</b>	<b>1382,21</b>

Tabella 18 - Calcolo energia media nel giorno feriale, sabato e domenica per deposito Nizza

#### Deposito Tortona

Motrici presenti: 31 serie 2800, 10 serie 5000.

La potenza massima assorbita dal deposito in presenza di tutte le motrici risulta quindi essere 59,72 kW.

<b>GIORNO FERIALE</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
<b>i</b>	0:00	4:30	4:30	4,50	100,00%	59,72	268,74
<b>ii</b>	4:30	6:50	2:20	2,33	64,09%	38,28	89,31
<b>iii</b>	6:50	9:55	3:05	3,08	28,19%	16,83	51,91
<b>iv</b>	9:55	11:00	1:05	1,08	36,70%	21,92	23,74
<b>v</b>	11:00	21:00	10:00	10,00	45,21%	27,00	270,02
<b>vi</b>	21:00	22:30	1:30	1,50	70,24%	41,95	62,92
<b>vii</b>	22:30	24:00	1:30	1,50	95,26%	56,89	85,33
						<b>TOTALE</b>	<b>851,97</b>

<b>SABATO</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
	<b>i</b>	0:00	4:00	04:00	4,00	100,00%	59,72
<b>ii</b>	4:00	6:50	02:50	2,83	74,99%	44,78	126,89
<b>iii</b>	6:50	9:50	03:00	3,00	49,98%	29,85	89,55
<b>iv</b>	9:50	10:30	00:40	0,67	55,34%	33,05	22,03
<b>v</b>	10:30	11:00	00:30	0,50	52,84%	31,55	15,78
<b>vi</b>	11:00	20:30	09:30	9,50	44,98%	26,86	255,20
<b>vii</b>	20:30	22:30	02:00	2,00	63,28%	37,79	75,58
<b>viii</b>	22:30	24:00	01:30	1,50	81,58%	48,72	73,08
<b>TOTALE</b>						<b>896,99</b>	

<b>DOMENICA</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
	<b>i</b>	00:00	2:00	02:00	2,00	92,85%	55,45
<b>ii</b>	2:00	3:00	01:00	1,00	100,00%	59,72	59,72
<b>iii</b>	3:00	7:15	04:15	4,25	98,69%	58,94	250,49
<b>iv</b>	7:15	13:00	05:45	5,75	89,41%	53,39	307,02
<b>v</b>	13:00	14:00	01:00	1,00	85,64%	51,15	51,15
<b>vi</b>	14:00	20:30	06:30	6,50	82,71%	49,39	321,05
<b>vii</b>	20:30	22:30	02:00	2,00	89,54%	53,47	106,94
<b>viii</b>	22:30	24:00	01:30	1,50	96,37%	57,55	86,32
<b>TOTALE</b>						<b>1293,60</b>	

Tabella 19 - Calcolo energia media nel giorno feriale, sabato e domenica per comprensorio Manin Tortona

### Deposito San Paolo

Motrici presenti: 28 serie 2800, 10 serie 5000.

La potenza massima assorbita dal deposito in presenza di tutte le motrici risulta quindi essere 55,35 kW.

<b>GIORNO FERIALE</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
<b>i</b>	00:00	4:30	4:30	4,50	100,00%	55,35	249,08
<b>ii</b>	4:30	6:50	2:20	2,33	64,09%	35,48	82,78
<b>iii</b>	6:50	9:55	3:05	3,08	28,19%	15,60	48,11
<b>iv</b>	9:55	11:00	1:05	1,08	36,70%	20,31	22,01
<b>v</b>	11:00	21:00	10:00	10,00	45,21%	25,03	250,26
<b>vi</b>	21:00	22:30	1:30	1,50	70,24%	38,88	58,31
<b>vii</b>	22:30	24:00	1:30	1,50	95,26%	52,73	79,09
<b>TOTALE</b>						<b>789,64</b>	

<b>SABATO</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
<b>i</b>	00:00	4:00	04:00	4,00	100,00%	55,35	221,40
<b>ii</b>	4:00	6:50	02:50	2,83	74,99%	41,51	117,61
<b>iii</b>	6:50	9:50	03:00	3,00	49,98%	27,67	83,00
<b>iv</b>	9:50	10:30	00:40	0,67	55,34%	30,63	20,42
<b>v</b>	10:30	11:00	00:30	0,50	52,84%	29,24	14,62
<b>vi</b>	11:00	20:30	09:30	9,50	44,98%	24,90	236,52
<b>vii</b>	20:30	22:30	02:00	2,00	63,28%	35,03	70,05
<b>viii</b>	22:30	24:00	01:30	1,50	81,58%	45,16	67,73
<b>TOTALE</b>						<b>831,36</b>	

<b>DOMENICA</b>	<b>Intervallo considerato</b>		<b>Durata intervallo [hh:mm]</b>	<b>Durata intervallo [h]</b>	<b>Distribuzione rispetto al max</b>	<b>Potenza media impiegata [kW]</b>	<b>Energia media [kWh]</b>
<b>i</b>	0:00	2:00	02:00	2,00	92,85%	51,39	102,78
<b>ii</b>	2:00	3:00	01:00	1,00	100,00%	55,35	55,35
<b>iii</b>	3:00	7:15	04:15	4,25	98,69%	54,63	232,17
<b>iv</b>	7:15	13:00	05:45	5,75	89,41%	49,49	284,55
<b>v</b>	13:00	14:00	01:00	1,00	85,64%	47,40	47,40
<b>vi</b>	14:00	20:30	06:30	6,50	82,71%	45,78	297,56
<b>vii</b>	20:30	22:30	02:00	2,00	89,54%	49,56	99,12
<b>viii</b>	22:30	24:00	01:30:	1,50	96,37%	53,34	80,01
<b>TOTALE</b>						<b>1198,95</b>	

Tabella 20 - Calcolo energia media nel giorno feriale, sabato e domenica per deposito San Paolo

Si riassumono nella tabella 21 i consumi energetici ottenuti per i diversi depositi:

	<b><i>Infrasettimanale [kWh]</i></b>	<b><i>Sabato [kWh]</i></b>	<b><i>Domenica [kWh]</i></b>
<b><i>NIZZA</i></b>	910,34	958,44	1382,21
<b><i>TORTONA</i></b>	851,97	896,99	1293,60
<b><i>SAN PAOLO</i></b>	789,64	831,36	1198,95
<b><i>TOTALE</i></b>	<b>2551,95</b>	<b>2686,78</b>	<b>3874,76</b>

*Tabella 21 - Consumi di energia per deposito calcolati*

Avendo a disposizione i consumi giornalieri si procede, come fatto per il deposito Venaria, contando i giorni feriali, i sabati e i festivi presenti nel 2018. Moltiplicando quindi il consumo giornaliero con il corrispondente numero di giorni ricavato da calendario si ottiene il consumo annuo in kWh riportato in tabella 22.

	<b><i>Infrasettimanale [kWh]</i></b>	<b><i>Sabato [kWh]</i></b>	<b><i>Domenica [kWh]</i></b>
<b><i>NIZZA</i></b>	229405,15	46963,35	88461,76
<b><i>TORTONA</i></b>	214697,66	43952,46	82790,35
<b><i>SAN PAOLO</i></b>	198988,07	40736,43	76732,52
<b><i>TOTALE</i></b>	<b>643090,88</b>	<b>131652,23</b>	<b>247984,62</b>

*Tabella 22 - Consumo annuo calcolato per deposito*

Il consumo totale annuo dei depositi risulta dunque essere 1022728 kWh.

I tre depositi (Nizza, Tortona e San Paolo) rappresentano quindi il 4,1% del consumo elettrico totale della rete tranviaria, che sommati ai consumi del deposito Venaria riportato in tabella 11 (pari a 1.729.770 kWh), producono un consumo annuo totale dei depositi pari a 2.752.498 kWh con un'incidenza percentuale pari a circa l'11% del consumo totale della rete tranviaria.

### 3.7.6 Altri consumi

A questo punto si è giustificato il 91,5% dei consumi annui totali, ma per capire la restante parte degli assorbimenti bisogna passare ad analizzare il sistema d'alimentazione della rete tranviaria ed alcuni dispositivi aggiuntivi.

#### Riscaldatori

Gli scambi tranviari vengono generalmente alimentati alla tensione di 230 V, ma alcuni di questi, invece, sono alimentati direttamente dalla 600 Vdc. Tutti gli scambi posizionati lungo la rete tranviaria possiedono dei riscaldatori elettrici, ma di questi, solo 74 vengono alimentati dalla 600 Vdc (lista completa in Allegato 1). I riscaldatori elettrici vengono accesi nel periodo invernale per far sì che gli scambi non rimangano bloccati a causa del gelo, che potrebbe impedirne il corretto funzionamento.

Non vi è una programmazione automatica per l'accensione e lo spegnimento di questi, ma una volta accesi ad inizio stagione fredda rimangono accesi ininterrottamente fino all'arrivo della stagione più calda.

Da quanto riferito dagli addetti di GTT, i riscaldatori rimangono accesi mediamente per 100 giorni all'anno e ogni riscaldatore funziona ad una potenza di 600 W (non è stato possibile trovare una scheda tecnica, per cui la lettura della potenza assorbita è stata fatta sui dati di targa di un riscaldatore).

Avendo a disposizione questi dati si può quindi calcolare l'energia annua assorbita.

$$E = n^{\circ} \text{ riscaldatori} * P [kW] * n^{\circ} \text{ giorni} * 24 \left[ \frac{\text{ore}}{\text{giorno}} \right] = 74 * 0,6 * 100 * 24$$

$$= 106560 \text{ kWh}$$

### Sottostazioni elettriche

L'intera linea tranviaria è alimentata da 22 sottostazioni elettriche. Solamente 21 erano in funzione nel 2018 dato che la SSE di via Exilles è rimasta fuori servizio l'intero anno per manutenzione. Le sottostazioni sono alimentate in media tensione (MT) a 22 kV e forniscono in uscita la tensione nominale di 600 Vdc. Ognuna di esse contiene almeno un trasformatore adibito alla trazione: nelle sottostazioni in cui è presente un solo trasformatore, questo funziona il 100% delle ore annue in modo continuativo, mentre le sottostazioni con due trasformatori alternano l'utilizzo dei due facendoli funzionare il 50% delle ore ciascuno. Nelle SSE sono anche presenti trasformatori di dimensioni inferiori rispetto a quelli necessari per la trazione che vengono utilizzati per i servizi ausiliari al trasporto, ma non saranno oggetto di analisi in questa Tesi.

I trasformatori per la trazione sono a tre avvolgimenti e a valle di questi è presente un raddrizzatore a doppio ponte di Graetz, ovvero il convertitore AC/DC.

Il calcolo delle perdite di trasformazione risulta molto complicato in quanto non si sa di preciso il carico istante per istante collegato a ciascun trasformatore della rete. In ogni caso, con diverse approssimazioni si risale alla potenza persa dai trasformatori.

I trasformatori adibiti alla trazione, nonostante abbiano tutti una potenza nominale pari a 2200 kVA, sono di due serie diverse, come si può vedere negli estratti dei certificati di collaudo in Allegato 3. La differenza sostanziale dei due è nel rendimento di trasformazione, dovuto alle perdite in ferro. Infatti abbiamo:

<b>Trafo</b>	<b>Potenza Nominale [kVA]</b>	<b>Perdite a vuoto (P0) garantite [kW]</b>	<b>Corrente al primario nominale (I1n) [A]</b>	<b>Tensione nominale al primario (V1n) [kV]</b>
<b>Tipo 1</b>	2200	4,4	57,74	22
<b>Tipo 2</b>	2200	3		

Figura 59 - Tipi di trasformatori presenti per la trazione

Questi sono installati in egual misura, quindi si può calcolare una perdita a vuoto media e moltiplicarla per i 21 trasformatori attivi quotidianamente. In questo modo si ottiene  $P_{0\text{media}} = 3,7 \text{ kW}$ . Essendo queste perdite sempre presenti, dato che i trasformatori non vengono mai disinseriti (nelle sottostazioni in cui ne sono presenti due, quando uno viene

scollato viene contemporaneamente attivato l'altro), si può calcolare l'energia dissipata a vuoto dai trasformatori:

$$E_{annua} = P_{0_{media}} * n^{\circ} \text{ trafo operativi} * \text{ore dell'anno} = 3,7 * 21 * 24 * 365 \\ = 680652 \text{ kWh}$$

Per il calcolo delle perdite a carico invece la situazione è più complicata, dato che le perdite dipendono dal quadrato della corrente circolante istante per istante, ma questo dato non è disponibile. L'unica informazione disponibile è che i trasformatori hanno un funzionamento lontano dal funzionamento nominale, in quanto il carico effettivo è molto variabile nel tempo.

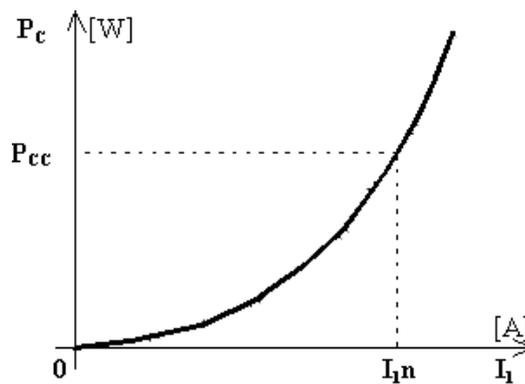


Figura 60 - Andamento delle perdite al variare della corrente

Avendo però a disposizione il certificato di collaudo si può vedere che le perdite al secondario nella prova in cortocircuito sono in un caso 25 kW e nell'altro 20 kW. Conoscendo anche le correnti nominali al secondario del trasformatore è possibile ricavare la resistenza di cortocircuito al secondario nei due casi con la formula:

$$R''_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 * I_{2N}^2} [\Omega]$$

Ottenendo così per i due tipi di trasformatore le resistenze di cortocircuito:

<i>Trasformatore</i>	<i>P<sub>cc</sub></i> <i>[kW]</i>	<i>I<sub>2</sub> nominale</i> <i>[A]</i>	<i>R''<sub>cc</sub></i> <i>[Ω]</i>
<b>Tipo 1</b>	20	1115,56	0,005357
<b>Tipo 2</b>	25	1400,38	0,004249

Tabella 23 - Calcolo resistenza cortocircuito al secondario

Per comodità di calcolo si assimilano queste due resistenze in una resistenza equivalente che è pari alla media delle due riportate in tabella 23:  $R''_{cc} = 4,8 \text{ m}\Omega$ .

Per provare a stimare le perdite che si hanno con il carico inserito (tram in circolazione che richiedono potenza elettrica) è possibile ipotizzare una corrente media fittizia circolante nella rete. Questa si può calcolare partendo dai consumi finora calcolati.

Si ipotizza che i trasformatori lavorino sotto carico per 21 ore al giorno, ovvero l'87,5% del tempo totale (i trasformatori che alimentano ad esempio i depositi lavorano sotto carico per il 100% del tempo, ma i trasformatori collegati alla linea aerea invece a fine servizio lavorano solamene a vuoto, quindi questo valore è una media tra i diversi tempi). Per l'intero anno si sa che l'energia assorbita da carico è pari alla somma di tutti gli assorbimenti fin qui calcolati ovvero:

$$E_{tot,calcolata} = \sum \text{Assorbimenti da linea a } 600 \text{ Vdc} = 19834166 + 185618 + 34585 + 22636 + 1729770 + 1022728 + 106560 = 22.936.263 \text{ kWh}$$

La corrente media assorbita si può quindi calcolare con:

$$I_{media} = \frac{E_{tot,calcolata}}{t * f * V} = \frac{22936263}{8760 * 87,5\% * 600} = 4987 \text{ A}$$

Dove t sono le ore totali annue, f è la percentuale giornaliera di funzionamento a carico del trasformatore e V è la tensione nominale della rete tranviaria.

Questa corrente però è la risultante dei 21 trasformatori. Si può quindi considerare un circuito equivalente in cui il carico è uno solo e i trasformatori fungono da generatori di corrente in parallelo tra loro. Questa corrente media è dunque il risultato della somma delle singole correnti dei trasformatori e con le ipotesi che tutti i trasformatori siano uguali e lavorino nelle stesse condizioni, la corrente transitante in ognuno di essi si calcola:

$$I_{media,risultante} = \frac{I_{media}}{\text{Numero trasformatori attivi}} = \frac{4987}{21} = 237,5 \text{ A}$$

Per ogni trasformatore si ha quindi una potenza dissipata pari a:

$$P_{dissipata} = R''_{cc} * I_{media,ris}^2 = 0,0048 = 271 \text{ W}$$

Che per i 21 trasformatori attivi per l'87% del tempo annuo totale porta ad una dissipazione di energia pari a:

$$E_{dissipata} = P_{dissipata} * 21 * 8760 * 0,875 = 43606 \text{ kWh}$$

Il consumo totale annuo dovuto alle perdite dei trasformatori risulta quindi essere pari a 724258 kWh, pari a circa il 3% del consumo annuo.

Il calcolo delle perdite di trasformazione a carico è una stima per difetto dato che si è considerata la corrente media circolante in rete. Nella realtà la corrente oscilla nell'intorno di questo valore, ma per valori più elevati del valore calcolato, le perdite crescono con il quadrato della corrente come mostrato in figura 60, per cui risulterebbero maggiori.

### Raddrizzatore

Al netto dell'energia dissipata dai trasformatori vi è anche da considerare quella dispersa nella conversione AC/DC nel raddrizzatore a doppio ponte di Graetz. Di questi non si sono riuscite a recuperare schede tecniche, ma la letteratura fornisce come valor

medio del rendimento il 98%. Quindi un ulteriore 2% viene dissipato nella conversione da corrente alternata a corrente continua.

$$\begin{aligned} \text{Energia utile a valle dei trasformatori} &= 24944950 - 724258 \\ &= 24220692 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energia dispersa dai raddrizzatori} &= E_{\text{effettivamente disponibile}} * 2\% \\ &= 484414 \text{ kWh} \end{aligned}$$

### 3.7.7 Riassunto consumi rete tranviaria

Alla fine dei calcoli per ricostruire il consumo annuo della rete tranviaria si sono ottenuti i seguenti consumi:

- Trazione per tram in servizio: 19.834.166 kWh;
- Cremagliera Sassi-Superga: 185.618 kWh;
- Tram storico linea 7 + tram storici a noleggio: 34.585 kWh;
- Gustotram e Ristocolor: 22.836 kWh;
- Deposito Venaria: 1.729.770 kWh;
- Altri depositi: 1.022.728 kWh;
- Riscaldatori: 106.560 kWh;
- Perdite trasformatori: 724.258 kWh;
- Perdite raddrizzatori: 484.414 kWh.

Si è così arrivati a ricostruire il 96,8% dei consumi misurati a contatore nell'anno 2018, la cui ripartizione è riportata in figura 61.

Non è stato possibile ricostruire il 100% dei consumi considerato che ad esempio le perdite lungo la linea aerea (lunga diverse centinaia di metri, quindi le perdite potrebbero essere anche consistenti) non sono state considerate in quanto di difficile approssimazione e misurazione poiché il carico applicato è molto variabile; inoltre i consumi calcolati sono frutto di stime e misure spot, che potrebbero quindi non rappresentare in modo fedele la distribuzione dei consumi, ma restano ad ogni modo stime con solide basi, quindi si possono ritenere

Ai fini della diagnosi energetica il livello di accuratezza è accettabile in quanto in sede di diagnosi energetica viene richiesta un'accuratezza nel calcolo del fabbisogno annuo pari al  $\pm 5\%$  dei consumi reali.

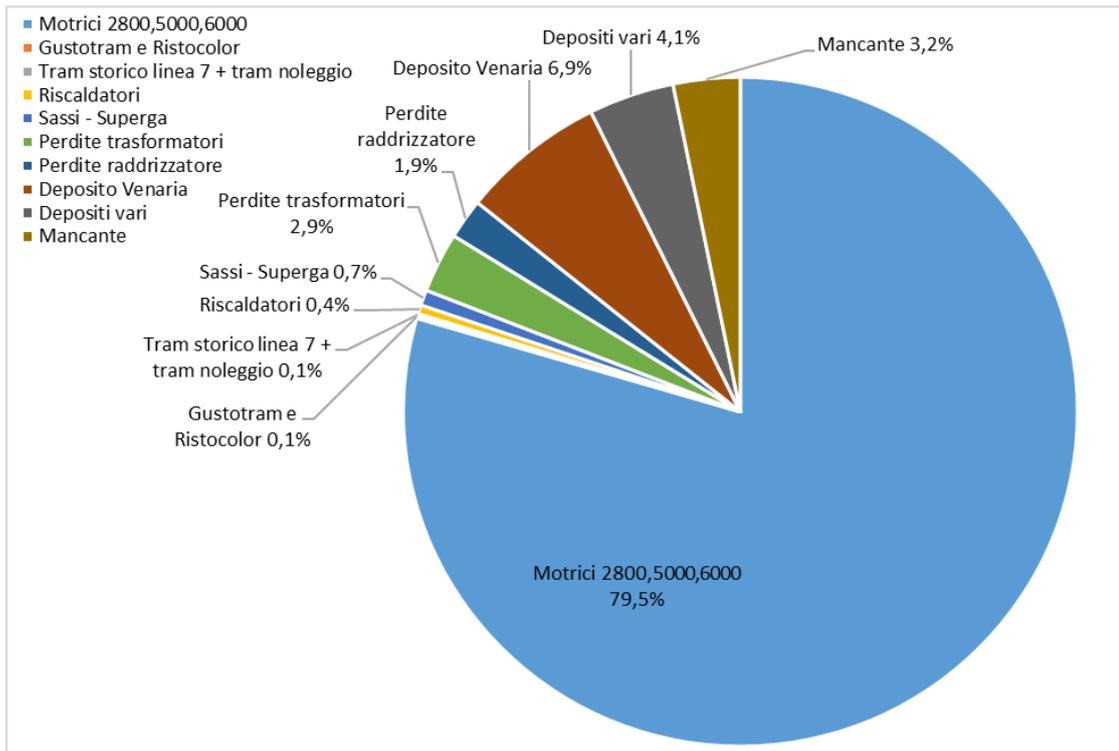


Figura 61 - Rappresentazione dei consumi calcolati della rete tranviaria

In figura 62 si riporta qualitativamente il contributo dei consumi non dovuti alla trazione dei tram di linea, che come si può vedere dalla figura precedente sono ovviamente i predominanti.

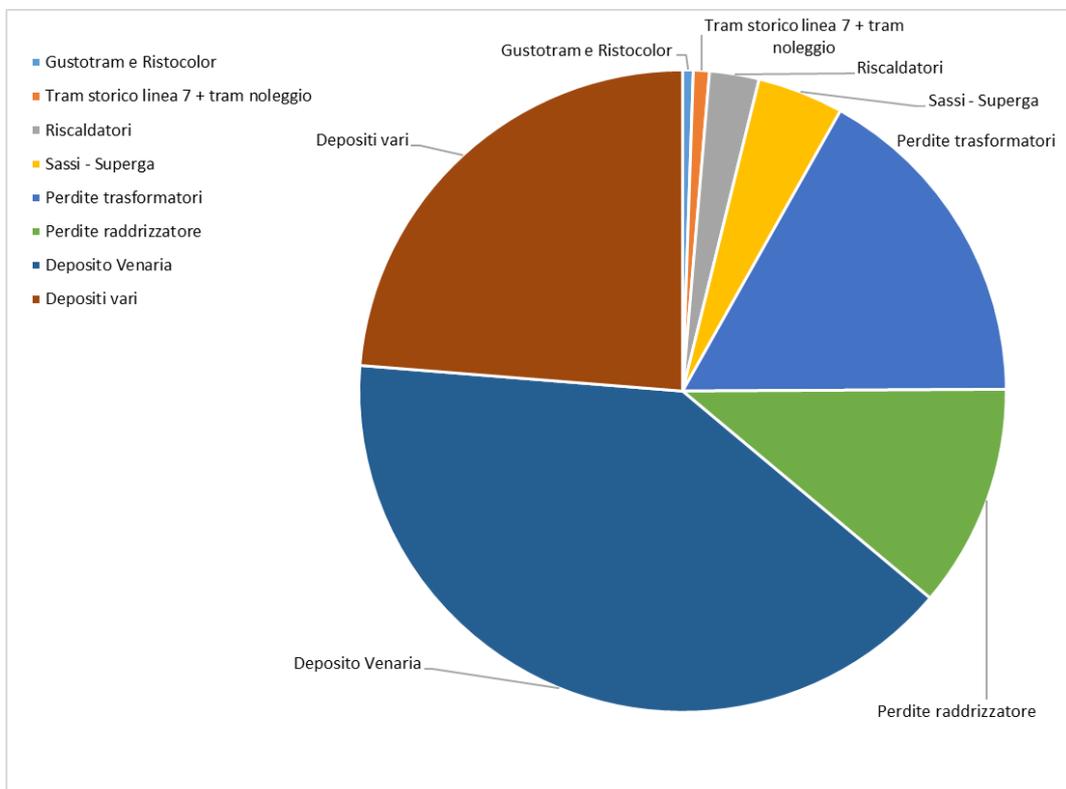


Figura 62 - Dettaglio dei consumi rete tranviaria

## 4 Trasporto su gomma Urbano ed Extraurbano

### 4.1 Rete urbana e suburbana

La rete di superficie automobilistica nella città di Torino e nell'area suburbana è servita da 88 linee distribuite nel Comune di Torino e nei comuni della cintura: Alpignano, Baldissero, Beinasco, Borgaro, Cambiano, Caselle T.se, Chieri, Collegno, Druento, Grugliasco, Leini, Moncalieri, Nichelino, Orbassano, Pecetto T.se, Pianezza, Pino T.se, Rivalta T.se, Rivoli, San Mauro, Santena, Settimo T.se, Trofarello, Venaria Reale.[33]

La rete bus si può suddividere in:

- linee “di forza”: quelle atte ad operare sulle direttrici forti di mobilità non coperte dal servizio tranviario;
- linee “integrative”: hanno la funzione di integrazione e di adduzione nei confronti del sistema ad impianto fisso e delle linee di forza. Sulle linee di forza e su altre linee caratterizzate da elevati livelli di carico sono in servizio veicoli autosnodati di lunghezza pari a 18 metri.

Alle linee ordinarie se ne aggiungono 21 speciali a servizio di comprensori industriali e poli scolastici, che presentano poche corse in concomitanza con l'ingresso e uscita delle scolaresche.

Inoltre ogni venerdì, sabato e nei prefestivi è attivo il servizio notturno (Night Buster) servito da 10 linee bus con passaggi orari.

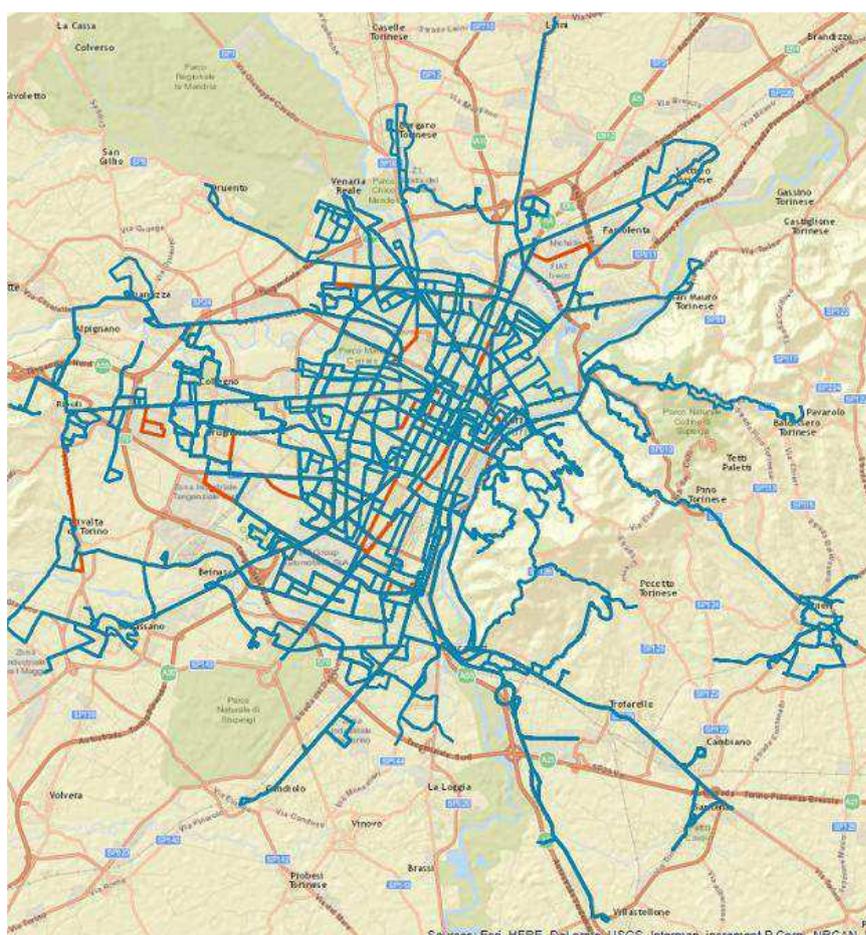


Figura 63 - Rete di superficie su gomma GTT

Complessivamente, la rete di superficie su gomma gestita da GTT, si sviluppa su una lunghezza di 1.068 km in asse, pari a 2.136 km in andata più ritorno.

Il parco autobus urbani e suburbani GTT è costituito prevalentemente da bus a gasolio e a metano.

La tutela dell'ambiente è esplicitata tra i valori aziendali fondanti. In quanto azienda di Trasporto Pubblico Locale viene perseguita innanzitutto offrendo servizi di mobilità efficaci e "competitivi" con il traffico privato, tra le minacce principali dell'ambiente, in particolare urbano.

Le emissioni locali più significative sono causate dal parco bus su gomma, utilizzato per il servizio urbano ed extraurbano. GTT sta rispondendo all'invecchiamento della flotta bus con consistenti investimenti per l'acquisto di nuovi mezzi, continuando a mettere in atto ulteriori miglioramenti oltre a quelli già conseguiti:

- grazie all'alienazione dei mezzi obsoleti e alla riduzione delle percorrenze su gomma (a favore di metropolitana e tram), oltre il 90% della flotta circolante in città è composta da veicoli a elevatissimi standard ambientali (EEV-Enhanced Environmentally friendly Vehicle, Euro 5, metano, elettrico);
- Tutti i bus Euro 2 diesel sono equipaggiati con FAP - Filtro Anti Particolato allo scarico, che permette una riduzione del 95% delle emissioni di particolato rispetto alla motorizzazione originaria;
- Nel 2002 sono stati acquistati 23 minibus Elfo da 7,5 m che vengono eserciti sulle linee Star, linee che viaggiano in ZTL collegando il centro cittadino ai parcheggi di interscambio presenti lungo il percorso. Nel 2015, grazie ad un progetto cofinanziato dal Ministero dell'Ambiente tramite la Città di Torino, sono state sostituite le batterie "piombo gel" con batterie a litio sull'intero parco dei bus elettrici Elfo. Questo intervento ha permesso una riduzione dei consumi energetici del 30%, da 1,0 kWh/km a 0,7 kWh/km, grazie anche al maggior recupero di energia in frenata.

Tra le nuove azioni messe in atto dall'azienda, in particolare tra ottobre 2017 e gennaio 2018, sono l'entrata in servizio dei nuovi bus elettrici BYD 12 metri e, nel corso del 2018, sono stati consegnati i bus elettrici BYD da 8,75 metri.

Nel 2018 GTT ha accantonato definitivamente i bus urbani e suburbani con motorizzazione Euro1.

Nel 2019 sono stati acquistati i bus 34 autobus Conecto 18 m diesel e 40 autobus 12 m diesel con motorizzazione EURO 6.

Nella tabella seguente viene riportata la composizione della flotta urbana e suburbana dei bus GTT, da cui si ricava il grafico rappresentato in figura 64 che ne riporta la composizione percentuale in base al tipo di motorizzazione di cui sono dotate le vetture:

	<i>Lunghezza [m]</i>	<i>Modello</i>	<i>Serie</i>	<i>Categoria</i>	<i>Veicoli in dotazione</i>
2 assi	<10	EPT - CACCIAMALI "ELFO" ELETTRICO	E01 ÷ E23	ZERO EMISSION	23
	12	IVECO FIAT 490.12.22 TURBOCITY	2169 ÷ 2268	EURO1	Accantonati
		IVECO CROSSWAY LE	1150 ÷ 1168	EEV	19
		IVECO 591E.12.27 - CITYCLASS	1190 ÷ 1219	EURO2	5
		AUTODROMO BASSOTTO	1220 ÷ 1279	EURO2	11
		IVECO 491E.12.27 - CITYCLASS	2500 ÷ 2599	EURO2	76
		IVECO 491E.12.24 CNG CITYCLASS	2600 ÷ 2699	EEV	82
		IRISBUS 491E.12.29 - CITYCLASS E3	2300 ÷ 2334	EURO3	31
		IRISBUS 491E.12.29 - CITYCLASS E4	2335 ÷ 2349	EURO4	15
		IRISBUS 491E.12.27 CNG - CITYCLASS	2700 ÷ 2787	EEV	87
		IRISBUS CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3000 ÷ 3099	EEV	81
		IVECO CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3300 ÷ 3380	EEV	81
		BYD K9UB	30E ÷ 49E	ZERO EMISSION	20
		3 assi	snodati	BREDAMENARINIBUS M321/1 U/165	750 ÷ 789
VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	930 ÷ 989			EURO2	58
VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	990 ÷ 1014			EURO3	24
IRISBUS 491E.18.31 CNGCITYCLASS CNG	1020 ÷ 1089			EEV	70
IRISBUS 491E.18.31 CNGCITYCLASS CNG	1280 ÷ 1306			EEV	24
IRISBUS CITELIS 18m DIESEL EEV	790 ÷ 799			EEV	10
IRISBUS CITELIS 18m CNG	1310 ÷ 1313			EEV	4
IRISBUS CITELIS 18m DIESEL EEV	800 ÷ 869			EEV	65
IRISBUS CITELIS 18m DIESEL EEV	870 ÷ 874			EEV	5

Tabella 24 - Composizione flotta bus urbani e suburbani[33]

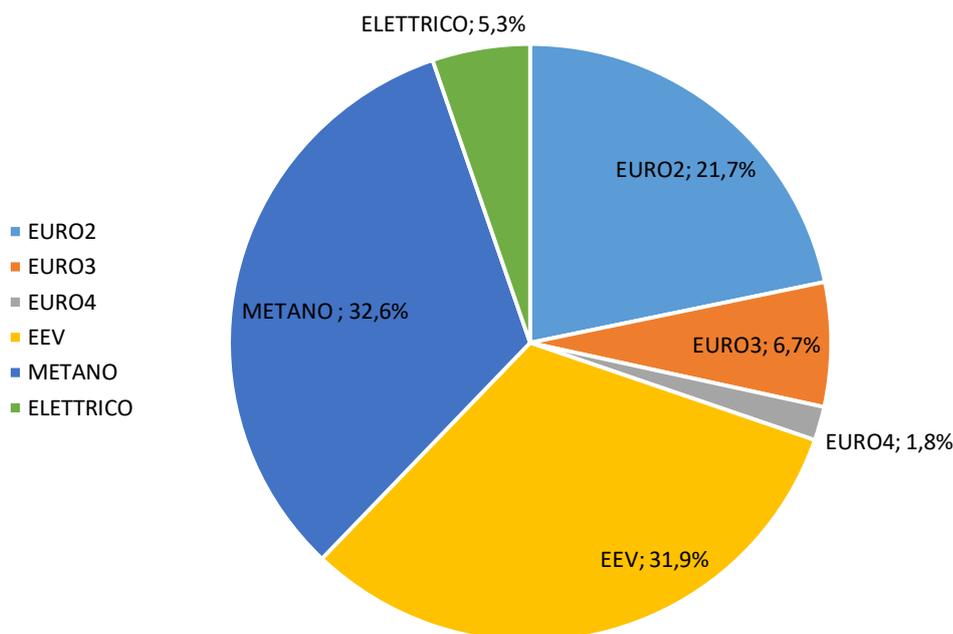


Figura 64 - Composizione percentuale flotta urbana e suburbana GTT

Gli autobus urbani e suburbani vengono rimessati all'interno di cinque depositi di proprietà GTT e sono: deposito Nizza, San Paolo, Tortona/Novara, Gerbido e Venaria. All'interno dei depositi vengono effettuate le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, le attività di rifornimento e pulizia dei mezzi sia a cura di personale GTT sia di ditte esterne.

Qui di seguito si riportano i carburanti erogati per ciascun sito aziendale:

<i>Deposito</i>	<i>Indirizzo Deposito</i>	<i>Carburante erogato</i>
<b><i>Gerbido</i></b>	Via Gorini 26 – Torino	Gasolio (privato)
<b><i>Gerbido</i></b>	Via Gorini 26 - Torino	Metano (distributore privato)
<b><i>Venaria</i></b>	Via Amati 178 - Venaria Reale (TO)	Gasolio (privato)
<b><i>Tortona</i></b>	Corso Tortona 55 - Torino	Gasolio (privato)
<b><i>San Paolo</i></b>	Corso Trapani 154 - Torino	Gasolio (privato)
<b><i>Nizza</i></b>	Corso Bramante 68 – Torino	Gasolio (privato)
<b><i>Novara</i></b>	Corso Novara 122 – Torino	Metano (distributore privato)

Tabella 25 - Lista depositi con tipo di distributore presente linee urbane e suburbane

Scendendo nel dettaglio per quanto riguarda invece il rifornimento degli autobus elettrici abbiamo delle situazioni diverse in base alla famiglia presa in considerazione. I nuovi bus elettrici da 12 metri (i BYD) vengono ricaricati in modalità plug in presso le stazioni di ricarica dedicate situate nei depositi Tortona e Gerbido a fine turno:

- Deposito Gerbido: 2 linee di alimentazione per le 12 colonnine di ricarica;
- Deposito Tortona: 2 linee di alimentazione elettrica per le 16 colonnine di ricarica.

Per ciascuna colonnina e per i due interruttori generali di linea in cabina elettrica sono stati installati contatori MID (marca Schneider modello iEM3255 3P+N ins.TA, re. ri. mod. MID MT) a maggio 2019 ai fini della contabilizzazione fiscale dei kWh erogati per la richiesta di certificati bianchi TEE a consuntivo.

Gli Elfo invece vengono ricaricati a fine turno esclusivamente al Tortona con una ricarica lenta effettuata tramite cavo presso le colonnine di ricarica dedicate, ma a differenza dei BYD, questi mezzi possono effettuare una ricarica rapida durante le soste ai 4 capilinea presenti in Torino. Questa è una ricarica induttiva che avviene attraverso piastre ad induzione. Nonostante questa ricarica sia di breve durata (al massimo 10/15 minuti per sosta) permette agli autobus di rientrare in deposito con una ricarica residua di oltre il 70%.

Queste piastre sono posizionate in corso Bolzano, corso Cairoli, nei pressi del Pala giustizia (questa nel 2018 è stata inattiva per tutto l'anno) e presso i parcheggi Fontanesi ed ognuna di esse possiede un contatore dedicato per la registrazione dei consumi. Non si hanno invece dati certi sui consumi che avvengono in deposito in quanto non è presente un contatore dedicato e la ricarica è alimentata dall'utenza elettrica del deposito, per questo motivo saranno necessari calcoli per risalire al consumo.

Le piastre ai capilinea sono posizionate in corso Bolzano, corso Cairoli, nei pressi del Pala giustizia (questa però nel 2018 è stata inattiva per tutto l'anno) e presso il parcheggio Fontanesi. Le stazioni di Bolzano e Cairoli possiedono un contatore esclusivo di alimentazione elettrica, invece presso il parcheggio Fontanesi è stata installata nel corso del 2018 una piattaforma per il monitoraggio dei consumi elettrici per l'intero sito pertanto viene misurato il consumo della linea dedicata all'alimentazione della stazione di ricarica bus ai capilinea (con misuratore SQUID 3x2.000A marca E@sy WIT). La stazione di ricarica del Pala giustizia è rimasta ed è tutt'ora fuori. Non si hanno invece dati certi sui consumi delle ricariche dei bus Elfo che vengono effettuate presso il deposito Tortona in deposito in quanto non è presente un contatore dedicato e la ricarica è alimentata dall'utenza elettrica del deposito, per questo motivo saranno necessari ulteriori calcoli per risalire al consumo

#### 4.1.1 Monitoraggio consumi rete urbana e suburbana

Come avviene per le motrici dei tram, tutti i bus dispongono di un sistema GPS (detto AVM) che registra la distanza percorsa dal mezzo che viene automaticamente registrata a sistema sui server di GTT e acquisita poi dal gestionale SAP come dato di input anche per la programmazione delle lavorazioni di manutenzione e la contabilizzazione dei km percorsi. Allo stesso modo anche i rifornimenti giornalieri di gasolio e metano vengono registrati a sistema sui server GTT. Vi è quindi una completa rendicontazione sia dei chilometri percorsi sia della quantità di combustibile usata dai mezzi.

Per gli autobus a gasolio e a metano ai fini dell'elaborazione dei dati di consumo utili al presente lavoro, sono state utilizzate le percorrenze giornaliere effettive di una

vettura campione per ogni famiglia di veicoli aziendale calcolando la differenza del totale dei chilometri segnati a tachimetro in due giorni consecutivi, considerato che normalmente a ogni fine turno le vetture vengono rifornite completamente al fine di assicurare l'autonomia necessaria per lo svolgimento del servizio il giorno successivo.

Come avviene per le motrici dei tram anche i bus dispongono di un GPS che registra la distanza percorsa che viene automaticamente registrata a sistema sui server di GTT. Anche i rifornimenti giornalieri di gasolio e metano che pur essendo interni ai depositi sono gestiti da ditte esterne, vengono registrati dalla ditta a sistema. Vi è quindi una piena rendicontazione sia dei chilometri percorsi sia della quantità di combustibile usata dai mezzi.

Per lavori precedentemente eseguiti da GTT, si sono registrate le percorrenze giornaliere effettive di una vettura per ogni famiglia di veicoli facendo la differenza del totale dei chilometri segnati a tachimetro di due giorni consecutivi. Inoltre il primo giorno della misura è stato fatto il pieno ai serbatoi di tutti i mezzi ed eseguendo la stessa operazione il giorno successivo si è risaliti al consumo di carburante giornaliero.

Avendo quindi la percorrenza giornaliera ed i litri (o chilogrammi nel caso del metano) consumati in quel giorno è stato ricavato il consumo al chilometro (l/km per il gasolio e kg/km per il metano).

Questa misura è stata eseguita nei giorni 15-16 gennaio e 15-16 luglio, in questo modo è stato possibile avere un consumo medio nel periodo estivo e un consumo medio nel periodo invernale, per vedere l'influenza del riscaldamento e del raffrescamento sui consumi. I risultati di queste misure sono riportati in tabella 26.

Avendo a disposizione i risultati di queste misure e scaricando da sistema le percorrenze mensili degli autobus urbani e suburbani, considerando come mesi estivi il periodo aprile-settembre e come mesi invernali il periodo ottobre-marzo, si è risaliti al consumo annuale di gasolio e di metano che risultano rispettivamente di 13.135.540 litri e 8.632.721 chilogrammi.

Considerando però solamente il consumo medio in due giorni tipo nell'arco dell'intero anno, l'errore di approssimazione commesso potrebbe essere molto elevato, sia per eccesso sia per difetto, in quanto i fattori che influenzano i consumi sono molto variabili nell'arco della giornata lavorativa oltre che nei diversi mesi e semplificare il consumo medio a due soli valori non risulta essere un'analisi esaustiva.

Per rendere l'analisi dei consumi significativa si è quindi scelto di non considerare queste misurazioni fatte in precedenza.

Si sono dunque scaricate da sistema sia le percorrenze giornaliere di ogni singolo veicolo, sia i rispettivi rifornimenti quotidiani per l'intero anno 2018. Grazie ad un foglio di calcolo in una prima fase questi dati sono stati raggruppati in percorrenze e rifornimenti della singola vettura mensili, dopodiché ogni vettura è stata assegnata alla famiglia di mezzi appartenente. Solo a questo punto si è ricavato, mensilmente e per ogni famiglia, il consumo chilometrico. Si riportano nelle tabelle successive i risultati dei consumi e dei rifornimenti mensili ottenuti per ogni famiglia di bus, sia a gasolio sia a metano.

Così facendo si è dunque risaliti al reale fabbisogno di gasolio e metano, dato che sommando tutti i rifornimenti, per tutte le famiglie di autobus si ottiene il volume di

gasolio totale annuo e la massa totale annua di metano, ottenendo così un dato certo ed ufficiale in quanto proveniente direttamente dai rifornimenti delle vetture.

CARATTERISTICHE		MOTORIZZAZIONE	FAMIGLIE	VEICOLO TESTATO	15-gen	16-gen		CONSUMO INVERNALE lt/km	VEICOLO TESTATO	15-lug	16-lug		CONSUMO ESTIVO lt/km
					km	km	lt			km	km	lt	
3 ASSI	18 m	diesel EURO 2 con FAP	930 ÷ 989 990 ÷ 1014	937	539787	539887	60	0,6000	932	184714	184757	85	1,9767
2 ASSI	12 m	diesel EEV	3300 ÷ 3380	3378	354997	355167	50	0,2941	3378	386565	386706	68	0,4823
3 assi	18 m	diesel EEV	800 ÷ 869 790 ÷ 797 870 ÷ 874	871	237941	238040	75	0,7576	808	323732	323999	190	0,7116
2 ASSI	12 m	diesel EEV	3000 ÷ 3099	3083	490870	490991	65	0,5372	3090	565798	566015	130	0,5991
2 ASSI	12 m	diesel EURO 2 con FAP	2500 ÷ 2599	2524	709021	709270	112	0,4498	2543	939728	939977	138	0,5542
2 ASSI	12 m	diesel EURO 2 con FAP	1190 ÷ 1219										
2 ASSI	12 m	diesel EEV	1150 ÷ 1168	1155	317413	317482	47	0,6812	1167	300594	300845	139	0,5538
2 ASSI	12 m	DIESEL EURO 3	2300 ÷ 2334 2335 ÷ 2349	2306	630125	630320	110	0,5641	2310	530601	530807	142	0,6893
3 assi	18 m	diesel EURO 2 con FAP	750 ÷ 789	776	377959	378067	90	0,8333	776	393319	393409	80	0,8889
2 ASSI	12 m	diesel EURO 2 con FAP	1220 ÷ 1279	1272	432252	432507	106	0,4157	come inverno			0,4157	
CARATTERISTICHE		MOTORIZZAZIONE	FAMIGLIE	VEICOLO TESTATO	15-gen	16-gen		CONSUMO INVERNALE kg/km	VEICOLO TESTATO	15-lug	16-lug		CONSUMO ESTIVO kg/km
					km	km	kg			km	km	kg	
2 ASSI	12 m	metano EEV	2700 ÷ 2787	2744	438306	438377	104,64	1,4738	2747	730871	731015	90,29	0,6270
3 assi	18 m	metano EEV	1020 ÷ 1089 1280 ÷ 1306 1310 ÷ 1313	1083	510339	510431	90,2	0,9804	1089	453611	453666	42,12	0,7658

Tabella 26 - Consumi medi periodo estivo e invernale derivante da misure, successivamente scartate



Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\BRM	BREDAMENARINIB US M321/1 U/165	750 ÷ 789	90.239	80.293	89.528	65.732	68.455	62.858	61.143	40.905	35.975	34.616	47.913	45.212	722.869	[km]
Gasolio			67.683	60.230	67.155	65.732	51.333	47.145	45.860	30.676	26.984	25.961	35.936	33.907	558.602	[l]
Consumo chilometrico			0,750	0,750	0,750	1,000	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,773	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CITELIS	IRISBUS CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3000 ÷ 3099	314.770	274.120	320.109	301.583	320.031	290.265	307.747	224.266	355.680	295.587	352.631	325.063	3.681.852	[km]
Gasolio			156.348	136.909	159.330	149.480	164.255	155.421	166.250	152.085	149.849	151.649	166.397	161.670	1.869.643	[l]
Consumo chilometrico			0,497	0,499	0,498	0,496	0,513	0,535	0,540	0,678	0,421	0,513	0,472	0,497	0,508	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CITELIS 18 GAS	IRISBUS CITELIS 18m DIESEL EEV	800 ÷ 869 790 ÷ 797	251.802	237.282	261.799	263.754	277.907	221.832	233.533	233.722	256.339	242.689	250.111	239.727	2.970.497	[km]
Gasolio			162.282	156.590	175.903	173.998	184.468	166.436	180.437	185.201	169.365	164.748	160.187	153.169	2.032.784	[l]
Consumo chilometrico			0,644	0,660	0,672	0,660	0,664	0,750	0,773	0,792	0,661	0,679	0,640	0,639	0,684	[l/km]

l/km

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CITELIS 18 GAS2	IRISBUS CITELIS 18m CNG	870 ÷ 874	17.213	15.200	18.672	17.381	16.686	14.254	13.808	11.817	12.494	15.218	14.400	18.712	185.855	[km]
Gasolio			11.507	10.010	12.699	11.656	11.301	10.789	9.072	8.445	9.622	9.929	9.282	10.845	125.157	[l]
Consumo chilometrico			0,669	0,659	0,680	0,671	0,677	0,757	0,657	0,715	0,770	0,652	0,645	0,580	0,673	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CITELIS 2	IVECO CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3300 ÷ 3380	468.838	400.874	394.813	407.219	437.396	375.065	380.245	346.902	468.672	413.381	404.089	397.784	4.895.278	[km]
Gasolio			229.160	199.535	201.644	202.868	224.412	206.620	223.124	216.914	210.708	216.266	193.778	203.201	2.528.230	[l]
Consumo chilometrico			0,489	0,498	0,511	0,498	0,513	0,551	0,587	0,625	0,450	0,523	0,480	0,511	0,516	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
DSSWAY 1	IVECO CROSSWAY LE	1150 ÷ 1168	104.505	95.455	99.179	88.644	96.034	78.306	93.978	80.659	91.299	86.875	78.948	83.146	1.077.028	[km]
Gasolio			45.382	42.759	45.207	41.096	43.705	38.916	47.057	42.965	41.658	43.233	39.829	42.537	514.344	[l]
Consumo chilometrico			0,434	0,448	0,456	0,464	0,455	0,497	0,501	0,533	0,456	0,498	0,504	0,512	0,478	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\IMD	VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	930 ÷ 989	146.901	141.083	163.152	151.770	140.076	126.781	134.790	104.227	114.146	126.261	106.347	113.131	1.568.665	[km]
Gasolio			99.897	95.935	110.930	103.203	95.250	86.207	91.663	70.870	77.624	85.855	72.318	76.927	1.066.679	[l]
Consumo chilometrico			0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	0,680	[l/km]

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\IMW	VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	990 ÷ 1014	79842	79632	77294	66456	71331	67469	58708	54226	67187	73139	69197	62753	827.234	[km]
Gasolio			59085	58926	57200	49180	52783	49925	43442	40123	49713	53991	51207	46448	612.023	[l]
Consumo chilometrico			0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,738	0,740	0,740	0,740	[l/km]

Figura 65 - Chilometri percorsi, fabbisogno di gasolio e consumo chilometrico per famiglia di autobus urbani e suburbani a gasolio

Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CITELIS 18 CNG	IRISBUS CITELIS 18m CNG	1310 ÷ 1313	8.779	7.528	12.272	10.558	11.787	12.025	5.894	3.817	9.842	12.350	9.561	9.307	113.720	[km]
Metano			6.001	4.846	8.317	7.065	7.661	8.178	4.148	2.885	6.826	11.370	9.193	7.836	84.326	[kg]
Consumo Chilometrico			0,684	0,644	0,678	0,669	0,650	0,680	0,704	0,756	0,694	0,921	0,961	0,842	0,742	[kg/km]
Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CNG	IRISBUS 491E.18.31 CNG-CITYCLASS	1020 ÷ 1089 1280 ÷ 1306	290.648	229.257	246.450	221.467	223.550	201.332	200.139	202.729	254.270	219.785	246.809	217.968	2.754.404	[km]
Metano			215.740	180.484	193.143	166.654	179.460	145.809	154.477	161.380	172.599	175.953	178.727	164.652	2.089.078	[kg]
Consumo Chilometrico			0,742	0,787	0,784	0,753	0,803	0,724	0,772	0,796	0,679	0,801	0,724	0,755	0,758	[kg/km]
Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\ECO	IVECO 491E.12.24 CNG - CITYCLASS	2600 ÷ 2699	325.340	293.300	320.682	293.059	300.770	227.158	232.313	135.394	230.914	239.402	231.127	191.273	3.020.732	[km]
Metano			194.187	176.098	191.243	166.487	165.199	113.459	128.417	80.294	127.095	149.243	137.631	117.026	1.746.379	[kg]
Consumo Chilometrico			0,597	0,600	0,596	0,568	0,549	0,499	0,553	0,593	0,550	0,623	0,595	0,612	0,578	[kg/km]
Famiglia	Modello	Serie	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\ECOC	IRISBUS 491E.12.27 CNG - CITYCLASS	2700 ÷ 2787	302.355	297.221	345.644	322.700	329.169	313.775	348.584	279.954	374.883	328.605	326.343	290.624	3.859.857	[km]
Metano			162.440	156.166	184.109	168.744	168.007	153.705	177.749	168.335	177.277	178.934	172.377	166.213	2.034.055	[kg]
Consumo Chilometrico			0,537	0,525	0,533	0,523	0,510	0,490	0,510	0,601	0,473	0,545	0,528	0,572	0,527	[kg/km]

Figura 66 - Chilometri percorsi, fabbisogno di gasolio e consumo chilometrico per famiglia di autobus urbani e suburbani a metano

Dai dati analizzati risulta quindi un fabbisogno annuo per il trasporto urbano pari a:

- 12.044.720 litri di gasolio
- 5.953.839 kg di metano.

Come riportato in figura 56, grazie ai dati scaricati da sistema si ha il consumo chilometrico per ogni famiglia di bus.

Confrontando i volumi di gasolio e metano stimati partendo dalle due misure effettuate con i consumi registrati a sistema si ha una differenza pari a 1.090.820 litri di gasolio, pari all'8,3%, mentre per il metano si ha una differenza di 2.678.882 chilogrammi di metano, pari al 31%.

Per quanto riguarda il calcolo dei consumi dei bus elettrici bisogna invece fare calcoli diversi in base alla famiglia considerata.

### ELFO

Di questa famiglia di bus elettrici si conoscono i consumi medi al chilometro grazie a misure e prove effettuate da GTT negli anni passati e risultano essere pari a 0,7 kWh/km.

<i>Famiglia</i>	<i>Modello</i>	<i>Serie</i>	<i>GEN</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>APR</i>	<i>MAG</i>	<i>GIU</i>	<i>LUG</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OTT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>	<i>Totale</i>
ELFO	EPT - CACCIAMALI "ELFO"	E01÷E23	35.148	30.653	33.427	30.880	33.032	31.295	25.557	10.817	30.223	39.514	38.506	36.862	375.914

Tabella 27 - Percorrenze chilometriche 2018 Elfo

Anche per questi autobus le percorrenze giornaliere vengono registrate a sistema. Calcolando dunque la percorrenza totale del 2018 e moltiplicandola per il consumo medio unitario si ottiene un consumo elettrico annuo pari a:

$$E = \text{Consumo medio} * \text{km percorsi} = 0,7 * 375914 = 263834 \text{ kWh}$$

Scaricando i dati da sistema si può notare che oltre alla percorrenza sono anche riportati occasionalmente dei rifornimenti di gasolio. Questi avvengono prevalentemente nel periodo invernale in quanto il riscaldamento dell'autobus funziona tramite riscaldatori a gasolio. Vi è dunque installato a bordo veicolo un serbatoio di alimentazione del riscaldatore.

Il consumo totale delle 22 vetture circolanti nel 2018 ammonta a 9717 litri di gasolio, con un consumo chilometrico pari a 0,026 l/km.

Ai fini della diagnosi energetica è anche necessario determinare quanta dell'energia immagazzinata negli autobus venga effettivamente assorbita dal Tortona, ma non essendo presente un contatore dedicato a questa ricarica sono necessarie alcune considerazioni.

Le ricariche induttive che eseguono la ricarica rapida ai capilinea hanno la possibilità di contabilizzare i consumi per le ricariche come già spiegato in precedenza: Fontanesi effettua più ricariche dato che lo Star1 percorre con 6 veicoli in dotazione 655 km/gg e

l'altro impianto della linea, situato nei pressi del palazzo di giustizia in via Cavalli è rimasto fuori servizio per tutto il 2018, inoltre il percorso della linea Star1 è a maggior consumo energetico per via del tipo di percorso e ha erogato un'energia pari a 188780 kWh; invece le ricariche induttive ai capilinea dello Star2 situate a Cairoli e Bolzano hanno effettuato meno ricariche visto che questa linea percorre con 5 veicoli in dotazione 555 km/gg ed hanno erogato nel 2018 un'energia di 106322 kWh.

Sommando queste due energie si otterrebbe il completo soddisfacimento del fabbisogno degli Elfo, ma così non è: questa è l'energia misurata dal contatore fiscale o dal misuratore, ma la ricarica ad induzione ha un proprio rendimento, decisamente inferiore al 100% dato che questo tipo di ricarica prevede l'utilizzo in serie di apparecchiature elettroniche ognuna delle quali possiede un proprio rendimento. La casa madre fornisce come rendimento del sistema il 90%[37], ma nei dati forniti non viene spiegato in quale punto del sistema venga misurato un tale valore.

Nella realtà partendo dalla lettura delle correnti circolanti nell'IGBT (Insulated-gate bipolar transistor, transistor bipolare a gate isolato) e conoscendo le tensioni applicate si calcolano la potenza fornita alle batterie e la potenza assorbita per la ricarica. Da questi valori si calcola il rendimento reale del processo di ricarica induttiva. Questo rendimento viene chiamato *Posizionamento*, dato che il suo valore è fortemente influenzato dal posizionamento della piastra installata a bordo bus rispetto alla piastra incorporata nel terreno.

$$Posizionamento [\%] = \frac{P_{uscita,IGBT}}{P_{ingresso,IGBT}}$$

A differenza del valore fornito dalla letteratura, questo tiene conto anche delle perdite che si hanno a bordo veicolo e dell'effettivo assorbimento della batteria in base alla percentuale di carica residua.

Nonostante il posizionamento venga misurato in continuo quando i bus utilizzano la ricarica, non è mai stato installato un sistema in grado di remotare autonomamente questi valori, per cui la lettura è avvenuta in modo manuale. Osservando il variare del valore durante la ricarica si può verosimilmente affermare che il posizionamento, ossia il rendimento di ricarica si aggira mediamente su valori del 70%. Il 30% dell'energia effettivamente misurata dai contatori fiscali, viene dunque dissipata da tale tecnologia.

Alla luce di questo, l'energia assorbita all'interno del deposito Tortona dagli Elfo risulta essere:

$$\begin{aligned} E_{Tortona} &= E_{annua,Elfo} - E_{contatore Fontanesi} * 0,7 - E_{contatore Bolzano+Cairoli} * 0,7 \\ &= 263834 - 132146 - 74425 = 57262 kWh \end{aligned}$$

Da questi calcoli si può anche dedurre che gli Elfo, grazie alle batterie performanti al litio e alle cariche parziali lungo la linea torna in deposito a fine servizio con una ricarica residua del circa 80%.

## BYD

Per questi nuovi bus elettrici, essendo di recente dotazione, non vi sono dati reali sui consumi, ma solo quelli forniti dal produttore, che però potrebbero non rispecchiare i reali consumi su strada.

Come per tutti i mezzi della flotta GTT le percorrenze chilometriche sono registrate tramite AVM e registrate a sistema. Come detto precedentemente questi effettuano la ricarica solo a fine servizio nei depositi Tortona e Gerbido, quindi per maggior chiarezza si suddividono le percorrenze di questa famiglia di autobus in base al deposito a cui sono assegnati:

<b>Mese</b>	<b>Deposito Tortona [km]</b>	<b>Deposito Gerbido [km]</b>
<b>gen-18</b>	56141	20086
<b>feb-18</b>	58042	24137
<b>mar-18</b>	66623	27040
<b>apr-18</b>	63834	24291
<b>mag-18</b>	66697	20156
<b>giu-18</b>	77531	13785
<b>lug-18</b>	75519	15472
<b>ago-18</b>	50481	9178
<b>set-18</b>	77246	21431
<b>ott-18</b>	74979	30006
<b>nov-18</b>	67661	26453
<b>dic-18</b>	65122	21585

*Tabella 28 - Percorrenze mensili BYD suddivise per deposito*

I dati sui consumi reali dei bus, si possono ricavare dalle letture dei contatori installati sulle diverse linee di ricarica. Purtroppo per il 2018, anno di messa in servizio di questi bus, i contatori non hanno funzionato in modo ottimale (hanno iniziato a registrare correttamente i dati solo da maggio 2019), lasciando buchi di dati notevoli. Si è quindi deciso di partire dai consumi registrati nel 2019 per ricavare così un consumo medio corretto, dato che in questo anno sono disponibili tutte le misure degli assorbimenti. Per il calcolo dei consumi medi si è utilizzato come unica fonte dei dati il deposito Tortona, considerando quindi i bus in dotazione a questo deposito, facendo la differenza tra le letture dell'energia cumulata nel periodo di interesse, per avere l'energia effettivamente erogata nel periodo.

Per una maggiore accuratezza dei risultati si sono presi in considerazione diversi periodi dell'anno, per vedere anche l'influenza delle temperature e delle condizioni climatiche sui consumi:

- Gennaio e febbraio 2019 per il consumo invernale;
- Luglio e agosto 2019 per il consumo estivo;
- Settembre 2019 per il consumo dei mesi a metà tra la stagione calda e quella fredda.

Si è appositamente scelto un periodo di campionamento mensile o bimestrale in modo tale da non risentire delle variazioni che potrebbero esserci quotidianamente nei consumi. Nelle tabelle che seguono vengono riportate le letture dei contatori che alimentano le diverse linee di ricarica nel deposito Tortona.

<b>CONSUMI TORTONA GENNAIO/FEBBRAIO 2019</b>			
01/01/2019 00:00	Linea 1	572626	kWh
	Linea 2	425380	kWh
01/03/2019 00:00	Linea 1	673623	kWh
	Linea 2	491017	kWh
<b>ENERGIA TOTALE GENNAIO FEBBRAIO 19</b>		<b>166.634</b>	<b>kWh</b>

*Tabella 29 - Energia erogata dalle linee di ricarica bus Tortona gennaio - febbraio 2019*

<b>CONSUMI TORTONA LUGLIO/AGOSTO 2019</b>			
01/07/2019 02:00	Linea 1	61289	kWh
	Linea 2	47241	kWh
01/09/2019 02:00	Linea 1	132718	kWh
	Linea 2	112788	kWh
<b>ENERGIA TOTALE LUGLIO AGOSTO 19</b>		<b>136.976</b>	<b>kWh</b>

*Tabella 30 - Energia erogata dalle linee di ricarica bus Tortona luglio - agosto 2019*

<b>CONSUMI TORTONA SETTEMBRE 2019</b>			
01/09/2019 02:00	Linea 1	132752	kWh
	Linea 2	112804	kWh
01/10/2019 02:00	Linea 1	169531	kWh
	Linea 2	144118	kWh
<b>ENERGIA TOTALE SETTEMBRE 19</b>		<b>68.093</b>	<b>kWh</b>

*Tabella 31 - Energia erogata dalle linee di ricarica bus Tortona settembre 2019*

Conoscendo dunque l'energia assorbita nei diversi mesi e scaricando da sistema le percorrenze per i periodi di interesse del 2019, si può ricavare il consumo medio al chilometro. Scaricando i dati dai server, si nota che anche per i BYD è presente il rifornimento di gasolio. Questi autobus, come gli Elfo possiedono il riscaldamento della vettura a gasolio, quindi nei mesi invernali e nelle stagioni di transizione oltre al consumo elettrico si ha anche un consumo in [l/km] dovuto appunto al riscaldamento.

<i>Periodo</i>	<i>Percorrenza [km]</i>	<i>Energia [kWh]</i>	<i>Gasolio [l]</i>	<i>Consumo chilometrico [kWh/km]</i>	<i>Consumo chilometrico [l/km]</i>
<b>Gen-Feb 19</b>	138223	166634	6596	1,206	0,048
<b>Lug-Ago 19</b>	112161	136976	-	1,221	-
<b>Set 19</b>	68496	68093	577	0,994	0,003

Tabella 32 - Calcolo consumi specifici BYD

Sulla base delle temperature medie del 2018 a Torino[38] si sono considerati come mesi invernali il periodo ottobre – marzo, mesi di transizione aprile, maggio e settembre e come mesi estivi il periodo giugno – agosto.

Conoscendo i consumi specifici sia per l'energia elettrica, sia per il gasolio è stato sufficiente moltiplicarli per le percorrenze del 2018 riportate in tabella 28 per ottenere così il consumo totale annuo:

<i>Mese</i>	<i>Energia Tortona [kWh]</i>	<i>Gasolio Tortona [l]</i>	<i>Energia Gerbido [kWh]</i>	<i>Gasolio Gerbido [l]</i>
<b>gen-18</b>	67680	2679	21303	843
<b>feb-18</b>	69972	2770	26186	1037
<b>mar-18</b>	80317	3179	29685	1175
<b>apr-18</b>	63458	204	24148	78
<b>mag-18</b>	66304	213	20037	64
<b>giu-18</b>	94685	0	16835	0
<b>lug-18</b>	92227	0	18895	0
<b>ago-18</b>	61650	0	11209	0
<b>set-18</b>	76791	247	21305	68
<b>ott-18</b>	90391	3578	36174	1432
<b>nov-18</b>	81568	3229	31890	1262
<b>dic-18</b>	78507	3108	26022	1030

Tabella 33 - Fabbisogni BYD nei due depositi

Sommando i risultati ottenuti nella tabella 33 si ha il consumo totale di questa famiglia di bus che è pari a:

- 1.207.240 kWh
- 26.196 litri di gasolio.

Nella tabella 34 vengono quindi riassunte brevemente le distanze percorse dal trasporto pubblico urbano e suburbano per tipologia di alimentazione del motore:

	<b><i>Distanza [km]</i></b>
<b><i>Elettrico</i></b>	1.429.410
<b><i>Metano</i></b>	9.748.713
<b><i>Gasolio</i></b>	20.814.407
<b><i>TOTALE</i></b>	31.804.941

Tabella 34 - Percorrenze per tipologia 2018

Sapendo quindi le distanze percorse è possibile calcolare l'incidenza di ogni tipologia di trazione in base al tipo di propulsione dei motori come riportato in figura 67.

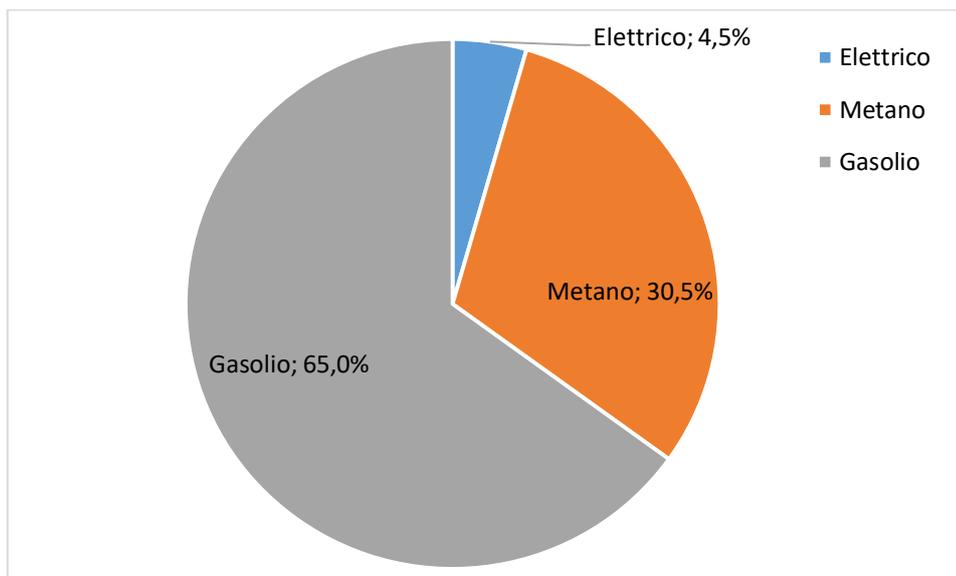


Figura 67 - Distribuzione dei chilometri percorsi in base all'alimentazione

Il consumo totale annuo del 2018 risulta invece essere:

- 1.559.604 kWh per la ricarica dei bus elettrici;
- 5.953.839 kg di metano;
- 12.080.632 l di gasolio.

#### 4.2 Rete extraurbana

Attraverso la partecipazione ai consorzi affidatari del servizio Extraurbano, GTT gestisce circa 70 linee che servono complessivamente 264 Comuni nelle province di Asti, Alessandria, Cuneo e Torino[33] e gestisce inoltre il servizio nell'area conurbata di Ivrea. Il servizio extraurbano è regolato da specifici contratti stipulati con le rispettive amministrazioni locali e aggiudicati a seguito di gare d'appalto.

Le direttrici principali della rete extraurbana sono:

- Torino – Val Sangone (Giaveno e Cumiana);
- Torino – Bassa Val Susa (Condove e Rubiana);
- Torino – Chivasso – Ivrea;
- Torino – Alba;
- Torino – Ciriè – Ceres;

- Torino – Chivasso – Casale;
- Valle Cerrina – Asti;
- Canale – Asti;
- Conurbazione di Ivrea

con una lunghezza complessiva pari a 3887 km (andata e ritorno).  
Viene riportata in figura 68 la mappa dei percorsi extraurbani.

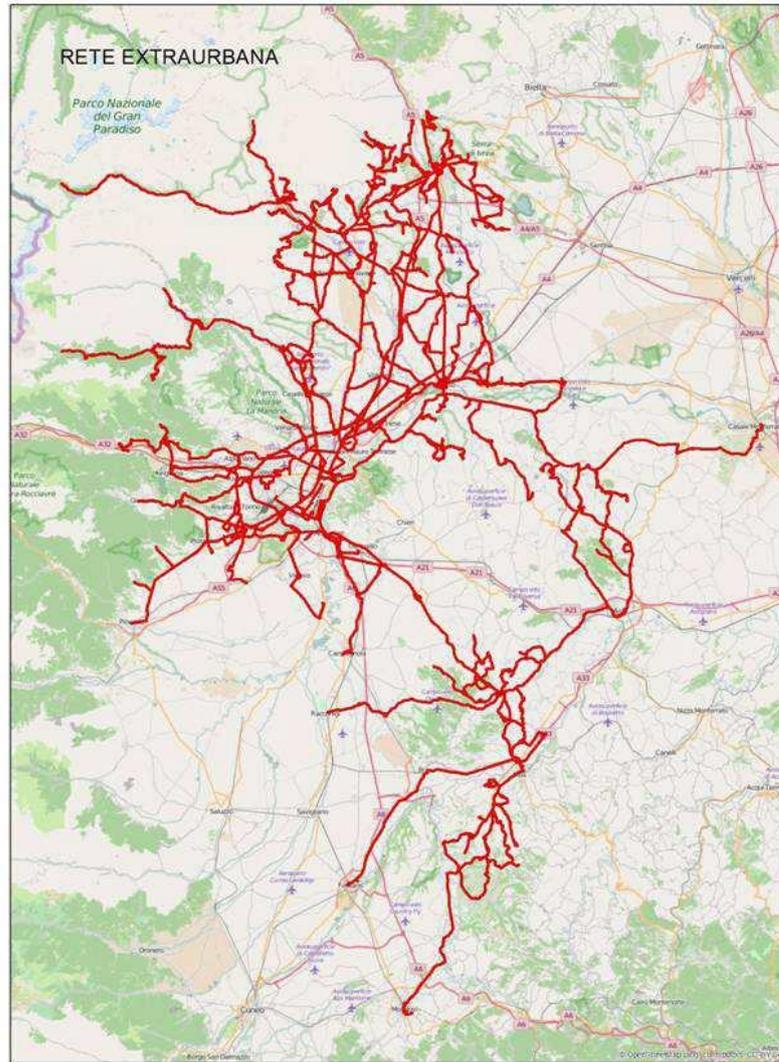


Figura 68 - Rete extraurbana GTT

La flotta urbana e suburbana dei bus GTT è costituita da:

	<b>Lunghezza [m]</b>	<b>Modello</b>	<b>Serie</b>	<b>Categoria</b>	<b>Veicoli in dotazione</b>
2 assi	<10	MAN 11-220 HOCL AUTODROMO	821-826	EURO2	5
	10	IVECO EURORIDER 391.10.29	588-600	EURO2	10
		MAN A47 LION'S CITY NL283 E4	85-89	EURO4	4

		MAN NM283F AUTODROMO TGM TANGO	1014-1016	EURO3	2
		IVECO CROSSWAY 10,6	230-241	EEV	12
	12	BMB M220/E1 LU/4P	1001-1006	EURO1	6
		BMB M221/1E2 LU/3P	1009-1010	EURO2	2
		AUTODROMO BASSOTTO	1252-1255	EURO2	7
		IVECO 380.12.35	741-750	EURO2	10
		MAN NL 222 F-U AUTODROMO LU-SR 25	1007-1008	EURO2	2
		SETRA S315ULH	221-229	EURO2	9
		MAN UL 313 AUTODROMO I2000.12	451-482	EURO2	29
		IVECO MY WAY 393.12.35	751-782	EURO2	32
		IVECO MY WAY 399.12.35	4000-4099	EURO3	88
		IVECO CROSSWAY 12	320-365	EEV	45
		15	IRISBUS FRANCE SFR116 ARES 15.36	80-81	EURO3
	IRISBUS FRANCE SFR141 ARWAY		500-502	EEV	2
	Snodati	18	SETRA SG321UL autosnodato	251-262	EURO2
BREDAMENARINIBUS M321/1 U/165			750-751	EURO2	1

Tabella 35 - Composizione flotta extraurbana GTT

Percentualmente, la flotta extraurbana GTT è quindi composta secondo quanto segue:

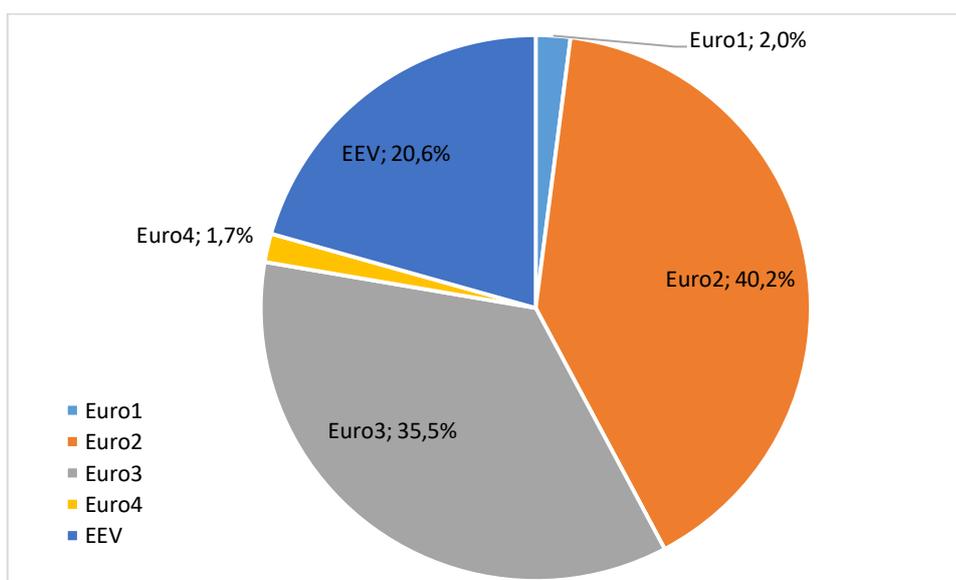


Figura 69 - Composizione percentuale flotta extraurbana

Come si può vedere dalla dotazione l'unica motorizzazione disponibile per il trasporto extraurbano è quella a gasolio, ma a differenza di quella del trasporto pubblico urbano e suburbano qui sono attivi e circolanti anche alcuni bus Euro1 (6 vetture).

A settembre 2019, nell'ottica di rinnovo della flotta a favore di mezzi a ridotto impatto ambientale, sono entrati in servizio 34 nuovi bus 12 metri a gasolio IRISBUS EURO 6 che hanno sostituito le motorizzazioni più inquinanti.

Anche per il trasporto pubblico extraurbano i rifornimenti di gasolio vengono effettuati nel deposito a cui sono assegnati i diversi mezzi:

<b><i>Deposito</i></b>	<b><i>Indirizzo</i></b>	<b><i>Carburante erogato</i></b>
<b><i>Canale</i></b>	Corso Alba 59 - Canale (CN)	Gasolio (privato)
<b><i>Cumiana</i></b>	Strada del Bivio 33 angolo p.za Martiri	Gasolio (privato)
<b><i>Fiochetto</i></b>	Via Fiocehtto 23 - Torino	Gasolio (privato)
<b><i>Germagnano</i></b>	Via Miglietti 45 - Germagnano (To)	Gasolio (privato)
<b><i>Gerbido</i></b>	Via Gorini 26 - Torino	Gasolio (privato)
<b><i>Giaveno</i></b>	Via Coazze 23 – Giaveno (TO)	Gasolio (privato)
<b><i>Ivrea</i></b>	Via Fenoglio 1- Ivrea (TO)	Gasolio (privato)
<b><i>Pont</i></b>	Via Roma 44 - Pont Canavese (To)	Gasolio (privato)
<b><i>Rivarolo</i></b>	Via Beato Bonifacio 20 – Rivarolo (TO)	Gasolio (privato)

*Tabella 36 - Lista depositi con tipo di distributore presente per trasporto extraurbano*

#### 4.2.1 Calcolo consumi rete extraurbana

Come per le vetture circolanti sulla rete urbana e suburbana, anche per gli autobus delle linee extraurbane le percorrenze vengono registrate tramite AVM e registrate a sistema, così come avviene per i rifornimenti in deposito.

A differenza degli autobus urbani e suburbani, su queste vetture non sono mai state effettuate prove per i calcoli di consumi medi, ma essendo disponibili i chilometri percorsi e i rifornimenti, si procede come nel caso della rete urbana, organizzando i dati in serie mensili per ogni famiglia di bus, e ricavandone così il consumo medio. I risultati vengono riportati in figura 70.

Dai dati analizzati risulta quindi un fabbisogno annuo per il trasporto extraurbano pari a 4.263.175 litri di gasolio.

Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\380D	FAP	1.858	598	0	0	0	0	0	0	599	2.801	280	0	6.136	[km]
Gasolio		1.098	252	0	0	0	0	0	0	326	1.296	140	0	3.112	[l]
Consumo chilometrico		0,591	0,421	-	-	-	-	-	-	0,544	0,463	0,500	-	0,507	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\391	FAP	19.294	23.117	27.290	22.699	20.026	19.842	15.457	9.140	11.813	26.535	22.060	14.321	231.594	[km]
Gasolio		8.751	11.297	13.132	10.673	9.815	9.573	7.202	2.645	4.997	11.986	10.762	6.499	107.332	[l]
Consumo chilometrico		0,454	0,489	0,481	0,470	0,490	0,482	0,466	0,289	0,423	0,452	0,488	0,454	0,463	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\BAS	FAP	2.370	4.757	5.108	4.370	4.501	1.073	0	0	0	228	0	0	22.407	[km]
Gasolio		1.038	2.085	2.237	1.914	1.972	470	0	0	0	100	0	0	9.816	[l]
Consumo chilometrico		0,438	0,438	0,438	0,438	0,438	0,438	-	-	-	0,439	-	-	0,438	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\BRM	FAP	2.592	2.760	4.286	1.832	3.295	1.329	0	0	2.045	2.606	937	366	22.048	[km]
Gasolio		1.944	2.069	3.214	1.374	2.472	997	0	0	1.535	1.954	703	275	16.537	[l]
Consumo chilometrico		0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	-	-	0,751	0,750	0,750	0,751	0,750	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CROSSWAY 10	EEV	57.793	46.484	44.153	50.945	46.669	42.754	55.201	50.609	44.548	42.873	45.510	29.806	557.345	[km]
Gasolio		21.150	16.089	15.116	17.709	13.315	13.872	14.681	16.574	10.578	15.350	10.750	11.484	176.668	[l]
Consumo chilometrico		0,366	0,346	0,342	0,348	0,285	0,324	0,266	0,327	0,237	0,358	0,236	0,385	0,317	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\CROSSWAY 12	EEV	279.142	255.700	279.756	246.582	289.600	227.715	226.194	160.673	316.654	260.179	302.546	254.041	3.098.782	[km]
Gasolio		102.191	92.745	101.354	83.633	95.116	81.035	85.855	76.832	88.575	103.041	98.726	88.408	1.097.511	[l]
Consumo chilometrico		0,366	0,363	0,362	0,339	0,328	0,356	0,380	0,478	0,280	0,396	0,326	0,348	0,354	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\M220	EURO 1	8.173	4.420	4.254	1.420	6.109	4.206	5.575	4.485	8.369	9.531	4.044	2.619	63.205	[km]
Gasolio		3.878	2.228	3.451	1.631	2.830	1.855	2.448	1.993	3.785	4.603	2.213	1.729	32.644	[l]
Consumo chilometrico		0,474	0,504	0,811	1,149	0,463	0,441	0,439	0,444	0,452	0,483	0,547	0,660	0,516	[l/km]

Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\M221	FAP	1.072	0	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.182	[km]
Gasolio		536	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	591	[l]
Consumo chilometrico		0,5	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN A47	EURO 4	11.725	8.628	2.933	9.021	10.533	8.252	3.743	853	9.244	7.538	10.051	11.236	93.757	[km]
Gasolio		4.847	3.704	1.271	3.818	4.261	3.251	1.688	391	3.885	3.152	3.960	4.411	38.639	[l]
Consumo chilometrico		0,413	0,429	0,433	0,423	0,405	0,394	0,451	0,458	0,420	0,418	0,394	0,393	0,412	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN220	FAP	7.874	11.187	11.157	3.049	2.396	674	2.599	2.528	6.439	12.401	10.795	7.536	78.635	[km]
Gasolio		3.008	4.135	3.912	1.202	445	180	899	872	2.226	4.782	2.907	2.207	26.775	[l]
Consumo chilometrico		0,382	0,370	0,351	0,394	0,186	0,267	0,346	0,345	0,346	0,386	0,269	0,293	0,340	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN222	FAP	3.223	3.564	3.982	3.557	4.203	9.215	8.276	5.378	5.206	4.391	2.983	2.967	56.945	[km]
Gasolio		1.482	1.921	1.936	1.553	1.753	3.241	3.151	1.939	2.040	1.667	1.366	1.495	23.544	[l]
Consumo chilometrico		0,460	0,539	0,486	0,437	0,417	0,352	0,381	0,361	0,392	0,380	0,458	0,504	0,413	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN263A	FAP	8.190	5.385	640	0	0	0	0	6.117	4.576	6.113	6.105	7.678	44.804	[km]
Gasolio		4.355	4.426	2.104	170	0	0	0	1.309	1.789	2.893	2.973	3.819	23.838	[l]
Consumo chilometrico		0,532	0,822	3,288	-	-	-	-	0,214	0,391	0,473	0,487	0,497	0,532	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN283A	EURO 3	0	154	2.898	6.396	3.969	0	2.985	6.102	4.470	4.132	0	4.517	35.623	[km]
Gasolio		0	185	1.490	3.128	1.623	0	1.272	2.635	2.166	1.902	0	2.143	16.544	[l]
Consumo chilometrico		-	1,201	0,514	0,489	0,409	-	0,426	0,432	0,485	0,460	-	0,474	0,464	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MAN313	FAP	73.664	71.501	93.477	82.876	77.257	68.041	55.239	20.238	70.477	72.695	54.736	47.275	787.476	[km]
Gasolio		35.485	32.508	43.624	35.253	29.630	23.260	18.756	7.759	19.435	21.119	17.106	16.792	300.727	[l]
Consumo chilometrico		0,482	0,455	0,467	0,425	0,384	0,342	0,340	0,383	0,276	0,291	0,313	0,355	0,382	[l/km]

Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MYWAY	EURO 3	371.391	356.312	403.138	338.160	400.319	311.081	297.832	202.609	366.434	375.514	348.878	282.610	4.054.278	[km]
Gasolio		152.246	151.910	170.596	142.397	165.470	131.931	141.121	100.214	148.821	175.608	155.206	132.416	1.767.935	[l]
Consumo chilometrico		0,410	0,426	0,423	0,421	0,413	0,424	0,474	0,495	0,406	0,468	0,445	0,469	0,436	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\MYWAYS	FAP	73.917	68.849	77.624	71.474	75.795	52.443	53.122	27.263	68.440	77.432	82.405	65.471	794.235	[km]
Gasolio		40.550	40.852	42.109	32.353	35.635	26.249	29.060	13.921	38.977	45.678	47.424	37.903	430.711	[l]
Consumo chilometrico		0,549	0,593	0,542	0,453	0,470	0,501	0,547	0,511	0,570	0,590	0,575	0,579	0,542	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\S315 UL	FAP	13.746	11.555	13.880	9.020	11.493	2.493	0	739	5.555	6.543	6.000	7.127	88.151	[km]
Gasolio		7.178	7.524	7.829	5.106	6.625	1.370	0	335	2.600	3.010	3.085	4.013	48.675	[l]
Consumo chilometrico		0,522	0,651	0,564	0,566	0,576	0,550	-	0,453	0,468	0,460	0,514	0,563	0,552	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\SFR116	EURO 3	2.495	388	1.612	3.753	6.100	5.854	4.822	2.045	7.366	7.665	6.597	4.882	53.579	[km]
Gasolio		1.610	263	1.000	1.362	3.330	3.538	2.740	1.061	3.711	4.105	3.897	2.857	29.474	[l]
Consumo chilometrico		0,645	0,678	0,620	0,363	0,546	0,604	0,568	0,519	0,504	0,536	0,591	0,585	0,550	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\SFR141	EURO 4	6.924	6.440	6.512	6.732	6.401	5.896	2.734	2.243	9.204	7.116	5.531	4.485	70.218	[km]
Gasolio		3.781	3.082	3.825	2.939	2.749	3.079	1.297	945	4.487	3.765	3.076	2.503	35.528	[l]
Consumo chilometrico		0,546	0,479	0,587	0,437	0,429	0,522	0,474	0,421	0,488	0,529	0,556	0,558	0,506	[l/km]
Famiglia	Motorizzazione	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	Totale	
\SG321	FAP	11.896	11.500	14.362	14.662	13.805	6.782	2.471	663	11.854	14.514	15.716	12.000	130.225	[km]
Gasolio		8.070	7.218	8.742	8.484	8.091	3.889	1.439	501	6.440	8.467	8.307	6.926	76.574	[l]
Consumo chilometrico		0,678	0,628	0,609	0,579	0,586	0,573	0,582	0,756	0,543	0,583	0,529	0,577	0,588	[l/km]

Figura 70 - Chilometri percorsi, fabbisogno di gasolio e consumo chilometrico per famiglia di autobus extraurbani a gasolio

## 4 Metropolitana e linee ferroviarie

Ai fini della diagnosi energetica è necessario analizzare tutte le componenti del sito virtuale. Di questo ne fanno anche parte la linea della metropolitana di Torino e il le linee ferroviarie gestite da GTT. Ai fini di questa tesi, queste non sono state analizzate nel dettaglio, si sono solamente calcolati i consumi, ma per completezza dell'argomento vengono di seguito riportate.

### 4.1 Metropolitana di Torino

La Metropolitana di Torino, Linea 1, entrata in esercizio nel 2006 è la prima in Italia ad adottare il sistema VAL (Veicolo Automatico Leggero). È un sistema appositamente progettato per questo tipo di veicoli e realizzato in modo tale da garantire la massima sicurezza tramite un sistema di Controllo Automatico dei Treni (ATC).

Questo sistema beneficia delle caratteristiche più avanzate del settore:

- esercizio ad automazione totale;
- assenza di personale fisso sui treni e in stazione;
- elevata capacità di gestione dei guasti;
- telesorveglianza e telemisurazione del servizio (treni, impianti di linea e di stazione);
- protezione dei treni contro il rischio di collisioni e eccesso di velocità garantita dalla funzione ATP (protezione automatica dei treni).[32]

Il percorso della metropolitana (figura 71) collega Collegno (da ovest) e il Lingotto (da sud) al centro di Torino e alle stazioni ferroviarie di Porta Susa e Porta Nuova. La linea è lunga in tutto 13,2 km, di cui 12,412 km sono la distanza Fermi – Lingotto, coperti in circa 22 minuti con un tempo medio tra le stazioni di 60 secondi.



Figura 71 - Percorso metro 1 Torino

La metropolitana automatica VAL sfrutta inoltre la possibilità di recupero di energia in frenatura (frenatura elettrica). Lo studio algoritmico delle sequenze di partenza e arrivi dei treni in esercizio alle diverse stazioni consente di individuare la migliore frequenza dei treni in grado di ottimizzare il recupero dell'energia in frenatura.

In fase di frenata i motori elettrici di trazione vengono utilizzati come generatori elettrici, convertendo l'energia cinetica del treno in energia elettrica che viene re-immessa in linea. Quando un convoglio è in fase di frenatura, l'energia recuperata ed immessa in linea può essere assorbita da un altro convoglio in accelerazione. In assenza di accumulatori elettrici dedicati, se per fattori esterni viene meno il sincronismo tra i treni e per evitare sovratensioni che danneggerebbero la linea, l'energia prodotta in frenata viene dissipata sotto forma di calore dal banco di carico. Il banco di carico è costituito da resistenze elettriche in grado di dissipare energia elettrica per effetto Joule ed il calore prodotto viene disperso all'esterno.

L'attuazione delle frequenze ottimizzate di circolazione consente un minore consumo di energia stimabile in circa il 20% rispetto alle frequenze "normali" (1 – 2 – 3 minuti). Vengono costantemente valutati ulteriori provvedimenti di ottimizzazione del recupero attraverso la regolazione automatica del traffico:

- modificando in tempo reale i tempi di stazionamento nelle stazioni;
- diminuendo leggermente le prestazioni di accelerazione dei treni e aumentando le fasi di coasting fuori dalle ore di punta.

#### 4.1.2 Consumi metropolitana

La metropolitana di Torino è dotata di tre contatori di energia elettrica (di cui uno situato presso Porta Nuova, in Corso Vittorio Emanuele II, il secondo ed il terzo situati in via fratelli Tampellini a Collegno) che misurano il consumo globale senza distinzione tra sottosistemi come ad esempio quello della trazione. La lettura mensile di questi contatori per il 2018 viene riportata in tabella 37. L'alimentazione comprende quindi sia l'alimentazione elettrica della linea, sia delle stazioni, sia del Comprensorio Tecnico di Collegno.

I consumi per la sola trazione sono stimati da uno studio commissionato da GTT ed effettuato nel 2016 al 50% rispetto ai consumi totali.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Totale
Indirizzo	[kWh]											
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.627.975	2.859.828	2.761.211	<b>11.160.982</b>
2	1.339.759	1.216.462	1.341.107	1.237.762	1.333.710	1.268.204	1.286.546	1.214.992	60.680	55	125	<b>10.305.383</b>
3	1.568.119	1.458.449	1.544.661	1.420.018	1.502.724	1.421.421	1.449.553	1.417.378	73.027	42	83	<b>11.863.821</b>

Tabella 37 - Consumi globali metropolitana di Torino

I consumi effettivi per la trazione risultano quindi essere la metà di quelli segnati dai contatori, ovvero 16.665.093 kWh nel 2018.

Con una percorrenza chilometrica annuale pari a 5.018.965 km si ottiene un consumo medio di 3,32 kWh/km.

## 4.2 Linee ferroviarie

La Business Unit Ferrovie di GTT gestisce in concessione la linea ferroviaria SFMA (Torino - Aeroporto - Ceres), che collega la città con l'Aeroporto Internazionale di Caselle (figura 72) e la linea SFM1 (Canavesana) (figura 73). Inoltre, nell'ambito dell'infrastruttura di RFI (Rete Ferroviaria Italiana) per conto di Trenitalia S.p.A., esercisce le tratte Torino Porta Susa – Chieri e Settimo – Torino Porta Susa, per le quali però non contabilizza i consumi energetici, per cui si potranno escludere dal rapporto di diagnosi energetica.[33]

Le linee GTT sono parte integrante del servizio ferroviario metropolitano (SFM) che costituisce il nodo ferroviario di Torino.



Figura 72 – Tratta SFMA



Figura 73 - Tratta SFM1

### Linea SFMA (Torino - Aeroporto - Ceres)

In totale la linea è lunga 41 km. È una linea a doppio binario nel tratto Torino Dora – Ciriè (19 km) e a semplice binario nel tratto Ciriè – Ceres (22 km).

La linea risulta essere completamente elettrificata a 3 kVcc e viene alimentata dalle sottostazioni elettriche di Ciriè, Rigola e Germagnano.

In dotazione alla linea vi sono:

- n. 6 Automotrici ALe 054/056
- n. 2 Automotrici ALn 668 serie 4800
- n. 8 Elettrotreni Alstom TTR.

I mezzi alimentati a gasolio vengono riforniti presso il distributore interno ad uso esclusivo GTT ubicato presso la stazione di Germagnano.

### Ferrovia Canavesana

In totale la linea è lunga 71 km (linea GTT e RFI) di cui 38 km da Pont Canavese a Settimo Torinese e 33 km da Settimo Torinese a Chieri (linea concessa da RFI fino a Stura e da Trenitalia fino a Chieri) ed è una linea a semplice binario.

La linea risulta essere elettrificata a 3 kVcc nei tratti Rivarolo - Settimo T.se (competenza GTT) e Settimo T.se - Chieri (competenza RFI), mentre risulta non elettrificata nel tratto Rivarolo – Pont.

In dotazione alla linea vi sono:

- n. 11 Elettrotreni Alstom TTR
- n. 3 Elettrotreni Coradia/Meridian
- n. 7 Elettrotreni Fiat ETR Y0530 (001/007)
- n. 3 Automotrici ALn 668 serie 4800.

I mezzi alimentati a gasolio vengono riforniti presso il distributore interno ad uso esclusivo GTT ubicato presso la stazione di Rivarolo.

#### 4.2.1 Consumi rete ferroviaria

Dei consumi relativi alla trazione ferroviaria si conoscono i consumi relativi alle SSE che alimentano le due linee e per l'anno 2018 questi risultano essere:

	<i>Consumo [kWh]</i>
<b><i>SSE Germagnano (To – Ceres)</i></b>	522.982
<b><i>SSE Ciriè (To- Ceres)</i></b>	1.578.905
<b><i>SSE Rigola (To – Ceres)</i></b>	1.879.093
<b><i>SSE San Benigno (Canavese)</i></b>	2.734.743
<b><i>Cabina T.E. di Settimo Torinese (Canavese)</i></b>	464.836

*Tabella 38 - Consumi elettrici ferrovia 2018*

Dai consumi registrati in tabella 34, sono quindi assenti i consumi che avvengono sulle tratte Torino Porta Susa – Chieri e Settimo – Torino Porta Susa, che GTT esercisce per conto di Trenitalia S.p.A.

Sommando i diversi consumi delle sottostazioni elettriche si ottiene un consumo annuo pari a 7.180.559 kWh.

Per quanto riguarda invece le percorrenze sulle due diverse linee si ha per il 2018:

	<b>ROTABILE</b>	<b>I trim [km]</b>	<b>II trim [km]</b>	<b>III trim [km]</b>	<b>IV trim [km]</b>	<b>TOTALE [km]</b>
<b>Torino-Ceres</b>	<b>668</b>	2.611	4.754	671	3.864	11.900
	<b>ALE</b>	36.226	31.064	9.012	29.830	106.132
	<b>TTR</b>	146.318	149.392	98.219	160.645	554.574
	<b>TOTALE</b>	185.155	185.210	107.902	194.339	672.606

	<b>ROTABILE</b>	<b>I trim [km]</b>	<b>II trim [km]</b>	<b>III trim [km]</b>	<b>IV trim [km]</b>	<b>TOTALE [km]</b>
<b>Canavesana</b>	<b>668</b>	15.017	11.126	4.081	13.640	43.864
	<b>ETR</b>	57.657	69.767	38.790	58.733	224.947
	<b>TTR</b>	230.174	207.763	193.869	221.147	852.953
	<b>CORADIA</b>	72.087	67.217	62.129	77.501	278.934
	<b>TOTALE</b>	374.935	355.873	298.869	371.021	1.400.698

Tabella 39 - Percorrenze chilometriche ferroviarie 2018

Sommando le percorrenze riportate nella tabella 39, si ricava una percorrenza totale pari a 2.073.304 km eserciti nel 2018.

Oltre ai consumi elettrici delle varie motrici è necessario tener conto anche dei consumi di gasolio sulle diverse due linee, dovuti alle motrici in dotazione negli ultimi chilometri delle due tratte:

- Torino – Ceres: l'ultimo tratto di 10 km da Germagnano a Ceres viene esercito dalla Automotrice Leggera Nafta – ALn 668 serie 4800, con alimentazione a gasolio e con un fabbisogno annuo di 12646 litri di gasolio;
- Canavesana: l'ultimo tratto di 16 km Rivarolo - Pont viene esercito dalla Automotrice Leggera Nafta – ALn 668 serie 4800, con alimentazione a gasolio e con un fabbisogno annuo di 32453 litri di gasolio.

Oltre alle vetture per il trasporto passeggeri, sono presenti sulle due linee dei locomotori per la manovra:

- Torino – Ceres: due unità presenti, con una percorrenza annua pari a 358 km ed un fabbisogno di gasolio pari a 400 litri;
- Canavesana: una unità presente, con una percorrenza annua pari a 136 km ed un fabbisogno di gasolio pari a 1101 litri;

Nella tabella 40 vengono riportati in sintesi i consumi annuali per le due linee ferroviarie.

	<i>Percorrenze [km]</i>	<i>Consumo elettrico [kWh]</i>	<i>Consumo di gasolio [l]</i>
<b><i>Torino – Ceres</i></b>	672.606	3.980.980	13.046
<b><i>Canavesana</i></b>	1.400.698	3.199.579	33.554
<b><i>TOTALE</i></b>	2.073.304	7.180.559	46.600

*Tabella 40 - Tabella riassuntiva percorrenze e consumi linee ferroviarie*

## 5 Indicatori consumi

Come specificato nelle Linee guida per l'esecuzione della diagnosi energetica nel trasporto pubblico ai sensi del D.Lgs. 102/2014 anche per il sito virtuale vi è la necessità di individuare degli indicatori energetici specifici per il settore.

Alla luce dei calcoli dei consumi eseguiti nel capito precedente, si riportano in tabella 42 i consumi di GTT per fonte energetica e rete di trasporto, convertiti in energia primaria (tep) con i fattori di conversione contenuti in figura 9.

Per quanto riguarda il consumo di gasolio, questo viene considerato in tonnellate e non in litri, per cui va effettuata un'ulteriore trasformazione, usando come valor medio della densità del gasolio 0,835 kg/l, dato che secondo le normative EN ISO 3675 e EN ISO 12185 la densità a 15°C è compresa tra 820,0 e 845,0 [kg/m<sup>3</sup>][39]

<b><i>FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE</i></b>	<b><i>CONSUMI 2018</i></b>	<b><i>CONSUMI 2018 [TEP]</i></b>
<b><i>Energia elettrica rete tranviaria [kWh]</i></b>	24.944.950	4.665
<b><i>Energia elettrica rete metropolitana [kWh]</i></b>	16.665.093	3.116
<b><i>Energia elettrica rete ferroviaria [kWh]</i></b>	7.150.978	1.337
<b><i>Energia elettrica trazione bus [kWh]</i></b>	1.559.604	292
<b><i>Gasolio uso trazione bus [l]</i></b>	16.343.807	13.920
<b><i>Gasolio uso trazione ferroviaria [l]</i></b>	46.600	34
<b><i>Gas metano uso trazione [kg]</i></b>	5.953.839	6.704
<b><i>TOTALE</i></b>		30.073

Tabella 41 - Conversione consumi 2018 in energia primaria

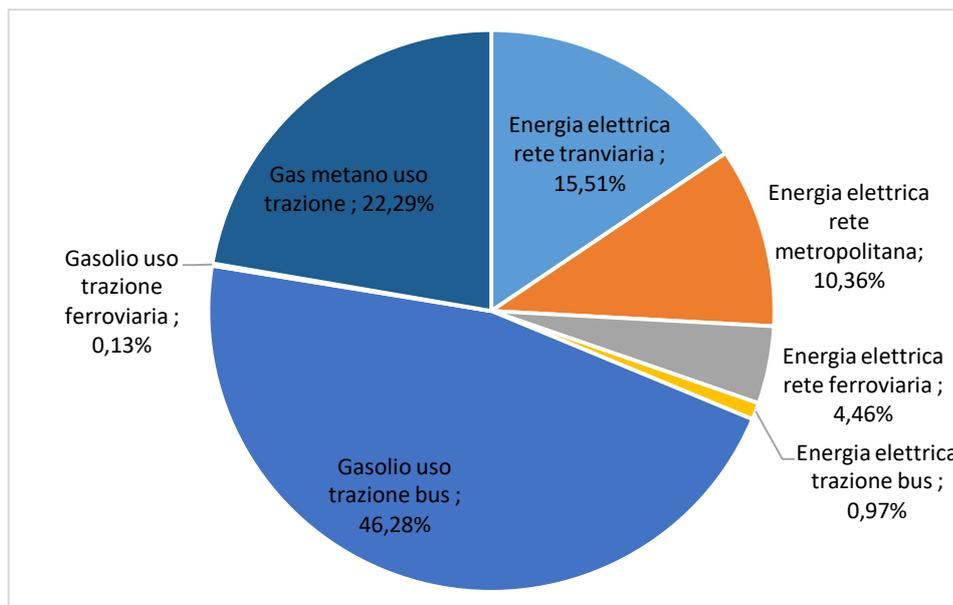


Figura 74 - Ripartizione consumi di energia primaria sito virtuale 2018

Rispetto ai consumi rilevati e calcolati nella precedente diagnosi energetica risalente al 2014, si può notare come non sia conteggiato il consumo di gasolio ad uso nautico. Questo perché i battelli Valentino e Valentina sono fuori servizio dal 2016, a seguito dei pesanti danneggiamenti subiti in occasione della piena del fiume Po.

<b>FONTI ENERGETICHE UTILIZZATE</b>	<b>CONSUMI 2014</b>	<b>CONSUMI 2014 [TEP]</b>
<b>Energia elettrica rete tranviaria [kWh]</b>	24.202.409	4.526
<b>Energia elettrica rete metropolitana [kWh]</b>	17.384.932	3.251
<b>Energia elettrica rete ferroviaria [kWh]</b>	7.551.854	1.412
<b>Energia elettrica trazione bus [kWh]</b>	151.605	28
<b>Gasolio uso trazione bus [l]</b>	19.988.329	17.126
<b>Gasolio uso trazione ferroviaria [l]</b>	50.616	43
<b>Gasolio uso nautico [l]</b>	25.000	21
<b>Gas metano uso trazione [kg]</b>	7.317.878	8.109
<b>TOTALE</b>		34.516

Tabella 42 - Conversione consumi 2014 in energia primaria

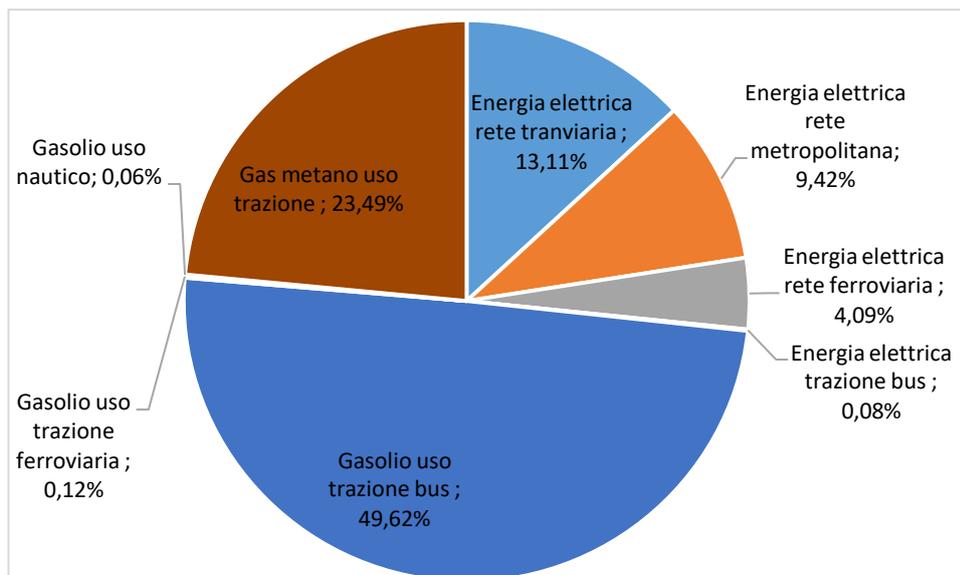


Figura 75 - Ripartizione consumi di energia primaria sito virtuale 2014

Confrontando i risultati ottenuti in tabella 41 relativi all'analisi dei consumi all'anno 2018 con i risultati della precedente diagnosi energetica riportati in tabella 42 (relativa ai consumi dell'anno 2014), si può notare una variazione di energia primaria pari a:

- Energia elettrica rete tranviaria +3,1%;
- Energia elettrica rete metropolitana -4,1%;
- Energia elettrica rete ferroviaria -4,9%;
- Energia elettrica trazione bus +928,7%
- Gasolio uso trazione bus -18,7%;
- Gasolio uso trazione ferroviaria -7,7%;
- Gas metano uso trazione -17,3%.

Il cambiamento più significativo lo si può notare nell'energia elettrica per la trazione dei bus, in quanto nel 2014 gli unici bus in dotazione erano gli Elfo, mentre dal 2018 grazie ai BYD la flotta GTT può contare su un discreto numero di bus elettrici, destinati ad aumentare grazie al rinnovo mezzi costituenti la flotta prevista negli anni a venire.

Le altre variazioni significative sono quelle relative ai consumi di gasolio e metano dei bus. Questo altro non è che l'effetto collaterale dovuto alla circolazione dei nuovi bus elettrici, che sono andati a sostituire autobus maggiormente inquinanti.

Globalmente, tra il 2014 e il 2018 si nota una diminuzione di fabbisogno di energia primaria di 4437 TEP che corrisponde ad una variazione percentuale del -12,9% dovuto ad una contrazione dei km percorsi in particolare dai bus urbani e suburbani come previsto dal Contratto di Servizio con gli Enti, come da tabella sotto riportata.

	<i>km 2014</i>	<i>km 2015</i>	<i>km 2016</i>	<i>km 2017</i>	<i>km 2018</i>	<i>Δ% 2014-2018</i>
<b>Urbani</b>	38.019.529	37.859.759	36.158.597	34.178.157	31.804.941	-16,35%
<b>Extraurbani</b>	11.259.358	11.058.719	11.022.263	10.454.961	10.524.771	-6,52%
<b>Totale</b>	49.278.887	48.918.478	47.180.860	44.633.118	42.329.712	-14,10%

Tabella 43 - Variazioni chilometriche quadriennio 2014-18

### 5.1 Indicatori rete tranviaria

<b>Famiglia Veicoli</b>	<b>Tipo indicatore</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Tipo indicatore</b>	<b>Indicatore</b>
<b>Tram serie 2800</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	2,97	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	5,55E-04
<b>Tram serie 5000</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	3,31	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	6,20E-04
<b>Tram serie 6000</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	5,00	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	9,36E-04
<b>Crema Sassi-Superga</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/tratta]	65,27	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/tratta]	1,22E-02
<b>Tram storico linea 7 + nolegg</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	0,34	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	6,33E-05
<b>Ristorcolor e Gustotram</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/tratta]	82,44	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/tratta]	1,54E-02

Tabella 44 - Indicatori specifici per famiglia/tipologia di tram riferiti al 2018

<b>Famiglia Veicoli</b>	<b>Tipo indicatore</b>	<b>Indicatore</b>	<b>Tipo indicatore</b>	<b>Indicatore</b>
<b>Tram serie 2800</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	3,31	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	6,19E-04
<b>Tram serie 5000</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	4,40	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	8,23E-04
<b>Tram serie 6000</b>	Consumo specifico trazione elettrica [kWh/kmpersorsi]	6,61	Consumo specifico trazione elettrica [TEP/kmpersorsi]	1,24E-03

Tabella 45 - Indicatori specifici per famiglia/tipologia di tram presenti nella precedente diagnosi energetica

Come si può notare, nella precedente diagnosi energetica erano presenti solamente 3 indicatori differenti per tutte le tipologie di tram circolanti sulla rete, ma con lo studio approfondito qui illustrato si è potuto analizzare in modo dettagliato il consumo effettivo di ogni tipologia di tram. La ripartizione del consumo specifico effettivo delle motrici risulta ridotto del 10,3% per le 2800, del 24,7% per le 5000 e del 24,3% per le 6000 rispetto a quello calcolato nella precedente diagnosi, nonostante non siano stati fatti interventi di efficientamento sulle motrici, ma solamente grazie appunto alle misure eseguite e al maggior grado di dettaglio delle analisi effettuate.

Oltre ai sopra riportati indicatori è possibile calcolarne uno relativo al consumo dei tram durante il tempo di stazionamento all'interno dei depositi: per il Venaria si ottiene un fabbisogno di energia primaria pari a 323,5 tep annui, mentre per gli altri depositi è richiesta un'energia primaria pari a 191,3 tep annui. Considerando un funzionamento continuo annuo, cioè per tutte le 8760 ore annue, si ricavano i seguenti indici:

<i>Deposito</i>	<i>Energia primaria [tep]</i>	<i>Tipo indicatore</i>	<i>Indicatore</i>
<i>Venaria</i>	323,5	Consumo specifico [TEP/h]	0,037
<i>Altri (San Paolo, Nizza, Tortona)</i>	191,3	Consumo specifico [TEP/h]	0,022

*Tabella 46 - Indicatori specifici per i depositi*

Per quanto riguarda invece le sottostazioni elettriche, non è possibile ricavare un indicatore, dato che i calcoli eseguiti sono frutto di approssimazioni e non si conoscono le energie effettivamente erogate per ogni sottostazione.

## 5.2 Indicatori rete di superficie su gomma urbana e suburbana

Per il solo trasporto di superficie su gomma urbano e suburbano si sono consumati nel 2018 12.044.720 litri di gasolio, il che si converte in un fabbisogno di energia primaria pari a 12.258 TEP, distribuiti per famiglia di bus come quanto segue:

<b>Famiglia</b>	<b>Modello</b>	<b>Serie</b>	<b>[km]</b>	<b>[l]</b>	<b>[l/km]</b>	<b>[TEP]</b>	<b>[TEP /km]</b>
\491	IVECO 491E.12.27 - CITYCLASS	2500 ÷ 2599	3.197.277	1.662.583	0,52	1416	4,43E-04
\491 E3	IRISBUS 491E.12.29 - CITYCLASS E3	2300 ÷ 2334	1.066.113	693.345	0,65	591	5,54E-04
\491 E4	IRISBUS 491E.12.29 - CITYCLASS E4	2335 ÷ 2349	313.351	245.560	0,78	209	6,67E-04
\591	IVECO 591E.12.27 - CITYCLASS	1190 ÷ 1219	10.954	5.477	0,50	5	4,26E-04
\BAS	AUTODROMO BASSOTTO	1220 ÷ 1279	297.434	130.294	0,44	111	3,73E-04
\BRM	BREDAMENARINIBUS M321/1 U/165	750 ÷ 789	722.869	558.602	0,77	476	6,58E-04
\CITELIS	IRISBUS CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3000 ÷ 3099	3.681.852	1.869.643	0,51	1592	4,32E-04
\CITELIS 18 GAS	IRISBUS CITELIS 18m DIESEL EEV	800 ÷ 869 790 ÷ 797	2.970.497	2.032.784	0,68	1731	5,83E-04
\CITELIS 18 GAS2	IRISBUS CITELIS 18m CNG	870 ÷ 874	185.855	125.157	0,67	107	5,74E-04
\CITELIS2	IVECO CITELIS 12.29 DIESEL EEV	3300 ÷ 3380	4.895.278	2.528.230	0,52	2153	4,40E-04
\CROSSWAY 12 LE	IVECO CROSSWAY LE	1150 ÷ 1168	1.077.028	514.344	0,48	438	4,07E-04
\MD	VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	930 ÷ 989	1.568.665	1.066.679	0,68	908	5,79E-04
\MW	VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	990 ÷ 1014	827.234	612.023	0,74	521	6,30E-04

Tabella 47 - Indicatori bus urbani e suburbani a gasolio su base dei consumi 2018

Per i bus a metano invece si sono consumati 5.953.839 kg di gas naturale, che si traducono in un fabbisogno di energia primaria pari a 6704 TEP, distribuiti per famiglia di bus come quanto segue:

<b>Famiglia</b>	<b>Modello</b>	<b>Serie</b>	<b>[km]</b>	<b>[kg]</b>	<b>[kg/km]</b>	<b>[TEP]</b>	<b>[TEP /km]</b>
\CITELIS 18 CNG	IRISBUS CITELIS 18m CNG	1310 ÷ 1313	113.720	84.326	0,74	95	8,35E-04
\CNG	IRISBUS 491E.18.31 CNG-CITYCLASS	1020 ÷ 1089 1280 ÷ 1306	2.754.404	2.089.078	0,76	2352	8,54E-04
\ECO	IVECO 491E.12.24 CNG - CITYCLASS	2600 ÷ 2699	3.020.732	1.746.379	0,58	1966	6,51E-04
\ECOC	IRISBUS 491E.12.27 CNG - CITYCLASS	2700 ÷ 2787	3.859.857	2.034.055	0,53	2290	5,93E-04

Tabella 48 - Indicatori bus urbani e suburbani a metano su base dei consumi 2018

Per i bus elettrici Elfo sia ha invece nel 2018 un assorbimento elettrico pari a 263.834 kWh ed un consumo di gasolio di 9717 litri. Il consumo chilometrico lo si calcola tenendo in considerazione solamente l'assorbimento di energia elettrica, dato che è l'unica necessaria per la trazione, ma il consumo di gasolio lo si considera nel calcolo del fabbisogno di energia primaria. Con una percorrenza totale pari a 375914 km si ottiene:

<i>Famiglia</i>	<i>Serie</i>	<i>[km]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[l]</i>	<i>[kWh/km]</i>	<i>[TEP]</i>	<i>[TEP/km]</i>
\ELFO	E01 ÷ E23	375.914	263.834	9717	0,7	57,6	1,53E-04

*Tabella 49 - Indicatori ELFO su base dei consumi 2018*

Le stesse considerazioni fatte per gli Elfo si ripetono per l'altra famiglia di bus elettrici, ovvero i BYD. Questi autobus hanno assorbito, nel 2018, un totale di 1.207.240 kWh per una percorrenza di 1.053.496 km. Il fabbisogno di gasolio è stato di 26.196 litri.

<i>Famiglia</i>	<i>Serie</i>	<i>[km]</i>	<i>[kWh]</i>	<i>[l]</i>	<i>[kWh/km]</i>	<i>[TEP]</i>	<i>[TEP/km]</i>
\BYD	BYD	1.053.496	1.207.240	26.196	1,15	248,1	2,35E-04

*Tabella 50- Indicatori BYD su base dei consumi 2018*

### 5.3 Indicatori rete di superficie su gomma extraurbana

Come visto in precedenza, il trasporto extraurbano di superficie viene alimentato esclusivamente tramite gasolio. Dai consumi calcolati in precedenza, si possono dunque ricavare i seguenti indicatori:

<i>Famiglia</i>	<i>Motorizzazione</i>	<i>km</i>	<i>[l]</i>	<i>[l/km]</i>	<i>[TEP]</i>	<i>[TEP/km]</i>
\380D	FAP	6.136	3.112	0,51	2,7	4,32E-04
\391	FAP	231.594	107.332	0,46	91,4	3,95E-04
\BAS	FAP	22.407	9.816	0,44	8,4	3,73E-04
\BRM	FAP	22.048	16.537	0,75	14,1	6,39E-04
\CROSSWAY 10	EEV	557.345	176.668	0,32	150,5	2,70E-04
\CROSSWAY 12	EEV	3.098.782	1.097.511	0,35	934,8	3,02E-04
\M221	FAP	1.182	591	0,50	0,5	4,26E-04
\MAN A47	EURO 4	93.757	38.639	0,41	32,9	3,51E-04
\MAN220	FAP	78.635	26.775	0,34	22,8	2,90E-04
\MAN222	FAP	56.945	23.544	0,41	20,1	3,52E-04
\MAN283A	EURO 3	35.623	16.544	0,46	14,1	3,96E-04
\MAN313	FAP	787.476	300.727	0,38	256,1	3,25E-04
\MYWAY	EURO 3	4.054.278	1.767.935	0,44	1505,8	3,71E-04
\MYWAYS	FAP	794.235	430.711	0,54	366,8	4,62E-04
\S315 UL	FAP	88.151	48.675	0,55	41,5	4,70E-04
\SFR116	EURO 3	53.579	29.474	0,55	25,1	4,69E-04
\SFR141	EURO 4	70.218	35.528	0,51	30,3	4,31E-04
\SG321	FAP	130.225	76.574	0,59	65,2	5,01E-04

Tabella 51 - Indicatori bus extraurbani su base dei consumi 2018

#### 5.4 Indicatori metropolitana

Dai consumi riportati nel capito precedente, si ricavano gli indicatori consigliati dalle Linee Guida ENEA. Questi sono il consumo di energia prima riferito alla percorrenza totale annua dell'anno di riferimento ed il consumo di energia primaria riferito alla lunghezza della linea di interesse:

<i>Lunghezza linea [km]</i>	<i>Energia consumata 2018 [kWh]</i>	<i>TEP totali 2018</i>	<i>Consumo specifico [TEP/km linea]</i>	<i>Chilometri percorsi 2018 [km]</i>	<i>Consumo specifico [TEP/vetture km]</i>
12,412	16.665.093	3116,372	251,1	5.018.965	6,209E-04

Tabella 52 - Indicatori metropolitana su base dei consumi 2018

Confrontando gli indicatori ottenuti relativi all'anno 2018 con quelli del 2014, si osserva che il consumo specifico [TEP/km linea] è passato da 261,9 a 251,1. Questo è dovuto ad un minor consumo di energia elettrica, che può essere dovuto ad un minor numero di corse dei treni della metropolitana, oppure ad un miglior utilizzo dell'energia recuperata in frenata dato che i treni recuperano parte dell'energia cinetica trasformandola in energia elettrica che viene utilizzata dagli altri treni in circolazione che richiedono energia in quell'istante. Essendo la metropolitana completamente automatica un software

sincronizza i treni in modo tale da avere nello stesso momento un treno in partenza dalla stazione (massimo assorbimento elettrico) ed uno in arrivo (frenata rigenerativa). Se la fase di frenata di un treno è accoppiata in modo ottimale ad un'accelerazione di un altro treno, l'energia effettivamente assorbita dalla rete di alimentazione risulta essere inferiore rispetto all'assenza di recupero e riutilizzo immediato dell'energia, dato che non è possibile la reimmissione nella rete di MT.

Per quanto riguarda gli indicatori energetici riguardanti le SSE della rete metropolitana non è corretto individuarne il valore, in quanto queste alimentano oltre i treni anche tutti i servizi annessi (deposito e stazioni).

### 5.5 Indicatori rete ferroviaria

Conoscendo le percorrenze e i consumi di ciascuna famiglia di motrice è possibile definire i seguenti indicatori:

#### Torino – Ceres

<i>Linea esercita</i>	<i>Tipologia treni usati sulla linea</i>	<i>Lunghezza linea [km]</i>	<i>Energia consumata 2018 [kWh]</i>	<i>Gasolio consumato 2018 [l]</i>	<i>TEP totali anno 2018</i>	<i>Consumo specifico [TEP/km linea]</i>	<i>Chilometri percorsi 2018 [km]</i>	<i>Consumo specifico [TEP/vetture km]</i>
Torino - Germagnano	Treno Trasporto Regionale - TTR	31	3.913.550	-	732	23,6	554.574	1,11E-03
Torino - Germagnano	Automotrice Leggera Elettrica - Ale + Le 054/056	31					106.132	
Germagnano - Ceres	Automotrice Leggera Nafta - ALn 668 serie 4800	10	-	12.646	11	1,1	11.900	9,05E-04

Tabella 53 - Indicatori linea ferroviaria Torino – Ceres

Conoscendo i consumi delle sottostazioni elettriche che alimentano le due linee ferroviarie si possono definire anche i relativi indici energetici:

- SSE Germagnano: potenza installata dei gruppi di conversione pari a 7.200 kW totali;
- SSE Ciriè: potenza installata dei gruppi di conversione pari a 4.000 kW totali;

- SSE Rigola Stadio (Venaria Reale): potenza installata dei gruppi di conversione pari a 7.200 kW totali.

	<i>Consumo annuo [kWh]</i>	<i>Energia primaria annua [TEP]</i>	<i>Indicatore di utilizzo [kWh/kW installati SSE]</i>	<i>Indicatore di utilizzo [TEP/kW installati SSE]</i>
<b>SSE Germagnano</b>	522.982	97,8	130,7	2,44E-02
<b>SSE Ciriè</b>	1.578.905	295,3	394,7	7,38E-02
<b>SSE Rigola Stadio (Venaria Reale)</b>	1.879.093	351,4	261,0	4,88E-02

Tabella 54 -Indicatori relativi alle SSE che alimentano la linea ferroviaria Torino – Ceres

### Canavesana

<i>Linea esercita</i>	<i>Tipologia treni usati sulla linea</i>	<i>Lunghezza linea [km]</i>	<i>Energia consumata 2018 [kWh]</i>	<i>Gasolio consumato 2018 [l]</i>	<i>TEP totali anno 2018</i>	<i>Consumo specifico [TEP/km linea]</i>	<i>Chilometri percorsi 2018 [km]</i>	<i>Consumo specifico [TEP/vettu re km]</i>
Settimo - Rivarolo	Elettrotreno Coradia/Mer idian	22	3.237.428	-	605	27,5	278.934	4,46E-04
Settimo - Rivarolo	Elettrotreno - ETR Y0530	22					224.947	
Settimo - Rivarolo	Treno Trasporto Regionale - TTR	22					852.953	
Rivarolo- Pont	Automotrice Leggera Nafta - ALn 668 serie 4800	16	-	27.242	23	1,5	43.864	5,29E-04

Tabella 55 - Indicatori linea ferroviaria Canavesana

A differenza delle sottostazioni elettriche che alimentano la linea Torino – Ceres per quelle che alimentano la Canavesana è possibile stabilire degli indici di utilizzo solo per la SSE si San Benigno Cavese in quanto la cabina TE di Settimo Torinese preleva l'energia elettrica a 3 kVcc direttamente dalla SSE RFI di Settimo Torinese:

	<i>Consumo annuo [kWh]</i>	<i>Energia primaria annua [TEP]</i>	<i>Indicatore di utilizzo [kWh/kW installati SSE]</i>	<i>Indicatore di utilizzo [TEP/kW installati SSE]</i>
<i>SSE San Benigno Canavese</i>	2.734.743	511,4	379,8	7,10E-02

Tabella 56 - Indicatori relativi alle SSE di San Benigno Canavese

## 5.6 Confronto consumi trasporto elettrico

Avendo ricavato i consumi specifici chilometrici dei diversi mezzi di trasporto elettrici, risulta interessante confrontarli sulla base del numero di posti disponibili di ogni vettura, per avere così un criterio di confronto oggettivo. Un confronto più corretto, come anche indicato nella normativa, sarebbe da fare utilizzando il numero effettivo di passeggeri trasportati, ma non essendo disponibile questo dato, visto il non vincolo di validazione del biglietto in entrata ed uscita dai mezzi pubblici da parte dei passeggeri, si usa il numero di posti disponibili.

Vengono quindi riepilogati in tabella 57 i risultati ottenuti precedentemente per i diversi mezzi di trasporto, indicando per ogni famiglia il numero massimo di passeggeri trasportabili.

	<i>Consumo chilometrico [kWh/km]</i>	<i>Consumo chilometrico [TEP/km]</i>	<i>Posti disponibili</i>
<i>Tram 2800</i>	2,97	5,55E-04	170
<i>Tram 5000</i>	3,31	6,20E-04	181
<i>Tram 6000</i>	5,00	9,36E-04	197
<i>Bus Elfo</i>	0,7	1,53E-04	40
<i>Bus BYD</i>	1,15	2,35E-04	84
<i>Metropolitana</i>	3,32	6,209E-04	320

Tabella 57 - Consumo in kWh/km per famiglia di vetture e posti offerti

Dividendo i consumi chilometrici sopra riportati per il numero di posti disponibili per ogni vettura presa in considerazione, si ottengono quindi i consumi in [kWh/(km\*passeggeri trasportabili)] e [TEP/(km\*passeggeri trasportabili)] rispettivamente, come riportato nella tabella successiva:

	<i>Posti disponibili</i>	<i>Consumo chilometrico [kWh/(km*posti disponibili)]</i>	<i>Consumo chilometrico [TEP/(km*posti disponibili)]</i>
<b><i>Tram 2800</i></b>	170	1,75E-02	3,26E-06
<b><i>Tram 5000</i></b>	181	1,83E-02	3,43E-06
<b><i>Tram 6000</i></b>	197	2,54E-02	4,75E-06
<b><i>Bus Elfo</i></b>	40	1,75E-02	3,83E-06
<b><i>Bus BYD</i></b>	84	1,37E-02	2,80E-06
<b><i>Metropolitana</i></b>	320	1,04E-02	1,94E-06

*Tabella 58 - Consumi chilometrici rapportati al numero di passeggeri trasportati*

Da questo confronto risulta che il mezzo di trasporto con il minor consumo chilometrico rispetto al numero di passeggeri trasportati è la metropolitana. Il suo ridotto consumo è dovuto all'elevato numero di passeggeri che può trasportare rispetto alle altre famiglie di mezzi considerate, al contrario, confrontando solamente il consumo elettrico chilometrico riportato in tabella 57, risulterebbe il mezzo con i consumi più elevati.

Tra le diverse famiglie di tram, invece, nonostante la capienza di ogni vettura non vari significativamente tra i diversi modelli considerati, il consumo delle 6000 risulta nettamente superiore paragonato alle altre motrici. Il maggior consumo è dovuto al fatto che nonostante i posti disponibili non siano molto differenti in numero, questa motrice è dotata di più servizi ausiliari per un maggior confort dei passeggeri che ne aumentano significativamente i consumi ed inoltre presenta dimensioni (massa e lunghezza) molto maggiori paragonate alle restanti motrici.

Per quanto riguarda le due famiglie di bus elettrici, nonostante il consumo chilometrico dei BYD risulti doppio rispetto a quello degli Elfo (tabella 57) dovuto alle differenti dimensioni dei due bus, osservando il consumo chilometrico per passeggeri trasportati la situazione si ribalta, ottenendo un consumo leggermente inferiore dei BYD rispetto agli Elfo.

## 6 Conclusioni

Il presente lavoro di tesi è stato eseguito al fine di analizzare il più dettagliatamente possibile i consumi dell'azienda di trasporti GTT, al fine di utilizzare tali risultati nella stesura della diagnosi energetica.

Nella figura successiva vengono sinteticamente rappresentati i fabbisogni di energia primaria del sito virtuale GTT, ottenuti dai calcoli precedentemente illustrati.

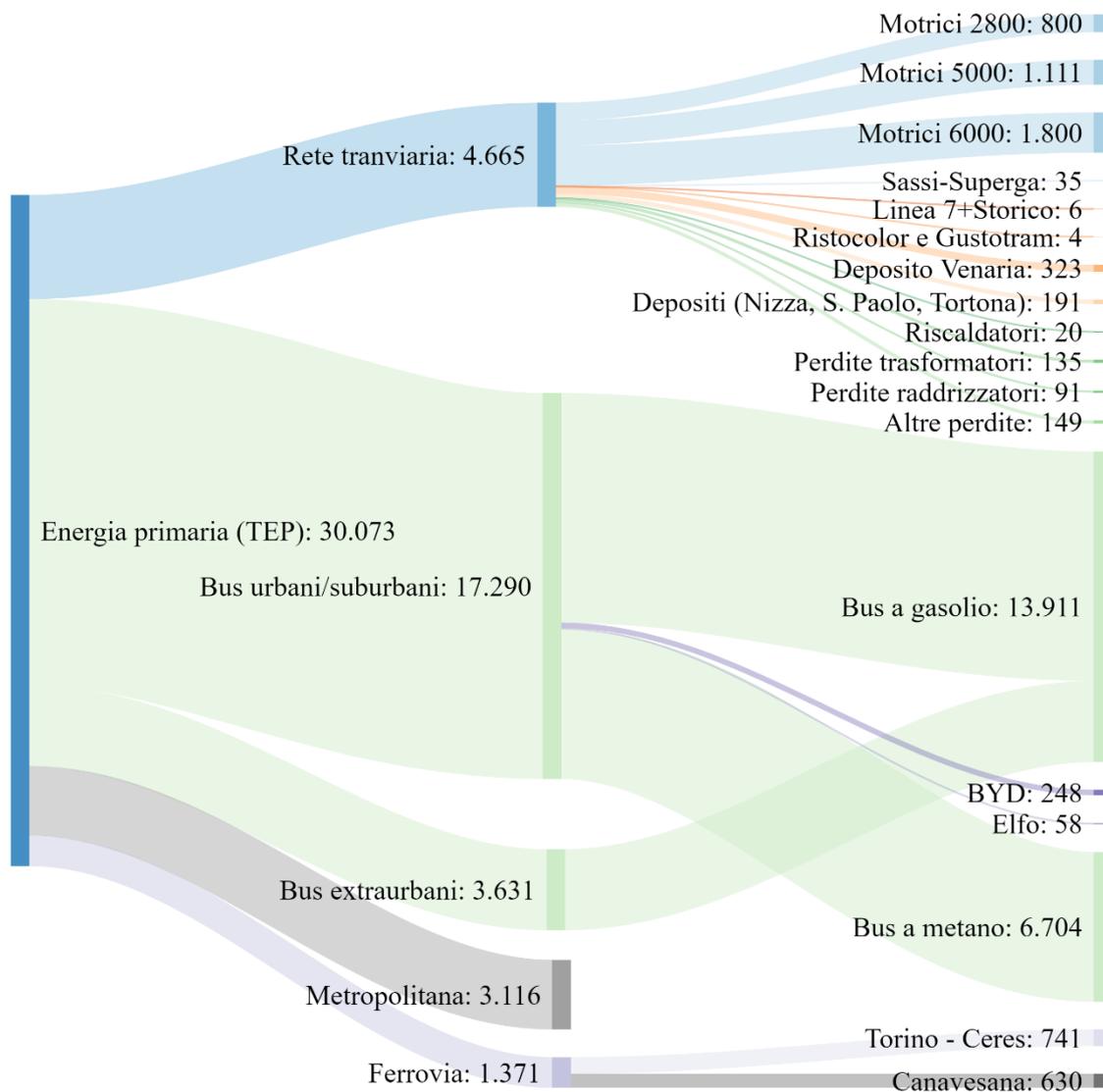


Figura 76 - Fabbisogno energia primaria sito virtuale GTT

Lo scopo della Diagnosi Energetica è quello di avere una fotografia il più realistica possibile dello stato attuale del consumo energetico. Questo si ottiene, come visto nei capitoli precedenti, misurando e calcolando i consumi specifici per ogni mezzo ed i relativi indicatori energetici, che consentono all'azienda di approfondire la conoscenza sui propri consumi, così da indirizzare comportamenti futuri nell'ambito dell'efficienza energetica.

Le Linee Guida per l'esecuzione di una diagnosi energetica, prevedono inoltre l'inserimento, nell'ultima parte, di una sezione in cui vengono riportati i possibili interventi di efficientamento energetico volti a ridurre il fabbisogno di energia primaria.

Come riportato nelle Linee Guida Asstra è necessario precisare che il TPL (trasporto pubblico locale) per le proprie specificità, si caratterizza per questi aspetti fondamentali:

- Peso del sito virtuale assolutamente prevalente all'interno del sistema dei consumi energetici;
- Condizionamento esercitato da fattori esogeni sulla produttività del sistema TPL;
- Interventi di efficientamento ed ottimizzazione quali ad esempio la realizzazione di corsie riservate, sistemi di priorizzazione semaforica o altre modifiche alla viabilità e al traffico in grado di favorire il mezzo pubblico che non rientrano nella competenza dell'Azienda esercente ma fanno capo ad Enti esterni;
- Scarsa capacità di intervento autonomo in investimenti, per carenza di risorse proprie; tale connotazione deriva anche dalla struttura prevalente dei contratti di servizio stipulati tra Azienda ed Ente committente;
- Risorse per investimenti dipendenti per lo più da stanziamenti esterni;
- Investimenti sul rinnovo del parco rotabile e realizzazione di nuove infrastrutture sono dunque per gran parte condizionati da disponibilità di finanziamenti a livello nazionale o regionale, il che rende particolarmente complessa la definizione di previsioni degli interventi.

Questo non significa che l'Azienda non debba attivarsi per l'efficientamento energetico della propria attività, così come del resto realizzato nel recente passato, ma limita fortemente gli ambiti di intervento e l'efficacia dei provvedimenti.

In questa sezione del lavoro di Tesi si provvede quindi a dare uno sguardo ai possibili interventi di efficientamento, in parte derivanti dall'osservazione delle criticità riscontrate durante le misure.

In primo luogo risulta necessaria l'installazione di un contatore per la contabilizzazione dell'energia erogata ai bus elettrici di tipo Elfo nel deposito Tortona, in modo tale da sapere con esattezza l'energia totale assorbita da questa famiglia di bus. Sempre per gli Elfo sarebbe utile, vista la presenza di misuratori del posizionamento dei bus in fase di ricarica presso i capilinea, remotare tali misure. In questo modo si potrebbero valutare corsi di formazione specifici per il personale adibito alla guida di questi autobus per ottimizzare l'operazione di ricarica induttiva evitando sprechi dovuti ad un non corretto accoppiamento delle due piastre.

I maggiori interventi di efficientamento energetico potrebbero essere effettuati sulla rete tranviaria. In ogni sottostazione elettrica arriva un cavo della fibra ottica, ma questo non risulta al momento collegato ad alcun apparecchio installato in cabina.

In ogni sottostazione è presente un relè DIA-IGTv, il quale distingue, tramite logica interna, le correnti di guasto da quelle di funzionamento ordinario. Questo relè ha diverse funzioni di controllo:

- DIA-I: diagnosi dello stato dell'interruttore;

- DIA-G: analisi del carico per distinguere, tramite l'analisi della forma d'onda della corrente se si tratta di un guasto o dell'assorbimento di corrente da parte di uno o più motori;
- DIA-T: controllo dell'andamento teorico della temperatura di un componente.

Inoltre il relè può essere abilitato a comandare l'apertura dell'interruttore di linea ed è predisposto per la comunicazione seriale con un PC.

Effettuando il collegamento della fibra ottica tra i relè DIA-IGTv delle diverse cabine, queste potrebbero essere collegate in parallelo. Ciò significa che tutte le cabine collegate tra loro potrebbero alimentare qualsiasi zona elettrica della linea tranviaria e non solamente le zone attualmente alimentate. Quindi una data cabina potrebbe essere messa fuori servizio senza che la zona da essa alimentata rimanga senza corrente elettrica, in quanto le altre sottostazioni elettriche funzionanti provvederebbero all'alimentazione della maglia di rete in questione. Inoltre questo permetterebbe di rendere la rete elettrica tranviaria perennemente ricettiva, permettendo così ai tram serie 5000 e 6000 in fase di frenatura di recuperare energia che potrebbe essere prelevata in qualsiasi punto della rete e come visto in precedenza, ci potrebbe essere sempre qualche assorbitore richiedente energia (ad esempio i tram presenti in deposito) riducendo così l'assorbimento di energia elettrica dalla rete.

Data l'attuale configurazione dei collegamenti tra le cabine, non è possibile sapere il potenziale dell'energia elettrica recuperata dai tram con la messa in parallelo delle sottostazioni elettriche, per cui sarebbero necessarie misurazioni propedeutiche. Ipotizzando però che le motrici serie 5000 passino dallo 0,08% di energia recuperata al 11,26% (percentuale di energia recuperata dalle motrici serie 6000), si arriverebbe ad avere un recupero annuo di energia elettrica pari a circa 661.000 kWh, che ad un prezzo medio di 0,1625 €/kWh (prezzo medio dell'elettricità utilizzata per la trazione tranviaria nel 2019), porterebbe ad un risparmio annuo di circa 107.439€.

Inoltre, in fase di collegamento della fibra ottica ai relè delle varie sottostazioni, sarebbe possibile installare anche dei contatori di energia, in modo tale da conoscere l'energia in uscita dalle sottostazioni elettriche, così da valutare correttamente l'energia dispersa dal gruppo trasformatore – raddrizzatore (facendo un confronto con i contatori fiscali da cui vengono calcolate le bollette elettriche a monte delle SSE). In questo modo si potrebbero stipulare contratti relativi agli oneri di conversione di energia con il distributore, sulla base di dati effettivi di consumo.

Il vantaggio sul recupero dell'energia in fase di frenatura sarebbe ancora maggiore considerando che GTT ha indetto un bando per l'assegnazione della fornitura di 40 nuovi tram, la cui prima consegna è prevista per il 2021. Questi tram andranno ad implementare la flotta tranviaria e prevedranno la frenata di tipo rigenerativo, per cui una ottimizzazione della rete prima di tale data aumenterebbe ulteriormente i vantaggi.

Dai risultati ottenuti dall'analisi dei consumi della rete tranviaria, si è registrato un consumo annuo molto elevato da parte dei depositi. Questi consumi in parte sono dovuti alle movimentazioni che avvengono in deposito elencate nel Capitolo 3.6, ma nonostante la presenza di lavorazioni che richiedono lo spostamento delle motrici, non è giustificabile un assorbimento così elevato, in larga parte imputabile alla serie 6000. La prima azione da eseguire sarebbe quella di far stazionare le motrici all'interno del

deposito nello stato di “Riposo” e non come avviene attualmente nello stato di “Veglia”. In questo modo il consumo delle motrici sarebbe ridotto al minimo in quanto i carichi in bassa tensione attivi resterebbero solamente quelli garantiti. Questo intervento non richiederebbe investimenti, in quanto lo stato della motrice è impostato dal manovratore settando gli interruttori sul pannello di controllo, però è necessario verificare che le attuali batterie di backup installate a bordo tram consentano la reimmissione in servizio quando necessario. Se così non fosse, sarebbe necessario la sostituzione delle attuali batterie al piombo con più performanti batterie al litio, con un investimento che si aggirerebbe attorno ai 10.000€ a motrice. Per un totale di 49 motrici serie 6000 circolanti nel 2018 l’investimento ammonterebbe a circa 490.000€.

Per quanto riguarda il settore autobus in questi anni GTT sta provvedendo a rinnovare il proprio parco vetture. Nel 2018, come illustrato nei capitoli precedenti sono stati messi in servizio i bus elettrici BYD da 12 metri e ad inizio 2019 sono stati messi in servizio anche i BYD K7, autobus completamente elettrici da 8,70 metri, mentre per il 2020 è prevista la fornitura (a seguito di espletamento della gara) di 40 nuovi bus a metano che andranno a sostituire quelli più vecchi.

Un grosso rinnovamento della flotta si è visto nel 2019 con l’instradamento di 40 nuovi bus Mercedes Conecto 12 metri e 34 nuovi bus Mercedes Conecto 18 metri. Questi possiedono una motorizzazione Euro6 e sono andati a sostituire prevalentemente i bus urbani Euro2. In particolare i bus 12 metri sono principalmente in servizio su linea 56 e 68 e sostituiscono i bus IVECO 491 e Autodromo Bassotto, mentre i bus 18 metri sono principalmente in servizio su linea 18 e 35 e sostituiscono bus BREDAMENARINIBUS M321 e VAN HOOL AG300. La sostituzione di questi autobus permetterà una riduzione in termini sia di consumi di gasolio, sia di emissioni inquinanti secondo quanto riportato in tabella 59.

<b>MARCA/MODELLO</b> <i>(12 metri)</i>	<b>MOTORIZZAZIONE</b>	<b>ANNO</b>	<b>CO</b> [g/kWh]	<b>HC</b> [g/kWh]	<b>NOx</b> [g/kWh]	<b>PT</b> [g/kWh]	<b>CONSUMO</b> [l/100 km]	<b>PT con FAP - 95%</b>	<b>CO2</b> [g/km]
AUTODROMO BASSOTTO	diesel EURO 2 con FAP	1998÷99	0,620	0,110	6,510	0,100	43,720	0,005	2,711
IVECO 491E.12.27 - CITYCLASS	diesel EURO 2 con FAP	1998÷99	4,000	1,100	6,030	0,150	54,650	0,008	1,437
Mercedes Conecto	diesel EURO 6	2019	0,0803	0,0196	0,13805	0,00222	42,85	-	1,0985
<b>Variazioni percentuali rispetto ai vecchi bus:</b>									
Mercedes Conecto rispetto all'Autodromo Bassotto			-87,0%	-82,2%	-97,9%	-97,8%	-2,0%	-	-59,5%
Mercedes Conecto rispetto IVECO 491			-98,0%	-98,2%	-97,7%	-98,5%	-21,6%	-	-23,6%
<b>Variazioni percentuali rispetto ai vecchi bus:</b>									
<b>MARCA/MODELLO</b> <i>(18 metri)</i>	<b>MOTORIZZAZIONE</b>	<b>ANNO</b>	<b>CO</b> [g/kWh]	<b>HC</b> [g/kWh]	<b>NOx</b> [g/kWh]	<b>PT</b> [g/kWh]	<b>CONSUMO</b> [l/100 km]	<b>PT con FAP - 95%</b>	<b>CO2</b> [g/km]
BREDAMENARINIB US M321/1 U/165	diesel EURO 2 con FAP	1998÷99	0,440	0,240	6,480	0,101	73,840	0,005	1,942
VAN HOOL AG 300 - DE SIMON URS 33.01	diesel EURO 2 con FAP	1999÷00	0,470	0,180	6,610	0,096	68,020	0,005	1,789
Mercedes Conecto	diesel EURO 6	2019	0,07704	0,0051	0,17713	0,00323	59,36	-	1,5217
<b>Variazioni percentuali rispetto ai vecchi bus:</b>									
Mercedes Conecto rispetto al Bredamenarinibus			-82,5%	-97,9%	-97,3%	-96,8%	-19,6%	-	-21,6%
Mercedes Conecto rispetto Van Hool AG300			-83,6%	-97,2%	-97,3%	-96,6%	-12,7%	-	-14,9%

*Tabella 59 – Caratteristiche tecniche e confronto emissioni – consumi nuovi bus*

Sempre per quanto riguarda i bus è stata effettuata da parte di GTT, in collaborazione con la ditta specializzata Drive 2 Go, l'applicabilità di sistemi di ecodriving alla popolazione di autisti e flotta GTT (i nuovi bus Mercedes Conecto possiedo già preinstallato a bordo un sistema di diagnostica ed immagazzinamento dati veicolo).

L'obiettivo della prova consumi è stato quello di verificare l'efficacia del sistema DST – Drivinig Style Tools in termini di riduzione dei consumi e dei tempi di percorrenza. La prova ha confrontato lo stile di guida e i relativi consumi, senza e con l'utilizzo del sistema DST individuando una linea urbana (linea 55) e coinvolgendo due autisti con stili di guida differenti fra loro e facendoli guidare uno per volta.

Ogni autista ha percorso una parte della linea urbana 55 (circa 11 km), prima guidando secondo il proprio stile di guida nativo (guida BLIND). Dopo un breve intervento formativo sulle nozioni di ecodriving, la linea è stata percorsa nuovamente con il supporto del sistema DST, che ha misurato lo stile di guida degli autisti in termini di consumo EI-Eco Index e di sicurezza SI-Safety Index (guida CLEAR). Al termine del test si è registrato un tempo di percorrenza tra la prova blind e la prova clear praticamente identico (l'unica leggera differenza si è registrata con il primo autista che è stato costretto ad aspettare 2 minuti fermo al capolinea in quanto presente un cambio turno su un bus che lo precedeva), inoltre l'uso del sistema DST ha migliorato lo stile di guida dei 2 autisti che, su un totale di 22 km, hanno permesso un risparmio di carburante rispettivamente

del 3% e del 18% rispetto allo stile di guida nativo che per il primo autista risultava già più efficace in partenza a livello di contenimento dei consumi.

Il risparmio di gasolio è correlabile alla diminuzione dell'EI (Eco Index – indice di misurazione dello stile di guida). Va ribadito che una maggiore attenzione allo stile di guida non influenza assolutamente i tempi di percorrenza in modo negativo, come spesso si è portati a credere dato che una guida più fluida non significa una guida più lenta.

Alla luce delle risultanze di questo test si valuterà aziendaliamente se procedere con sperimentazione del sistema presso un deposito urbano oppure istituire corsi specifici di guida ecologica per i propri operatori.

Ipotizzando un risparmio dei consumi di gasolio pari all'8% (percentuale cautelativa in quanto la media del risparmio dei consumi ottenuta durante la prova descritta risulterebbe essere il 10,5%), si otterrebbe su un totale di 12.044.720 di litri di gasolio necessari al trasporto pubblico urbano e suburbano un risparmio di circa 963.500 litri di gasolio all'anno. Ad un prezzo medio del gasolio nel 2019 di 1,12784 €/litro l'installazione di questo dispositivo apporterebbe un risparmio pari a 1.086.760€. Oltre al vantaggio economico dovuto alla riduzione dei consumi, si otterrebbero inoltre diversi vantaggi non quantificabili economicamente quali: riduzione del consumo delle parti soggette ad usura come freni e cambio automatico, aumento dell'efficienza del mezzo e della conseguente disponibilità attiva per il servizio, possibile effetto premiante sugli autisti virtuosi ed un contenimento dei costi legato al minor numero di missioni di recupero, legate all'indisponibilità del veicolo.

Una criticità riscontrata durante lo svolgimento di questo lavoro di Tesi è stata l'acquisizione dei dati delle percorrenze e dei rifornimenti di ogni vettura. Come descritto nei capitoli precedenti, questi dati vengono registrati manualmente a sistema dall'operatore che svolge l'attività di rifornimento. Essendo un'operazione manuale non vi è la certezza dell'esattezza dei valori inseriti, infatti si sono notate mancanze di dati per alcuni mezzi in alcuni giorni dell'anno. Per ovviare a questo problema si potrebbe pensare ad una automatizzazione della gestione dei rifornimenti per migliorare la gestione dei dati di input (percorrenze e carburante rifornito) consolidando così i dati monitorati, il controllo dei consumi e della gestione delle operazioni di rifornimento.

Sulla base del preventivo richiesto ad ASSYTECH S.r.l. il costo dell'installazione di tale sistema per i 5 siti in cui viene effettuato il rifornimento del gasolio ammonterebbe a 143.880€ (iva inclusa). L'installazione prevedrebbe:

- 5 coppie di erogatori di AdBlue/Gasolio, doppi;
- Terminali integrati negli erogatori di gasolio;
- Software di gestione;
- Trasponder veicolari;
- Installazione e avviamento.

I benefici economici di questo intervento non sono immediatamente quantificabili, ma sarebbero da verificare partendo con una sperimentazione in una singola stazione di rifornimento.

Per quanto riguarda la metropolitana di Torino è in corso di realizzazione il prolungamento della linea 1 lungo la tratta "Lingotto – Bengasi" avente una lunghezza di

circa 1,9 km, con origine all'estremità della stazione Lingotto e capolinea terminale in piazza Bengasi. Essa comprende 2 stazioni ("Italia 61" e "Bengasi"), 2 pozzi ventilazione di intertratta (PB1 e PB2), il pozzo terminale di fine tratta (PBT) ubicato circa 200m oltre la stazione Bengasi ed un manufatto di bivio per consentire in futuro la realizzazione della diramazione della linea verso lo scalo ferroviario del Lingotto per la corrispondenza con l'omonima stazione FS.

Il posizionamento della stazione Bengasi è stato realizzato tenendo conto della futura sistemazione dell'omonima piazza comprendente anche un parcheggio sotterraneo e un'area di interscambio con le linee intercomunali.

Analogamente il posizionamento della stazione "Italia 61" è stato individuato in modo tale da essere compatibile, oltre che con l'attuale sistemazione viaria, anche con la nuova sistemazione di Via Nizza studiata dal Comune di Torino, nonché con il palazzo della nuova sede della Regione Piemonte in fase di completamento.

La realizzazione della parte di tunnel terminale permetterà l'inversione dei treni nel retro stazione oltre Bengasi (come avviene oggi a Fermi), nel tratto compreso tra la stazione stessa ed il pozzo terminale. Questa soluzione permetterà di sfruttare appieno sia la stazione del Lingotto (attualmente si utilizza una sola banchina) che le potenzialità del sistema Val: nelle ore di punta sarà possibile garantire una frequenza dei treni ogni 69 secondi. La lunghezza del tratto in questione consente oltre l'inversione anche il parcheggio di 4 treni, pronti ad entrare in linea ad inizio servizio o a seconda delle variazioni dei flussi di utenti.

La parte terminale della linea è stata progettata per consentire in futuro un'eventuale prolungamento della metropolitana verso i comuni di Nichelino e Moncalieri.

Quindi questo comporterà un aumento dei consumi per la trazione metropolitana a fronte di un'estensione del servizio a beneficio della cittadinanza.

## Allegato 1

<i>Sede tecnica</i>	<i>Definizione</i>	<i>Zona Scambi</i>	<i>Posizione scambio</i>	<i>Anno di Posa</i>	<i>Zona Binari</i>	<i>Alimentazione Scambi</i>	<i>Riscaldatore Scambio</i>
03.0032	Via Venaria / C.so Potenza	Zona 0	Entrata	1998	Amati Stampalia Venaria Lanzo	230 Vac	600 Vdc
03.0046	STAMPALIA	Zona 0	Entrata	1990	Amati Stampalia Venaria Lanzo	230 Vac	600 Vdc
03.0049	STAMPALIA	Zona 0	Entrata	1990	Amati Stampalia Venaria Lanzo	230 Vac	600 Vdc
04.0019	STRADELLA CHIESA	Zona 0	Entrata	1994	Cigna Cecchi Stradella Chiesa	230 Vac	600 Vdc
04.0022	STRADELLA CHIESA	Zona 0	Entrata	1993	Cigna Cecchi Stradella Chiesa	230 Vac	600 Vdc
04.0027	CHIESA MASSARI	Zona 0	Entrata	1959	Cigna Cecchi Stradella Chiesa	230 Vac	600 Vdc
04.0076	STRADELLA CHIESA SOSPELLO	Zona 0	Entrata	1993	Cigna Cecchi Stradella Chiesa	230 Vac	600 Vdc
05.0122	LARGO GOTTARDO	Zona 1	Entrata	1997	Cesare Martorelli Gottardo Sem	230 Vac	600 Vdc
09.0101	PALERMO BOLOGNA	Zona 1	Entrata	1956	Xi Febbraio Bologna Palermo Be	230 Vac	600 Vdc
09.0105	L BRESCIA	Zona 1	Entrata	1966	Xi Febbraio Bologna Palermo Be	230 Vac	600 Vdc
09.0106	PALERMO BOLOGNA	Zona 1	Entrata	1956	Xi Febbraio Bologna Palermo Be	230 Vac	600 Vdc
09.0108	LARGO BRESCIA	Zona 1	Entrata	1977	Xi Febbraio Bologna Palermo Be	230 Vac	600 Vdc
09.0166	PIAZZA SOFIA CAPOLINEA	Zona 1	Entrata	1991	Xi Febbraio Bologna Palermo Be	230 Vac	600 Vdc
12.0057	MOLISE	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	600 Vdc	600 Vdc
12.0058	MOLISE	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	600 Vdc	600 Vdc
12.0064	MOLISE PIAZZALE STADIO	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	600 Vdc	600 Vdc
12.0065	MOLISE PIAZZALE STADIO	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	600 Vdc	600 Vdc

12.0067	MOLISE PIAZZALE STADIO	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	230 Vac	600 Vdc
12.0072	MOLISE PIAZZALE STADIO	Zona 0	Entrata	1990	MOLISE STADIO	230 Vac	600 Vdc
13.0140	TORTONA BELGIO	Zona 1	Entrata	1981	BELGIO	230 Vac	600 Vdc
13.0143	BELGIO- TORTONA	Zona 1	Entrata	1955	BELGIO	230 Vac	600 Vdc
13.0145	TORTONA - BELGIO	Zona 1	Entrata	1969	BELGIO	230 Vac	600 Vdc
13.0146	TORTONA - BELGIO	Zona 1	Entrata	1983	BELGIO	230 Vac	600 Vdc
13.0157	C.CASALE- ANELLO	Zona 1	Entrata	1972	BELGIO	230 Vac	600 Vdc
14.0160	TORTONA INGRESSO DEPOSITO	Zona 1	Entrata	1983	TORTONA	230 Vac	600 Vdc
14.0161	TORTONA DEPOSITO	Zona 1	Entrata	1983	TORTONA		600 Vdc
14.0168	C.SO TORTONA MANIN	Zona 1	Entrata		TORTONA	230 Vac	600 Vdc
16.0217	LINEA 16 RONDO' FORCA	Zona 2	Entrata	1998	REGINA MARGHERITA 2	600 Vdc	600 Vdc
16.0218	REGINA PRINC EUGENIO	Zona 2	Entrata	1998	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
16.0221	REGINA VALDOCCO RONDO	Zona 2	Entrata	1996	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
16.0227	CIGNA REGINA	Zona 2	Entrata	1998	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
16.0315	RIVELLA	Zona 3	Entrata	1925	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
16.0320	RIVELLA	Zona 3	Entrata	1998	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
16.0324	LINEA 16 RONDO' RIVELLA	Zona 3	Entrata	1982	REGINA MARGHERITA 2	230 Vac	600 Vdc
17.0343	PONTE R. MARGHERITA	Zona 3	Entrata	1983	REGINA MARGHERITA 3	600 Vdc	600 Vdc
20.0469	CIBRARIO TASSONI	Zona 4		1963	TASSONI	230 Vac	600 Vdc
21.0540	P STATUTO FRANCIA	Zona 5	Entrata	1976	P.STATUTO CIBRARIO	230 Vac	600 Vdc
21.0541	P STATUTO S DONATO	Zona 5	Entrata	1976	P.STATUTO CIBRARIO	230 Vac	600 Vdc
21.0545	P STATUTO S MARTINO	Zona 5	Entrata	1985	P.STATUTO CIBRARIO	230 Vac	600 Vdc

27.0644	CARLO EMANUELE	Zona 6	Entrata	1958	ROSSINI ALBERTINA	600 Vdc	600 Vdc
28.0659	S.MAURIZIO-V.BAVA	Zona 6	Entrata	1985	S.MAURIZIO CAIROLI VANCHIGLIA	600 Vdc	600 Vdc
34.0529	VINZAGLIO CERNAIA	Zona 5	Entrata	1972	MICCA CERNAIA S.MAR	230 Vac	600 Vdc
36.0855	DUCA ABRUZZI DE GASPERI	Zona 8	Entrata	1984	ABRUZZI IV NOVEMBRE	230 Vac	600 Vdc
38.0427	VITTORIO / P.BORSELLINO	Zona 4	Entrata	1983	VITTORIO EMANUELE 1	230 Vac	600 Vdc
38.0748	ARSENALE VITTORIO	Zona 7	Entrata	1996	VITTORIO EMANUELE 1	230 Vac	600 Vdc
38.0763	L VITTORIO	Zona 7	Entrata	1986	VITTORIO EMANUELE 1	230 Vac	600 Vdc
38.0787	ABRUZZI - VITTORIO	Zona 7	Entrata		VITTORIO EMANUELE 1	230 Vac	600 Vdc
39.0611	LINEA 16 VITTORIO / D'AZEGLIO	Zona 6	Entrata	1957	VITTORIO EMANUELE 2	230 Vac	600 Vdc
39.0619	VITTORIO CARLO ALBERTO	Zona 6	Entrata	1990	VITTORIO EMANUELE 2	600 Vdc	600 Vdc
39.0620	VITTORIO CARLO ALBERTO	Zona 6	Entrata	1957	VITTORIO EMANUELE 2	230 Vac	600 Vdc
39.0622	LAGRANGE VITTORIO	Zona 6	Entrata	1957	VITTORIO EMANUELE 2	230 Vac	600 Vdc
39.0625	NIZZA VITTORIO	Zona 6	Entrata	1953	VITTORIO EMANUELE 2	230 Vac	600 Vdc
39.0629	LAGRANGE VITTORIO	Zona 6	Entrata	1957	VITTORIO EMANUELE 2	230 Vac	600 Vdc
42.0703	ABRUZZI PESCHIERA	Zona 7	Entrata	1969	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0707	ABRUZZI PESCHIERA	Zona 7	Entrata	1969	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0709	ABRUZZI-PESCHIERA	Zona 7	Entrata	1979	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0711	ABRUZZI / PESCHIERA	Zona 7	Entrata	1970	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0715	PESCHIERA ABRUZZI	Zona 7	Entrata	1969	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0718	UMBERTO SOMMEILLER	Zona 7	Entrata	1973	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0721	EINAUDI RE UMBERTO	Zona 7	Entrata	1991	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
42.0723	RE UMBERTO - EINAUDI	Zona 7	Entrata	1968	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc

42.0726	LINEA 16 SOMMEILLER / RE UMBERTO	Zona 7	Entrata	1991	PESCHIERA EINAUDI	230 Vac	600 Vdc
46.0927	P CARDUCCI	Zona 9	Entrata	1954	CARDUCCI NIZZA	230 Vac	600 Vdc
47.0931	BRAMANTE CRISTINA	Zona 9	Entrata		MADAMA CRISTINA	230 Vac	600 Vdc
48.0607	D AZEGLIO VALPERGA	Zona 6	Entrata	1977	MASSIMO RAFFAELLO	230 Vac	600 Vdc
52.0739	RE UMBERTO STATI UNITI	Zona 7	Entrata	1971	RE UMBERTO	600 Vdc	600 Vdc
55.0735	LINEA 16 SOMMEILLER / SACCHI	Zona 7	Entrata	1974	UN.SOVIETICA MAGELLANO	230 Vac	600 Vdc
56.0942	LINEA 4 UNIONE SOV- TAZZOLI	Zona 9	Entrata	1992	UN.SOVIETICA SEBASTOPOLI	230 Vac	600 Vdc
56.0944	LINEA 4 TAZZOLI- UNIONE SOV	Zona 9	Entrata	1992	UN.SOVIETICA SEBASTOPOLI	600 Vdc	600 Vdc
56.0947	LINEA 4 UNIONE SOV- TAZZOLI	Zona 9	Entrata	1992	UN.SOVIETICA SEBASTOPOLI	230 Vac	600 Vdc
58.0901	MARONCELLI GENOVA	Zona 9	Entrata	1984	NIZZA MARONCELLI CAR	230 Vac	600 Vdc
58.0925	P CARDUCCI	Zona 9	Entrata	1954	NIZZA MARONCELLI CAR	230 Vac	600 Vdc
64.0802	SETTEMBRINI ORBASSANO	Zona 8	Entrata	1969	SETTEMBRINI	230 Vac	600 Vdc
71.0056	MOLISE TOSCANA MUGHETTI	Zona 0	Entrata	1990	SVIZZERA TOSCANA MUGHETTI	230 Vac	600 Vdc

*Allegato 1 - Lista riscaldatori alimentati a 600 Vdc*

## Allegato 2

<i>Indirizzo</i>	<i>N° Trafo Trazione</i>	<i>Potenza/ Funzionamento</i>	<i>N° Trafo Ausiliari</i>	<i>Potenza/ Funzionamento</i>	<i>Tensione Esercizio</i>
C.SO SVIZZERA, 95	2	2200KVA /50%	0		27 KV
INTERNO DEPOSITO S.PAULO	1	2200KVA /100%	1	100 KVA/100%	22 KV
VIA VIGONE, 68	1	2200KVA /100%	1	50 KVA /100%	22 KV
VIA EXILLES, 3	1	2200KVA /0%	1	30 KVA /100%	27 KV
PIAZZALE DUCA D'AOSTA	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	22 KV
C.SO FRANCIA 6	1	2200KVA /100%	1	50 KVA /100%	22 KV
VIA TIRABOSCHI, 27	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	27 KV
C.SO GRANDE TORINO	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	27 KV
VIA BERTOLA, 48	2	3000KVA /50%	0		22 KV
VIA MEDAGLIE D'ORO	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	27 KV
VIA REFRANCORE,71	2	2200KVA /50%	1	50 KVA /100%	22 KV
VIA DELLE PRIMULE	1	2200KVA /50%	0		22 KV
VIA PAVIA, 13	2	2200KVA /50%	0		22 KV
VIA PALLAVICINO, 24	2	2200KVA /50%	0		22 KV
INTERNO PARK V.FUSI	1	2200KVA /100%	1	100 KVA /100%	22 KV
SEBASTOPOLI/GALILEO F.	2	2200KVA /50%	0		22 KV
C.SO REGINA 52	1	2200KVA /100%	0		27 KV
PIAZZALE ROMOLO E REMO	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	22 KV
VIA DELLE QUERCE/VIA DEGLI ULIVI	1	2200KVA /100%	1	50 KVA /100%	27 KV
PIAZZA GALIMBERTI	2	2200KVA /50%	1	30 KVA /100%	27 KV
VIA PERNATI DI MOMO	1	2200KVA /100%	1	100 KVA /100%	22 KV
VIA PASSO BUOLE, 115	2	2200KVA /50%	0		22 KV

Allegato 2 - Lista SSE rete tranviaria

### Allegato 3

Vs. Riferimento		DATI ORDINE						Data	
Riferimento Ordine								27/02/2007	
<b>DATI TRASFORMATORE</b>									
Numero di Serie	Codice Articolo	Fasi	Peso [kg]	Frequenza [Hz]	Altitudine [m]	Cl. Ambientale	Raffreddamento		
012205/01/01	TRP-0005-242500	3	7900	50	1000	E2-C2-F1	AN		
<b>Potenza Nominale [kVA]</b>		<b>Alta tensione</b>			<b>Bassa tensione</b>				
<b>2.200</b>		V1.1	V1.2	V2	V3	V4			
Potenza [kVA]		2.200,0		1.140,0	1.140,0				
Tensione [V]		22.000		470	470				
Corrente [A]		57,74		1.400,38	1.400,38				
Regolazione		(+2)(-4) x 2.5%							
Collegamento		Triangolo			stella/triangolo				
Gruppo Vettoriale		Dy11 / Dd0							
Sovratemperatura [K]		80			80				
Nucleo		75							
Livello Isolamento		Tensione Max [kV]		24,00		3,60			
		Applicata [kV]		50		10,0			
		Impulso [kV]		125					
<b>GARANZIE</b>									
	Po [W]	Pcc [W]	Po+Pcc [W]	Vcc [%]	Io [%]	S.par [pC]			
Garantito	3.000	25.000	28.000		0,7	<10			
Tolleranza [%]	3	5	10		30				
Misurato	2.839	25.791	28.630		0,32				
Deviazione [%]	-5,37	3,16	2,25		-54,29				

Vs. Riferimento		DATI ORDINE						Data	
Riferimento Ordine								27/02/2007	
<b>DATI TRASFORMATORE</b>									
Numero di Serie	Codice Articolo	Fasi	Peso [kg]	Frequenza [Hz]	Altitudine [m]	Cl. Ambientale	Raffreddamento		
012205/01/01B	TRP-0005-242500	3	7900	50	1000	E2-C2-F1	AN		
<b>Potenza Nominale [kVA]</b>		<b>Alta tensione</b>			<b>Bassa tensione</b>				
<b>2.200</b>		V1.1	V1.2	V2	V3	V4			
Potenza [kVA]		2.200,0		1.140,0	1.140,0				
Tensione [V]		22.000		590	590				
Corrente [A]		57,74		1.115,56	1.115,56				
Regolazione		(+2)(-4) x 2.5%							
Collegamento		Triangolo			stella/triangolo				
Gruppo Vettoriale		Dy11 / Dd0							
Sovratemperatura [K]		80			80				
Nucleo		75							
Livello Isolamento		Tensione Max [kV]		24,00		3,60			
		Applicata [kV]		50		10,0			
		Impulso [kV]		125					
<b>GARANZIE</b>									
	Po [W]	Pcc [W]	Po+Pcc [W]	Vcc [%]	Io [%]	S.par [pC]			
Garantito	4.400	20.000	24.400		0,7	<10			
Tolleranza [%]	3	5	10		30				
Misurato	4.398	16.134	20.532		0,79				
Deviazione [%]	-0,05	-19,33	-15,85		12,86				

Figura 77 - Estratti Certificati di collaudo trasformatori

## Bibliografia e sitografia

- [1] “Storia COP,” *rinnovabili.it*. .
- [2] “Firmatari Kyoto,” <http://www.treccani.it/enciclopedia/protocollo-di-kyoto/>. .
- [3] “Kyoto,” <https://www.enac.gov.it/ambiente/impatto-ambientale/le-emissioni-gassose/il-protocollo-di-kyoto/>. .
- [4] IEA, “World Energy Outlook 2018: The Future is Electrifying,” *Oecd/Iea*, p. 661, 2018.
- [5] Camera dei Deputati Servizio Studi, “La programmazione energetica nel Clean energy package: i Piani nazionali per l’energia ed il clima,” 2019.
- [6] “Intensità energetica,” [https://it.wikipedia.org/wiki/Intensità\\_energetica](https://it.wikipedia.org/wiki/Intensità_energetica). .
- [7] Kevin Lane, “IEA Energy Efficiency 2018 and World Energy Outlook 2018,” no. November, p. 36, 2018.
- [8] I. L. Parlamento, E. E. Il, and C. Dell, “2006/32/Ce,” vol. 2006, pp. 64–85, 2006.
- [9] I. Riesame, “Una politica energetica per l’Europa,” pp. 7–8, 2007.
- [10] Parlamento Europeo, “DIRETTIVA 2009/29/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO,” vol. 2008, 2009.
- [11] P. Europeo, “Direttiva (EU/27/2012) – Efficienza energetica,” pp. 1–56, 2012.
- [12] EU, “Clean energy for all Europeans Good practice.”
- [13] R. Ce and N. Della Commissione, “DIRETTIVA (UE) 2018/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO,” *Latte*, vol. 2004, no. 4, pp. 2003–2005, 2004.
- [14] “EEA, European Environment Agency,” <https://www.eea.europa.eu/>. .
- [15] Eurostat, “Energy consumption in the EU,” vol. 26, no. February 2019, 2019.
- [16] “Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115,” <https://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/08115dl.htm>. .
- [17] M. dello Sv. Economico and Ministero dell’ambiente e della tutela del mare, “Strategia Energetica Nazionale 2013,” 2013.
- [18] Presidente della Repubblica, “Decreto legislativo 102/14,” vol. 1, pp. 1–28, 2013.
- [19] MISE and MATTM, “Strategia Energetica Nazionale (SEN), 2017,” *Mise; Mattm*, no. 10 November 2017, pp. 1–308, 2017.
- [20] M. Ministero Dello Sviluppo Economico, “Proposta Di Piano Nazionale Integrato Per L’Energia E Il Clima,” 2019.
- [21] ENEA, “RAEE.”
- [22] “UNI EN 16247-1: Requisiti generali.” .
- [23] “UNI EN 16247-2: edifici.” .
- [24] “UNI EN 16247-3: processi.” .
- [25] “UNI EN 16247-4: trasporti,” *Uni En 16247-1/5*, 2012.
- [26] “UNI EN 16247\_5: Competenze dell’auditor energetico.” .
- [27] M. Ministero Dello Sviluppo Economico, “Chiarimenti in materia di diagnosi energetica nelle imprese ai sensi dell’articolo 8 del decreto legislativo n°102 del 2014,” no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [28] ASSTRA, “LINEE GUIDA PER L’ESECUZIONE DELLA DIAGNOSI ENERGETICA NEL TRASPORTO PUBBLICO AI SENSI DEL D. LGS 102/2014,” 2016.
- [29] ENEA, “Linee Guida e Manuale Operativo Clusterizzazione,” 2019.
- [30] FIRE, “Linee guida nomina energy manager,” pp. 1–52, 2018.
- [31] ENEA, “Impostazione della diagnosi energeticadelle attivita ’ di Trasporto,” no. livello 1, pp. 1–6.
- [32] “GTT, Gruppo Torinese Trasporti,” [www.gtt.to.it](http://www.gtt.to.it). .

- [33] GTT, “Bilancio d’esercizio 2018,” 2018.
- [34] “Tram torinesi,” [www.tramditorino.it](http://www.tramditorino.it). .
- [35] P. Colella, E. Pons, and R. Sinatra, “Analisi della potenza assorbita dalla motrice 5051 durante la marcia,” 2017.
- [36] P. Colella, E. Pons, and R. Sinatra, “Analisi della potenza assorbita dalla motrice 6031 durante la marcia,” 2017.
- [37] V. Cirimele, M. Diana, F. Freschi, and M. Mitolo, “Inductive Power Transfer for Automotive Applications: State-of-the-Art and Future Trends,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 5, pp. 4069–4079, 2018.
- [38] “Temperature medie Torino 2018,” <https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo/Torino/2018>. .
- [39] “Densità combustibili,” [www.enistation.com](http://www.enistation.com). .