



Ricerca di Sistema elettrico

Upgrading del sistema di supporto alle decisioni relativo all'elettificazione di singole linee di trasporto pubblico locale

Valentina Conti, Silvia Orchi e Maria Pia Valentini

UPGRADING DEL SISTEMA DI SUPPORTO ALLE DECISIONI RELATIVO ALL'ELETTRIFICAZIONE DI SINGOLE LINEE DI
TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

Valentina Conti, Silvia Orchi, Maria Pia Valentini (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica negli usi finali elettrici e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con altri vettori elettrici

Progetto: D.7 "Mobilità elettrica sostenibile"

Obiettivo: Scenari mobilità elettrica, sub-obiettivo a.1 Strumenti di supporto TPL

Responsabile del Progetto: ing. Antonino Genovese, ENEA

Il contributo del Gruppo di Lavoro "Autobus" coordinato da ASSTRA, di verifica di alcuni fondamentali valori di input dei moduli di calcolo di BEST, è stato assolutamente determinante ai fini della messa a punto di uno strumento operativo che intende essere aderente alla realtà dei fatti. Ad ASSTRA ed ai rappresentati delle Aziende di Trasporto che si sono resi tanto disponibili va il più sentito ringraziamento dei ricercatori ENEA autori del rapporto.

Indice

SOMMARIO.....	5
1 INTRODUZIONE.....	7
2 AGGIORNAMENTO DEL MODELLO BEST.....	8
2.1 NUOVI STANDARD DEI FATTORI DI PRODUZIONE DEL SERVIZIO DI TRASPORTO.....	8
2.2 CONSUMO DEI DISPOSITIVI AUSILIARI.....	12
2.3 DIMENSIONAMENTO DELLA RICARICA AL DEPOSITO.....	12
2.4 DIMENSIONAMENTO DELLA RICARICA AI CAPOLINEA.....	14
2.5 AGGIORNAMENTO CARATTERISTICHE E COSTI DELLE INFRASTRUTTURE DI RIFORNIMENTO ENERGETICO.....	16
2.5.1 <i>Caratteristiche e costi delle stazioni di ricarica</i>	16
2.5.2 <i>Manutenzione delle infrastrutture per il rifornimento energetico</i>	18
2.6 AGGIORNAMENTO COSTO DELLE BATTERIE AL LITIO.....	19
2.7 AGGIORNAMENTO CARATTERISTICHE E COSTI DEGLI AUTOBUS.....	19
2.7.1 <i>Caratteristiche tecniche</i>	19
2.7.2 <i>Costi d'acquisto</i>	20
2.7.3 <i>Aggiornamento costi manutenzione</i>	21
2.8 AGGIORNAMENTO COSTI DELL'ENERGIA.....	22
2.9 AGGIORNAMENTO DELLA STRUTTURA DATI.....	23
3 INTEGRAZIONE NEL MODELLO BEST DEGLI AUTOBUS IBRIDI.....	24
3.1 GLI AUTOBUS IBRIDI PRESENTI SUL MERCATO NAZIONALE.....	24
3.2 INTEGRAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO CON LA TECNOLOGIA RELATIVA AGLI AUTOBUS IBRIDI.....	27
4 CASO DI STUDIO.....	29
4.1 DESCRIZIONE E ANALISI DELLA RETE DI FIRENZE.....	29
4.2 RISULTATI DELL'ANALISI TECNICA PER LE LINEE DI FIRENZE.....	32
4.3 RISULTATI ANALISI ECONOMICA PER LE LINEE DI FIRENZE.....	35
4.4 RISULTATI ANALISI COSTI ESTERNI PER LE LINEE DI FIRENZE.....	39
4.5 ANALISI DI DETTAGLIO ALCUNE LINEE DI FIRENZE.....	41
5 CONFRONTO ECONOMICO TRA FILOBUS E AUTOBUS ELETTRICI AD ACCUMULO CON RICARICA ALLE FERMATE.....	46
5.1 GENERALITÀ.....	46
5.2 ANALISI ECONOMICA.....	46
6 CONCLUSIONI.....	51
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	52
APPENDICE I: LISTINO PREZZI MOTORI.....	53
APPENDICE II: TABELLE DEI DATI DI INPUT.....	54
DATI SUL CASO DI STUDIO.....	54
DATI DI EXPERTISE PER IL PROGETTO DEL SISTEMA ELETTRICO.....	57
DATI SULLE TECNOLOGIE.....	57
DATI PER L'ANALISI ECONOMICA E DEI DANNI AMBIENTALI.....	61
APPENDICE III: TABELLE DEI DATI DI OUTPUT.....	63
RISULTATI DEL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ELETTRICO.....	63
RISULTATI DEL CONFRONTO ECONOMICO DELLE OPZIONI DI RICARICA ELETTRICA.....	63
RISULTATI DEL CONFRONTO ECONOMICO FRA ALTERNATIVE ENERGETICHE.....	64
APPENDICE IV: RISULTATI ANALISI TECNICA SISTEMI ELETTRICI PER LE SINGOLE LINEE DI FIRENZE.....	66
RISULTATI ANALISI ECONOMICA SISTEMI ELETTRICI PER LE SINGOLE LINEE DI FIRENZE.....	71
RISULTATI ANALISI COSTI ESTERNI SISTEMI ELETTRICI PER LE SINGOLE LINEE DI FIRENZE.....	82

Sommario

Le attività descritte nel presente report hanno riguardato il perfezionamento del software BEST sviluppato nel precedente anno di ricerca e la sua applicazione ad un caso di studio concreto.

Di BEST sono stati aggiornati i valori di alcuni dati di input dei moduli di calcolo, con particolare riferimento ai costi di acquisto ed esercizio dei fattori di produzione del servizio di trasporto pubblico locale, nelle diverse soluzioni tecnologiche considerate (diesel, metano, elettrico per le varie soluzioni di ricarica), e sono state riviste alcune ipotesi di calcolo.

Per l'aggiornamento dei valori di costo, sono state consultate diverse fonti rese disponibili di recente e, inoltre, è stata effettuata una verifica con alcuni operatori del settore, grazie alla collaborazione dell'Associazione di settore ASSTRA che in più riprese ha appositamente riunito una rappresentanza del proprio Gruppo di Lavoro tematico "Autobus", composto da professionisti di alta specializzazione che collaborano con Aziende di TPL proprio sulle tematiche di rinnovo e gestione delle flotte. Il confronto che ne è derivato è stato massimamente produttivo ed ha permesso la revisione di numerosi valori della banca dati del modello e, inoltre, ha evidenziato alcune lacune della precedente analisi che sono state prontamente colmate. Per esempio è stato fatto notare come la capacità degli autobus elettrici sia più limitata di quella degli autobus convenzionali, riducendo l'offerta di servizio a parità di corse effettuate; questa osservazione ha suggerito di introdurre il confronto dei costi per unità di posto offerto, a fianco del confronto dei valori assoluti di costo già presente nel modello. Altro esempio di integrazione modellistica è stato l'inserimento di una voce di consumo energetico specifica per i dispositivi ausiliari di climatizzazione del veicolo, che si è rivelata molto significativa nel confronto fra le diverse tecnologie.

Considerando altresì l'evoluzione delle performance dei sistemi di accumulo e di ricarica e la contestuale riduzione di alcuni costi di produzione, si è ritenuto di modificare alcuni standard di riferimento, con riguardo sia all'autonomia dei veicoli elettrici sia alla potenza di ricarica. I nuovi standard cercano anche di andare incontro alle esigenze di impiego del modello BEST nella ricerca dell'ottimo di rete, di cui ci si è occupati parallelamente (vedi Report RdS/PAR2016/227)

L'upgrading di BEST ha incluso anche l'introduzione della soluzione ibrida diesel-elettrica, nella configurazione serie, fra le alternative tecnologiche considerate; anche per tale alternativa la valorizzazione della banca dati di input si è giovata del confronto con i professionisti riuniti da ASSTRA.

Il modello così aggiornato è stato applicato all'intera rete del TPL urbano su gomma di Firenze, di cui sono stati acquisiti i dati resi disponibili dall'ATAF in formato open; l'output dell'applicazione software è stato sottoposto ad un'accurata analisi da cui sono emersi risultati circa i criteri generali di applicazione delle soluzioni di alimentazione elettrica a batteria. Ci si riserva di verificare tali risultati alla luce di ulteriori applicazioni future.

Per quanto riguarda il filobus, data l'elevata specificità, non si è ritenuto utile inserirlo come alternativa tecnologica del DSS ma, sulla base di costi di riferimento, è stato effettuato un confronto economico con la soluzione elettrica ad accumulo di bordo che prevede la ricarica flash alle fermate intermedie (Architettura C); tale soluzione innovativa, infatti, si pone in competizione diretta proprio con l'alimentazione elettrica da bifilare, più che con quella a combustione interna. Il confronto effettuato ha dato luogo a interessanti risultati.

1 Introduzione

Il presente rapporto descrive le attività ed i risultati del secondo anno della ricerca ENEA tesa allo sviluppo di sistemi di supporto alle decisioni destinati agli operatori del trasporto pubblico locale interessati ad un processo di elettrificazione del servizio.

Come previsto dal Piano annuale, l'attività si è concentrata inizialmente sull'aggiornamento del software BEST, sviluppato a partire dalla precedente annualità, il quale valuta la fattibilità tecnica ed economica di alcune soluzioni tecnologiche per l'alimentazione elettrica mediante accumulo di bordo, per poi passare all'applicazione su un caso di studio concreto.

Diversi sono stati gli aspetti del software sottoposti ad aggiornamento e verifica, dai valori di input della catena modellistica, con particolare riferimento ai costi, in continua evoluzione, agli standard tecnologici di riferimento, alla specificazione di alcuni algoritmi, alla introduzione di nuove alternative tecnologiche di confronto. L'attività di aggiornamento di BEST si è giovata della consulenza qualificata di operatori del settore, riuniti dall'Associazione ASSTRA a seguito dell'interesse suscitato dal modello a valle di una presentazione realizzata ad hoc.

Per quanto riguarda il caso di studio, la scelta è caduta sulla rete di Firenze, ritenuta rappresentativa di numerose realtà urbane nazionali di medie dimensioni.

I dati sul servizio di Firenze sono stati acquisiti via web in formato GTFS, ad alimentare la catena modellistica di BEST precedentemente aggiornata.

Gli output del modello sono stati sottoposti ad attenta verifica ed analisi, alla ricerca di criteri generali in grado di dare indicazioni circa l'opportunità di elettrificare o meno linee di TPL urbano.

Col medesimo obiettivo, è stato effettuato un confronto economico fra la realizzazione di una linea di filobus e la realizzazione di una linea operata con veicoli a batteria riforniti in modalità flash alle fermate.

In base a quanto detto, il report si articola in quattro capitoli, oltre all'introduzione ed alle conclusioni; il primo dedicato alla descrizione dell'aggiornamento dati e procedure, il secondo all'integrazione nel modello della tecnologia ibrida diesel-elettrica, il terzo allo studio effettuato sul caso di Firenze, il quarto al confronto economico fra filobus e autobus elettrico con ricarica alle fermate.

Corredano il rapporto numerose appendici, contenenti il dettaglio dell'aggiornamento della struttura dati del software, degli input e degli output dello studio su Firenze.

Al rapporto si accompagna il software aggiornato.

2 Aggiornamento del modello BEST

2.1 Nuovi standard dei fattori di produzione del servizio di trasporto

La continua evoluzione del mercato dei bus elettrici e delle stazioni di ricarica ha imposto l'introduzione di nuovi valori di riferimento per tali due categorie di elementi.

Le nuove specifiche, inoltre, tengono in considerazione la possibilità di utilizzare il modello BEST per l'analisi non solo di singole linee ma anche di intere reti, nella ricerca di possibili economie di scala; ciò implica l'impiego di standard in grado di includere una gamma di situazioni la più ampia possibile, a cominciare dalle necessità energetiche del servizio di trasporto.

In sostanza, anche in considerazione della riduzione dei costi delle batterie al litio, di cui si tratterà nel successivo paragrafo, si è ritenuto di aumentare la disponibilità energetica dei veicoli di riferimento, fissando i valori orientativi riportati nella seguente tabella.

Tabella 1: Valori orientativi della capacità dell'accumulo di bordo dei veicoli elettrici standard

Lungh. Veic. [m]	Arch. A [kWh]	Arch. B [kWh]	Arch. C [kWh]
6	200	40	n.d.
8	250	50	n.d.
12	300	60	3
18	n.d.	90	4

Si ricorda che la capacità dell'accumulo per le diverse architetture risponde ad esigenze differenti e cioè:

- nel caso dell'architettura A, il consumo nella giornata di esercizio più critica;
- nel caso dell'Architettura B, il consumo della corsa più critica;
- nel caso dell'Architettura C il consumo più critico fra due impianti di ricarica consecutivi lungo la linea.

Nel caso dell'architettura B, in realtà, la capacità della batteria è da dimensionarsi in relazione a criteri di potenza e di durabilità più che di necessità energetiche (vedi RdS/PAR2015/205)

A partire dai valori orientativi suddetti, sulla base delle caratteristiche dei moduli di accumulo disponibili industrialmente, si definisce una possibile configurazione ingegneristica del sistema di accumulo, tale da approssimare il più possibile il contenuto energetico voluto. Sono state ipotizzate le seguenti caratteristiche degli accumuli di bordo dei veicoli elettrici standard per le Architetture A e B.

Tabella 2: Caratteristiche dell'accumulo di bordo dei veicoli elettrici standard di architettura A e B

	U.M.	Architettura A			Architettura B			
Lunghezza veicolo	m	6	8	12	6	8	12	18
Capacità singolo modulo	Ah	160	160	200	90	90	90	120
Tensione nominale singolo modulo	V	48	48	48	48	48	48	48
N. serie	n°	13	16	16	10	12	14	16
N. paralleli	n°	2	2	2	1	1	1	1
Capacità batteria	Ah	320	320	400	90	90	90	120
Tensione nominale batteria	V	624	768	768	480	576	672	768
Energia Nominale batteria	kWh	200	246	307	43	52	60	92

Relativamente all'Arch. C, trattandosi di un accumulo a supercaps, non si effettua un'ipotesi di ingegnerizzazione del sistema.

Si osservi che mentre nel caso dell'Arch. A i valori di energia nominale precedentemente esposti corrispondono a dei limiti superiori, nel caso dell'Arch. B essi rappresentano dei veri e propri standard in quanto, rispetto alle necessità energetiche, sono più vincolanti le necessità di potenza di carica e di scarica e di limitazione della profondità di scarica al fine di contenere l'usura dovuta a più frequenti e veloci ricariche. Tali esigenze impongono un valore minimo di capacità della batteria per i veicoli da 12 m pari a 60 kWh, da ritenersi valido anche nel caso di ricarica con Architettura A.

Una volta fissate le caratteristiche degli accumuli di bordo si possono determinare i valori utili alle verifiche di fattibilità dell'elettrificazione delle linee e al dimensionamento delle stazioni di ricarica ossia: il massimo consumo di progetto e la potenza media di ricarica nei diversi casi.

Il massimo consumo di progetto non è altro che una frazione della capacità dell'accumulo, una volta fissati i limiti minimi del SOC (State of Charge) e i coefficienti di sicurezza che si vogliono applicare.

La potenza media di carica è la potenza che il veicolo è in grado di assorbire durante la ricarica per un dato rate di carica, ovvero del valore di intensità di corrente.

I "rate" di carica sono a loro volta determinati dai tempi di ricarica che si assume essere disponibili nelle diverse situazioni, ossia:

- 7 h per la ricarica notturna al deposito, da effettuarsi in modalità "lenta", e cioè con rate di carica non superiori a 1C, dove C rappresenta la capacità della batteria misurata in Ah;
- 8' per la ricarica durante le soste ai capolinea, da effettuarsi in modalità "rapida", e cioè con rate di carica non superiori a 2-3C;
- 15" per la ricarica durante le soste alle fermate per la salita e la discesa dei passeggeri, da effettuarsi in modalità "ultrarapida", e cioè con rate di carica dell'ordine di decine di C (utilizzando supercondensatori per l'accumulo di bordo).

Per i veicoli di Arch. B e C, in considerazione delle ridotte esigenze di energia da dover assorbire rispetto ai veicoli di Architettura A, per la durata delle ricarica notturna al deposito si assume una frazione del tempo disponibile; più specificatamente si ipotizza che i veicoli di Architettura B un tempo di ricarica di 3 ore e per quelli di Architettura C di 1 ora, laddove per i veicoli di Architettura A la durata della ricarica è posta pari a 7 h.

Allo scopo di contenere i valori di potenza di ricarica necessari per la ricarica dei veicoli di maggiori dimensioni (articolati), per essi si accettano tempi massimi di ricarica più elevati rispetto a quelli indicati in precedenza e precisamente:

- 4,5 h per la ricarica al deposito (Arch. B)
- 12' per la ricarica durante le soste ai capolinea (B e C),
- 20" per la ricarica durante le soste alle fermate (solo C)

La seguente tabella riassume le costanti di progetto assunti per il calcolo del consumo di progetto e della potenza media di carica per le diverse classi dimensionali dei veicoli di architettura A e B.

Tabella 3: Costanti di progetto per il calcolo del massimo consumo di progetto e della potenza media di ricarica dei veicoli standard

Lunghezza veicolo [m]	Architettura A			Architettura B				Architettura C	
	6	8	12	6	8	12	18	12	18
Max DOD per calcolo max consumo progetto. [ratio]	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8
Coefficiente di sicurezza per calcolo consumo progetto. [adimen]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
Durata max di ricarica al deposito. [h]	7	7	7	3	3	3	4,5	1	1,5
Max rate continuativo di carica al deposito	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,29	1*	1*
Durata max di ricarica al capolinea. [min]	n.d.	n.d.	n.d.	8	8	8	12	3	4
Max rate continuativo di carica al capolinea	n.d.	n.d.	n.d.	3	3	3	3	15	15
Rendim. medio ricarica a deposito	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90*	0,90*
Rendim. medio ricarica deposito a capolinea	n.d.	n.d.	n.d.	0,83	0,83	0,83	0,83	0,90	0,90
Rendim. medio ricarica deposito a fermate	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,90	0,90

* Accumulo di riserva

Si osservi che le durate di ricarica indicate sono da intendersi come valori massimi, che possono ridursi in relazione alle reali esigenze di rifornimento dei veicoli, le quali a loro volta sono sempre al di sotto del consumo massimo di progetto per vincolo imposto sulla fattibilità delle diverse Architetture elettriche.

Applicando i suddetti valori di progetto agli accumuli di bordo precedentemente specificati, si ottengono le prestazioni cercate per i diversi veicoli standard, riportate nelle successive tabelle.

Tabella 4: Prestazioni dei veicoli elettrici standard di architettura A

lunghezza veicolo [m]	max consumo progetto [kWh]	potenza media ricarica a deposito [kW]
6	133	27
8	164	33
12	205	41

Tabella 5: Prestazioni dei veicoli elettrici standard di architettura B

lunghezza veicolo [m]	max consumo progetto [kWh]	potenza media ricarica a deposito [kW]	potenza media ricarica a capolinea [kW]
6	14	6	130
8	17	7	156
12	20	8	181
18	30	8	221

Tabella 6: Prestazioni dei veicoli elettrici standard di architettura C

lunghezza veicolo [m]	max consumo progetto [kWh]	potenza media ricarica a deposito [kW]	potenza media ricarica a capolinea [kW]	potenza media ricarica a fermate [kW]
12	1,7	5	38	540
18	2,3	5	38	540

Utilizzando i valori del massimo consumo di progetto BEST stabilisce a priori per una linea, in relazione ai suoi specifici valori di consumo, se una certa architettura sia fattibile o meno. Per quanto detto in precedenza in merito alla capacità dell'accumulo di bordo, la fattibilità per B e C implica automaticamente il valore della capacità dell'accumulo di bordo, accettando situazioni di sovradimensionamento in caso di consumi al di sotto del limite massimo, mentre nel caso in cui sia fattibile la A, la capacità della batteria viene ridimensionata in relazione alle reali esigenze della fattispecie.

La variabilità dei valori della potenza media di ricarica dei veicoli in relazione alla loro dimensione potrebbe suggerire un'analoga variabilità della potenza degli impianti di ricarica per una data architettura. Nella realtà si preferisce privilegiare il criterio di standardizzazione rispetto a quello di customizzazione e naturalmente si utilizza come standard quello relativo al caso più frequente: il veicolo da 12 m.

In conclusione il sistema di ricarica nei nodi è impostato su un numero limitato di valori di potenza per postazione di ricarica, definiti in funzione della tipologia di nodo e dell'Architettura dei veicoli da dover (eventualmente) ricaricare come riassunto nella seguente tabella.

Tabella 7: Caratteristiche degli impianti standard di ricarica

Tipo impianto	Arch.	Tipo nodo	Potenza impianto [kW]	N. turni di ricarica in al deposito 6 ore	N. veicoli per turno di ricarica
stazione Deposito monoposto con connettore	A	D	40	1	1
stazione Deposito dual con connettore	B	D	20	2	2
stazione Deposito a 4 posti con connettore	B	D	40	2	4
stazione Deposito a 3 posti con connettore	C	D	15	6	3
stazione Deposito a 6 posti con connettore	C	D	30	6	6
stazione Capolinea monoposto con pantografo	B	K	220	n.d.	1
stazione Capolinea dual con pantografo	B	K	440	n.d.	2
stazione Capolinea monoposto con pantografo	C	K	50	n.d.	1
stazione Capolinea dual con pantografo	C	K	100	n.d.	2
stazione Fermate monoposto con pantografo	C	F	600	n.d.	1

L'esistenza di tipologie di impianto con diverso numero di postazioni di ricarica per la medesima Architettura nella medesima tipologia di nodo permette una certa flessibilità nel dimensionamento della ricarica nei nodi così da aderire il più possibile ai criteri di economia di scala (utilizzo di impianti a numerose postazioni per ammortizzare i costi fissi, in caso sia necessario ricaricare numerosi veicoli contemporaneamente) e di "sufficienza" (utilizzo di impianti a poche postazioni, in caso sia necessario ricaricare pochi veicoli contemporaneamente).

2.2 Consumo dei dispositivi ausiliari

Nel modello è stato introdotto il consumo aggiuntivo dovuto ai dispositivi ausiliari per il raffrescamento ed il riscaldamento del mezzo nei diversi periodi dell'anno. I valori di consumo degli ausiliari sono riportati come percentuale del consumo giornaliero del veicolo, differenti per le diverse tecnologie (vedi Tabella 8). Nel leggere i valori della tabella bisogna considerare che il consumo degli ausiliari incide percentualmente di più sui veicoli elettrici a causa del minor consumo per trazione di questa tecnologia. Nei veicoli elettrici l'assorbimento per riscaldamento è maggiore rispetto a quello per raffrescamento, al contrario di quanto avviene per i veicoli a combustione interna dove d'inverno si sfrutta il calore del motore.

Tabella 8: Peso sui consumi degli impianti ausiliari in estate ed inverno

Tecnologia	% sui consumi estivi	% sui consumi invernali
Elettrico	15%	30%
Diesel	20%	8%
Metano	20%	8%
Ibrido	15%	6%

Nel modello questi dati sono stati utilizzati per la verifica di fattibilità dell'elettrificazione nelle tre Architetture e per il dimensionamento dell'accumulo dell'architettura A, considerando sempre il surplus di consumo in inverno, essendo il valore più vincolante.

Dell'impiego degli ausiliari si tiene conto anche nella stima dei consumi annuali per le diverse alternative tecnologiche. I consumi vengono calcolati in funzione del numero di giorni di utilizzo degli impianti sia in estate sia in inverno, assumendo di default per entrambe le stagioni una durata pari a 90 giorni (3 mesi). Questo dato può essere modificato per tener conto delle diverse temperature che si potrebbero verificare nei diversi contesti territoriali.

2.3 Dimensionamento della ricarica al deposito

Al deposito, il numero di postazioni da dover garantire per ogni linea è funzione del numero di veicoli necessari al servizio in relazione all'architettura di ricarica in esame e della durata prevista per la ricarica rispetto al tempo complessivamente disponibile durante il ricovero notturno, posto pari a 6 ore. L'algoritmo di calcolo assume la forma:

$$P_{la} = V_{la} \cdot 6 / H_a^D$$

dove:

- P_{la} : n. minimo di postazioni di ricarica al deposito per i veicoli della linea l di architettura $a \in \{A, B, C\}$
- V_{la} : flotta veicolare della linea l per architettura $a \in \{A, B, C\}$ [input da calcolo]
- H_a^D : durata in ore della ricarica al deposito per tutti veicoli di Arch. $a \in \{A, B, C\}$ [costante di progetto]

Una volta determinato il numero minimo di postazioni, espresso da un valore reale positivo, il numero di impianti di diversa capienza sarà determinato in funzione del valore del rapporto fra il numero minimo di postazioni richiesto e il numero massimo di postazioni previsto per gli impianti di ricarica al deposito per l'architettura in esame.

$$Rmax_{la} = arr.dif(P_{la}/Nmax_a; 0)$$

$$Rmin_{la} = arr.ecc(P_{la} - Rmax_{la} \cdot Nmax_a; 0)$$

$Rmax_{la}$: n° impianti con massimo numero di postaz. per l in arch. $a \in \{A, B, C\}$

$Rmin_{la}$: n° impianti con minimo numero di postaz. per l in arch. $a \in \{A, B, C\}$

$Nmax_a$: n° massimo di postazioni degli impianti per arch. $a \in \{A, B, C\}$

Si osservi che la forma della seconda espressione è tale in quanto, per assunzione di progetto, il massimo numero di stalli degli impianti di ricarica di una certa architettura è sempre un multiplo in base 2 del numero minimo. Nella tabella seguente i valori delle costanti del calcolo.

Tabella 9: Costanti del calcolo del numero di impianti al deposito

#Arch.	N° min postazioni	N° max postazioni	Durata della ricarica di un veicolo [h]
A	1	1	6
B	2	4	3
C	3	6	1

2.4 Dimensionamento della ricarica ai capolinea

In base alla teoria delle code ed alla legge degli arrivi delle corse, è stato calcolato il numero di postazioni di ricarica necessario al capolinea.

Sulla carta, le corse di una linea di trasporto pubblico sono un evento programmato, anche se nella realtà essi risentono degli imprevisti legati alla circolazione dei veicoli, specie in città. Ciononostante appare troppo penalizzante assumere per questo fenomeno una distribuzione esponenziale, legata a fenomeni puramente stocastici; la soluzione più opportuna è sembrata dunque quella di assumere una distribuzione degli arrivi deterministica costante, data dalla frequenza media delle corse della linea nell'ora di punta, introducendo un adeguato coefficiente di sicurezza per tener conto di una certa irregolarità e aleatorietà. In base a tali assunzioni, l'algoritmo utilizzato per il calcolo del numero di postazioni di ricarica necessarie per il rifornimento di una linea ai capolinea è il seguente¹:

$$P_l = TR_l / Umax$$

Dove:

P_l = n. minimo di postazioni di ricarica da rendere disponibili nei capolinea della linea l [incognita].

TR_l = tempo complessivo di occupazione della ricarica dei veicoli di l nell'ora di punta, espresso in ore

$Umax$ = coefficiente di sicurezza ≤ 1 , da stabilirsi di volta in volta in base alla situazione concreta.

Nelle analisi sinora effettuate si è posto un valore di $Umax$ pari a 0,7, che in pratica significa accettare un tasso massimo di occupazione delle postazioni di ricarica nel loro complesso pari al 70%.

Il tempo complessivo di occupazione delle ricariche nell'ora di punta per una certa architettura a è dato da:

$$TR_{la}^* = \frac{E_{la}^*}{W_{la}} + PK$$

dove:

TR_{an}^* : tempo complessivo di ricarica al capolinea dei veicoli di l in architettura $a \in \{B, C\}$ nell'ora di punta [incognita]

E_{la}^* : energia da ricaricare al capolinea nell'ora di punta dai veicoli di l in architettura $a \in \{B, C\}$ [input da preprocessing]

W_{la} : potenza media di ricarica della classe veicolare di l in architettura $a \in \{B, C\}$ [costante di progetto]

PK : perditempo di connessione/disconnessione nei nodi capolinea [costante di progetto]

Si osservi che il valore risultante per P_l è in generale un reale positivo da cui deriva il numero di stazioni di diversa tipologie espressi come interi positivi utilizzando i seguenti passaggi di calcolo:

¹ Per un approfondimento sulle motivazioni dell'algoritmo si veda il Report RdS/2016/227

$$Rmax_l = arr.dif(P_l / Nmax; 0)$$

$$Rmin_l = arr.ecc(P_l - Rmax_l \cdot Nmax; 0)$$

dove:

$Rmax_l$: n° impianti con massimo numero di postazioni necessari alla linea l

$Rmin_l$: n° impianti con minimo numero di postazioni necessari alla linea l

$Nmax$: n° massimo di postazioni degli impianti per l'architettura attribuito di l [$a \in \{B, C\}$]

Si osservi altresì che la forma della seconda espressione è tale in quanto, per assunzione di progetto, il massimo numero di postazioni degli impianti di ricarica al capolinea è pari a 2 (stazioni dual), laddove il numero minimo è pari a 1 (stazioni mono), sia per l'Architettura B che per la C.

L'energia E_{la}^* che i veicoli devono ricaricare complessivamente al capolinea è pari al consumo previsto per effettuare i percorsi dalle precedenti ricariche.

Nella nuova versione di BEST sono state modificate le ipotesi sulla localizzazione delle stazioni di ricarica ai capolinea; si è infatti assunto che ogni linea di architettura B o C disponga almeno di una stazione di ricarica in ciascuno dei propri capolinea, andando così incontro a criteri di affidabilità del servizio, nell'eventualità in cui possa verificarsi un malfunzionamento del rifornimento in uno qualsiasi dei nodi.

Si ricorda, infatti, che la capacità dell'accumulo dei veicoli di architettura B è sovradimensionata rispetto alle strette esigenze di servizio, riuscendo sicuramente a coprire un ciclo di A/R nel caso in cui ad uno dei due capolinea non fosse disponibile la ricarica; per i veicoli di architettura C, invece, in un caso del genere entrerebbe in azione la batteria di riserva sino alla successiva ricarica alle fermate lungo linea.

Si è però presentata la questione di come dimensionare il sistema di ricarica in ciascuno dei capolinea di ogni linea.

Posto che nella maggior parte dei casi, in relazione alla frequenza delle corse ed ai tempi necessari al rifornimento dei veicoli (vedi trattazione precedente), è sufficiente una sola postazione di ricarica per nodo, si verificano anche alcuni casi in cui sono necessarie più postazioni, sino ad un massimo di due in base ai valori in gioco. In casi del genere, è sembrato eccessivo dotare tutti i capolinea della linea della doppia postazione, scegliendo invece di aggiungere la seconda postazione in un solo capolinea; anche perché, oltre ai criteri di sicurezza adottati sulla capacità dell'accumulo di bordo, è da considerarsi che il dimensionamento del numero di postazioni di ricarica viene effettuato sull'ora di punta di ogni linea, risultando quindi sovrabbondante nella maggior parte del periodo di servizio.

Ricordando che è stata scartata a priori l'idea di elettrificare con B le linee con più di tre capolinea e quella di elettrificare con C le linee con più di un percorso per direzione di marcia, ogni linea presa in considerazione potrà disporre solo di uno, due o tre capolinea complessivamente.

Nel primo caso, la postazione aggiuntiva andrà inequivocabilmente installata nell'unico nodo disponibile; nel caso di due capolinea, la scelta di dove ubicare la seconda postazione è indifferente, trattandosi di un servizio presumibilmente simmetrico nelle due direzioni di marcia; nel caso dei tre capolinea, sarà chiaramente identificabile il capolinea comune ad entrambi i percorsi ed in esso si dovrà collocare la seconda stazione.

Quale che sia l'ubicazione della seconda stazione, BEST ne considera il costo aggiuntivo.

2.5 Aggiornamento caratteristiche e costi delle infrastrutture di rifornimento energetico

2.5.1 Caratteristiche e costi delle stazioni di ricarica

Per tutte le alimentazioni considerate, si richiede la disponibilità di infrastrutture per la erogazione dell'energia necessaria ad espletare il servizio di trasporto, sia essa gasolio, metano o elettricità. Per il gasolio e il metano si assume che l'infrastruttura sia già presente all'interno del deposito o comunque sia nella disponibilità dell'azienda di trasporto, non prevedendo ulteriori costi di investimento. Per l'alimentazione in elettrico è invece necessario sostenere ex novo degli extracosti in conto capitale per creare l'infrastruttura di ricarica. Questa assumerà una configurazione diversa a seconda del tipo di architettura scelta. Per la determinazione dei costi dei sistemi di ricarica sono stati analizzati i diversi componenti principali.

Elemento fondamentale di una stazione in CC è il trasformatore, il cui costo può assumersi proporzionale alla potenza dell'impianto. Partendo dalle indicazioni acquisite dalla CTM di Cagliari che ha recentemente realizzato un'infrastruttura di ricarica rapida puntuale per una linea di filobus parzialmente in marcia autonoma (stazione di Poetto da 100 kW alimentata a 750 V) è stato determinato un valore di costo unitario del trasformatore pari a 400 €/kW.

A questi costi si dovranno aggiungere quelli dell'elettronica di controllo e sicurezza, stimati in 4.000 euro per postazione di ricarica e degli *switch* di corrente per la deviazione della stessa in fase di turnazione delle ricariche (quando prevista).

E' poi da considerarsi il sistema di connessione infrastruttura/veicolo.

Al deposito, dove la ricarica avviene in tempi relativamente lunghi col veicolo in rimessaggio, con possibilità di intervento umano, il collegamento fra stazione e veicoli è assicurato da cavi connettori di tipologia opportuna, di costo relativamente contenuto, pari a circa 300 euro cadauno. Ai capolinea come alle fermate, invece, l'energia elettrica viene fornita agli autobus attraverso un pantografo situato all'interno di un palo posizionato lato strada. Il costo del palo e del pantografo è di circa 15.000 euro; nel caso in cui si ipotizzi di dover rifornire due bus contemporaneamente con la stessa stazione, il secondo pantografo comporterà un costo aggiuntivo di 12.000 euro.

Infine bisogna considerare i costi di connessione alla rete di distribuzione dell'energia elettrica

Per gli impianti di ricarica al deposito e ai capolinea si assume l'allacciamento alla rete di bassa tensione mentre per quelli alle fermate, sfruttando una determinata tipologia di offerta commerciale, si prevede l'allacciamento diretto alla rete di media tensione.

Le delibere periodiche dell'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico (AEEGSI) indicano i costi di allacciamento alle reti di media e bassa tensione in funzione della potenza dell'impianto e della distanza dalla cabina elettrica di riferimento.

Non sono previsti costi di realizzazione di cabine di trasformazione in quanto se ne prevede la presenza sia al deposito che nei dintorni dei capolinea e delle fermate.

Infine, per le opere civili, l'entità dei costi è stata valutata diversamente in relazione all'ubicazione della stazione; essi sono contenuti al deposito, dove si ipotizza siano necessari solo piccoli interventi, mentre all'esterno, si ipotizzano interventi di più ampia portata che comportano oneri maggiori. Posto che si tratta di un fattore piuttosto aleatorio, la stima è da considerarsi solo indicativa.

La tabella seguente riassume i valori unitari delle varie voci di costo che compongono l'investimento per acquisto e installazione delle stazioni di ricarica dei bus elettrici.

Tabella 10: Aggiornamento dei costi specifici d'investimento per i sistemi di ricarica

	Unità misura	Costo
Costo connettore plug-in	€/connettore	300
Costo palo e un pantografo	€	15.000
Costo pantografo aggiuntivo	€	12.000
Costo variabile (trasformatore)	€/kW	400
Switch potenza	€	5.800
Elettronica di connessione e controllo al deposito	€/postazione	2.000
Elettronica di connessione e controllo al capolinea e fermate	€/postazione	4.000
Connessione BT-Quota fissa	€	211,51
Connessione BT-Quota aggiuntiva ogni 100 m. per distanza da 200 m a 700 m	€/frazione di 100 m	92,75
Connessione BT-Quota potenza	€/kW	69,57
Connessione MT-Quota fissa	€	490,22
Connessione MT-Quota aggiuntiva ogni 100 m per distanza superiore a 1000 m	€/frazione di 100 m	46,38
Connessione MT-Quota potenza	€/kW	55,38
Costo opere civili deposito < 100 kW	€	1.500
Costo opere civili capolinea	€	15.000
Costo opere civili fermate	€	30.000

Le stazioni al deposito, per tutte le architetture considerate, sono state strutturate in stalli modulabili e sono previsti tanti connettori plug-in quanti sono gli autobus serviti durante la sosta notturna.

Nel caso dell'architettura A, date le maggiori esigenze di rifornimento energetico notturno, al fine di limitare la potenza degli impianti, ogni stazione serve un solo autobus per tutto il tempo di stazionamento al deposito, ipotizzato di 6 ore. L'architettura B può avvalersi, invece, di due tipologie di stazione a seconda della esigenze di ricarica della flotta, entrambe operative per due turni di ricarica di 3 ore ciascuno: quella da 20 kW alimenterà due veicoli per turno mentre quella da 40 kW ne servirà quattro. Per l'architettura C, caratterizzata da esigenze energetiche contenute, sono previste due tipologie di stazioni al deposito, rispettivamente da 15 e da 30 kW, che riforniscono i mezzi in sei turni di ricarica da 1 ora ciascuno, cedendo energia a tre autobus o a sei autobus per turno.

Al capolinea, le stazioni per la ricarica dei mezzi di architettura B e C sono strutturate in due versioni, una monoposto e una biposto, la seconda di potenza doppia rispetto alla prima, e la connessione avviene tramite pantografo rovesciato posizionato su palo.

Alle fermate, gli autobus configurati per l'architettura C, saranno alimentati da stazioni monoposto, dotate di pantografo e potenza molto elevata.

La tabella di seguito riporta per ciascuna architettura, la configurazione strutturale dei sistemi di ricarica, il valore di potenza e quello di costo complessivo, calcolato in base ai valori unitari di costo visti in precedenza.

Per il calcolo dei costi di connessione in funzione della distanza dalle rispettive sottostazioni, sono state operate delle assunzioni in base alle quali si pone uguale a 200 metri e 500 metri rispettivamente la distanze del deposito e del capolinea rispetto alle cabine di riferimento che forniscono la BT mentre la distanza media dei sistemi di ricarica alle fermate rispetto alla sottostazione in MT è posta uguale a 2,5 km. Le distanze sono diverse in quanto le cabine di BT sono appositamente realizzate nelle vicinanze del punto d'uso e in generale quelle del sistema nazionale di distribuzione sono più numerose sul territorio, invece le cabine della MT hanno una densità geografica inferiore.

In fase di acquisto dei sistemi di ricarica, è prevista la possibilità di usufruire di uno sconto e alla fine della vita utile è ipotizzabile un valore residuo del 5% del costo sostenuto.

Tabella 11: Aggiornamento delle caratteristiche e dei costi complessivi dei sistemi di ricarica nelle diverse architetture

Tipo impianto	Architettura	Potenza impianto [kW]	Costo impianto [€]
Deposito monoposto con connettore	A	40	22800
Deposito a 2 posti con connettore	B	20	20100
Deposito a 4 posti con connettore	B	40	30700
Deposito a 3 posti con connettore	C	15	22000
Deposito a 6 posti con connettore	C	30	34.400
Capolinea monoposto con pantografo	B	220	137.800
Capolinea dual con pantografo	B	440	253.100
Capolinea monoposto con pantografo	C	50	58.000
Capolinea dual con pantografo	C	100	93.500
Fermate monoposto con pantografo	C	600	323.400

2.5.2 Manutenzione delle infrastrutture per il rifornimento energetico

Per la manutenzione delle stazioni di rifornimento del metano si assume un extra-costi di 0,10 €/km, rispetto ai costi di manutenzione dei veicoli diesel, assumendo che i costi di manutenzione siano proporzionali ai consumi e quindi alle percorrenze degli autobus. Tale voce di costo va a sostituire la voce relativa al costo del servizio per la fornitura di metano, posta pari a 0,2 €/km nel lavoro del precedente anno. La manutenzione annua delle stazioni di ricarica dei bus elettrici è misurata, come nel lavoro dell'anno precedente, in termini percentuali rispetto al costo dell'impianto. Tale percentuale è stata però modificata e diversificata a seconda del tipo di infrastruttura. Per i sistemi di ricarica al deposito il costo annuo della manutenzione è stato posto pari al 2,5% del costo della stazione, mentre per le stazioni al capolinea ed alle fermate tale percentuale sale al 3,3%. Questa differenza si giustifica per l'ubicazione *indoor* prime, che sarebbero pertanto meno esposte ad agenti esterni di varia natura.

Tabella 12: Aggiornamento costi della manutenzione dei sistemi di ricarica

Tipo impianto	% su costo impianto	Costo annuo manutenzione [€]
Deposito monoposto con connettore	2,5	410
Deposito a 2 posti con connettore	2,5	380
Deposito a 4 posti con connettore	2,5	610
Deposito a 3 posti con connettore	2,5	430
Deposito a 6 posti con connettore	2,5	720
Capolinea monoposto con pantografo	3,3	3.370
Capolinea dual con pantografo	3,3	6.650
Capolinea monoposto con pantografo	3,3	1.150
Capolinea dual con pantografo	3,3	2.190
Fermate monoposto con pantografo	3,3	8.350

2.6 Aggiornamento costo delle batterie al litio

Secondo la McKinsey il prezzo delle batterie al litio è sceso dai circa 1.000 \$/kWh del 2010 ai 227 \$/kWh del 2016. Ancora più basso il costo della batteria montata sulla Chevrolet Bolt EV 2017 dichiarato nella primavera del 2017: 145 \$/kWh.

Si stima che questi valori continueranno a scendere (vedi grafico sottostante).

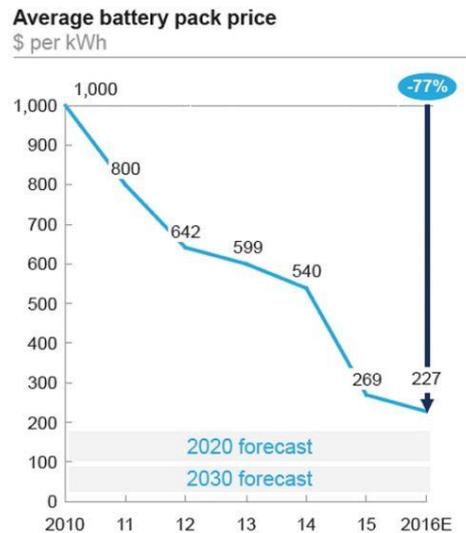


Figura 1: Prezzo medio del pacco batteria per veicoli elettrici. Fonte: McKinsey 2017

Stando alla previsione formulata da WardsAuto il prezzo delle batterie al litio scenderà ancora più rapidamente e si porterà al di sotto dei 100 \$/kWh già entro il 2020 e a meno di 80 \$/kWh negli anni seguenti. [9] [10]

Rimanendo sui valori attuali, sono stati adottati i seguenti valori di prezzo, espressi in €/kWh, con una riduzione di circa 20 punti percentuali rispetto a quelli utilizzati nella precedente versione del software.

Oltre alla riduzione dei prezzi, sono stati acquisiti i risultati di campagne di misura sulla durata delle batterie agli ioni di litio, che dichiarano valori molto più incoraggianti che nel passato.

Tabella 13: Aggiornamento prezzo e durata delle batterie agli ioni di litio

Vita Tecnica	Costo specifico del pacco batteria	Costo specifico delle celle elementari
n Cicli	€/kWh	€/kWh
4.000	225	125

2.7 Aggiornamento caratteristiche e costi degli autobus

2.7.1 Caratteristiche tecniche

Rispetto all'anno precedente è stata rivista la percorrenza media nella vita utile dei veicoli, raccogliendo le indicazioni fornite dal GdL Autobus dell'associazione ASSTRA. La tabella di seguito ne mostra i nuovi valori.

Tabella 14: Aggiornamento vita utile dei veicoli

Lunghezza veicolo [m]	Percorrenza vita utile [km]		
	Diesel	Metano	Elettrico
6	450.000	450.000	1.000.000
8	600.000	500.000	1.000.000
12	900.000	800.000	1.000.000
18	900.000	800.000	1.000.000

Anche i valori del numero di passeggeri per tipologia di trazione sono stati modificati rispetto a quelli dello scorso anno. I veicoli elettrici ed anche quelli a Metano hanno meno posti a disposizione rispetto al diesel perché le bombole nel caso del metano e l'accumulo nel caso dell'elettrico occupano una parte di spazio utilizzabile per i passeggeri e comunque incidono sul peso a totale a terra che non può superare determinati valori a norma di legge. L'architettura A dell'elettrico, avendo un accumulo più grande rispetto alle altre due architetture, ha a disposizione ancora meno posti.

Tabella 15: Carico massimo passeggeri per tecnologia

Lunghezza veicolo [m]	Carico massimo passeggeri [n]			
	Diesel	Metano	Elettrico arch. A	Elettrico arch. B e C
6	35	32	20	25
8	48	44	35	44
12	103	86	70	86
18	139	126	116	126

La capacità dei veicoli determina l'offerta di servizio in termini di posti-km, per una determinata programmazione delle corse. Considerati i diversi valori di capacità in relazione alla alimentazione, il confronto dei relativi costi di investimento e d'esercizio dovrà essere effettuato per posto-km offerto.

2.7.2 Costi d'acquisto

I dati di costo applicati nei calcoli dal modello, sono stati oggetto di revisione operata sia sulla base del confronto con i rappresentanti del GdL Autobus di ASSTRA sia tramite la raccolta di informazioni provenienti dalle operazioni di mercato e di studi specifici.

Come mostra la tabella successiva, il costo medio sostenuto per l'acquisto di un midibus è simile a quello sostenuto per uno di dimensioni standard con la stessa alimentazione. Questo si deve al fatto che solo un 10% del parco del TPL è composto da midibus, che quindi non beneficiano di buone economie di scala nella produzione industriale.

I veicoli a metano rappresentano il 4,2% della flotta ma il buon posizionamento dell'industria nazionale consente di contenere gli extracosti rispetto al diesel entro il limite del 15%.

Gli autobus elettrici e ibridi termico-elettrici rappresentano lo 0,5% del parco autobus del 2016. I bus elettrici urbani, in particolare, stanno lentamente entrando nelle flotte del TPL ma scontano ancora la scarsa maturità del mercato nazionale. La tendenza dei costi è al ribasso e ciò è determinato in parte dall'entrata di operatori stranieri nell'offerta di mercato nazionale in parte dagli sviluppi della tecnologia legata agli accumuli di bordo, che hanno portato ad una brusca e consistente riduzione del costo degli stessi negli ultimi anni. Fino a pochissimo tempo fa si poteva immaginare un costo dei bus elettrici che fosse almeno pari al doppio di un rispettivo a gasolio, ora è possibile invece azzardare un extracosto dell'e-bus pari a circa il 70% di quello. La tabella riporta i dati di riferimento dei costi d'acquisto dei bus elettrici in relazione alla tipologia ed alla capacità dell'accumulo di bordo stabilito per ciascuna architettura e per

ciascuna classe dimensionale utile; si osservi che nel caso dell'Architettura A sono stati presi a riferimento i valori massimi di capacità, con l'avvertenza che il modello ne effettua il ridimensionamento in relazione alle reali esigenze di servizio, considerando eventualmente costi d'acquisto dei veicoli più bassi.

Tabella 16: Aggiornamento costi di acquisto degli autobus [€]

Lunghezza veicolo [m]	Bus convenzionali		Bus elettrici		
	Diesel	Metano	Arch. A con accumulo massimo	Arch. B	Arch. C
6	138.000	159.000	252.000	216.000	
8	230.000	265.000	401.000	356.000	
12	230.000	265.000	415.000	359.000	390.000
18	300.000	345.000		470.000	509.000

2.7.3 Aggiornamento costi manutenzione

Per le voci di costo relative al materiale e al personale di manutenzione degli autobus a gasolio e a metano si confermano i dati del lavoro dell'anno precedente² rammentando che si trattava di dati ASSTRA³ i quali avevano come assunzioni di base percorrenze medie annue di 45.000 km e ad una vita utile dell'autobus di 15 anni.

Il costo della manutenzione dei veicoli elettrici è ancora difficile da definire in maniera certa, date le scarse esperienze finora raccolte e i continui miglioramenti delle tecnologie, accumuli elettrochimici in particolar modo. Fino a qualche anno fa, quando cominciavano a vedersi i primi bus elettrici sul mercato nazionale, la ridotta concorrenza e le scarse economie di scala determinavano, includendo il cambio batteria, un costo di manutenzione molto elevato e sicuramente maggiore a quello del diesel. L'attuale situazione di mercato, grazie ad un'aumentata concorrenza e agli altri fattori sopra richiamati, offre la possibilità di ottenere dei prezzi di manutenzione *full service* tali da poter concorrere potenzialmente con quelli delle alimentazioni tradizionali. Per i bus elettrici, il costo di manutenzione relativo al personale e al materiale viene assunto pari al 50% del rispettivo costo calcolato per il bus a gasolio, riducendo di pochissimo il costo chilometrico rispetto al lavoro dello scorso anno. A questo viene aggiunto poi il costo della batteria, che nel caso degli autobus di 12 metri di lunghezza ammonta a circa 0,15 €/km nel caso dell'architettura A, 0,10 €/km nel caso dell'architettura B mentre nel caso dell'architettura C gli autobus non avranno necessità di sostituire la batteria nel corso della vita utile del veicolo stesso, poiché gli ultracapacitori hanno una vita tecnica molto elevata. Le tabelle riportano i dati enunciati, i dati rimasti invariati sono segnati in corsivo.

Tabella 17: Costi unitari medi di manutenzione [€/km]

Lunghezza veicolo [m]	Diesel*	Metano*	Elettrico Arch. A**	Elettrico Arch. B**	Elettrico Arch. C**
6	<i>0,24</i>	0,25	0,12	0,12	0,12
8	<i>0,24</i>	0,25	0,12	0,12	0,12
12	<i>0,31</i>	0,32	0,16	0,16	0,16
18	<i>0,38</i>	0,43	0,19	0,19	0,19

*Al netto dei costi di revisione/sostituzione del motore. **Al netto delle sostituzioni degli accumuli di bordo

² Valentini&all: "Procedure di supporto alle decisioni nei processi di elettrificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale su gomma", Report RdS/PAR2015/205.

³ "Un modello di calcolo del costo standard per il trasporto pubblico locale e regionale automobilistico", Associazione Trasporti ASSTRA, ottobre 2013.

Tabella 18: Costo complessivo manutenzione e sostituzione della batteria per i veicoli standard elettrici [€/km]

Lunghezza veicolo [m]	Arch. A	Arch. B	Arch. C
12	0,30	0,25	0,16

Nel modello è stata aggiunta la possibilità di prevedere la sostituzione del motore prima della fine della vita utile dei veicoli.

Il costo di sostituzione è dato dal prodotto del costo del motore di un singolo veicolo per il numero di veicoli che compongono la flotta, è quindi:

$$CM_f = V * CM$$

dove:

CM_f = costo di sostituzione motore per l'intera flotta (incognita) [€]

V = numerosità della flotta [n. veicoli]

CM = costo per la sostituzione di un motore , al netto dell'IVA [€/bus]

Questa voce di costo è utilizzata principalmente per i veicoli a Metano; infatti nella prassi delle aziende di trasporto pubblico, come emerso dal confronto con il GDL Autobus di ASSTRA, solo per questa tecnologia è previsto che il motore possa essere sostituito prima che il veicolo arrivi alla fine della sua vita utile.

La Tabella 19 mostra il valore della durata della vita tecnica del motore a metano, pari alla metà della vita tecnica del veicolo.

Tabella 19: Vita tecnica dei motori a metano

Motore a metano	
Lunghezza veicolo [m]	Percorrenza [km]
6	250.000
8	250.000
12	400.000
18	400.000

Fonte: Elaborazione ENEA

La sostituzione del motore a metano è valorizzata in 10.000 €, per tutte le categorie di autobus considerate, tenendo in considerazione i dati dal listino prezzi motori della SPI motori e ricambi, con i prezzi di gennaio 2016 (vedi allegato 0).

Non è previsto un valore residuo unitario a fine vita, poiché il motore non ha più alcun valore di mercato.

Per i motori elettrici e diesel la durata della motorizzazione è posta pari a quella del veicolo; tuttavia si è ritenuto opportuno considerare un intervento di manutenzione straordinaria del motore diesel a metà della sua vita tecnica, di costo pari a 5.000 €.

2.8 Aggiornamento costi dell'energia

I costi dell'energia sono stati tutti aggiornati al terzo trimestre del 2017. Per l'energia elettrica i costi sono stati desunti dalle delibere dell'AEEGSI, come mostra la tabella di seguito.

Tabella 20: Aggiornamento tariffe energia elettrica

		Costo della potenza impegnata [€/kW/anno]	Costo al punto di prelievo [€/anno]	Costo dell'energia da 0 a 8 GWh [€/kWh]
MTA1	Altre utenze in media tensione con potenza impegnata fino a 90,9 kW	33,88	1.063,53	0,10
MTA2	Altre utenze in media tensione con potenza disponibile superiore a 90,9 kW e inferiore o uguale a 454,5 kW	30,64	1.018,61	0,10
MTA3	Altre utenze in media tensione con potenza disponibile superiore a 454,5 kW	26,69	1.004,94	0,10

Fonte: AEEGSI

Il costo del gasolio è indicato al netto delle imposte, compresa la quota dell'accisa rimborsata, stabilita dall'Agenzia delle Dogane; per il prezzo del metano, a differenza dello scorso anno, sono stati considerati i valori praticati nelle gare CONSIP, nelle quali si riesce ad ottenere un ottimo prezzo, che attualmente oscilla tra i 0,4-0,5 €/kg, prudenzialmente è stato considerato un prezzo di 0,5 €/kg, consentendo un alto margine di risparmio, dato che il prezzo desunto sul mercato nel periodo di riferimento, sarebbe stato invece pari a 0,75 €/kg.

Tabella 21: Aggiornamento costi combustibili convenzionali

Costo combustibili	Unità di misura	Prezzo
Diesel	€/l	1,00
Metano	€/kg	0,5

2.9 Aggiornamento della struttura dati

A seguito delle modifiche del modello è stata modificata la struttura dei dati di input (vedi Appendice II: Tabelle dei dati di input) e di output (vedi Appendice III: Tabelle dei dati di output). **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

3 Integrazione nel modello BEST degli autobus ibridi

3.1 Gli autobus ibridi presenti sul mercato nazionale

I veicoli sono detti ibridi quando all'interno degli stessi si realizza una cooperazione tra varie tecnologie propulsive come ad esempio un motore a combustione interna ed un motore elettrico.

La configurazione ibrida può essere di due tipologie: ibrido serie (*full hybrid*), dove domina il motore elettrico che viene alimentato da un generatore diesel, oppure ibrido parallelo, dove esiste un accoppiamento meccanico tra un piccolo motore elettrico che assiste il motore diesel principale per farlo lavorare in condizioni di regime semistazionario ed aumentarne l'efficienza complessiva; in questo caso il motore elettrico svolge solo una funzione di avvio "Start&Stop" dopo una sosta e supporta il motore termico nelle fasi di accelerazione o di richieste di maggiori potenze. In entrambi i casi è possibile recuperare l'energia in fase di frenata trasferendola alle batterie a bordo aumentando l'efficienza e consentendo, nel caso dell'ibrido serie, brevi distanze dell'ordine di una decina di chilometri in solo elettrico. Quest'ultima versione risulterebbe il migliore compromesso per la transizione verso gli ibridi plug-in e l'elettrico puro. La Figura 2 di seguito illustra la configurazione del veicolo nella versione ibrida sia in serie sia in parallelo.

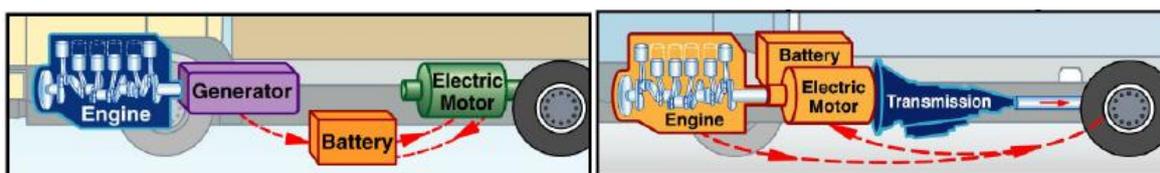


Figura 2: Configurazione ibrida in serie e in parallelo

Fonte: (2° Convegno "Sistema gomma nel trasporto passeggeri", 2016)

Gli allestimenti ibridi possono essere realizzati in vario modo, dando luogo a veicoli ibridi diesel-elettrici a batteria o a *fuel cell*, plug-in o meno.

L'ibridizzazione può interessare oltre ai normali autobus anche veicoli più capienti, con lunghezza superiore ai 18 metri, adatti all'esercizio in modalità Bus Rapid Transit (BRT) ossia un servizio di trasporto, caratterizzato da alte frequenze e lunghi convogli, svolto su un percorso protetto e con diritto di precedenza con cui viene garantita una velocità di percorrenza compresa tra i 12 ed i 40 km/h, simile a quella dei sistemi di trasporto su ferro di superficie. Questi veicoli possono rispondere ad una elevata e concentrata domanda di trasporto, notoriamente nei centri storici delle grandi città, senza dover ricorrere necessariamente ai più costosi e complessi sistemi tramviari o metropolitani.

La presenza degli autobus ibridi termico-elettrici presenti nella flotta del trasporto pubblico, in Italia è molto poco incisiva. Le aziende infatti, in fase di rinnovo del loro parco circolante, hanno piuttosto optato per le alimentazioni a metano. Solo in questi ultimi due anni comincia a manifestarsi un certo interesse per gli ibridi termico-elettrici, in particolare per i bus sopra i 10 metri di lunghezza, mentre continua a non essere rilevante la quota di mercato dei bus al di sotto dei 10 metri, in particolare i veicoli con una lunghezza sotto i sette metri sono presenti in pochissimi modelli utilizzati per lo più per il trasporto privato o come scuolabus. Infatti, risulta tra i modelli sotto i 10 metri di lunghezza, impiegati per il trasporto pubblico locale, non si abbiano molte alternative di scelta sul mercato nazionale. Il minibus Gulliver della Tecnobus, ad esempio, è fuori produzione, il midibus ALE' della Rampini monta un accumulo a idrogeno, rappresentando una nicchia di innovazione tecnologica ancora non maturata sul mercato.

In base alle ultime gare espletate dagli operatori del servizio di trasporto pubblico locale su gomma, i prezzi degli autobus ibridi termico-elettrici sopra i 10 metri di lunghezza, costano circa il 50% in più dei rispettivi bus alimentati a gasolio.

I bus ibridi termico-elettrici possono portare un prezioso contributo all'abbattimento delle emissioni nocive e del rumore. Potrebbero anche rappresentare la tecnologia di passaggio verso l'elettrificazione del trasporto. Un particolare interesse verso questi bus ibridi sta maturando tra gli operatori di settore, i quali vedrebbero questa tecnologia ben impiegata nei servizi di trasporto da e per le aree extraurbane.

Le ultime notizie che arrivano dal BusWorld 2017 testimoniano che tutte le case costruttrici stanno impegnando i loro sforzi sulle trazioni alternative, con netta preferenza dell'elettrico in ambito urbano, mentre in ambito interurbano sono in particolare gli autobus ibridi e a metano a destare maggiormente interesse. Il primo ibrido per il trasporto pubblico extraurbano, in Italia, è stato acquistato dalla Città di Como. Si tratta di uno Scania Citywide LE Hybrid di 12 metri con 41 posti a sedere e venti in piedi. L'autobus è dotato di batterie per l'accumulo di energia che si ricaricano durante la marcia e la frenata.

Scania, ha guadagnato un maxi ordine dalla Norvegia comprensivo di un contratto di assistenza per 7 anni, circa la metà della fornitura ha per oggetto gli ibridi Citywide LE Suburban Citywide.



Figura 3: Scania LE Suburban Citywide

Ugualmente, l'Irizar i4 ibrido⁴, disponibile nelle versioni da 10,7m fino a 13m a 2 assi, e 15 m a 3 assi, è un pullman per aree periferiche e suburbane a breve percorrenza e serve anche il trasporto scolastico. Si tratta in questo caso di un ibrido in parallelo, nel quale si combina un motore a propulsione diesel o biodiesel di ultima generazione (HVO) (Hydrotreated vegetal oils=gasolio a oli vegetali idrotrattati) con un motore elettrico che agisce da propulsore o generatore di elettricità e che, in funzione, può agire singolarmente o congiuntamente, ottenendo così ottimi livelli di resa ed efficienza. Le versioni da 13 e 15 metri dispongono rispettivamente di 53 e 65 posti a sedere nel modello con porta centrale a doppia anta. E' inoltre provvisto di un bagagliaio con capienza sufficiente per un servizio di linea in zone periferiche. L'Irizar i4 ibrido è così il primo veicolo destinato alle zone periferiche con tecnologia ibrida e classe II per linee a corta e media percorrenza, nelle versioni H, M e L e pavimento alto con bagagliaio. Il motore termico Cummins è da 6,7 litri e 300 CV, il motore elettrico Eaton è composto da una scatola del cambio robotizzata a 6 velocità e da un inverter e motore elettrico EDRIIVE (44/65 KW) refrigerati ad acqua e batterie agli ioni di litio con una capacità di 5 kWh.

La casa costruttrice MAN ha presentato la versione aggiornata del Lion's City Hybrid, che utilizza una tecnologia ad elevate prestazioni per le batterie a bordo. Si tratta di un ibrido termico-elettrico Euro 6 con un sistema di accumulo di bordo composta da ultracapacitori. Le riduzioni nei consumi di carburante, dichiarati dalla casa costruttrice, sono pari al 30% o a 10.000 litri di diesel/anno, in funzione del profilo di missione riducendo anche le emissioni di CO₂ e dell'NO_x del 26%. Sono ridotte anche le emissioni di rumore, in particolare alle fermate, quando il veicolo opera in funzione elettrica. L'accumulo di bordo è costituito da 12 moduli da 24 celle di supercapacitori che raggiungono picchi massimi di capacità di carica/scarica pari a 200 kW, hanno un contenuto di energia di 0,5 kWh⁵ e virtualmente non necessitano di interventi di manutenzione⁶.

⁴ <http://www.irizar.com/italy/modelli/irizar-i4-ibrido/>

⁵ https://www.bus.man.eu/man/media/it/content/medien/doc/business_website_bus_master_1/Lions_City_Hybrid.pdf

⁶ <https://www.bus.man.eu/de/en/city-buses/man-lions-city-hybrid/overview/overview.html>



Figura 4: Man Lyon City Hybrid

Anche la casa indiana Tata Motors ha debuttato con lo STARBUS HYBRID un bus ibrido a metano CNG — Elettrico in serie e in parallelo, disponibile in varie dimensioni. Il pacco batteria è formato da celle Li-ion in grado di stoccare 3,7 kWh.



Figura 5: Tata motors Star Bus Hybrid

La casa costruttrice Volvo propone il nuovo Volvo 7900 Plug-in Hybrid per il quale assicura elevati livelli di efficienze e un risparmio di carburante e delle emissioni di CO₂ fino al 39%⁷, le emissioni degli ossidi di azoto e dei particolati verrebbero ridotte di circa il 50%. Anche in questo caso la modalità elettrica a basse velocità garantirebbe l'abbattimento delle emissioni di rumore. Tali risultati sarebbero stati sperimentati in varie situazioni di traffico.



Figura 6: Volvo 7900 Electric Hybrid

Gli autobus 7900 Hybrid sono ibridi paralleli e sono disponibili nella versione a due assi e nella versione articolata e l'accumulo è costituito da batterie agli ioni di litio. Nella versione Electric Hybrid, l'autobus raggiunge un risparmio di carburante del 75% e energetico complessivo del 60%, in quanto l'energia è fornita in aggiunta alla versione precedente, da una ricarica *opportunity* di sei minuti eseguita al capolinea⁸. La casa francese Heuliez Bus ha abbinato l'autobus ibrido in serie con la tecnologia "Stop & Start" consentendo una riduzione del consumo di carburante e della CO₂ fino al 30%, delle emissioni di NO_x del 50% e del rumore. Il sistema interno di accumulo è costituito da una batteira agli Ionidi litio con una capacità di 11 kWh.

⁷ <http://www.volvobuses.it/it-it/our-offering/buses/volvo-7900-hybrid.html>

⁸ <http://www.volvobuses.it/it-it/our-offering/buses/volvo-7900-electric-hybrid.html>

Infine, nell'ambito del progetto di ricerca dell'Unione Europea "Horizon 2020" è nato il consorzio EcoChamps⁹ (European COmpetitiveness in Commercial Hybrid and AutoMotive Powertrains) costituito da un totale di 26 partner, per lo sviluppo di una tecnologia ibrida per veicoli commerciali e passeggeri promuovendo la standardizzazione dei componenti e lo studio su come gli sviluppi possano essere utilizzati anche sui veicoli commerciali.

Recentemente, autobus ibridi termico-elettrici sono entrati in circolazione a Bologna e a Milano¹⁰, nelle versioni degli Urbanway Full Hybrid targati Iveco da 18 metri e disponibili anche nella versione di 12 metri.



Figura 7: IVECO Urbanway Full Hybrid 18 metri

Si tratta di un ibrido in serie con batterie, che opera in modalità elettrica quando viaggia ad una velocità al di sotto dei 20 km/h. La casa costruttrice dichiara un abbattimento delle emissioni¹¹ rispetto al relativo diesel pari al 33% per la CO₂ e al 40% per gli NO_x (g/km), anche le emissioni di rumore verrebbero ridotte di 7dB rispetto al diesel. L'accumulo di bordo è costruito con batterie agli Ioni di Litio nano fosfati con una capacità di 11 kWh. Il sistema di accumulo è dimensionato in modo da consentire il recupero dell'energia in frenata mentre la funzione 'Arrive & Go' consente di sostare e ripartire alle fermate in modalità 100% elettrica, dunque a zero emissioni, anche per tratte significative. Sulla base dei dati provenienti dai mezzi già in esercizio (quasi 1000 in Europa), il costruttore dichiara¹² che la riduzione dei consumi può arrivare anche al 40% rispetto a un veicolo con motore diesel così come la riduzione delle emissioni di CO₂.

3.2 Integrazione del modello di calcolo con la tecnologia relativa agli autobus ibridi

Il modello per la valutazione della migliore alternativa per il rinnovo dell'investimento in flotte destinate al trasporto pubblico si arricchisce in questo anno di attività, dei veicoli con alimentazione ibrida diesel-elettrica, senza prevedere la ricarica per le batterie. Tra le varie versioni degli autobus presenti sul mercato, sono state individuate le caratteristiche tecniche di riferimento (vedi tabella di seguito) in funzione della classe dimensionale, al fine di poter simulare l'operatività dei veicoli ibridi nel modello di calcolo.

Tabella 22: Caratteristiche tecniche di riferimento per gli autobus ibridi

Lunghezza veicolo [m]	Tara veicolo con conducente [kg]	Carico massimo [n. pax]	Sistema di Trazione	Tipologia accumulo	Capacità accumulo [kWh]	Potenza motore elettrico [kW]	Potenza motore termico [kW]
12	11.350	102	Ibrido in serie	Li-io	19	110	177
18	17.600	152	Ibrido in serie	Li-io	19	130	177

⁹https://www.bus.man.eu/man/media/it/content_medien/doc/business_website_bus_master_1/Lions_City_Hybrid.pdf

¹⁰<https://www.trasportinfo.com/2017/09/22/citytech-iveco-urbanway-ibrido-da-18-metri-atm-milano/>

¹¹<http://www.iveco.com/ivecobus/it-it/prodotti/pages/Iveco-Bus-Hybrid.aspx>

¹²http://www.bustocoach.com/sites/default/files/wfm_upload/newsletter_pdf/marzo_2017_ivecohy_it.pdf

La motorizzazione dell'autobus ibrido operando in condizioni ottimali consente di attribuire una operatività del mezzo molto elevata, potendo arrivare a percorrere 1.000.000 di km in vita utile per i veicoli con lunghezza maggiore a 10 metri.

Per l'analisi della convenienza economica i valori di costo riguardano l'acquisto dei veicoli e i costi operativi riguardano il costo del personale e del materiale di manutenzione e il lubrificante, come nei casi precedenti. I costi d'investimento iniziali per i veicoli ibridi, riportati nella tabella di seguito, sono attualmente maggiori del 50-60% rispetto ai relativi autobus alimentati a gasolio, come verificato nelle ultime gare e dal confronto con operatori del sistema di trasporto pubblico. Nel caso di studio, la percentuale assunta è quella più bassa, in modo da assecondare la tendenza seppur timida ma in aumento, penetrazione degli ibridi nel mercato. Si considera anche un valore residuo a fine vita utile del 2% sul costo di acquisto.

Tabella 23: Caratteristiche e costi degli autobus ibridi diesel-elettrici

Lunghezza veicolo [m]	Percorrenza vita utile [km]	Costo acquisto [€]
12	1.000.000	345.000
18	1.000.000	450.000

Per la manutenzione dei veicoli, le esperienze nazionali ancora non sono tali da poter definire dei valori certi di riferimento, perciò si assume che il costo annuo della manutenzione sia pari al 70% della rispettiva voce relativa al bus a gasolio.

La tabella di seguito riporta i dati di costo della manutenzione espresso in termini di Euro per chilometro assumendo una percorrenza media annua di 45.000 km all'anno, come nei casi precedenti. Sono compresi anche i costi per il consumo di lubrificante, quest'ultimo posto pari al 50% del rispettivo diesel.

Tabella 24: Costi della manutenzione degli autobus ibridi diesel-elettrici

Lunghezza veicolo [m]	€/km
12	0,23
18	0,29

Per il rinnovo del pacco batterie si ritiene di poter imputare il relativo costo al termine di un periodo di garanzia di sette anni potenzialmente ottenibile in fase di gara.

In attesa di poter usufruire dei risultati del modulo di calcolo dei consumi e delle emissioni dei veicoli ibridi sviluppato dall'Università dell'Aquila, si è assunta, quindi, una quota di riduzione per i consumi e per le emissioni degli autobus ibridi rispetto ai diesel, rispettivamente del 20% e del 40%.

4 Caso di Studio

4.1 Descrizione e analisi della rete di Firenze

In questo capitolo si riportano i risultati del modello BEST applicato linea per linea all'intera rete di trasporto su gomma di Firenze. La rete è composta da 85 linee che operano in ambito urbano.

Nella Figura 8 è stata riportata la rappresentazione su mappa dei percorsi delle linee.



Figura 8: Mappa rete trasporto pubblico di Firenze

Gli “open data”, reperiti dal sito dell’ATAF¹³, hanno fornito indicazioni sui percorsi, sulla distanza tra le fermate, sul tempo di partenza ed arrivo e sul tempo di viaggio e sulla frequenza delle corse relativamente a quattro giornate tipo dell’esercizio nei diversi periodi caratteristici dell’anno (feriale invernale ed estivo, festivo invernale ed estivo) utilizzate nel modello.

Questi dati sono stati inseriti all’interno del database che è stato predisposto per contenere tutti i dati di input ed output.

¹³ http://opendata.comune.fi.it/mobilita_sicurezza/dataset_0053.html

Data Output												
	Explain	Messages	History									
id	corsa_id	linea_id	route_id	delta_h	lungh	tempo	occupazione	departare_time	arrival_time	ecotrip_id	?column?	giorno_id
integer	integer	integer	character varying(20)	real	real	integer	real	interval	interval	integer	integer	integer
1	256706	105010	10 017	-0.299999	405.054	39		0 05:45:00	05:45:39	1040104	5	2
2	256707	105010	10 017	2.33	258.672	25		0 05:45:39	05:46:04	1040104	5	2
3	256708	105010	10 017	17.8	321.022	31		0 05:46:04	05:46:35	1040104	5	2
4	256709	105010	10 017	-5.74	327.711	32		0 05:46:35	05:47:07	1040104	5	2
5	256710	105010	10 017	0.740002	281.337	27		0 05:47:07	05:47:34	1040104	5	2
6	256711	105010	10 017	22.91	375.007	37		0 05:47:34	05:48:11	1040104	5	2
7	256712	105010	10 017	3.04	290.501	28		0 05:48:11	05:48:39	1040104	5	2
8	256713	105010	10 017	0.39	488	47		0 05:48:39	05:49:26	1040104	5	2
9	256714	105010	10 017	-0.0100002	256.313	25		0 05:49:26	05:49:51	1040104	5	2
10	256715	105010	10 017	-0.3	270.047	27		0 05:49:51	05:50:18	1040104	5	2
11	256716	105010	10 017	-0.63	163.265	15		0 05:50:18	05:50:33	1040104	5	2
12	256717	105010	10 017	-0.960001	340.539	34		0 05:50:33	05:51:07	1040104	5	2
13	256718	105010	10 017	1.07	255.565	24		0 05:51:07	05:51:31	1040104	5	2
14	256719	105010	10 017	-3.5	270.326	27		0 05:51:31	05:51:58	1040104	5	2
15	256720	105010	10 017	-21.98	343.237	33		0 05:51:58	05:52:31	1040104	5	2
16	256721	105010	10 017	-0.548999	257.871	25		0 05:52:31	05:52:56	1040104	5	2
17	256722	105010	10 017	2.17	453.063	44		0 05:52:56	05:53:40	1040104	5	2
18	256723	105010	10 017	-14.53	247.287	24		0 05:53:40	05:54:04	1040104	5	2
19	256724	105010	10 017	-2	199.389	20		0 05:54:04	05:54:24	1040104	5	2
20	256725	105010	10 017	2.54	245.568	23		0 05:54:24	05:54:47	1040104	5	2
21	256726	105010	10 017	-3.9	650.096	64		0 05:54:47	05:55:51	1040104	5	2

Figura 9: Esempio di schermata dei dati open su DB

In mancanza dei dati forniti dall’Azienda di trasporto, è stato ipotizzato il numero dei giorni per i quali ciascuna delle quattro giornate tipo fosse rappresentativa nel corso dell’anno (Tabella 25) e il programma tipo di esercizio della linea, che si assume essere identico per le diverse alternative tecnologiche.

Tabella 25: N. di giornate di esercizio nei diversi periodi dell’anno

Giorni di esercizio feriale invernale	Giorni di esercizio festivo invernale	Giorni di esercizio feriale estivo	Giorni di esercizio festivo estivo
260	43	53	9

Questi dati sono utilizzati per il calcolo della percorrenza, dei consumi e delle emissioni annuali complessivi sulla rete.

In caso di mancata indicazione, da parte dell’operatore di trasporto pubblico, anche del tipo di veicolo prevalentemente impiegato, il modello associa la classe veicolare standard (autobus da 12 metri di lunghezza). L’occupazione del veicolo è assunta pari a 20 passeggeri per corsa.

La maggior parte delle linee sono lunghe 1 km (circa 24%) e 2 km (circa 19%), come si vede dalla Figura 10. Ci sono pochissime linee sopra i 7 km, ne esiste una da 22.

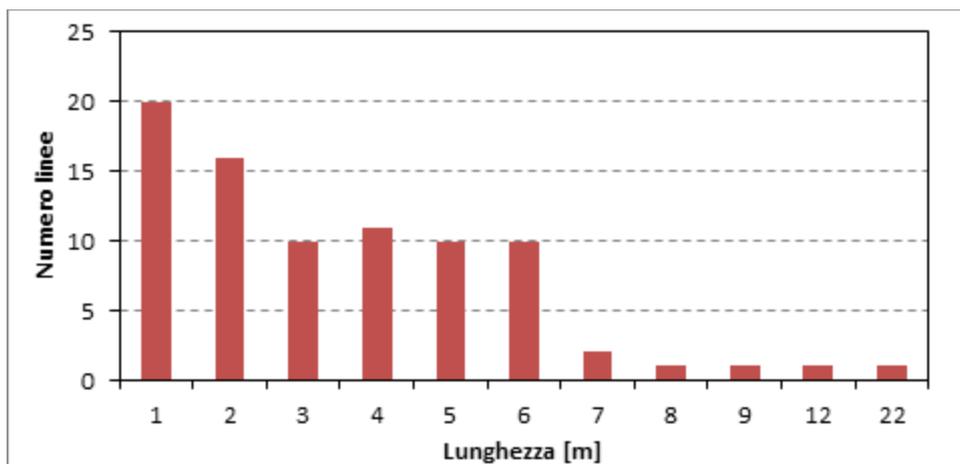


Figura 10: Lunghezza linee

Il tempo di percorrenza medio per corsa si trova tra i 21-30 minuti per la maggior parte delle linee. Non sono molto frequenti linee che hanno dai tempi medi tra 8 e 10 minuti.

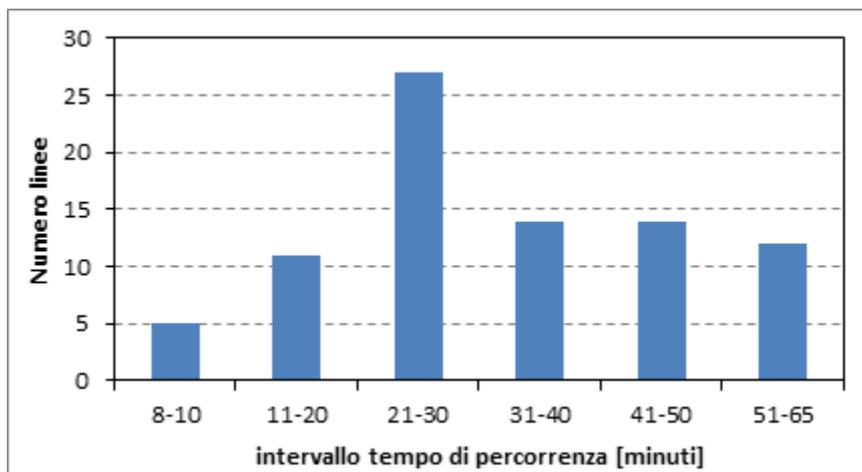


Figura 11: Tempo di percorrenza medio di corsa

A Firenze la maggior parte delle linee è formata da due percorsi circa nel 42% dei casi ed il 50% delle linee ha al massimo 2 capolinea, ma ci sono anche molte linee che hanno più di 5 percorsi di andata e ritorno e più di 4 capolinea. L'ipotesi di elettrificazione con l'architettura B è stata esclusa per le linee aventi più di tre capolinea, l'architettura C invece è stata esclusa per le linee aventi più di due percorsi.

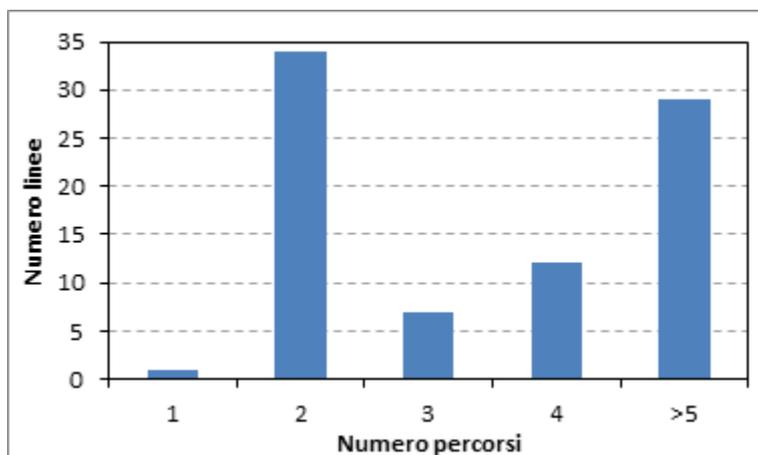


Figura 12: Percorsi A/R per linea

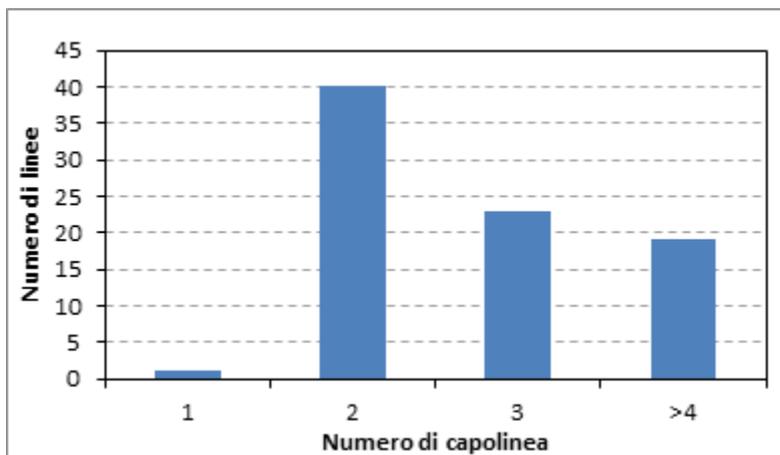


Figura 13: Capolinea per linea

4.2 Risultati dell'analisi tecnica per le linee di Firenze

Nella prima fase il modello effettua l'analisi tecnica dei tre sistemi elettrici per ogni linea, i cui risultati (allegato Appendice II) riguardano:

- la fattibilità tecnica dell'architettura;
- la numerosità della flotta;
- il numero di stazioni di ricarica al deposito, al capolinea ed alle fermate;
- la capacità dell'accumulo del veicolo in kWh;
- la potenza impegnata in media tensione in kW;
- il numero di punti di prelievo della corrente elettrica;
- l'energia totale in kWh.

Per la fattibilità tecnica è stato verificato che per l'architettura B le linee non avessero più di tre capolinea e che per l'architettura C non avessero più di un percorso in ciascuno delle due direzioni del servizio.

Per tutte le architetture andava verificata la possibilità di poter installare le stazioni di ricarica al deposito di pertinenza della linea. Nel caso di studio, non disponendo dei dati dell'azienda di trasporto, questo aspetto non è stato considerato mai un vincolo, così come la possibilità di installare le stazioni a tutti i capolinea per l'architettura B e C, e almeno ad una fermata per l'architettura C.

Circa 20 linee non sono elettrificabili con l'architettura B perché hanno più di 3 capolinea come si è visto nel paragrafo precedente (Figura 13) mentre sono 48 le linee non elettrificabili con l'architettura C in quanto aventi più di due percorsi per direzione (Figura 12).

Dopo le verifiche suddette, si è proceduto al calcolo dei consumi per tutte le opzioni di elettrificazione ed alla verifica del rispetto dei relativi valori massimi di consumo.

Per l'architettura A, considerando l'assorbimento degli ausiliari, che incide per il 30%, il consumo totale ammissibile per la trazione diventa circa 150 kWh. Con questo valore, l'architettura A è risultata infattibile per 16 linee per le quali, come si vede nella Figura 14, il consumo effettivo è maggiore di quello massimo ammissibile sino arrivare a raddoppiarlo (in un caso).

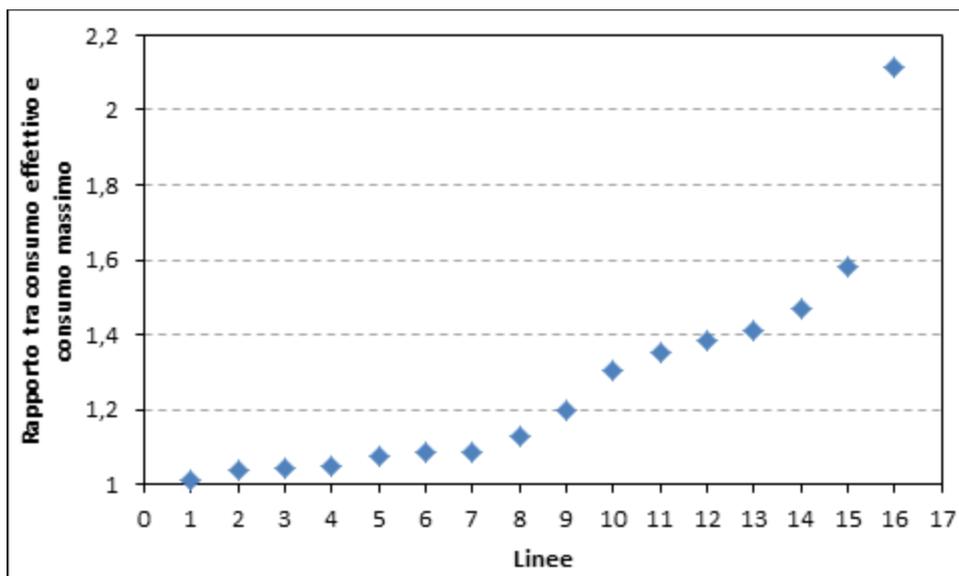


Figura 14: Rapporto tra consumo effettivo e massimo delle linee in cui l'architettura A non è fattibile

Per l'architettura B, la capacità della batteria è prefissata in funzione della classe dimensionale del veicolo e per tutte le linee di Firenze con un numero di capolinea limitato a 3 è stata verificata l'idoneità in base ai consumi.

Per le linee elettrificabili con C in base alla numerosità dei percorsi, in sette casi è stato verificato che il consumo tra le fermate era superiore a quello massimo di progetto.

Le linee risultate elettrificabili per almeno una architettura e sulle quali è stato possibile effettuare l'analisi benefici costi sono 81 su un totale di 85, pari a circa il 95%. Di queste, 69 linee sono elettrificabili con l'architettura A, 64 lo sono con l'architettura B e soltanto 30 lo sono con l'architettura C.

Nelle tabelle in Appendice IV: Risultati analisi tecnica sistemi elettrici per le singole linee di Firenze si riportano i risultati dell'analisi tecnica delle linee, fra cui la numerosità della flotta necessaria per realizzare il servizio di trasporto per ogni tipologia di architettura elettrica. Questo dato è utilizzato nel calcolo dei costi di investimento e di esercizio per ogni linea presa in esame.

Il numero di veicoli è funzione del tempo e della frequenza delle corse nell'ora di punta e dei tempi di sosta al capolinea ed alle fermate; questi ultimi due valori, in linea generale, sono diversi per le diverse Architetture. Ciononostante, dai risultati si evince che la composizione numerica della flotta è la stessa nell'ipotesi di elettrificazione con architettura A e B, mentre nel 43% dei casi, per il quali è fattibile l'architettura C, è necessario aggiungere un veicolo allo schema di esercizio. Per effettuare il servizio sulla rete di Firenze, nel 20% delle linee è necessario impiegare solo due veicoli, nel 13% solo 3 veicoli, nell'11% dei casi si ha bisogno di un numero di veicoli che va da 4 a 6 e esiste un 8% delle linee che possono essere esercite da un solo autobus (Figura 15).

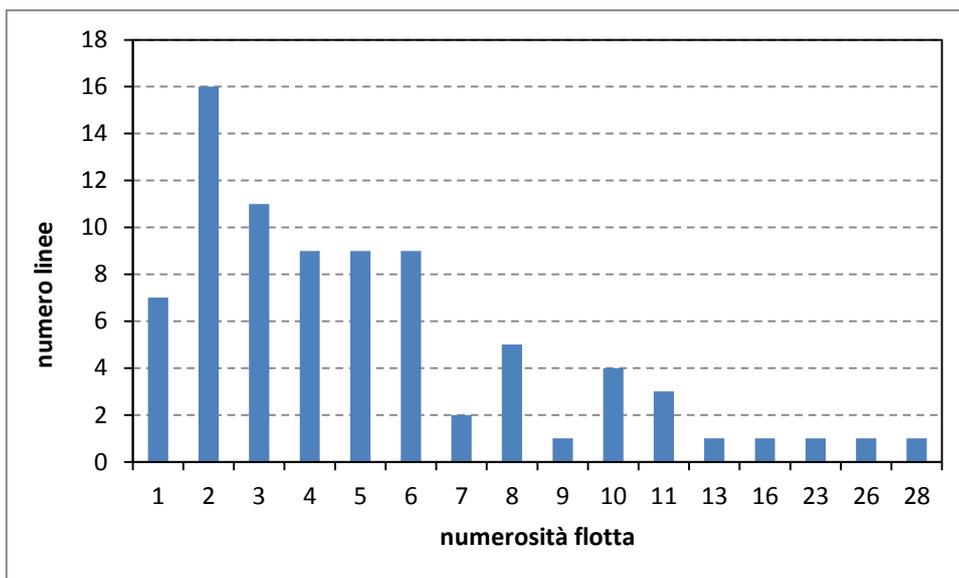


Figura 15: Numero di autobus per linea (arch. A e B)

In questa fase sono stati calcolati anche il numero di stazioni di ricarica necessario ad assicurare che tutti i veicoli possano effettuare la ricarica. Il dato sarà un input per il calcolo dei costi interni dell’analisi economica successiva. Nel caso delle stazioni per la ricarica notturna è stato assunto un impianto per ogni veicolo della flotta.

Per l’architettura B, le stazioni al deposito possono essere da 2 o 4 posti. Nella maggior parte delle linee analizzate per ricaricare in notturna basta un impianto dual (53 casi), per 4 linee è sufficiente un impianto da quattro postazioni, con il quale si ricaricano in 2 turni 8 veicoli, e per 7 linee vogliono sono necessari sia l’impianto con 2 postazioni sia quello con 4.

Per quanto riguarda le stazioni ai capolinea, esiste una sola linea dotata di un solo capolinea, 22 linee ne hanno 2 e 15 linee ne hanno 3. Nel 40% dei casi, è stato necessario installare due impianti ad un capolinea.

Tabella 26: Numero di capolinea per linea

numero capolinea su linea	numero stazioni per un capolinea	Numero totale di impianti	numero linee
1	1	1	1
2	1	2	22
3	1	3	15
2	2	3	19
3	2	4	7

Nel caso dell’architettura C, al deposito si possono installare tutti impianti da 3 postazioni con 6 turni ciascuno. Nel caso più frequente (vedi Figura 16) è richiesta l’installazione di stazioni in 10 fermate fra andata e ritorno (20% dei casi), in un caso le fermate da elettrificare sono addirittura 32.

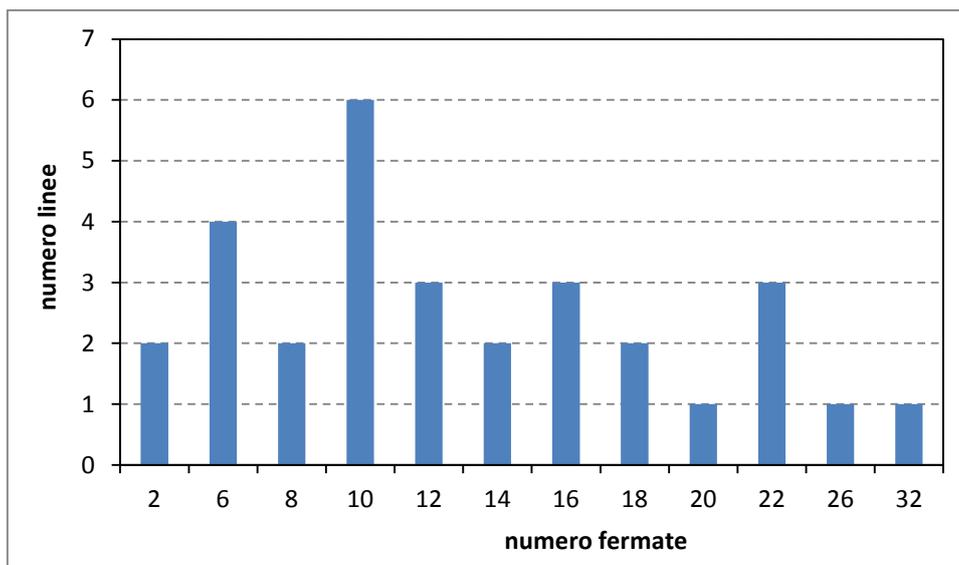


Figura 16: Numero di fermate per l'architettura C

4.3 Risultati analisi economica per le linee di Firenze

Nella seconda fase sono stati calcolati per ogni linea i costi interni di tutte le tecnologie, elettriche e convenzionali, oggetto di analisi. I costi stimati (vedi [Tabella 63](#)) sono:

- investimenti netti per le stazioni di ricarica, che comprendono i costi di investimento iniziale ed i relativi valori residui
- investimenti netti per gli autobus, che comprendono i costi di investimento iniziali, i costi per la sostituzione della flotta e del motore, qualora fosse necessario nei 12 anni di analisi ed i relativi valori residui
- investimenti netti per l'accumulo di bordo, che comprende i costi d'investimento iniziale, i costi per la sostituzione dell'accumulo ed i valori residui. Per l'architettura C sono compresi anche i costi dell'accumulo secondario.
- costo della manutenzione, che include i costi del personale e del materiale di manutenzione dei bus, il costo dei lubrificanti, i costi di manutenzione delle stazioni elettriche, nel caso del metano viene conteggiato anche un costo differenziale rispetto allo scenario con alimentazione diesel, della manutenzione della stazione di rifornimento.
- costo della bolletta energetica relativa ai punti di prelievo dalla rete elettrica e alla potenza impegnata per gli scenari con elettrificazione
- costo della bolletta energetica relativa al consumo di energia per tutti gli scenari
- costi interni totali quale somma delle precedenti voci di costo considerate.

Il grosso del vantaggio per le soluzioni elettrificate rispetto al diesel è dato dai costi dell'energia e della manutenzione dei veicoli, anche considerando la sostituzione dell'accumulo di bordo che, tuttavia, è sempre meno frequente ed economicamente onerosa, grazie ai progressi tecnologici e commerciali.

I risultati dell'analisi benefici costi condotta sulle tecnologie non *full electric*, mostrano come sia sempre la soluzione con autobus diesel quella economicamente più vantaggiosa. Per questa, infatti, il totale dei costi interni è mediamente inferiore del 14% rispetto a quello degli autobus a metano e del 15% rispetto a quello degli autobus ibridi.

In generale, il metano sconta il fatto di avere costi di acquisto dei veicoli superiori del 15% rispetto agli omologhi diesel e costi di manutenzione più elevati del 10%, per via del cambio olio più frequente, della manutenzione dell'impianto e della revisione delle bombole da effettuarsi ogni 4 anni; in più il motore dura molto di meno rispetto a tutte le altre tecnologie prese in esame ed ogni 400.000 km è necessario

effettuare una sostituzione; dall'altro lato tuttavia, i bassi costi energetici riescono a renderlo comunque competitivo.

L'autobus ibrido rispetto all'omologo diesel, costa il 50% in più e nonostante abbia consumi energetici molto più bassi (circa il 40% in meno) e quindi minori costi energetici, non riesce in nessun caso ad avere risultati migliori in termini di costi interni, di quelli ottenuti dalla tecnologia diesel.

Considerando anche i costi esterni, che per l'ibrido sono mediamente più bassi del 35% rispetto al diesel, la differenza di costo totale tra i due diventerebbe di circa il 10%.

Si osservi che i dati di consumo, di emissione e i costi interni dei veicoli ibridi sono soggetti ad un elevato margine di incertezza rispetto a quelli di diesel e metano, mancando ancora di una solida base sperimentale.

Analizzando tutte le linee in funzione della fattibilità delle varie architetture elettriche, si è trovata una buona correlazione tra il consumo giornaliero medio dei veicoli e lo scarto dei costi interni tra elettrico e diesel. Per delineare le curve di interpolazione sono stati utilizzati i dati relativi a tutte le linee tecnicamente elettrificabili, anche di quelle con un consumo giornaliero medio a veicolo molto basso che costituiscono casi particolari del servizio sebbene non infrequenti a Firenze. Tuttavia le curve assumono un significato pratico a partire da valori di consumo giornaliero a veicolo superiori a 50 kWh.

L'architettura A presenta un ottimo coefficiente di correlazione, pari a 0,84, utilizzando una retta. Dal grafico in Figura 17 si evince come l'architettura A sia vantaggiosa economicamente rispetto sia al diesel che all'architettura B quando i consumi giornalieri/veicolo sono compresi tra 130 e 150 kWh/veicolo. Per i consumi superiori a 150 kWh/veicolo (per la sola trazione) l'architettura A non è più fattibile.

L'architettura B è stata valutata considerando separatamente il caso di 2 capolinea e il caso di 3 capolinea, poiché la correlazione tra costi e consumi è risultata essere alquanto differente: in tutti e due i casi l' R^2 è uguale a circa 0,6. L'architettura B può essere l'alternativa migliore quando i consumi sono maggiori di 160 kWh/veicolo nel caso con 2 capolinea ed invece per giustificare l'installazione di 3 capolinea è necessario che i consumi siano più elevati (> 200 kWh).

Anche l'architettura C si giustifica meglio per linee energeticamente più onerose, ma non è mai economicamente conveniente rispetto alle altre soluzioni per gli alti costi di investimento e di gestione.

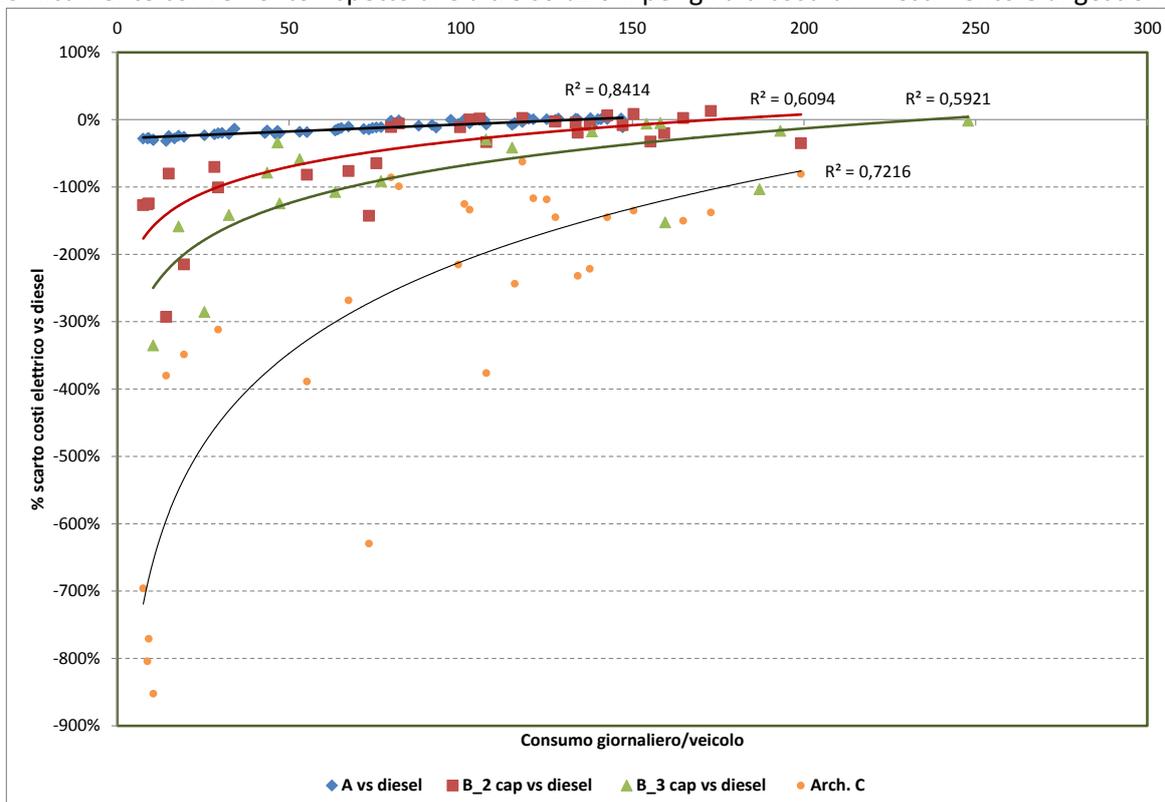


Figura 17: Correlazione tra scarto costi interni elettrico vs diesel ed il consumo giornaliero/veicolo

Si evidenzia tuttavia che lo scarso margine di convenienza fra soluzioni elettriche e Diesel, ove presente, suggerisce ulteriori approfondimenti, considerando anche l'elevato livello di aleatorietà di alcuni dati di partenza dell'analisi con particolare riferimento ai valori di consumo ed ai valori di costo unitario.

Se per l'architettura B si tenesse in considerazione l'effetto rete (Figura 18) supponendo che i capolinea e i relativi costi di ricarica potessero essere condivisi, con una riduzione del 20% rispetto ai costi iniziali, nel caso di due capolinea già per consumi maggiori di 110 kWh/veicolo l'architettura B risulterebbe l'alternativa migliore per molte linee. Invece con 3 capolinea si avrebbero buone possibilità di essere competitivi sul diesel a partire dai 140kWh a veicolo.

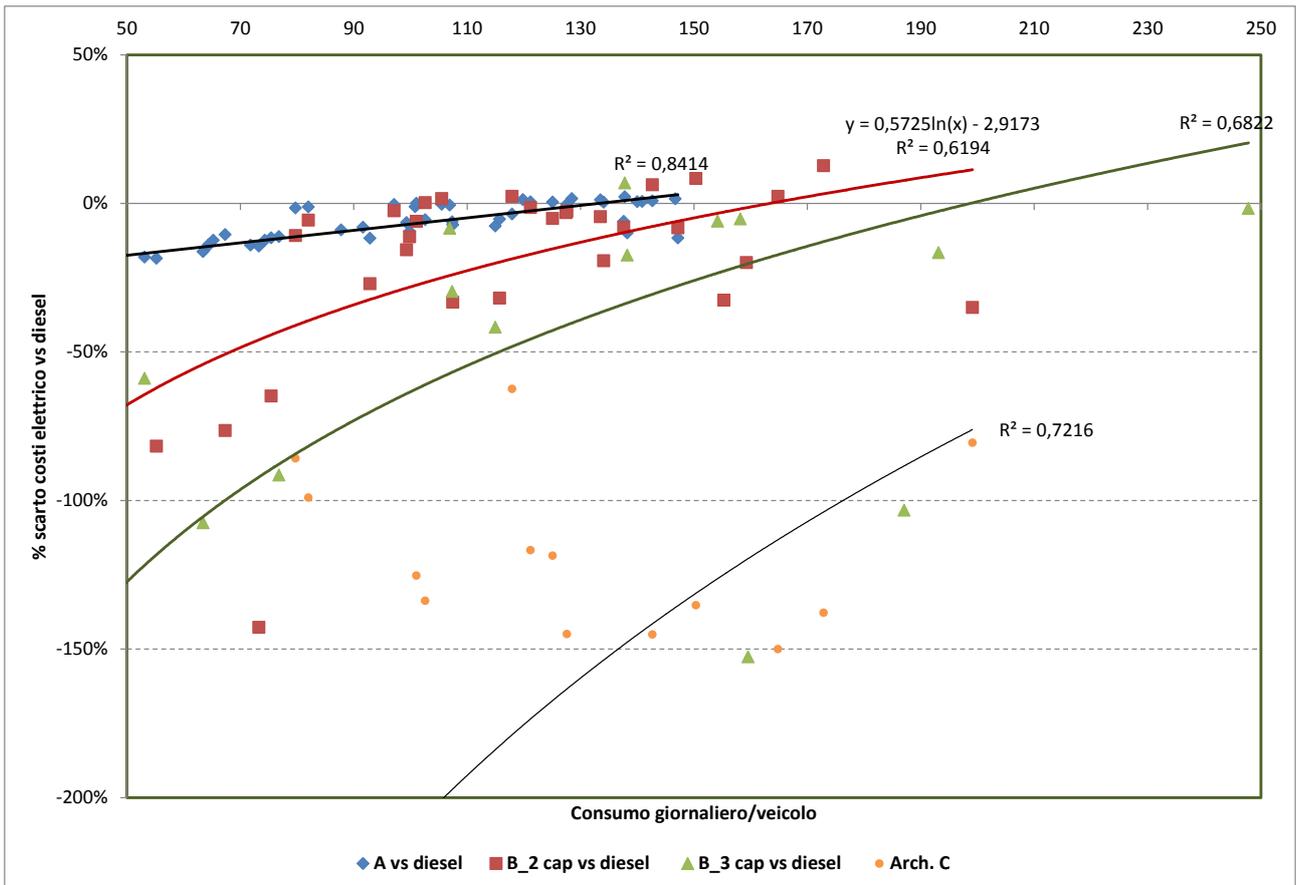


Figura 18: Correlazione tra scarto costi interni elettrico A e B vs diesel e consumo giornaliero/veicolo in presenza di effetto rete per B

A maggior ragione l'effetto rete potrebbe migliorare le performance economiche dell'architettura C in virtù di una maggiore incidenza dei costi di nodo e della possibilità che ogni impianto di ricarica possa essere utilizzato dai veicoli di più linee grazie ad un coefficiente di utilizzazione in partenza molto basso. Immaginando che ogni impianto di ricarica possa essere condiviso da 2, 3 o 4 linee, i costi interni totali si ridurrebbero come mostrato in Figura 19. Per la classe veicolare da 12 m, tuttavia, anche con "effetto rete" delle entità analizzata questa soluzione tecnologica non risulta competitiva con il diesel. Risultati migliori sono però attesi per veicoli di maggiori dimensioni, dove aumenta il valore del consumo giornaliero, favorendo la soluzione tecnologica in discorso.

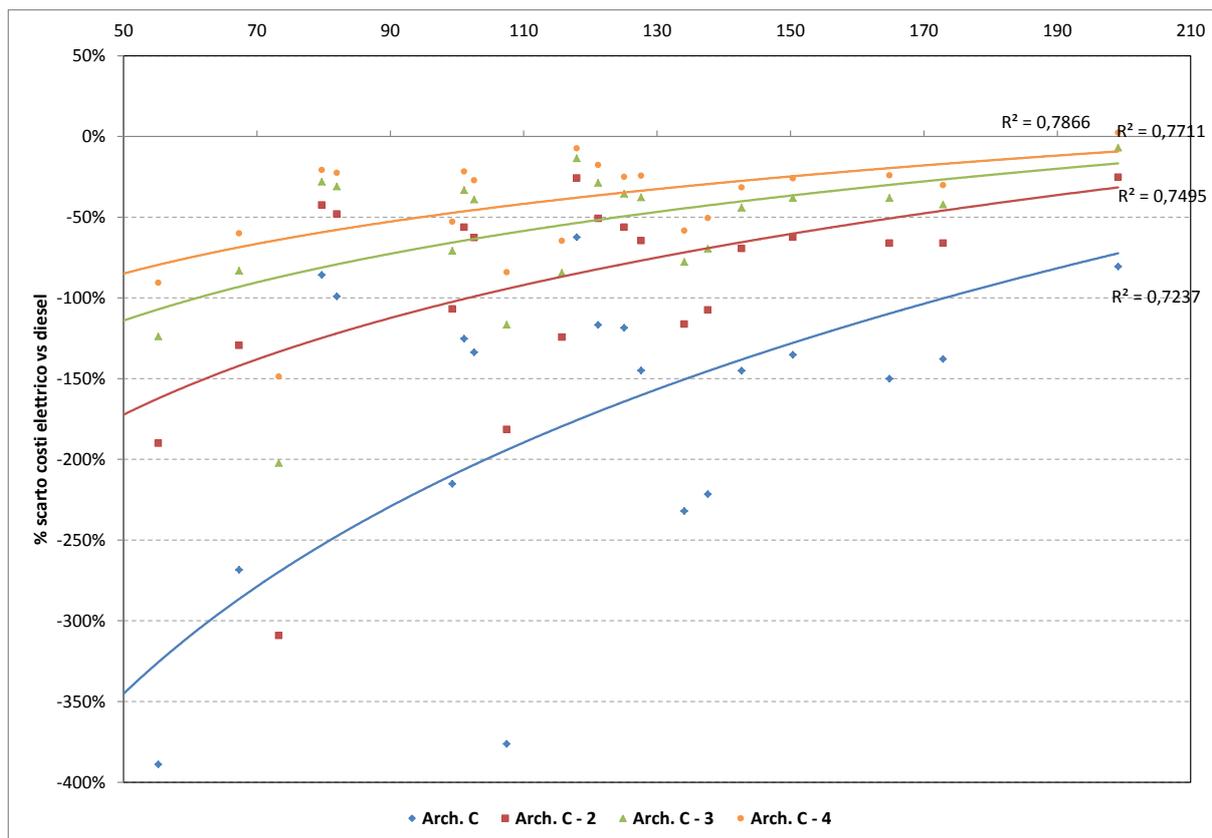


Figura 19: Correlazione tra scarto costi interni elettrico tipo C vs diesel ed il consumo giornaliero/veicolo con possibile effetto rete

Analizzando la composizione dei costi interni per tutte le linee elettrificabili, si osserva come i costi d’investimento (iniziali e intermedi per sostituzioni) pesino sempre per il 75% circa sul totale, la voce di costo che incide di più in assoluto è l’investimento per gli autobus.

Nelle Figura 20 è riportata la composizione dei costi interni delle soluzioni in elettrico in due diversi casi: quando sia A l’alternativa più conveniente e quando sia B. Nel primo caso l’investimento dell’accumulo ed il costo dell’energia incidono maggiormente sul totale che nell’altro caso.

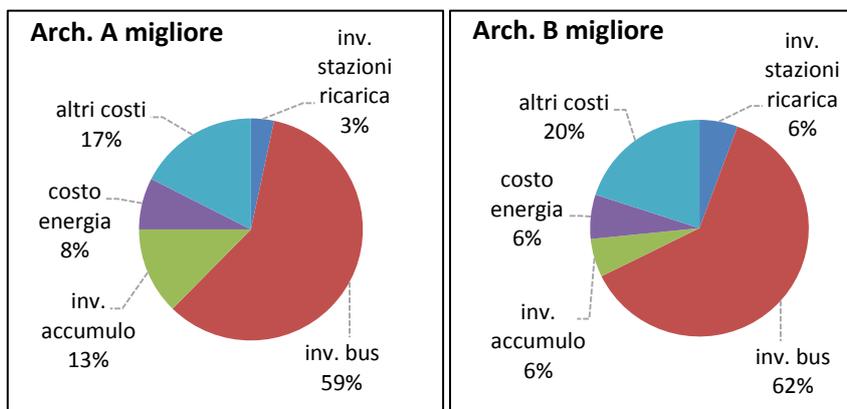


Figura 20: Ripartizione tra costi investimento ed altri costi per le linee elettriche elettrificabili

Passando dall’analisi dei costi totali a quella dei costi per posto offerto si verifica che i valori relativi al diesel sono sempre più bassi dell’alternativa elettrica di minor costo anche quando fosse risultata più conveniente in termini di costi totali (Tabella 27).

Tabella 27: Totale dei costi interni sui posti offerti

architettura elettrica migliore	offerta elettrico [MI posti-km]	offerta diesel [MI posti-km]	costi interni elettrico [MI €]	costi interni diesel [MI €]	costo elettrico su offerta [€/posti-km]	costo diesel su offerta [€/posti-km]
Elettrico più conveniente del diesel						
Arch. A	370,7	540,2	46,3	46,8	0,12	0,087
Arch. B	353,4	419,2	34,2	36,2	0,097	0,086
Arch. A e B	724,2	959,4	80,5	83,1	0,11	0,087
Diesel più conveniente dell'elettrico						
Arch. A	422,07	615,01	76,8	70,3	0,18	0,11
Arch. B	185,4	219,9	20,4	17,2	0,11	0,078
Arch. A e B	607,5	835,0	97,2	87,5	0,16	0,105

Si ricorda infatti che i veicoli Diesel hanno maggiore capacità di quelli elettrici, soprattutto rispetto a quelli di architettura A perché l'accumulo di bordo occupa parte dello spazio utilizzabile per i passeggeri e comunque incide sul peso totale a terra che è limitato normativamente; nella Tabella 28 sono stati riportati i posti per le tecnologie elettriche e per il diesel relativamente ad un autobus da 12 metri..

Tabella 28: Posti offerti per veicoli di 12 metri elettrici e diesel

N. passeggeri arch. A	N. passeggeri arch. B	N. passeggeri diesel
70	86	102

4.4 Risultati analisi costi esterni per le linee di Firenze

E' stato effettuato il calcolo dei costi esterni per le tecnologie non full electric (diesel, ibrido e metano) e per la tecnologia elettrica migliore fra le tre analizzate. I risultati, riportati in **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.**, comprendono:

- i costi delle emissioni di PM, NOx, NMHC, CH₄ e CO₂ nella fase tank-to-wheel (TTW), ove presenti,
- il costo del danno da rumore nella fase di esercizio dei mezzi,
- il costo delle emissioni nocive nella fase Processing To Tank (PTT).

I costi esterni pesano circa il 15% sul totale dei costi per la tecnologia Diesel e CNG e meno, circa il 9%, per l'ibrido, mentre pesano solo per il 5-7% nel caso dell'elettrico.

In termini assoluti, i costi esterni del metano risultano più elevati del 30% rispetto al diesel a causa dell'aumento delle emissioni di gas-serra (CO₂ e CH₄) e di ossidi di azoto (per quest'ultima categoria di emissione incide molto l'aver utilizzato i dati relativi allo standard EEV piuttosto che quelli dell'euro VI); la riduzione, pur sostanziale, delle emissioni di particolato, non riesce a controbilanciare gli effetti negativi precedentemente richiamati.

Aggiungendo all'analisi economica anche i costi esterni, la convenienza dell'elettrificazione verrebbe verificata su 39 linee, circa il 50% di quelle che possono essere tecnicamente elettrificate. Si ricorda che considerando solo i costi interni l'elettrificazione risultava vantaggiosa solo per 18 linee.

Nella **Errore. L'autoriferimento non è valido per un segnalibro.** è riportata la differenza dei costi, sia interni che esterni, delle 18 linee per cui l'elettrico è operativamente più conveniente del diesel, evincendo come nonostante i maggiori costi d'investimento, nei 12 anni di esercizio si possa arrivare a realizzare un risparmio pari a circa 14,5 milioni, di cui 2,5 M€ per i costi interni e 12 M€ per i costi esterni. Quando l'architettura B risulta essere migliore si ottengono risparmi maggiori rispetto a quelli ottenuti quando ad esserlo risulti l'architettura A.

Tabella 29: Differenza costi delle linee per cui conviene la soluzione elettrica rispetto al diesel. MI €.

Arch.	Linee convenienti da elettrificare	invest. netti stazioni ricarica	invest. netti bus	invest. netti accumulato	costi manut.	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni	totale costi esterni
A	10	1,54	7,77	5,86	- 6,98	1,31	- 10,03	- 0,53	- 6,59
B	8	1,93	6,04	1,96	- 5,47	1,62	- 8,12	- 2,04	- 5,27
A e B	18	3,48	13,81	7,82	- 12,45	2,93	- 18,15	- 2,57	- 11,85

Nel grafico successivo si riporta l'analisi di correlazione fra il delta costo rispetto alla soluzione diesel e i consumi giornalieri medi del veicolo elettrico, avendo incluso anche i costi esterni. Si verifica facilmente come, rispetto all'analisi effettuata sui soli costi interni (vedi Figura 21), cresca il numero di casi in cui l'elettrificazione risulta conveniente rispetto al diesel e si abbassi la soglia minima di convenienza del consumo giornaliero medio; addirittura, per consumi giornalieri molto elevati (maggiori di 200 kWh/giorno) si verificano casi in cui anche l'Architettura C risulta conveniente rispetto al diesel, mentre per la A la soglia di convenienza si abbassa a 85 kWh/giorno, per la B con due capolinea a 130 kWh/giorno e con tre capolinea a 160 kWh/giorno. Si rammenta che questi risultati valgono per veicoli da 12 m e che per classi dimensionali diverse è necessario approfondire l'analisi.

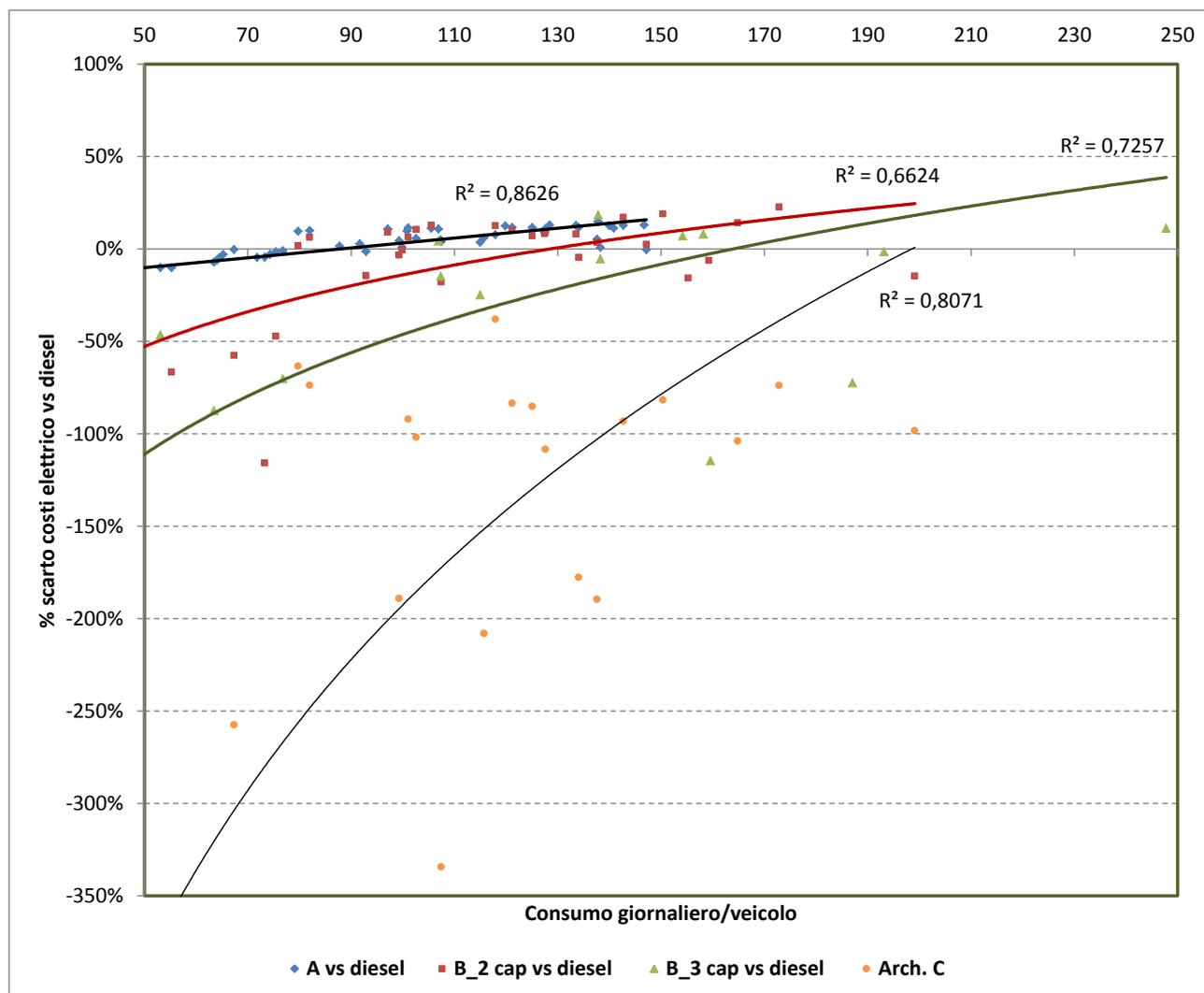


Figura 21: Correlazione tra scarto costi totali (interni+esterni) elettrico vs diesel ed il consumo giornaliero/veicolo

4.5 Analisi di dettaglio alcune linee di Firenze

In questo paragrafo sono state analizzate in modo più dettagliato alcune linee della rete di Firenze,. Nello specifico, sono state prese in considerazione quattro linee, in due di queste l'architettura B è più vantaggiosa rispetto alle altre tecnologie (linee 10 e 80) e nelle altre due ,è l'architettura A a prevalere sul diesel e sull'architettura B (linee 52 e 73). E' stata analizzata in maggior dettaglio anche l'architettura C per lo stesso insieme di linee, nonostante non sia mai tra le alternative vantaggiose dal punto di vista economico.

Nella Figura 22 sono riportati i percorsi delle 4 linee selezionate e nella Tabella 30 se ne riassumono le principali caratteristiche.

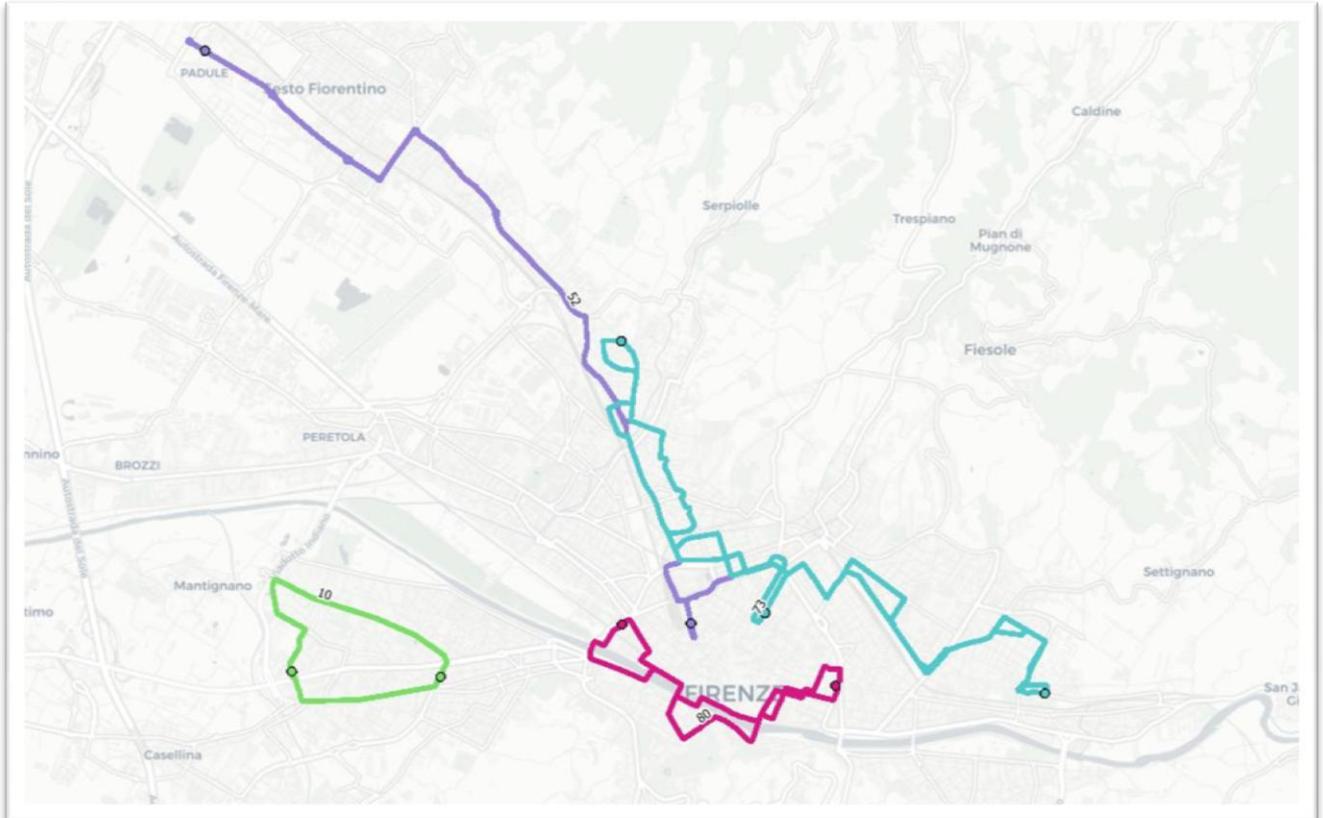


Figura 22:Linee 10, 52, 73 e 80 della rete di Firenze

Le linee più convenienti realizzate con l'architettura A presentano dei consumi giornalieri a veicolo più bassi rispetto a quando è l'architettura B ad essere l'alternativa migliore. Si osservi che l'architettura B risulta essere la più vantaggiosa per la linea 73 nonostante ci siano tre capolinea, che pesano sul totale dei costi.

Tabella 30: Caratteristiche della linee

linea	lunghezza linea [km]	tempo medio corsa	consumo giornaliero/veicolo elettrico rif. [kwh/veic]	numero capolinea	numero percorsi
10	5	12	134	2	2
80	6	23	101	2	2
52	5	41	143	2	2
73	7	48	138	3	4

L'energia consumata dal sistema dell'architettura A è sempre maggiore rispetto ai consumi delle altre due alternative, per effetto del maggior peso dell'accumulo di bordo, dimensionato come noto, per effettuare il

servizio giornaliero. I consumi energetici dell'architettura B sono analoghi a quelli della soluzione che prevede la ricarica anche alle fermate; infatti, nonostante i diversi valori di capacità, i due accumuli hanno pesi confrontabili fra loro perché realizzati con diversa elettrochimica: batterie al litio nel primo caso, supercapacitori nel secondo caso.

La potenza complessiva impegnata nei sistemi realizzati con l'architettura C è molto elevata, è circa 6 volte quella necessaria ai sistemi realizzati con l'architettura B e fino a 20 volte quella richiesta dai sistemi con architettura A.

Tabella 31: Caratteristiche tecniche delle alternative di elettrificazione

Linea	Arch.	n. veicoli	n. stazioni al capolinea	n. stazioni alle fermate (A/R)	capacità accumulo [kWh]	potenza impegnata [kW]	energia consumata annuale MT [kWh]
10	Arch. A	3	0	0	261	150	122.744
10	Arch. B	3	3	0	60	680	101.543
10	Arch. C	4	2	12	3	3123	103.130
52	Arch. A	8	0	0	278	400	336.603
52	Arch. B	8	3	0	60	700	274.509
52	Arch. C	9	2	22	3	3723	278.799
73	Arch. A	11	0	0	269	550	451.330
73	Arch. B	11	4	0	60	940	371.050
80	Arch. A	6	0	0	197	300	169.220
80	Arch. B	6	3	0	60	680	148.191
80	Arch. C	6	2	12	3	3123	150.507

Nella Figura 23 e nella Figura 24 sono state confrontate le linee in termini di costi interni.

I costi che fanno la differenza tra le tre architetture riguardano il sistema di ricarica e lo stoccaggio di energia a bordo, queste rappresentano generalmente la seconda voce di spesa per una linea BEV (battery electric vehicle) incidendo per circa il 15-20% per l'architettura A e B, succedendo alla voce relativa all'investimento per l'acquisto della flotta, che pesa per circa il 50-60%.

Per l'architettura C, il sistema di ricarica e stoccaggio, è la prima voce di spesa, seguito dalla voce relativa all'investimento per i veicoli. Il confronto dell'investimento per lo stoccaggio di energia a bordo dipende molto da i consumi energetici annuali della linea. Per le linee 10 e 80 in cui la architettura A è la più conveniente, il costo dell'accumulo non è molto più elevato rispetto a quello dell'architettura B e C poiché i consumi giornalieri di queste linee non sono molto elevati, vi sono invece casi in cui gli elevati consumi giornalieri portano gli accumuli dei sistemi con architettura A ad essere diverse volte maggiori rispetto agli accumuli degli altri sistemi.

La bolletta elettrica pesa per circa il 10-20% sul totale dei costi interni. Dato il maggior numero di punti di prelievo e la maggiore potenza necessari nel caso dell'architettura C rispetto alla A e alla B, i rispettivi costi sono conseguentemente maggiori.

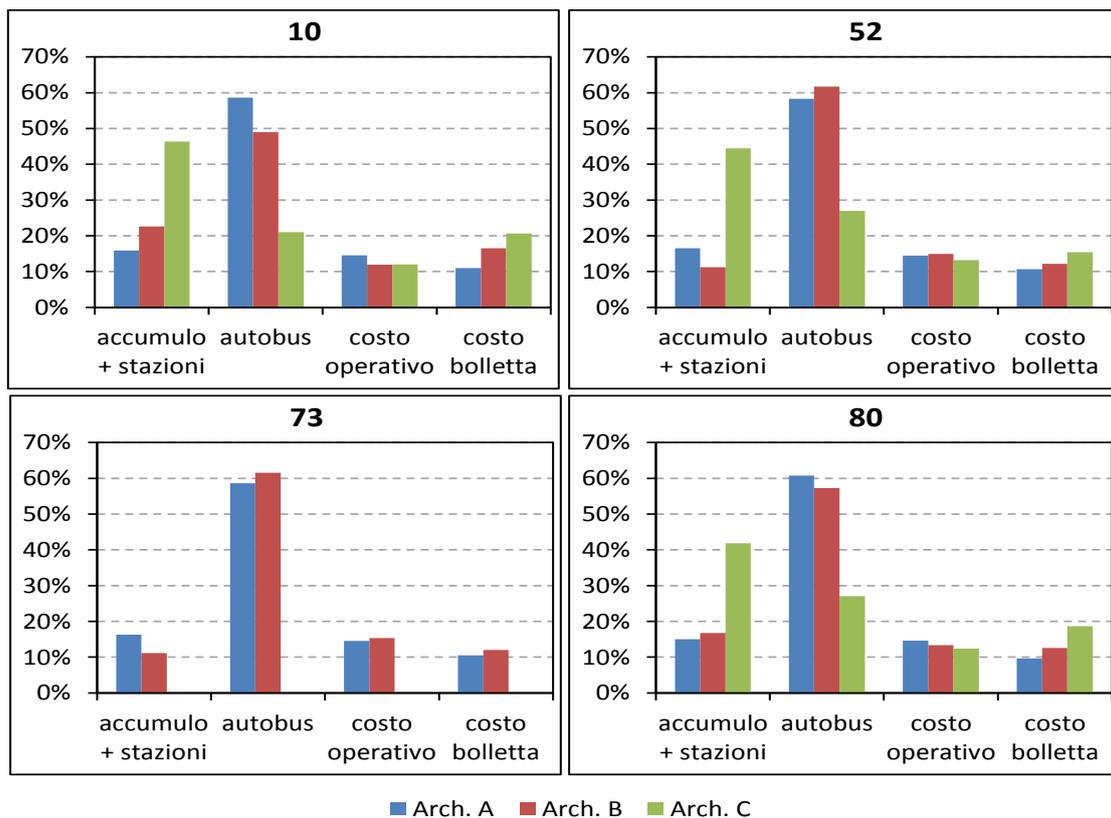


Figura 23: Percentuale tra diverse voci di costo per le varie alternative tecnologiche.

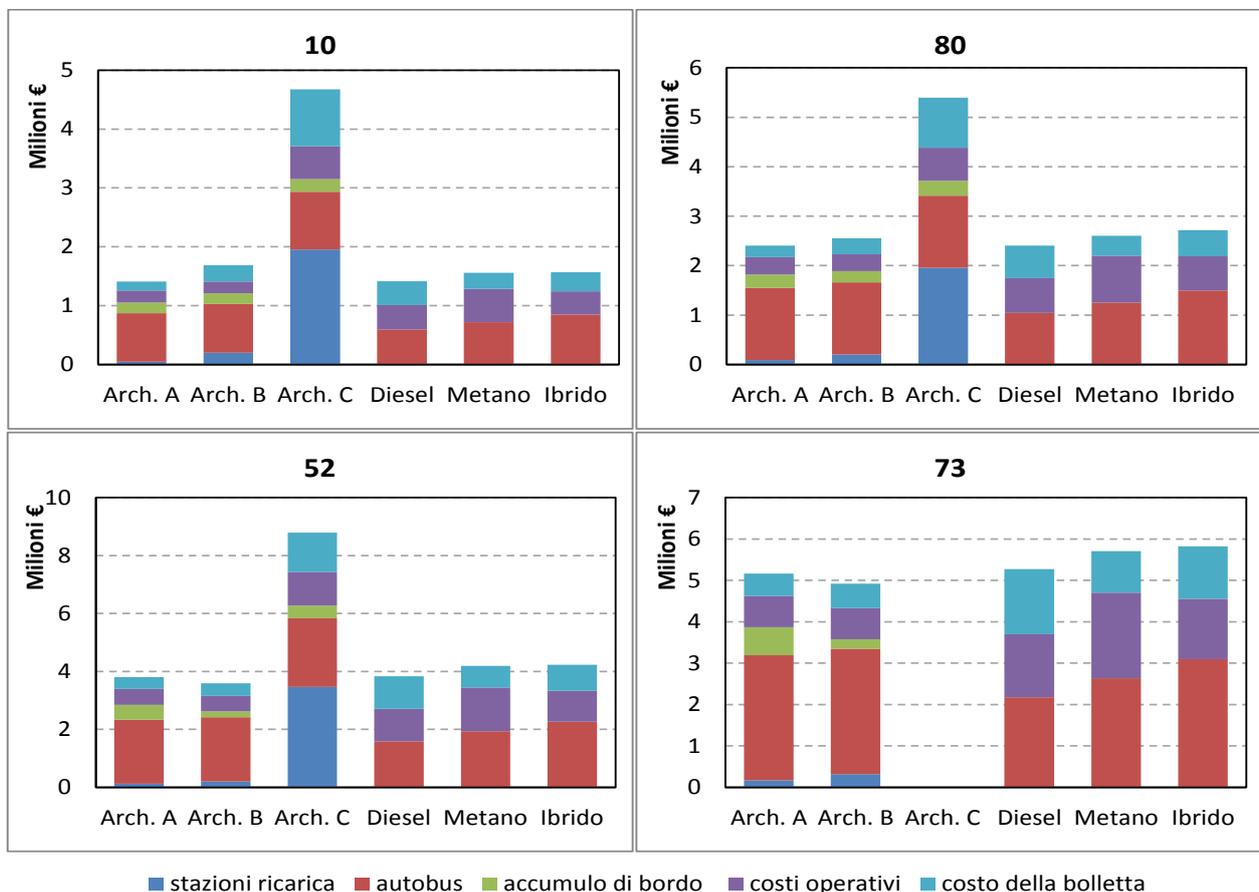


Figura 24: Costi interni per le varie alternative tecnologiche.

Come già detto per l'analisi dell'intera rete i principali vantaggi derivanti dall'elettificazione sono dovuti ai minori costi dell'energia e della manutenzione i quali riescono a gli svantaggi dei maggiori investimenti per la ricarica.

Nella Tabella 32 sono riportate per le tre linee in cui è fattibile C lo scarto di costi interni tra elettrico ed il diesel, come se l'architettura C condividesse le fermate con altre due, tre o quattro linee. Si nota come per le linea 10 che ha consumi annuali più bassi delle altre linee ci sia uno scarto di costi con il diesel molto negativo. In generale per le linee selezionate la C non risulta competitiva neanche considerando un possibile effetto rete.

Tabella 32: Scarto costi dell'arch. C vs tecnologia più conveniente al variare del numero medio di linee che condividono le fermate

Linea	Arch. Più conveniente	Energia consumata annuale MT dell'architettura C [kWh]	Arch. C	Arch. C - 2	Arch. C - 3	Arch. C - 4
10	A	103.130	-232%	-131%	-98%	-81%
52	B	278.799	-145%	-81%	-60%	-49%
80	A	150.507	-125%	-66%	-46%	-36%

I costi esterni delle emissioni nocive e del rumore dei veicoli elettrici sono molte volte inferiori rispetto al diesel e al metano. Zero emissioni e poco rumore durante il funzionamento dei veicoli (fase Tank-To-Wheel) fanno la differenza, sebbene l'inquinamento durante la fase di Processing To Tank, legata alla produzione di elettricità, sia più alto rispetto al dato delle tecnologie convenzionali.

Gli ibridi abbattano di molto i costi delle esternalità negative perché producono minori emissioni e minor rumore rispetto agli autobus convenzionali, ma non rispetto all'alternativa elettrica.

Come detto in precedenza il vantaggio ambientale dell'ibrido sul diesel non tuttavia a compensare i maggiori costi interni.

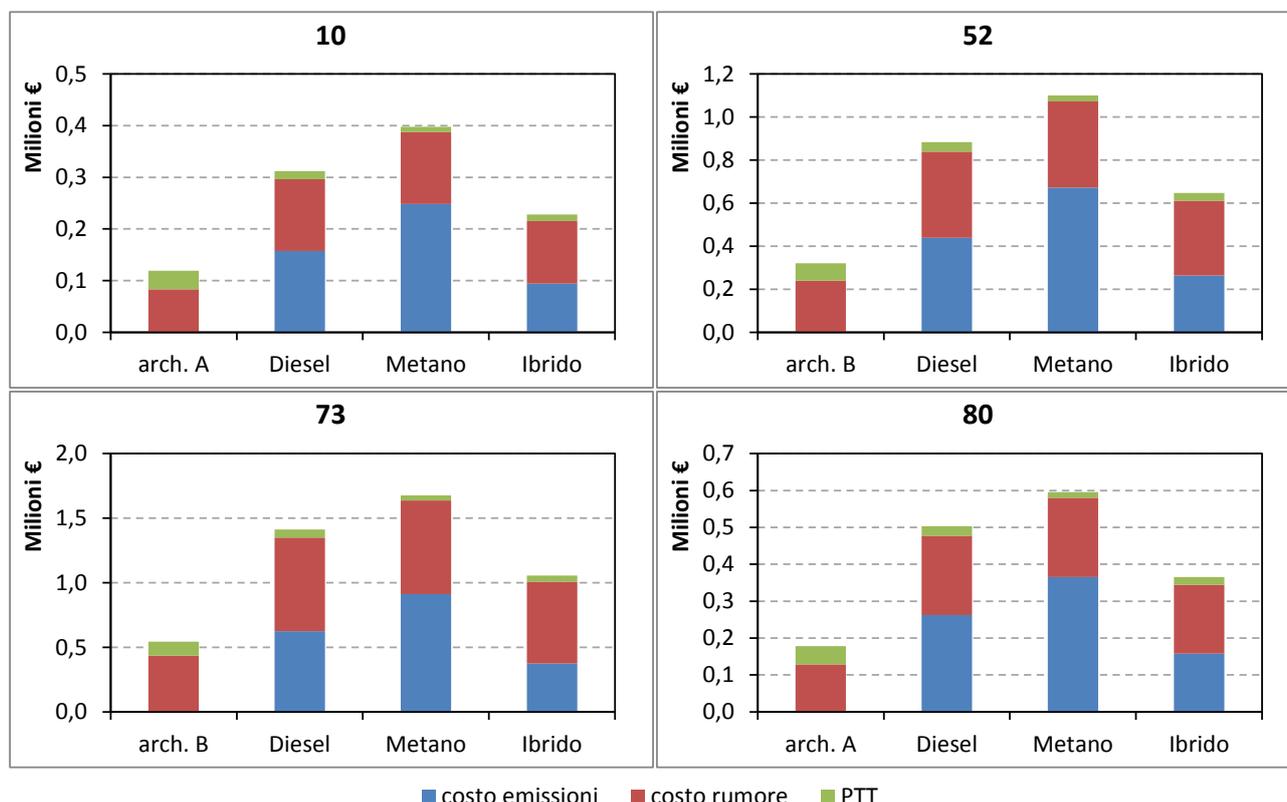


Figura 25: Costi esterni per le varie alternative tecnologiche

L'elettrificazione di queste quattro linee risulta essere economicamente preferibile rispetto a tutte le altre alimentazioni, non solo in termini di riduzione delle esternalità negative e dei costi dell'energia, come era atteso, ma nel complesso dei costi. Gli aggravii di costo per l'acquisto dei veicoli elettrici, del relativo accumulo di bordo e delle stazioni di ricarica è ampiamente ripagato, nel periodo di 12 anni esaminato, dai risparmi sui costi energetici e di manutenzione dei veicoli.

5 Confronto economico tra filobus e autobus elettrici ad accumulo con ricarica alle fermate

5.1 Generalità

I filobus sono veicoli stradali su gomma a propulsione elettrica alimentati con elettricità fornita o per via aerea per il tramite di aste di captazione. I filobus possono essere equipaggiati per la marcia autonoma, attraverso un sistema di propulsione ibrido diesel-elettrico o con un sistema di batterie di bordo che forniscono l'energia necessaria per il percorso in autonomia, eventualmente integrati da supercapacitori, per limitare i perditempo per eventuali ricariche puntuali.

L'elettrificazione dei servizi di trasporto pubblico con filobus risulta auspicabile in particolar modo lì dove sia già esistente l'infrastruttura aerea, in tutto o in parte. Partendo da questa, si potrebbe inoltre valutare l'opportunità di integrare l'infrastruttura con stazioni di ricarica puntuali dove è assente il bifilare.

In Europa le reti filoviarie sono più di 90, di cui 15 in Italia, servite da un parco di 5.200 veicoli disponibili nelle versioni standard di 12 metri, articolata di 18 metri e doppio articolato di 24-25 metri, quest'ultimo non omologato per la circolazione sul territorio italiano. In Turchia sono in attività i primi filobus a doppia articolazione di produzione nazionale: il Trambus in esercizio nella città di Malatya. In Italia alcuni esempi recenti riguardano la città di Bologna, Milano e Cagliari dove la locale azienda di trasporto CTM, nell'ambito del progetto ZeUS - Zero Emission Urban bus System, ha messo in esercizio un filobus elettrico puro che monta a bordo batterie al titanato di litio per esercire un tratto di linea in autonomia.

Attualmente il mercato propone diverse soluzioni veicolari come il Mercedes Benz CapaCity (21 metri) oppure bus a doppia articolazione (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) da 24 metri come l'ExquiCity della VanHool o il LightTram da 25 metri della Hess per arrivare all'ExtraGrand della Fraunhofer IVI da 30 metri. In Italia non sono omologati per la circolazione i filobus a doppia articolazione.

5.2 Analisi economica

Si è ritenuto utile operare un confronto di natura economica fra il sistema filobus e il sistema bus elettrico con ricarica ultrarapida alle fermate, che rappresenta il sistema di rifornimento energetico che più richiama l'alimentazione lungo linea del filobus.

A tal fine è stato ipotizzato di dover attrezzare un percorso bidirezionale di lunghezza pari a 10 km p.s.m., servito da 12 veicoli di dimensioni standard (12 m).

La soluzione con filobus richiederà un'alimentazione elettrica a bifilare a 750 V lungo l'intero percorso mentre i bus elettrici necessiteranno di postazioni di ricarica di bassa potenza al deposito, con un numero di connettori plug-in pari al numero dei veicoli, di due stazioni da 50 kW ai capolinea e, assumendo una distanza intermedia di circa 1,43 km, di 12 stazioni ultrafast da 600 kW l'una alle fermate nel totale dei due sensi di marcia.

Per entrambi i sistemi filobus e bus elettrici si prevede la connessione alla rete di Media Tensione (MT); tuttavia la tensione dovrà essere abbassata in Bassa Tensione per la marcia del filobus e per le ricariche al deposito e ai capolinea dell'architettura C. Quindi, nel caso dei filobus verranno costruite due sottostazioni elettriche che forniranno una tensione di 750V con potenze pari a 80 kW mentre per l'architettura C in ciascun capolinea dovrà essere realizzata una sottostazione laddove al deposito si presume già presente una cabina di Bassa Tensione. Infine le stazioni alle fermate, dove la potenza degli impianti è maggiore, potranno invece essere alimentate direttamente dalla MT con opportuni accorgimenti tecnologici.

Complessivamente, la potenza da impegnare sulla linea per il filobus è pari a 160 kW mentre per i bus elettrici serviranno complessivamente 2.515 kW, così ripartiti: 15 kW per il deposito, 100 kW per i due capolinea e 2.400 per le fermate, assumendo sia poco probabile la ricarica contemporanea di più di quattro veicoli sulla somma delle due direzioni di marcia.

Tabella 33: Dati di progetto

	Unità di misura	Filobus	Arch. C
Lunghezza della linea	km	10	10
Flotta	n. veicoli	12	12
Percorrenza media annua/veic.	km/anno	60.000	60.000
Connessioni alla rete	n.	2	2
Potenza impegnata su linea	kW	160	2.515
Stazione di ricarica al deposito multi-connettore	n.	-	1
Stazioni di ricarica al capolinea	n.	-	2
Stazioni di ricarica alle fermate	n.	-	12
Postazioni di ricarica a deposito	n.	-	= n. di veicoli
Stazioni di ricarica a capolinea	n.	-	= n. di capolinea
Distanza media tra stazioni di ricarica a fermata	km	-	1,5
Sottostazioni MT/BT a deposito	n.	-	1
Sottostazioni MT/BT a capolinea	n.	-	= n. di capolinea
Distanza media tra le sottostazioni MT/BT su linea	km	5	-
Distanza media tra le cabine MT su linea	km	-	5
Potenza ricarica al deposito	kW	-	15
Potenza ricarica al capolinea	kW	-	50
Potenza ricarica alle fermate	kW	-	600

Si assume una vita media utile dell'infrastruttura filoviaria pari a 30 anni contro i 20 anni delle stazioni di ricarica ultraveloci; per i veicoli si assume possano percorrere complessivamente 1,2 milioni di km in entrambi i casi.

Per quanto riguarda gli aspetti economici, i costi per creare ex-novo una infrastruttura filoviaria dipendono molto dal contesto in cui la si va ad inserire e pertanto l'oscillazione è molto ampia.

Secondo valori di riferimento in letteratura, i costi per la costruzione di un bifilare completo possono oscillare tra 600.000 e 1.500.000 €/km, cui si aggiungono ulteriori 800.000 euro per la realizzazione e messa in opera di ogni sottostazione. Per i costi della soluzione ad accumulo di bordo si è fatto ricorso ai dati aggiornati descritti nei capitoli precedenti senza applicare alcuno sconto. Relativamente ai veicoli si assume che un filobus abbia lo stesso costo di un autobus a batteria escluso l'accumulo di bordo, nell'ipotesi che entrambi montino il pantografo sul tetto.

L'investimento netto per una nuova linea filoviaria di 10 km sarebbe pari a 19,3 milioni di Euro come riportato di seguito.

L'infrastruttura filoviaria, però, ha una vita tecnica di trenta anni, quindi nel periodo di venti anni, considerato nell'analisi economica, la quota di utilizzo sarebbe pari ai 2/3 del valore investito. Questo valore, una volta attualizzato, dovrà essere sottratto dal totale precedentemente calcolato, come mostra la tabella di seguito.

Tabella 34: Investimento per la soluzione con Filobus nel caso di studio [€]

	Filobus
Bifilare completo	10.050.000
Sottostazioni	1.600.000
Connessione BT	11.000
Veicoli	7.200.000
<i>Investimento totale</i>	<i>19.311.183</i>
<i>Valore attuale residuo a 20 anni</i>	<i>1.520.121</i>
Investimento totale netto	17.791.062

Gli investimenti necessari per l'architettura C invece ammonterebbero a circa 13 milioni di euro: 3,6 milioni per le stazioni alle fermate, 1,6 milioni di euro per le sottostazioni, 0,1 milioni per i sistemi di ricarica ai capolinea, 22,4 mila euro circa per la ricarica al deposito, realizzata con la soluzione che ricarica tre autobus in ognuno dei sei durante le ore notturne e 142 mila euro per le connessioni ai punti di fornitura elettrica; i costi della connessione alla rete nazionale considerano il collegamento delle sottostazioni MT/BT ai sistemi di ricarica presenti al deposito e ai capolinea e i collegamenti direttamente alla MT dei sistemi di ricarica alle fermate. Al deposito e ai capolinea si assume che la distanza tra il punto da servire e la sottostazione sia rispettivamente di 200 metri e di 500 metri, mentre alle fermate la distanza media è assunta pari a 2,5 km dalla cabina in MT. I dati di dettaglio sono mostrati nella tabella successiva.

Tabella 35: Investimento per la soluzione con Architettura C nel caso di studio [€]

	Arch. C
Sottostazioni	1.600.000
Ricarica al deposito	22.445
Ricarica ai capolinea	100.000
Ricarica alle fermate	3.618.000
Connessione BT-MT	142.293
Veicoli	7.740.000
<i>Investimento totale</i>	13.222.748
<i>Valore attuale residuo a 20 anni (solo sottostazione)</i>	201.000
Investimento netto	13.021.740

Complessivamente la soluzione con bifilare avrebbe un extracosto d'investimento pari a circa 4,8 milioni di Euro rispetto allo scenario con l'Architettura C.

Dal lato dei costi operativi, gli elementi discriminanti tra le due soluzioni tecnologiche da considerare, sono relativi alla manutenzione delle infrastrutture e alla bolletta elettrica per la sola voce relativa alla potenza impegnata.

Le altre voci della bolletta energetica si riferiscono ai consumi energetici, in termini di kWh e al numero dei punti di prelievo. I primi sono assunti uguali nei due scenari, mentre i secondi sarebbero due nel caso dell'infrastruttura filoviaria e tre (una al deposito e due su linea) nel caso dell'architettura C, tuttavia, al deposito si presume sia già attiva una connessione eliminando la necessità di un nuovo punto di prelievo e rendendo pari il numero degli stessi, nei due scenari.

Si assume come invariante di progetto anche il costo della manutenzione annua dei veicoli, infatti gli autobus dell'architettura C, montando una batteria con supercapacitori, non necessitano di sostituzioni della stessa nel corso della vita tecnica dei veicoli.

I costi operativi considerati sono riportati di seguito e calcolati sulla base dei costi specifici indicati nei precedenti capitoli. Si richiamano i dati di riferimento che, per la manutenzione delle infrastrutture di ricarica, la percentuale calcolata sul costo di acquisto dei sistemi di ricarica al deposito è pari a 2,5% mentre al capolinea e alle fermate, è pari al 3,3%. Per la manutenzione del bifilare invece si considera una media dei dati riscontrati in letteratura e quelli forniti da operatori del settore su un range oscillante tra 15.000 e 30.000 €/km. A queste voci si aggiunge infine, il costo di manutenzione della sottostazione, assunto pari a 3.500 €/anno. Per la quota potenza della bolletta energetica invece la connessione, realizzata in tutti i casi in MT, comporta un costo pari a 26,69 €/kW.

Tabella 36: Costi operativi annuali e valori attualizzati a 20 anni

	Unità di misura	Filobus	Arch. C
Manutenzione infrastruttura	€/anno	222.000	121.059
Costi fissi bolletta elettrica	€/anno	4.900	67.125
Totale costi annui	€/anno	226.900	188.184
Valore attuale costi in 20 anni	€	2.827.700	2.345.194

La differenza è ancora a favore dell'architettura C per un delta di circa 482 mila euro all'anno.

Il valore attuale di queste voci è valutato su un periodo di 20 anni, pari alla durata tecnica dei sistemi di ricarica elettrica. Il tasso di attualizzazione utilizzato è del 5%, i risultati contabilizzano un costo attuale pari a 2,8 milioni di euro per la soluzione con filobus a fronte di 2,3 milioni relativi all'operatività dell'Architettura C.

Il risultato complessivo dell'analisi è sintetizzata nel grafico di seguito, che riporta i valori d'investimento e i valori attuali dei costi operativi sul periodo di venti anni. l'esito volge a favore dell'Architettura C per circa 5,2 milioni di euro, per la maggior parte generati dai costi di manutenzione della linea filoviaria molto più onerosa, mentre il costo della bolletta energetica sarebbe molto più contenuto rispetto alla soluzione alternativa.

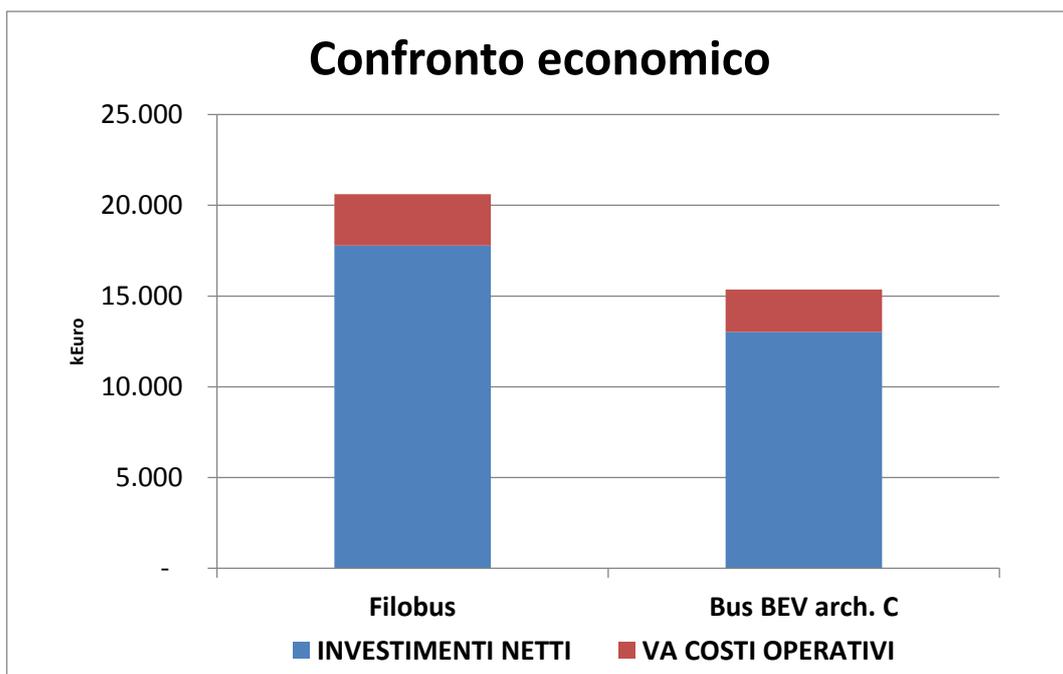


Figura 26: Confronto economico delle soluzioni tecnologiche: filobus e architettura C

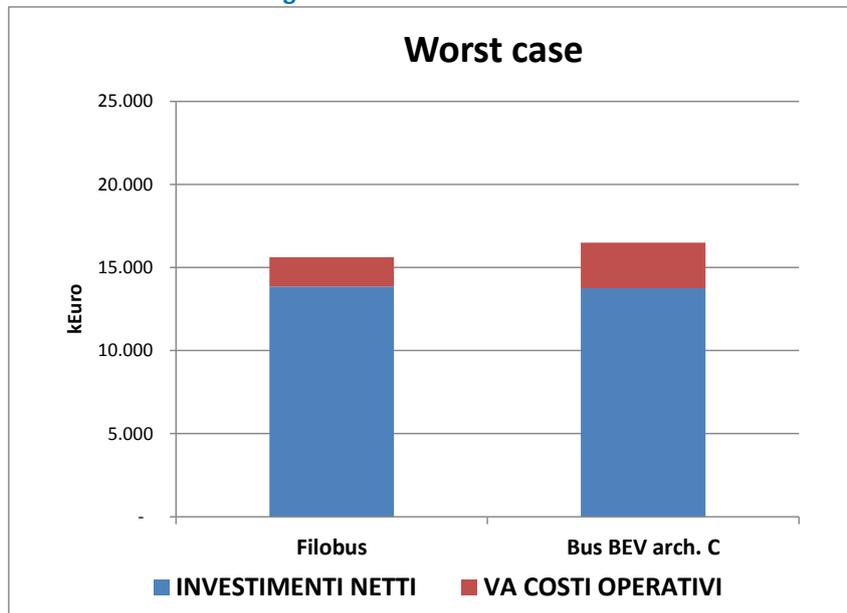
Con un'apposita analisi di sensitività si è proceduto a verificare alcuni dei valori di costo ritenuti maggiormente aleatori. Nell'intento di verificare la robustezza del risultato a favore della soluzione a batteria, si sono ridotti al minimo i costi per la costruzione e la manutenzione del bifilare, in linea con i dati forniti e verificati in alcune realtà italiane. Per le stazioni di ricarica dei bus elettrici invece, si è ipotizza un aumento dei valori di costo di investimento e dei costi annui di manutenzione per le stazioni alle fermate e un incremento dei costi annuali della bolletta energetica dovuto ad una più elevata potenza impegnata sulla rete. I dati sono mostrati nella tabella di seguito.

Tabella 37: Dati per analisi di sensitività (%)

Voce di Costo	Filobus	Architettura C
Bifilare	-40%	
Manutenzione bifilare	-40%	
Stazione alla fermata		+20%
Potenza impegnata		+50%

Con la sola riduzione dei costi per la soluzione a bifilare, si verificherebbe comunque la convenienza dell'architettura C, anche se il risparmio si ridurrebbe drasticamente, scendendo a soli 258.000 € rispetto al filobus. Il contemporaneo aumento dei costi di implementazione ed esercizio della soluzione con stazioni di ricarica puntuali determinerebbe sì un ribaltamento del risultato precedente, come mostrato nella figura di seguito, ma con margini comunque molto limitati, pari a 865.000 € in 20 anni, su ordini di costo complessivo intorno ai 15 milioni di euro.

Figura 27: Analisi di sensitività



C'è poi da considerare che nel caso in cui fosse fattibile la soluzione con sola ricarica ai capolinea (Architettura B), i costi dell'elettrificazione con autobus a batteria scenderebbero ulteriormente rendendo sempre più conveniente questa soluzione rispetto al filobus da implementare ex-novo.

6 Conclusioni

L'evoluzione tecnologica dei veicoli a batteria e dei relativi sistemi di ricarica nonché l'esigenza di rendere il software utilizzabile anche per un'analisi di rete, vedi report Rds/2016/227, hanno richiesto una rivisitazione del lavoro presentato nel periodo di attività precedente. Ciò è stato realizzato in termini di aggiornamento e integrazione di dati e procedure di calcolo e in termini di completamento del quadro di riferimento, inserendo nuove soluzioni tecnologiche, come le alimentazioni ibride diesel-elettriche serie non plug-in.

La nuova versione del modello è stato applicato ad un caso di studio concreto, rappresentato dall'insieme delle linee di trasporto urbano su gomma di Firenze, al fine di valutare la fattibilità tecnica e verificare la convenienza economica delle alternative tecnologiche esaminate su un intero complesso di rete.

I risultati hanno dimostrato che su un totale di 85 linee, il 95% ossia 81 linee, sono elettrificabili da un punto di vista tecnico. Quelle realizzabili con l'architettura A sarebbero 69, quelle elettrificabili con l'architettura B sarebbero 64 e solamente 30 sarebbero elettrificabili con l'architettura C.

La verifica della convenienza economica su un periodo di 12 anni ha dimostrato che tra le linee elettrificabili con veicoli di tipo BEV, 18 sarebbero anche più vantaggiose economicamente rispetto alle altre alternative considerate, in 10 casi sarebbe favorita l'architettura A e in 8 casi l'architettura B.

Tali risultati sono stati ottenuti contabilizzando i soli costi interni. Aggiungendo i valori economici delle esternalità negative connesse alle varie alternative, la soluzione con elettrificazione delle linee, risulta più vantaggiosa in ben 39 casi.

Tra le tecnologie non *full electric* è sempre il Diesel convenzionale la soluzione più conveniente anche considerando i costi esterni.

I risultati dell'analisi economica mostrano che, quando è la soluzione elettrica ad essere preferibile, le differenze di TCO con l'alternativa convenzionale sono piccole e quindi si reputa necessario effettuare ulteriori approfondimenti considerando anche l'elevato livello di aleatorietà di alcuni dati di partenza dell'analisi con particolare riferimento ai valori di consumo ed ai valori di costo unitario.

Le voci di costo che determinano la convenienza della soluzione con elettrificazione del servizio di trasporto, sono attinenti ai minori costi operativi, riguardanti sia la manutenzione dei veicoli sia la bolletta energetica. Ciò nonostante che si debba prevedere la sostituzione dell'accumulo di bordo e a fronte di investimenti molto più consistenti per le infrastrutture di rifornimento e per l'acquisto dei veicoli.

Ulteriore soluzione che è stata indagata, ma non inserita nel modello, è il filobus, il quale presenta delle caratteristiche funzionali molto affini con quelle dell'Architettura C della soluzione BEV. Un'analisi economica ad hoc, condotta su un'ipotetica linea, è stata realizzata al fine di avere una prima valutazione economica delle due alternative. Utilizzando dati tecnici ed economici di riferimento per i veicoli e per le infrastrutture, desunti dalla letteratura e anche direttamente dalla consulenza qualificata di alcuni operatori del settore, l'esito dell'analisi economica conferma la concorrenzialità della soluzione BEV e la possibilità di considerarla come alternativa valida lì dove il servizio di trasporto necessita di un'offerta di servizio compatibile con una linea filoviaria.

A valle delle integrazioni e degli aggiornamenti il software sviluppato può ritenersi pronto per un'utilizzazione estesa.

7 Riferimenti bibliografici

1. Valentina Conti, Silvia Orchi, Maria Pia Valentini, Marialisa Nigro, Raffaella Calò, "Design and evaluation of electric solutions for public transport", EWGT 2017. Conferenza, in corso di pubblicazione.
2. Open data Firenze: http://opendata.comune.fi.it/mobilita_sicurezza/dataset_0053.html
3. Listino prezzi motori diesel e metano. SPI motori e ricambi: "Motori nel mondo", gennaio 2016.
4. 2° Convegno "Sistema gomma nel trasporto passeggeri". (2016).
5. G. Fusco, A. Alessandrini, C. Colombaroni, F. Giubilei, "Deliverable 1: Scenari di elettrificazione della rete di trasporto pubblico a Roma – Il fabbisogno energetico", Report Ricerca di Sistema Elettrico, 2013 (report Rds/2012/131)
6. F. Vellucci. (2017). "Veicoli elettrici e Ibridi Plug-in", ENEA. Report.
7. G. Pede, M. V. (2017). Trasporto pubblico su gomma, ENEA. Report.
8. TNO. (s.d.). Policy note clean buses for your city, Civitas.
9. <http://www.greenstyle.it/auto-elettriche-calo-costi-batterie-chiave-per-taglio-prezzi-214511.html>
10. <https://www.sicurauto.it/auto-elettriche/news/batterie-auto-elettriche-costi-in-picchiata-le-previsioni-taglia-prezzi.html>
11. <https://www.trasportinfo.com/2017/09/22/citytech-iveco-urbanway-ibrido-da-18-metri-atm-milano/>
12. <http://www.iveco.com/ivecobus/it-it/prodotti/pages/lveco-Bus-Hybrid.aspx>
13. http://www.bustocoach.com/sites/default/files/wfm_upload/newsletter_pdf/marzo_2017_ivecohy_it.pdf
14. <http://www.volvobuses.it/it-it/our-offering/buses/volvo-7900-hybrid.html>
15. <http://www.volvobuses.it/it-it/our-offering/buses/volvo-7900-electric-hybrid.html>
16. https://www.bus.man.eu/man/media/it/content_medien/doc/business_website_bus_master_1/Lions_City_Hybrid.pdf
17. AEEGSI
18. Valentini&all: "Procedure di supporto alle decisioni nei processi di elettrificazione del servizio di Trasporto Pubblico Locale su gomma", Report RdS/PAR2015/205.
19. "Un modello di calcolo del costo standard per il trasporto pubblico locale e regionale automobilistico", Associazione Trasporti ASSTRA, ottobre 2013.

Appendice I: Listino prezzi motori

MOTORI REVISIONATI COMPLETI AUTOBUS IVECO

TIPO TECNICO	TIPO VEICOLO	PREZZO LISTINO
8140.27.3721	A 49.10 MINIBUS	5.600,00
8140.43.3721	A 49.12 MINIBUS	5.700,00
8149.03	A 49.C 12 MINIBUS	5.900,00
8060.04	316	7.500,00
8060.05.246	A 70.14 ZETA	8.200,00
8060.24.652	316 TURBO	9.800,00
8060.25.4600	315.8.18	10.500,00
8060.45.B 5160	315.8.21	10.900,00
F4AE0482	BUS TECTOR 4 CIL.	9.000,00
F4AE0682	BUS TECTOR 6 CIL.	10.800,00
8360.46 B 4591/4691	491.22/27 CITYCLASS	12.900,00
8200.12	308-418	12.600,00
8200.13	343	12.600,00
8260.02	370.12.25	14.700,00
8210.02	370.12.26-AP 160	12.900,00
8210.22	370.12.30	15.800,00
8280.02	370.12.35	16.400,00
8220.12	470.12.20	12.900,00
8220.22.708	370 S 24 I SERIE	13.900,00
8220.32	671.12.24	14.900,00
8460.21.708/710	370 S 24 II SERIE	14.500,00
8460.21.611/615	480.12.29	14.500,00
8460.21R 619	580.12.29	14.800,00
8460.41S 731/745/747\	680.12.29 EUROCLASS	15.000,00
8460.41 S 7135-N7050	680.12.39 EURORIDER	15.000,00
F2BE0682-F2BE1682	CURSOR 8 BUS	18.000,00
F2BE0642	CURSOR 8 GAS	17.500,00

MOTORI REVISIONATI COMPLETI BUS MAN

TIPO TECNICO	POTENZA	PREZZO LISTINO
D 0824 LOH 01	114 (155)	11.000
D 0824 LOH 05 Euro II	114 (155)	11.800
D 0826 LUH/LOH	169 (230)	13.800
D 0826 LUH 12 EDC Euro II	162 (220)	16.000
D 2566 UH	147 (200)	14.000
D 2566 MUH	176 (240)	15.000
D 2566 MTUH	206 (280)	15.000
D 2566 MKUL	237 (321)	15.000
D 2865 LUH	225 (307)	17.200
D 2866 UH	177 (240)	14.500
D 2866 UH	185 (252)	14.000
D 2866 KUL	265 (360)	15.500
D 2866 LU	261 (354)	16.000
D 2866 LUH 03-05	272 (370)	15.500
D 2866 LUH 20-22 EDC	228 (380)	17.500

Appendice II: Tabelle dei dati di input

Dati sul caso di studio

Tabella 38: linee

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
Linea_id	Identificativo della linea autobus		
classe_veic_id	Identificativo numerico classe veicolare di riferimento per l'analisi		1,2,3,4
n_capolinea	Numero Capolinea	n	
carico_rif	Carico riferimento passeggeri	n	

Tabella 39: dati_percorso_elettrico

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_linea	Identificativo della linea	
id_percorso	Identificativo del percorso	
id_direzione	Identificativo della direzione	
id_data	Identificativo della data	
id_classe_veicolo	Veicolo associato al percorso	
n_corse_giorno	Numero delle corse giornaliere	
n_corse_ora_punta	Numero delle corse dell'ora di punta	
l_percorso	Lunghezza del percorso	km
t_medio_corsa	Tempo medio di corsa ora di punta	min
cons_elettrico_giorn	Consumo elettrico giornaliero	Wh
occ_media_giorno	occupazione media pesata giorno	
id_corsa_critica	ID corsa critica e cioè di massimo consumo	
cons_elettrico_corsa_critica	Consumo elettrico della corsa critica	Wh
occ_corsa_critica	occupazione media pesata corsa critica	

Tabella 40: dati_percorso_diesel

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_linea	Identificativo della linea	
id_percorso	Identificativo del percorso	
id_direzione	Identificativo della direzione	
id_data	Identificativo della data	
id_classe_veicolo	Veicolo associato al percorso	
cons_diesel	Consumo giornaliero diesel	g
pm_u	Emissioni giornaliere di particolato in ambito urbano	g
pm_s	Emissioni giornaliere di particolato in ambito suburbano	g
pm_r	Emissioni giornaliere di particolato in ambito rurale	g
Nox	Emissioni giornaliere di ossidi di azoto	g
Hc	Emissioni giornaliere di idrocarburi (metanici e non)	g

co2	Emissioni giornaliere di biossido di carbonio	g
noise_day_thin_u	percorrenza diurna in ambito urbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_dense_u	percorrenza diurna in ambito urbano in condizioni di traffico congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_u	percorrenza notturna in ambito urbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_thin_s	percorrenza diurna in ambito suburbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_s	percorrenza notturna in ambito suburbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_thin_r	percorrenza diurna in ambito rurale in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_r	percorrenza notturna in ambito rurale in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km

Tabella 41: dati_percorso_metano

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_linea	Identificativo della linea	
id_percorso	Identificativo del percorso	
id_direzione	Identificativo della direzione	
id_data	Identificativo della data	
id_classe_veicolo	Veicolo associato al percorso	
cons_metano	Consumo giornaliero metano in g	g
pm_u	Emissioni giornaliere di particolato in ambito urbano	g
pm_s	Emissioni giornaliere di particolato in ambito suburbano	g
pm_r	Emissioni giornaliere di particolato in ambito rurale	g
Nox	Emissioni giornaliere di ossidi di azoto	g
Hc	Emissioni giornaliere di idrocarburi (metanici e non)	g
co2	Emissioni giornaliere di biossido di carbonio	g
noise_day_thin_u	percorrenza diurna in ambito urbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_dense_u	percorrenza diurna in ambito urbano in condizioni di traffico congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_u	percorrenza notturna in ambito urbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_thin_s	percorrenza diurna in ambito suburbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_s	percorrenza notturna in ambito suburbano in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_day_thin_r	percorrenza diurna in ambito rurale in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km
noise_night_thin_r	percorrenza notturna in ambito rurale in condizioni di traffico non congestionato per il calcolo dei costi del rumore	km

Tabella 42: perc_ibrido

Nome variabile	Descrizione
cons_ibrido	Percentuale del consumo dell'ibrido rispetto al diesel
pm_u	Percentuale del pm_u rispetto al diesel
pm_s	Percentuale del pm_s rispetto al diesel
pm_r	Percentuale del pm_r rispetto al diesel
nox	Percentuale del nox rispetto al diesel
hc	Percentuale del hc rispetto al diesel
co2	Percentuale del co2 rispetto al diesel

Tabella 43: dati_corsa_critica

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_corsa	Identificativo corsa	
id_direzione	Identificativo direzione	
ricarica_YN	Valore booleano che indica se è possibile installare la ricarica o meno in corrispondenza del primo nodo dell'arco	
cons_elettrico	Consumo elettrico	kWh

Tabella 44: dati_generali

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
vu_progetto	Durata del periodo di analisi	anni	Assunzione di progetto discrezionale dell'utente Valore massimo di 15 anni, considerato l'orizzonte di vita tecnica degli impianti di ricarica
tasso_sconto	Tasso di sconto per l'attualizzazione dei valori di costo	%	Assunzione di progetto discrezionale dell'utente
Budget	Valore del budget disponibile per gli investimenti in flotta e impianti di ricarica (compresa installazione)	€	Assunzione di progetto discrezionale dell'utente
tolleranza_budget	Margine di tolleranza da assumere per verifica sul budget	%	Assunzione di progetto discrezionale dell'utente
perditempo_cap	Perditempo per connessione/disconnessione veicolo-stazione al capolinea	h	Assunzione di progetto
perditempo_ferm	Perditempo per connessione/disconnessione veicolo-stazione alle fermate	h	Assunzione di progetto
t_max_sosta_cap	tempo massimo di sosta al capolinea	h	Assunzione di progetto
t_max_sosta_ferm	tempo massimo di fermata	h	Assunzione di progetto
gg_esercizio_anno_1	Giorni di esercizio anno feriale invernale	gg	Assunzione di progetto
gg_esercizio_anno_2	Giorni di esercizio anno festivo estivo	gg	Assunzione di progetto
gg_esercizio_anno_3	Giorni di esercizio anno festivo invernale	gg	Assunzione di progetto
gg_esercizio_anno_4	Giorni di esercizio anno feriale estivo	gg	Assunzione di progetto

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
peso_medio_pax	Peso medio dei passeggeri	kg	Assunzione di progetto
t_sosta_cap_C	tempo di sosta al capolinea per veicoli di architettura C	min	Assunzione di progetto
rend_ric_cap	rendimento ricarica a capolinea		Assunzione di progetto
rend_ric_ferm	rendimento ricarica a fermate		Assunzione di progetto
vu_acc_sec_anni	Vita utile accumulo secondario	anni	Assunzione di progetto
gg_ausiliari_estate	Giorni utilizzo impianti ausiliari estate % sull'anno	gg	Assunzione di progetto
gg_ausiliari_inverno	Giorni utilizzo impianti ausiliari inverno % sull'anno	gg	Assunzione di progetto
valore_max_TU	valore massimo del T.U.		Assunzione di progetto

Dati di Expertise per il progetto del sistema elettrico

Tabella 45: expert_sist_ele

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_tiporicarica	Identificativo della modalità di ricarica	
max_consumi_cap_dep	Massima ratio consumi a/da deposito/consumo riferimento	
coeff_autonomia	Coefficiente >1 per calcolo autonomia veicolo	
cons_ottimo_ricariche	Consumo di riferimento per il dimensionamento dell'accumulo in caso di ricarica alle fermate	kWh
tolleranza_cons_ricariche	Margine di tolleranza su consumo di riferimento	
t_ricarica_dep	Tempo Netto Ricarica al deposito	h
t_ricarica_cap	Tempo Netto Ricarica al capolinea	h
t_ricarica_ferm	Tempo Netto Ricarica alle fermate	h
soc_residuo	Valore minimo dello Stato di carica dell'accumulo di bordo	%
coeff_ricariche	Coefficiente di maggiorazione cicli di carica e scarica per tener conto dell'esercizio effettivo rispetto alle condizioni standard di misura	
iterazione_cap_batteria	Criterio di stop iterazione per dimensionamento capacità batteria	
magg_temp_corsa_ricarica	maggiorazione tempo di corsa per ricarica a fermate	%
pot_max_pot_media	ratio potenza max/potenza media carica	
t_ricarica_cap_maxi	Tempi Ricarica al capolinea veicoli maxi	h
t_ricarica_ferm_maxi	Tempi Ricarica alle fermate veicoli maxi	h
vu_acc_sec_anni	Vita utile accumulo di riserva (per sistema con ricarica a fermate)	anni

Dati sulle tecnologie

Tabella 46: car_vei_diesel, car_vei_metano e car_vei_ibrido

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
----------------	-------------	-----------------

id_veicolo	Identificativo della classe dimensionale del veicolo	
costo_acquisto	Costo acquisto veicolo	€
pers_manut	Unità personale impegnate per la manutenzione di un veicolo in un anno	anni_uomo/veicolo/anno
costo_mater_manut	Costo del materiale di ricambio per km percorso	€/km
cons_lubrif	Consumo specifico di lubrificante	g/km
perc_vutile_scocca	Massima percorrenza del veicolo nella sua vita tecnica	km
vresiduo	Valore residuo a fine vita tecnica, % sul costo di acquisto	%
carico_max_pax	Carico massimo	n passeggeri
tara_veicolo_rif	Peso a vuoto veicolo convenzionale (Chassis+motorizzazione)	kg
lf_rif	Load factor utilizzato per la stima dei consumi di riferimento	%
sconto_costo_vei	Sconto sul prezzo di riferimento	%
km_vutile_motore	Vita tecnica motore	km
costo_acquisto_motore	Costo acquisto motore	€
ausiliari_estate	Peso impianti ausiliari estate % sull'anno	
ausiliari_inverno	Peso impianti ausiliari inverno % sull'anno	
costo_manutenz_straordinaria	Manutenzione straordinaria Motore	km
fr_manutenzione	Frequenza manutenzione straordinaria	km

Tabella 47: car_vei_ele

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_veicolo	Identificativo della classe dimensionale del veicolo	
cap_acc_rif	Capacità accumulo utilizzata per il calcolo dei consumi di riferimento	kWh
pot_rif	Potenza di riferimento	kW
tara_veicolo_rif	Peso Chassis	kg
carico_max_pax	Carico massimo	n passeggeri
costo_acquisto	Costo acquisto veicolo	€
pers_manut	Unità personale impegnate per la manutenzione di un veicolo in un anno	anni_uomo/veicolo/anno
costo_mater_manut	Costo del materiale di ricambio per km percorso	€/km
perc_vutile_scocca	Massima percorrenza del veicolo nella sua vita tecnica	km
perc_vresiduo_veicolo	Valore residuo a fine vita tecnica, % sul costo di acquisto	%
lf_rif	Load factor utilizzato per la stima dei consumi di riferimento	%
sconto_costo_vei_ele	Sconto sul prezzo di riferimento	%
quota_rumore_ele	Assunzione sul rapporto fra i costi del rumore dell'alimentazione elettrica rispetto a quella diesel	
km_vutile_motore	Vita tecnica motore	km
costo_acquisto_motore	Costo acquisto motore	€
ausiliari_estate	Peso impianti ausiliari estate % sull'anno	
ausiliari_inverno	Peso impianti ausiliari inverno % sull'anno	
perc_vresiduo_motore	valore residuo a fine vita motore	%

Tabella 48: car_sist_accum

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_batteria	Identificativo del tipo di accumulo	
cicli_vita_utile	Cicli di vita utile del tipo di accumulo in condizioni standard	n Cicli
ener_cella	Energia nominale del componente elementare del sistema di accumulo	Wh
volt_cella	Tensione nominale del componente elementare del sistema di accumulo	V
energia_specif	Energia Specifica della batteria	Wh/kg
costo_specif_acc	Costo specifico della batteria	€/kWh
costo_specif_cell	Costo specifico delle componenti elementari	€/kWh
valore_unit_residuo_acc	Valore unitario residuo a fine vita dell'accumulo	€/kWh
perc_sconto_costo_accum	Sconto sul prezzo di riferimento del sistema di accumulo	%

Tabella 49: arch_a

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
classe_veicolo_id	Identificativo numerico classe veicolare		1= 6 m, 2= 8 m, 3= 12 m (per l'Arch. A non è ammessa la classe 18 m)
pot_ricarica_dep_A	potenza media ricarica a deposito	kW/veicolo	
max_cons_prog_A	Max consumo progetto	kWh	
cap_acc	capacità dell'accumulo di bordo	kWh	
carico_max_pax	Carico massimo passeggeri	n	

Tabella 50: arch_b

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
classe_veicolo_id	Identificativo numerico classe veicolare		1= 6m, 2= 8 m, 3= 12 m, 4=18m
pot_ricarica_cap_b	Potenza di ricarica al capolinea	kW	Valore della potenza di ricarica accettata dalla batteria in modalità rapida
max_cons_prog_B	Massimo consumo ammissibile fra due ricariche consecutive	kWh	Massimo valore di consumo che può verificarsi fra due ricariche a capolinea
cap_acc	capacità dell'accumulo di bordo	kWh	
carico_max_pax	Carico massimo passeggeri	n	
pot_ricarica_dep_B	potenza media ricarica a deposito	kW/veicolo	

Tabella 51: arch_c

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
classe_veicolo_id	Identificativo numerico classe veicolare		3= 12 m, 4=18 m (per l'Arch. C non sono ammesse le classi più piccole)
pot_ricarica_cap_C	potenza media ricarica a capolinea	kW/veicolo	

pot_ricarica_ferm	potenza media ricarica a fermate	kW/veicolo	
Max_cons_prog_C	Massimo consumo ammissibile fra due ricariche consecutive	kWh	Massimo valore di consumo che può verificarsi fra due ricariche a fermate
t_max_ric_cap_C	Durata massima di ricarica al capolinea per veicoli di architettura C	h	Valore della potenza di ricarica accettata dalla batteria in modalità rapida
t_max_ric_ferm_C	Durata massima di ricarica alle fermate per veicoli di architettura C	h	Valore della potenza di ricarica accettata dalla batteria in modalità ultrarapida
cap_acc	capacità dell'accumulo di bordo	kWh	
cap_acc_supp	Capacità Accumulo supporto	kWh	
carico_max_pax	Carico massimo passeggeri	n	

Tabella 52: impianti_standard

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
Arch_id	Identificativo architettura per la ricarica della quale è utilizzato il tipo di impianto		1,2,3 (1= arch. A, 2= arch. B, 3= arch. C)
tipo_impianto_id	Identificativo del tipo di impianto		Da 1 a 10
tipo_nodo_id	Identificativo della tipologia di nodo nella quale è installabile la tipologia di impianto		1= Deposito 2= Capolinea 3= Fermate
pot_impianto	Potenza installata	kW	
n_stalli_impianto	N° di stalli		Valore usato per il calcolo del numero di impianti
n_turni_ricarica	N° di turni		Valore usato per il calcolo del numero di impianti
costo_impianto	Costo di acquisto e di installazione del tipo di impianto	€	
perc_sconto_impianto	Percentuale di sconto applicata sul costo d'acquisto e installazione	%	Assunzione di progetto discrezionale (analisi di sensitività)
costo_annuo_manut_impia nto	Costo medio annuale di manutenzione per il tipo di impianto	€	Comprende manutenzione ordinaria e straordinaria
perc_vresiduo_impianto	Valore residuo a fine vita tecnica	%	Percentuale rispetto al valore del nuovo
intervallo_interventi	Intervallo temporale interventi	n. anni	
vu_impianto	Vita utile impianto	anni	

Dati per l'analisi economica e dei danni ambientali

Tabella 53: dati_costi

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
costo_presa	Costo fisso presa + connettore	€
costo_pantografo	Costo fisso pantografo	€
costo_caricabatt	Costo fisso caricabatterie	€
costo_imp_min50	Costo fisso di impianto e installazione	€
costo_imp_magg50	Costo fisso di impianto e installazione	€
costo_variabile	Costo variabile caricabatterie dell'impianto	€/kW
costo_anno_pers_manut	Costo annuale del personale di manutenzione dell'impianto	€/anno
costo_installaz_batt	Costo di installazione delle batterie	€/ricambio
peso-specif_diesel	Peso Specifico Diesel	kg/l
costo_specif_metano	Costo specifico metano	€/kg
costo_spec_lubrif	Costo specifico lubrificanti	€/l
peso_specif_lubrif	Peso specifico olio lubrificante	kg/litri
costo_pmu	Costo esterno unitario delle emissioni di particolato in ambito urbano	euro/t
costo_pms	Costo esterno unitario delle emissioni di particolato in ambito suburbano	euro/t
costo_pmr	Costo esterno unitario delle emissioni di particolato in ambito rurale	euro/t
costo_nox	Costo esterno unitario delle emissioni di ossidi di azoto	euro/t
costo_nmVOC	Costo esterno unitario delle emissioni di idrocarburi	euro/t
costo_co2	Costo esterno unitario delle emissioni di CO ₂	euro/t
costo_so2	Costo esterno unitario delle emissioni di SO _x	euro/t
composizione_hc_diesel	Incidenza delle emissioni di metano sul totale delle emissioni di idrocarburi nella trazione Diesel	
composizione_hc_metano	Incidenza delle emissioni di metano sul totale delle emissioni di idrocarburi nella trazione a Metano	
conversione_ch4_co2	Coefficiente di conversione del metano in CO ₂ equivalente	

Tabella 54: dati_tarif_ele

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
FasciaPotenza	Fascia potenza in Media o Bassa Tensione	
costo_potenza_imp	Costo unitario della potenza impegnata	€/kW/anno
costo_punto_prel	Costo unitario per punto di prelievo	€/anno
costo_energia_min_8	Costo unitario dell'energia da 0 a 8 GWh	€/kWh
costo_energia_magg_8	Costo unitario dell'energia sopra agli 8 GWh	€/kWh

Tabella 55: dati per calcolo well-to-tank

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
pm_ratio	Rapporto tra consumo energetico e PM emesso nella fase WTT	g/kWh - g/kg
nox_ratio	Rapporto tra consumo energetico e NO _x emesso nella fase WTT	g/kWh - g/kg

hc_ratio	Rapporto tra consumo energetico e HC emesso nella fase WTT	g/kWh - g/kg
co2_ratio	Rapporto tra consumo energetico e CO ₂ emesso nella fase WTT	g/kWh - g/kg
so2_ratio	Rapporto tra consumo energetico e SO ₂ emesso nella fase WTT	g/kWh - g/kg

Tabella 56: costi_rumore

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
day_dense	costo specifico del rumore nel caso day_dense	€/1000vkm
day_thin	costo specifico del rumore nel caso day_thin	€/1000vkm
night_dense	costo specifico del rumore nel caso night_dense	€/1000vkm
night_thin	costo specifico del rumore nel caso night_thin	€/1000vkm

Tabella 57: matrici per il calcolo n_ricariche_contemp_circ e n_ricariche_contemp_ncirc

Nome variabile	Descrizione
Rapporto T/l	Rapporto fra tempo di corsa e intertempo fra corse (proxy n° veicoli in corsa p.s.m.)
Rapporto T/R	Rapporto fra tempo di corsa e n° di ricariche (Intertempo medio fra ricariche)

Appendice III: Tabelle dei dati di output

Risultati del dimensionamento del sistema elettrico

Tabella 58: output_tecnici_scelta_arch

Nome campo	Descrizione campo	Unità di misura
id_linea	Identificativo Linea	
id_arch	Identificativo modalità di ricarica	
fatt_arch	Fattibilità dell'architettura elettrica	
flotta	Numerosità flotta	
n_capolinea_ricarica	Numero di capolinea con ricarica	
coeff_ricalcolo_consumi	Coefficiente per il calcolo dei consumi per tutte le architetture a partire da Arch. A	
n_ricariche_dep	Numero di stazioni di ricarica al deposito	
n_ricariche_cap	Numero di stazioni di ricarica al capolinea	
n_ricariche_ferm	Numero di stazioni di ricarica alle fermate	
cap_acc_veic	Capacità accumulo principale veicolo	kWh
cap_acc_supp	Capacità accumulo supporto veicolo	kWh
potenza_ricarica_dep	Potenza complessiva installata al deposito	kW
potenza_ricarica_cap	Potenza complessiva installata al capolinea	kW
potenza_ricarica_ferm	Potenza complessiva installata alle fermate	kW
pot_impegnata_mt	Potenza impegnata MT	kW
punti_prelievo_mt	Punti di prelievo in Media Tensione	
energia_mt	Energia consumata annuale MT	kWh
cons_prog_A	Consumo di progetto per l'architettura A	

Risultati del confronto economico delle opzioni di ricarica elettrica

Tabella 59: output_economici_scelta_arch

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
id_linea	Identificativo Linea		
id_arch	Identificativo tipologia di architettura		
inv_iniz_staz_ricarica	Investimento iniziale delle stazioni di ricarica	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
costo_staz_ricarica	Costo rinnovo delle stazioni di ricarica	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
val_res_staz_ricarica	Valore Residuo attualizzato delle stazioni di ricarica	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
inv_iniz_bus	Investimento iniziale dei Bus	€	
costo_bus	Costo rinnovo dei Bus	€	

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura	Note
val_res_bus	Valore residuo attualizzato dei Bus	€	
inv_iniz_acc	Investimento iniziale dell'accumulo	€	
costo_acc	Costo rinnovo dell'accumulo	€	
val_res_acc	Valore residuo attualizzato dell'accumulo di bordo	€	
costo_motore	Costo sostituzione motore	€	
res_motore	valore residuo motore	€	
costo_manut_bus	Valore attualizzato delle spese per personale e materiali di manutenzione dei bus[€]	€	
costo_manut_staz_ri c	Valore attualizzato delle spese per la manutenzione delle stazioni di ricarica[€]	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
costo_lubrif	Costo attualizzato delle spese per lubrificante	€	
costo_punto_prelev o	Valore attualizzato delle spese per allacci rete elettrica	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
costo_potenza	Valore attualizzato delle spese per impegno di potenza	€	Suddiviso per impianti al deposito, capolinea e fermate
costo_energia	Valore attualizzato delle spese per consumo di energia elettrica	€	
tot_costi_interni	Valore attualizzato del totale dei costi interni	€	
flag_scelta	Flag che indica che architettura sia stata scelta (1 indica l'architettura scelta)		

Risultati del confronto economico fra alternative energetiche

Tabella 60: acb_elettrico, acb_diesel, acb_metano e acb_ibrido

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
id_linea	Identificativo Linea	
id_arch	Identificativo tipologia di architettura	
anno	Anno i-esimo	
costo_staz_ricarica	Costo investimento delle stazioni di ricarica	€
val_res_staz_ricarica	Valore Residuo delle stazioni di ricarica N.B. non c'è valore residuo a fine vita	€
costo_bus	Costo investimento dei Bus	€
val_res_bus	Valore residuo dei Bus	€
costo_motore	Costo sostituzione motore	€
res_motore	valore residuo motore	€
costo_acc	Costo dell'accumulo	€
val_res_acc	Valore residuo dell'accumulo	€
costo_pers_manut	Costo annuale del personale di manutenzione	€
costo_mat_manut	Costo annuale del materiale di manutenzione	€

Nome variabile	Descrizione	Unità di misura
costo_punto_prelievo	Costo punto prelievo	€
costo_potenza	Costo annuale della potenza impegnata	€
costo_energia	Costo annuale dell'energia	€
costo_lubrif	Costo annuale del lubrificante	€
costo_emissioni	Costo annuale delle emissioni	€
costo_rumore	Costo annuale del rumore	€
PTT	Costo annuale delle emissioni nocive nella fase Processing To Tank	€

Tabella 61: output_acb

Nome campo	Descrizione campo	Unità di misura
id_linea	Identificativo Linea	
id_alimentazione	Identificativo energia utilizzata (elettrica, diesel o metano)	
costo_staz_ricarica	Valore attualizzato dell'investimento per stazioni di ricarica	€
val_res_staz_ricarica	Valore Residuo attualizzato delle stazioni di ricarica	€
costo_bus	Valore attualizzato dell'investimento per acquisto Bus	€
val_res_bus	Valore residuo attualizzato dei Bus	€
costo_acc	Valore attualizzato dell'investimento per acquisto accumulo di bordo	€
val_res_acc	Valore residuo attualizzato dell'accumulo	€
costo_pers_manut	Valore attualizzato delle spese per personale di manutenzione	€
costo_mat_manut	Valore attualizzato delle spese per materiale di manutenzione	€
costo_lubrif	Valore attualizzato delle spese per acquisto olii lubrificanti	€
costo_punto_prelievo	Valore attualizzato delle spese per allaccio alle rete elettrica	€
costo_potenza	Valore attualizzato delle spese per impegno potenza elettrica	€
costo_energia	Valore attualizzato delle spese per consumi energetici	€
tot_costi_interni	Valore Attuale Netto dei costi interni	€
costo_emissioni	Valore attualizzato dei costi esterni delle emissioni al punto d'uso	€
costo_rumore	Valore Attualizzato dei costi esterni del rumore	€
Wtt	Valore attualizzato dei costi esterni delle emissioni up-stream	€
tot_costi_esterni	Valore Attuale Netto dei costi esterni	€
tot_costi	Valore Attuale Netto	€
offerta_bus	Posti offerti	Posti offerti-km
If_medio	Load factor medio	

Appendice IV: Risultati analisi tecnica sistemi elettrici per le singole linee di Firenze

Tabella 62: Risultati analisi tecnica

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
1	arch.A	1	4	4	0	0	140	200	1	62.439
1	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	arch.A	1	2	2	0	0	92	100	1	19.617
2	arch.B	1	2	2	3	0	60	680	4	18.991
2	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	arch.A	1	26	26	0	0	251	1.300	1	967.572
3	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	arch.A	1	6	6	0	0	249	300	1	221.843
4	arch.B	1	6	6	2	0	60	460	3	185.537
4	arch.C	1	6	6	2	18	3	2.523	21	188.437
5	arch.A	1	7	7	0	0	91	350	1	67.715
5	arch.B	1	7	7	4	0	60	900	4	65.632
5	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	arch.A	0	3	3	0	0	422	0	1	0
6	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	4	140.565
6	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	arch.A	0	10	10	0	0	293	0	1	0
7	arch.B	1	10	10	3	0	60	720	3	340.836
7	arch.C	1	10	10	2	26	3	4.323	29	346.162
8	arch.A	1	3	3	0	0	171	150	1	58.971
8	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	arch.A	0	1	1	0	0	311	0	1	0
9	arch.B	1	2	2	3	0	60	680	4	36.325
9	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	arch.A	1	3	3	0	0	261	150	1	122.744
10	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	3	101.543
10	arch.C	1	4	4	2	12	3	3.123	15	103.130
11	arch.A	1	8	8	0	0	125	400	1	123.455
11	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	arch.A	1	1	1	0	0	18	50	1	1.998
12	arch.B	1	1	1	3	0	60	680	4	2.090
12	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	arch.A	0	10	10	0	0	413	0	1	0
13	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	arch.A	0	5	5	0	0	391	0	1	0
14	arch.B	1	5	5	4	0	60	900	4	218.541
14	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
15	arch.A	0	2	2	0	0	438	0	1	0
15	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	3	100.156
15	arch.C	1	3	3	2	6	3	1.923	9	101.721
16	arch.A	1	1	1	0	0	44	50	1	5.006
16	arch.B	1	1	1	3	0	60	680	4	5.092
16	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	arch.A	1	3	3	0	0	49	150	1	16.845
17	arch.B	1	3	3	2	0	60	460	3	17.044
17	arch.C	0	3	3	0	0	3	0	0	0
18	arch.A	1	1	1	0	0	143	50	1	15.981
18	arch.B	1	1	1	2	0	60	460	3	14.720
18	arch.C	1	1	1	2	8	3	1.923	11	14.950
19	arch.A	1	2	2	0	0	150	100	1	33.715
19	arch.B	1	2	2	3	0	60	680	4	30.853
19	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	arch.A	0	1	1	0	0	405	0	1	0
20	arch.B	1	1	1	3	0	60	680	4	37.572
20	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	arch.A	1	4	4	0	0	104	200	1	44.570
21	arch.B	1	4	4	3	0	60	680	4	42.662
21	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	arch.A	1	3	3	0	0	85	150	1	31.464
22	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	4	30.681
22	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	arch.A	1	7	7	0	0	270	350	1	236.604
23	arch.B	1	8	8	4	0	60	920	4	194.378
23	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	arch.A	1	5	5	0	0	53	250	1	30.393
24	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	arch.A	1	5	5	0	0	19	250	1	4.227
25	arch.B	1	5	5	2	0	60	460	3	4.418
25	arch.C	1	6	6	2	12	3	2.523	15	4.487
26	arch.A	1	4	4	0	0	275	200	1	171.302
26	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	arch.A	1	10	10	0	0	273	500	1	415.968
27	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	arch.A	1	2	2	0	0	13	100	1	2.864
28	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	3.012
28	arch.C	1	2	2	2	14	3	1.323	17	3.059
29	arch.A	0	7	7	0	0	300	0	1	0
29	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	arch.A	1	2	2	0	0	131	100	1	29.036

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
30	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	27.047
30	arch.C	1	2	2	2	6	3	1.923	9	27.469
31	arch.A	1	6	6	0	0	179	300	1	124.011
31	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	arch.A	1	1	1	0	0	133	50	1	5.508
32	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	5.122
32	arch.C	1	2	2	2	2	3	1.323	5	5.202
33	arch.A	1	4	4	0	0	126	200	1	60.712
33	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	arch.A	1	2	2	0	0	84	100	1	17.681
34	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	arch.A	1	10	10	0	0	286	500	1	448.037
35	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	arch.A	1	4	4	0	0	209	200	1	99.593
36	arch.B	1	4	4	3	0	60	680	4	86.253
36	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	arch.A	1	11	11	0	0	200	550	1	259.509
37	arch.B	1	11	11	3	0	60	720	3	226.648
37	arch.C	1	11	11	2	22	3	4.323	25	230.190
38	arch.A	1	28	28	0	0	234	1.400	1	975.400
38	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	arch.A	1	2	2	0	0	147	100	1	33.025
39	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	30.299
39	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	arch.A	1	2	2	0	0	124	100	1	27.154
40	arch.B	1	2	2	4	0	60	900	4	25.481
40	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	arch.A	1	5	5	0	0	268	250	1	168.050
41	arch.B	1	5	5	3	0	60	680	3	138.204
41	arch.C	1	6	6	2	20	3	3.723	23	140.364
42	arch.A	1	3	3	0	0	224	150	1	81.067
42	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	4	69.283
42	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	arch.A	1	2	2	0	0	31	100	1	6.932
43	arch.B	1	2	2	3	0	60	680	4	7.151
43	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	arch.A	1	2	2	0	0	90	100	1	19.009
44	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	arch.A	1	6	6	0	0	249	300	1	217.235
45	arch.B	1	6	6	2	0	60	460	3	181.727

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
45	arch.C	0	6	6	0	0	3	0	0	0
46	arch.A	1	3	3	0	0	26	150	1	8.683
46	arch.B	1	3	3	2	0	60	460	3	9.006
46	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	arch.A	0	5	5	0	0	301	0	1	0
47	arch.B	1	5	5	3	0	60	680	4	200.547
47	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	arch.A	1	2	2	0	0	51	100	1	11.661
48	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	11.777
48	arch.C	1	2	2	2	6	3	1.323	9	11.961
49	arch.A	1	8	8	0	0	39	400	1	14.095
49	arch.B	1	8	8	4	0	60	920	3	14.422
49	arch.C	1	9	9	2	10	3	3.123	13	14.647
50	arch.A	1	2	2	0	0	57	100	1	12.999
50	arch.B	1	2	2	3	0	60	680	4	13.051
50	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	arch.A	0	13	13	0	0	468	0	1	0
51	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	arch.A	1	8	8	0	0	278	400	1	336.603
52	arch.B	1	8	8	3	0	60	700	3	274.509
52	arch.C	1	9	9	2	22	3	3.723	25	278.799
53	arch.A	1	6	6	0	0	155	300	1	128.081
53	arch.B	1	6	6	3	0	60	680	3	116.574
53	arch.C	1	7	7	2	6	3	1.923	9	118.396
54	arch.A	0	5	5	0	0	308	0	1	0
54	arch.B	1	5	5	4	0	60	900	4	207.071
54	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	arch.A	1	2	2	0	0	108	100	1	23.267
55	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	22.180
55	arch.C	1	2	2	2	10	3	1.323	13	22.526
56	arch.A	1	16	16	0	0	145	800	1	259.801
56	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	arch.A	1	2	2	0	0	16	100	1	3.498
57	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	3.668
57	arch.C	1	2	2	2	16	3	1.323	19	3.725
58	arch.A	1	6	6	0	0	195	300	1	137.121
58	arch.B	1	6	6	2	0	60	460	3	120.339
58	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	arch.A	1	23	23	0	0	197	1.150	1	624.908
59	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	arch.A	1	4	4	0	0	127	200	1	56.047
60	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
61	arch.A	1	5	5	0	0	260	250	1	197.614
61	arch.B	1	5	5	3	0	60	680	3	163.636
61	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	arch.A	1	1	1	0	0	34	50	1	3.781
62	arch.B	1	1	1	2	0	60	460	3	3.889
62	arch.C	1	1	1	2	2	3	1.323	5	3.950
63	arch.A	0	3	3	0	0	611	0	1	0
63	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	arch.A	1	6	6	0	0	287	300	1	219.084
64	arch.B	1	6	6	2	0	60	460	3	177.353
64	arch.C	0	6	6	0	0	3	0	0	0
65	arch.A	1	2	2	0	0	29	100	1	6.467
65	arch.B	1	2	2	1	0	60	240	2	6.686
65	arch.C	0	2	2	0	0	3	0	0	0
66	arch.A	1	10	10	0	0	230	500	1	317.470
66	arch.B	1	10	10	3	0	60	720	3	269.934
66	arch.C	1	10	10	2	10	3	2.523	13	274.153
67	arch.A	1	8	8	0	0	160	400	1	172.027
67	arch.B	1	8	8	3	0	60	700	3	155.924
67	arch.C	1	9	9	2	10	3	3.123	13	158.361
68	arch.A	1	4	4	0	0	60	200	1	37.277
68	arch.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	arch.A	0	11	11	0	0	337	0	1	0
69	arch.B	1	11	11	3	0	60	720	3	470.898
69	arch.C	1	12	12	2	32	3	4.323	35	478.257
70	arch.A	0	6	6	0	0	321	0	1	0
70	arch.B	1	6	6	2	0	60	460	3	246.236
70	arch.C	1	6	6	2	22	3	3.123	25	250.084
71	arch.A	0	3	3	0	0	303	0	1	0
71	arch.B	1	4	4	2	0	60	460	3	107.217
71	arch.C	0	4	4	0	0	3	0	0	0
72	arch.A	1	2	2	0	0	15	100	1	3.347
72	arch.B	1	2	2	2	0	60	460	3	3.512
72	arch.C	1	2	2	2	16	3	1.923	19	3.567
73	arch.A	1	11	11	0	0	269	550	1	451.330
73	arch.B	1	11	11	4	0	60	940	4	371.050
73	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	arch.A	1	3	3	0	0	210	150	1	74.779
74	arch.B	1	3	3	2	0	60	460	3	64.752
74	arch.C	1	3	3	2	18	3	3.723	21	65.764
75	arch.A	0	3	3	0	0	311	0	1	0
75	arch.B	1	3	3	2	0	60	460	3	110.710
75	arch.C	0	3	3	0	0	3	0	0	0
76	arch.A	1	13	13	0	0	206	650	1	370.398

linea	tecnologia	fatt.arch.	flotta	n.stazioni dep.	n.stazioni cap.	n.stazioni ferm.	capacità accumulo	potenza impegnata	numero allacci	energia
76	arch.B	1	13	13	4	0	60	940	3	321.832
76	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	arch.A	1	6	6	0	0	236	300	1	228.786
77	arch.B	1	6	6	3	0	60	680	3	193.453
77	arch.C	1	6	6	2	14	3	2.523	17	196.477
78	arch.A	1	7	7	0	0	189	350	1	193.796
78	arch.B	1	7	7	3	0	60	680	3	170.909
78	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	arch.A	1	1	1	0	0	18	50	1	2.011
79	arch.B	1	1	1	3	0	60	680	4	2.104
79	arch.C	1	1	1	2	8	3	1.323	11	2.137
80	arch.A	1	6	6	0	0	197	300	1	169.220
80	arch.B	1	6	6	3	0	60	680	3	148.191
80	arch.C	1	6	6	2	12	3	3.123	15	150.507
81	arch.A	1	4	4	0	0	181	200	1	83.968
81	arch.B	1	4	4	3	0	60	680	3	74.617
81	arch.C	0	5	5	0	0	3	0	0	0
82	arch.A	1	5	5	0	0	194	250	1	113.524
82	arch.B	1	5	5	2	0	60	460	3	99.728
82	arch.C	1	6	6	2	16	3	3.123	19	101.286
83	arch.A	1	5	5	0	0	244	250	1	185.727
83	arch.B	1	5	5	3	0	60	680	3	156.005
83	arch.C	1	6	6	2	10	3	2.523	13	158.443
84	arch.A	1	3	3	0	0	226	150	1	81.705
84	arch.B	1	3	3	3	0	60	680	3	69.737
84	arch.C	1	4	4	2	10	3	3.123	13	70.827
85	arch.A	1	9	9	0	0	209	450	1	257.975
85	arch.B	1	9	9	5	0	60	1.160	4	223.591
85	arch.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Risultati analisi economica sistemi elettrici per le singole linee di Firenze

Tabella 63: Risultati analisi economica

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
1	arch.A	59.858	806.597	127.935	188.471	56.219	55.950	1.295.031
1	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
1	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
1	diesel	0	566.181	0	370.551	0	199.063	1.135.794
1	metano	0	681.639	0	487.536	0	153.560	1.322.735
1	ibrido	0	825.500	0	386.170	0	160.256	1.371.926
2	arch.A	29.929	367.097	42.127	83.552	32.563	17.578	572.846
2	arch.B	315.216	367.097	24.668	147.788	196.489	17.018	1.068.276
2	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
2	diesel	0	255.646	0	161.930	0	58.519	476.095
2	metano	0	303.971	0	210.451	0	50.185	564.607

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
2	ibrido	0	375.700	0	175.200	0	47.111	598.011
3	arch.A	389.079	6.858.957	1.488.176	1.701.984	316.435	867.016	11.621.650
3	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
3	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
3	diesel	0	4.905.319	0	3.450.741	0	3.454.918	11.810.980
3	metano	0	6.106.813	0	4.656.271	0	2.185.315	12.948.400
3	ibrido	0	7.019.698	0	3.308.509	0	2.781.386	13.109.590
4	arch.A	89.787	1.576.459	341.129	390.884	79.875	198.788	2.676.922
4	arch.B	215.476	1.576.459	220.719	424.477	135.539	166.255	2.738.925
4	arch.C	2.862.054	1.576.459	296.451	869.432	783.889	168.853	6.557.139
4	diesel	0	1.127.162	0	792.212	0	749.806	2.669.181
4	metano	0	1.402.773	0	1.068.655	0	499.608	2.971.036
4	ibrido	0	1.613.404	0	760.351	0	603.633	2.977.387
5	arch.A	104.752	1.284.046	145.586	292.198	91.703	60.678	1.978.963
5	arch.B	299.789	1.284.046	78.041	300.983	248.532	58.811	2.270.204
5	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
5	diesel	0	894.159	0	566.243	0	233.750	1.694.151
5	metano	0	1.063.090	0	735.849	0	175.067	1.974.006
5	ibrido	0	1.314.138	0	612.808	0	188.181	2.115.127
6	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
6	arch.B	315.216	961.651	85.719	308.759	196.489	125.957	1.993.791
6	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
6	diesel	0	687.702	0	507.941	0	514.351	1.709.994
6	metano	0	893.154	0	693.929	0	375.762	1.962.845
6	ibrido	0	984.188	0	465.853	0	414.079	1.864.119
7	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
7	arch.B	219.386	2.745.362	236.690	668.723	197.044	305.414	4.372.619
7	arch.C	4.073.438	2.745.362	507.805	1.368.634	1.280.954	310.187	10.286.380
7	diesel	0	1.968.007	0	1.396.405	0	1.407.947	4.772.359
7	metano	0	2.457.994	0	1.889.625	0	919.325	5.266.944
7	ibrido	0	2.809.700	0	1.325.515	0	1.133.470	5.268.685
8	arch.A	44.894	642.218	117.320	152.352	44.391	52.842	1.054.017
8	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
8	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
8	diesel	0	452.890	0	301.947	0	212.786	967.623
8	metano	0	549.165	0	399.952	0	142.360	1.091.477
8	ibrido	0	657.268	0	308.040	0	171.303	1.136.612
9	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
9	arch.B	315.216	429.838	31.694	166.330	196.489	32.550	1.172.117
9	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
9	diesel	0	201.283	0	143.453	0	119.279	464.015
9	metano	0	252.156	0	194.403	0	96.277	542.836
9	ibrido	0	287.021	0	135.472	0	96.026	518.519
10	arch.A	44.894	820.967	179.212	205.103	44.391	109.987	1.404.555
10	arch.B	200.049	820.967	182.190	201.029	187.582	90.990	1.682.807
10	arch.C	1.953.516	970.358	214.032	560.263	872.383	92.412	4.662.964

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
10	diesel	0	588.400	0	417.218	0	404.498	1.410.115
10	metano	0	734.710	0	564.457	0	273.123	1.572.290
10	ibrido	0	840.207	0	396.349	0	325.641	1.562.198
11	arch.A	119.717	1.609.236	228.169	375.774	103.531	110.625	2.547.051
11	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
11	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
11	diesel	0	1.129.360	0	738.548	0	349.820	2.217.727
11	metano	0	1.359.248	0	971.428	0	303.889	2.634.565
11	ibrido	0	1.646.949	0	770.384	0	281.623	2.698.956
12	arch.A	14.965	157.026	4.135	33.949	20.735	1.790	232.600
12	arch.B	315.216	157.026	10.960	100.412	196.489	1.872	781.976
12	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
12	diesel	0	107.716	0	63.861	0	8.105	179.683
12	metano	0	124.989	0	80.817	0	5.609	211.415
12	ibrido	0	160.706	0	74.497	0	6.525	241.728
13	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
13	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
13	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
13	diesel	0	0	0	0	0	0	0
13	metano	0	0	0	0	0	0	0
13	ibrido	0	0	0	0	0	0	0
14	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
14	arch.B	299.789	1.549.831	185.410	409.009	248.532	195.829	2.888.400
14	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
14	diesel	0	1.118.301	0	812.441	0	910.362	2.841.104
14	metano	0	1.398.610	0	1.107.846	0	589.803	3.096.259
14	ibrido	0	1.586.152	0	750.276	0	732.888	3.069.316
15	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
15	arch.B	200.049	816.379	200.841	199.720	187.582	89.747	1.694.318
15	arch.C	1.044.979	816.379	154.466	369.902	535.069	91.150	3.011.944
15	diesel	0	478.094	0	355.322	0	421.292	1.254.708
15	metano	0	637.700	0	486.445	0	270.488	1.394.633
15	ibrido	0	682.620	0	323.358	0	339.162	1.345.140
16	arch.A	14.965	168.049	10.077	37.202	20.735	4.485	255.513
16	arch.B	315.216	168.049	12.053	103.665	196.489	4.563	800.034
16	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
16	diesel	0	116.072	0	70.970	0	20.460	207.502
16	metano	0	136.209	0	90.961	0	13.707	240.876
16	ibrido	0	171.987	0	79.943	0	16.471	268.401
17	arch.A	44.894	509.663	33.730	113.234	44.391	15.094	761.005
17	arch.B	215.476	509.663	32.414	153.085	135.539	15.273	1.061.449
17	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
17	diesel	0	352.400	0	216.466	0	54.731	623.597
17	metano	0	414.241	0	277.960	0	45.172	737.373
17	ibrido	0	521.607	0	242.553	0	44.061	808.221
18	arch.A	14.965	203.481	32.652	47.658	20.735	14.320	333.811

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
18	arch.B	215.476	203.481	48.442	92.064	135.539	13.190	708.192
18	arch.C	1.347.825	203.481	46.607	271.444	552.883	13.396	2.435.636
18	diesel	0	142.934	0	93.819	0	55.060	291.812
18	metano	0	172.274	0	123.570	0	39.415	335.259
18	ibrido	0	208.250	0	97.447	0	44.326	350.023
19	arch.A	29.929	411.704	68.439	96.716	32.563	30.211	669.564
19	arch.B	315.216	411.704	40.967	161.006	196.489	27.647	1.153.029
19	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
19	diesel	0	289.463	0	190.696	0	122.087	602.246
19	metano	0	349.375	0	251.504	0	82.950	683.829
19	ibrido	0	421.353	0	197.238	0	98.286	716.877
20	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
20	arch.B	315.216	286.388	26.382	138.630	196.489	33.667	996.773
20	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
20	diesel	0	205.786	0	147.284	0	137.340	490.409
20	metano	0	258.202	0	199.870	0	100.449	558.521
20	ibrido	0	293.100	0	138.407	0	110.565	542.072
21	arch.A	59.858	750.593	94.633	171.944	56.219	39.938	1.173.185
21	arch.B	315.216	750.593	46.336	231.726	196.489	38.228	1.578.588
21	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
21	diesel	0	523.724	0	334.435	0	135.478	993.637
21	metano	0	624.634	0	435.995	0	112.389	1.173.018
21	ibrido	0	768.184	0	358.502	0	109.067	1.235.753
22	arch.A	44.894	559.404	58.297	127.913	44.391	28.194	863.092
22	arch.B	315.216	559.404	39.223	189.922	196.489	27.492	1.327.746
22	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
22	diesel	0	390.108	0	248.543	0	103.529	742.180
22	metano	0	464.871	0	323.737	0	81.537	870.145
22	ibrido	0	572.513	0	267.127	0	83.346	922.986
23	arch.A	104.752	1.742.706	431.172	427.554	91.703	212.015	3.009.901
23	arch.B	303.130	1.892.096	125.920	465.911	253.264	174.177	3.214.497
23	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
23	diesel	0	1.241.868	0	862.020	0	634.321	2.738.210
23	metano	0	1.533.943	0	1.157.958	0	512.003	3.203.904
23	ibrido	0	1.783.546	0	839.404	0	510.661	3.133.611
24	arch.A	74.823	858.153	60.613	191.294	68.047	27.234	1.280.164
24	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
24	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
24	diesel	0	593.939	0	366.397	0	109.068	1.069.404
24	metano	0	699.272	0	471.286	0	81.688	1.252.247
24	ibrido	0	878.264	0	408.560	0	87.805	1.374.629
25	arch.A	74.823	763.150	21.650	163.258	68.047	3.788	1.094.716
25	arch.B	215.476	763.150	50.304	198.655	135.539	3.959	1.367.083
25	arch.C	1.953.516	912.540	242.113	513.964	730.447	4.021	4.356.601
25	diesel	0	521.918	0	305.132	0	17.936	844.986
25	metano	0	602.572	0	383.855	0	11.900	998.327

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
25	ibrido	0	781.035	0	361.626	0	14.439	1.157.100
26	arch.A	59.858	1.110.627	251.045	278.194	56.219	153.499	1.909.443
26	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
26	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
26	diesel	0	796.666	0	566.611	0	558.230	1.921.507
26	metano	0	995.903	0	767.338	0	376.901	2.140.142
26	ibrido	0	1.136.655	0	536.373	0	449.404	2.122.432
27	arch.A	149.646	2.759.024	623.722	690.307	127.187	372.738	4.722.623
27	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
27	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
27	diesel	0	1.978.364	0	1.405.214	0	1.367.607	4.751.185
27	metano	0	2.471.899	0	1.902.197	0	917.047	5.291.144
27	ibrido	0	2.823.682	0	1.332.264	0	1.100.994	5.256.939
28	arch.A	29.929	309.823	5.961	66.650	32.563	2.566	447.492
28	arch.B	215.476	309.823	20.965	108.728	135.539	2.699	793.230
28	arch.C	2.256.362	309.823	81.111	447.747	464.389	2.741	3.562.173
28	diesel	0	212.226	0	124.995	0	12.198	349.420
28	metano	0	245.673	0	157.741	0	8.112	411.526
28	ibrido	0	317.084	0	146.904	0	9.820	473.808
29	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
29	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
29	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
29	diesel	0	0	0	0	0	0	0
29	metano	0	0	0	0	0	0	0
29	ibrido	0	0	0	0	0	0	0
30	arch.A	29.929	398.487	59.995	92.815	32.563	26.019	639.808
30	arch.B	215.476	398.487	113.206	135.128	135.539	24.236	1.022.071
30	arch.C	1.044.979	398.487	92.721	261.195	535.069	24.615	2.357.064
30	diesel	0	279.442	0	182.172	0	117.642	579.257
30	metano	0	335.922	0	239.339	0	73.245	648.506
30	ibrido	0	407.825	0	190.708	0	94.708	693.241
31	arch.A	89.787	1.310.149	244.992	312.292	79.875	111.123	2.148.219
31	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
31	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
31	diesel	0	925.273	0	620.476	0	442.902	1.988.651
31	metano	0	1.124.503	0	823.567	0	297.224	2.245.295
31	ibrido	0	1.340.853	0	628.784	0	356.559	2.326.195
32	arch.A	14.965	169.168	30.405	37.532	20.735	4.936	277.741
32	arch.B	215.476	318.559	42.009	111.359	135.539	4.589	827.531
32	arch.C	439.287	318.559	82.039	131.248	357.504	4.661	1.333.298
32	diesel	0	116.921	0	71.692	0	22.040	210.653
32	metano	0	137.348	0	91.991	0	13.858	243.198
32	ibrido	0	173.133	0	80.496	0	17.743	271.372
33	arch.A	59.858	802.470	114.802	187.253	56.219	54.402	1.275.005
33	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
33	arch.C	0	0	0	0	0	0	0

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
33	diesel	0	563.052	0	367.889	0	188.113	1.119.053
33	metano	0	677.438	0	483.737	0	150.529	1.311.704
33	ibrido	0	821.276	0	384.131	0	151.440	1.356.848
34	arch.A	29.929	361.222	38.292	81.818	32.563	15.843	559.667
34	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
34	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
34	diesel	0	251.192	0	158.141	0	57.605	466.938
34	metano	0	297.991	0	205.044	0	45.828	548.863
34	ibrido	0	369.687	0	172.297	0	46.375	588.359
35	arch.A	149.646	2.827.151	653.723	710.412	127.187	401.475	4.869.595
35	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
35	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
35	diesel	0	2.030.011	0	1.449.148	0	1.467.233	4.946.392
35	metano	0	2.544.629	0	1.964.896	0	977.309	5.486.834
35	ibrido	0	2.893.406	0	1.365.922	0	1.181.198	5.440.525
36	arch.A	59.858	914.119	191.328	220.202	56.219	89.243	1.530.970
36	arch.B	315.216	914.119	86.770	280.096	196.489	77.289	1.869.980
36	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
36	diesel	0	647.693	0	439.889	0	354.674	1.442.255
36	metano	0	791.083	0	586.489	0	232.547	1.610.119
36	ibrido	0	935.542	0	439.290	0	285.531	1.660.363
37	arch.A	164.610	2.476.790	502.755	594.626	139.015	232.539	4.110.336
37	arch.B	219.386	2.476.790	212.897	574.847	197.044	203.094	3.884.059
37	arch.C	3.467.746	2.476.790	513.572	1.168.399	1.245.326	206.268	9.078.101
37	diesel	0	1.753.077	0	1.185.809	0	956.077	3.894.963
37	metano	0	2.137.778	0	1.578.760	0	612.293	4.328.831
37	ibrido	0	2.534.834	0	1.189.750	0	769.691	4.494.275
38	arch.A	419.008	7.225.727	1.494.998	1.785.440	340.091	874.031	12.139.290
38	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
38	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
38	diesel	0	5.160.717	0	3.612.460	0	3.525.822	12.299.000
38	metano	0	6.403.826	0	4.866.422	0	2.235.222	13.505.470
38	ibrido	0	7.395.063	0	3.483.547	0	2.838.467	13.717.080
39	arch.A	29.929	424.232	67.211	100.413	32.563	29.593	683.942
39	arch.B	215.476	424.232	65.434	142.605	135.539	27.151	1.010.437
39	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
39	diesel	0	298.960	0	198.775	0	115.370	613.105
39	metano	0	362.127	0	263.033	0	81.246	706.407
39	ibrido	0	434.174	0	203.427	0	92.879	730.480
40	arch.A	29.929	391.673	56.521	90.805	32.563	24.332	625.823
40	arch.B	299.789	391.673	43.887	110.781	248.532	22.833	1.117.495
40	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
40	diesel	0	274.277	0	177.778	0	86.482	538.538
40	metano	0	328.986	0	233.069	0	67.767	629.823
40	ibrido	0	400.852	0	187.342	0	69.623	657.816
41	arch.A	74.823	1.251.137	306.567	307.269	68.047	150.585	2.158.427

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
41	arch.B	200.049	1.251.137	137.759	298.561	187.582	123.841	2.198.929
41	arch.C	3.164.900	1.400.527	292.790	870.692	1.085.575	125.777	6.940.262
41	diesel	0	891.861	0	619.822	0	523.407	2.035.089
41	metano	0	1.103.669	0	832.954	0	370.365	2.306.987
41	ibrido	0	1.280.457	0	602.710	0	421.370	2.304.537
42	arch.A	44.894	701.067	153.684	169.719	44.391	72.642	1.186.397
42	arch.B	315.216	701.067	55.031	231.771	196.489	62.082	1.561.656
42	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
42	diesel	0	497.503	0	339.898	0	265.003	1.102.403
42	metano	0	609.901	0	454.111	0	185.772	1.249.784
42	ibrido	0	717.497	0	337.114	0	213.341	1.267.951
43	arch.A	29.929	324.982	14.151	71.124	32.563	6.211	478.960
43	arch.B	315.216	324.982	23.327	135.360	196.489	6.408	1.001.782
43	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
43	diesel	0	223.719	0	134.771	0	28.754	387.244
43	metano	0	261.103	0	171.692	0	19.248	452.044
43	ibrido	0	332.598	0	154.394	0	23.149	510.141
44	arch.A	29.929	364.873	40.930	82.896	32.563	17.034	568.225
44	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
44	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
44	diesel	0	253.960	0	160.496	0	56.478	470.934
44	metano	0	301.707	0	208.405	0	48.552	558.664
44	ibrido	0	373.424	0	174.102	0	45.468	592.993
45	arch.A	89.787	1.560.234	340.747	386.095	79.875	194.659	2.651.398
45	arch.B	215.476	1.560.234	183.782	419.603	135.539	162.841	2.677.475
45	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
45	diesel	0	1.114.862	0	781.749	0	701.033	2.597.644
45	metano	0	1.384.324	0	1.053.723	0	487.687	2.925.734
45	ibrido	0	1.596.798	0	752.336	0	564.368	2.913.501
46	arch.A	44.894	481.082	17.822	104.799	44.391	7.781	700.769
46	arch.B	215.476	481.082	31.210	144.650	135.539	8.070	1.016.027
46	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
46	diesel	0	330.733	0	198.035	0	34.969	563.737
46	metano	0	385.150	0	251.657	0	24.177	660.984
46	ibrido	0	492.357	0	228.433	0	28.152	748.942
47	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
47	arch.B	315.216	1.480.895	179.954	432.978	196.489	179.705	2.785.236
47	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
47	diesel	0	1.066.040	0	767.986	0	793.480	2.627.507
47	metano	0	1.340.837	0	1.044.402	0	539.132	2.924.371
47	ibrido	0	1.515.600	0	716.219	0	638.792	2.870.611
48	arch.A	29.929	341.888	23.307	76.113	32.563	10.449	514.249
48	arch.B	215.476	341.888	36.203	118.219	135.539	10.553	857.878
48	arch.C	1.044.979	341.888	82.916	244.492	393.132	10.718	2.118.125
48	diesel	0	236.535	0	145.673	0	45.086	427.294
48	metano	0	278.311	0	187.251	0	31.589	497.151

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
48	ibrido	0	349.900	0	162.746	0	36.297	548.943
49	arch.A	119.717	1.248.250	70.669	269.243	103.531	12.630	1.824.041
49	arch.B	303.130	1.248.250	85.241	275.801	244.357	12.923	2.169.703
49	arch.C	1.650.670	1.397.641	366.786	560.088	854.569	13.125	4.842.880
49	diesel	0	855.697	0	505.759	0	62.256	1.423.712
49	metano	0	991.811	0	639.210	0	39.028	1.670.049
49	ibrido	0	1.277.503	0	592.044	0	50.120	1.919.667
50	arch.A	29.929	345.913	25.887	77.300	32.563	11.648	523.241
50	arch.B	315.216	345.913	30.054	141.561	196.489	11.695	1.040.927
50	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
50	diesel	0	239.586	0	148.269	0	42.874	430.729
50	metano	0	282.408	0	190.955	0	34.623	507.986
50	ibrido	0	354.019	0	164.734	0	34.516	553.270
51	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
51	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
51	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
51	diesel	0	0	0	0	0	0	0
51	metano	0	0	0	0	0	0	0
51	ibrido	0	0	0	0	0	0	0
52	arch.A	119.717	2.202.080	508.536	550.729	103.531	301.622	3.786.214
52	arch.B	203.390	2.202.080	200.532	535.458	192.313	245.981	3.579.754
52	arch.C	3.467.746	2.351.470	439.524	1.160.651	1.103.390	249.825	8.772.606
52	diesel	0	1.578.795	0	1.120.858	0	1.120.428	3.820.080
52	metano	0	1.972.289	0	1.517.029	0	739.722	4.229.039
52	ibrido	0	2.253.686	0	1.063.272	0	902.002	4.218.960
53	arch.A	89.787	1.328.433	213.163	317.688	79.875	114.770	2.143.717
53	arch.B	200.049	1.328.433	213.294	306.895	187.582	104.459	2.340.712
53	arch.C	1.044.979	1.477.823	312.823	506.629	535.069	106.091	3.983.413
53	diesel	0	939.133	0	632.267	0	539.978	2.111.379
53	metano	0	1.143.114	0	840.394	0	317.374	2.300.883
53	ibrido	0	1.359.565	0	637.817	0	434.710	2.432.092
54	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
54	arch.B	299.789	1.502.802	161.978	395.061	248.532	185.551	2.793.713
54	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
54	diesel	0	1.082.648	0	782.114	0	789.999	2.654.760
54	metano	0	1.350.740	0	1.064.563	0	555.235	2.970.539
54	ibrido	0	1.538.020	0	727.042	0	635.990	2.901.052
55	arch.A	29.929	378.640	49.199	86.959	32.563	20.849	598.140
55	arch.B	215.476	378.640	38.642	129.089	135.539	19.875	917.261
55	arch.C	1.650.670	378.640	84.679	361.697	428.761	20.185	2.924.633
55	diesel	0	264.397	0	169.374	0	71.008	504.779
55	metano	0	315.721	0	221.075	0	58.666	595.461
55	ibrido	0	387.514	0	180.903	0	57.165	625.582
56	arch.A	239.433	3.257.492	529.813	763.063	198.155	232.801	5.220.756
56	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
56	arch.C	0	0	0	0	0	0	0

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
56	diesel	0	2.288.300	0	1.502.259	0	852.877	4.643.436
56	metano	0	2.758.214	0	1.978.766	0	637.053	5.374.034
56	ibrido	0	3.333.832	0	1.560.046	0	686.610	5.580.487
57	arch.A	29.929	312.213	7.258	67.355	32.563	3.134	452.453
57	arch.B	215.476	312.213	20.960	109.433	135.539	3.287	796.908
57	arch.C	2.559.208	312.213	81.201	501.632	482.203	3.338	3.939.795
57	diesel	0	214.038	0	126.537	0	14.665	355.240
57	metano	0	248.106	0	159.941	0	9.868	417.915
57	ibrido	0	319.530	0	148.085	0	11.806	479.422
58	arch.A	89.787	1.334.488	266.938	319.475	79.875	122.871	2.213.434
58	arch.B	215.476	1.334.488	102.937	352.727	135.539	107.833	2.248.998
58	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
58	diesel	0	943.724	0	636.172	0	442.325	2.022.221
58	metano	0	1.149.277	0	845.967	0	321.864	2.317.108
58	ibrido	0	1.365.762	0	640.808	0	356.094	2.362.664
59	arch.A	344.185	5.453.328	1.033.398	1.324.341	280.951	559.965	8.996.168
59	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
59	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
59	diesel	0	3.873.687	0	2.656.491	0	2.366.964	8.897.142
59	metano	0	4.755.795	0	3.553.745	0	1.481.855	9.791.395
59	ibrido	0	5.581.128	0	2.623.315	0	1.905.527	10.109.970
60	arch.A	59.858	789.507	116.265	183.427	56.219	50.223	1.255.499
60	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
60	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
60	diesel	0	553.224	0	359.529	0	203.908	1.116.661
60	metano	0	664.243	0	471.807	0	140.736	1.276.786
60	ibrido	0	808.009	0	377.727	0	164.156	1.349.892
61	arch.A	74.823	1.348.231	297.423	335.922	68.047	177.077	2.301.523
61	arch.B	200.049	1.348.231	224.795	327.438	187.582	146.631	2.434.725
61	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
61	diesel	0	965.468	0	682.435	0	682.354	2.330.257
61	metano	0	1.204.109	0	922.310	0	441.693	2.568.113
61	ibrido	0	1.379.827	0	650.678	0	549.330	2.579.835
62	arch.A	14.965	163.621	7.696	35.895	20.735	3.388	246.299
62	arch.B	215.476	163.621	19.476	80.226	135.539	3.485	617.823
62	arch.C	439.287	163.621	40.909	100.143	357.504	3.539	1.105.002
62	diesel	0	112.716	0	68.114	0	15.371	196.201
62	metano	0	131.701	0	86.886	0	10.454	229.041
62	ibrido	0	167.455	0	77.755	0	12.374	257.584
63	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
63	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
63	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
63	diesel	0	0	0	0	0	0	0
63	metano	0	0	0	0	0	0	0
63	ibrido	0	0	0	0	0	0	0
64	arch.A	89.787	1.529.043	393.408	376.891	79.875	196.316	2.665.320

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
64	arch.B	215.476	1.529.043	134.257	410.229	135.539	158.922	2.583.465
64	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
64	diesel	0	1.091.216	0	761.635	0	534.848	2.387.699
64	metano	0	1.352.576	0	1.025.018	0	464.789	2.842.383
64	ibrido	0	1.564.877	0	736.926	0	430.580	2.732.383
65	arch.A	29.929	322.193	13.231	70.300	32.563	5.795	474.012
65	arch.B	115.736	322.193	23.175	90.220	74.589	5.991	631.903
65	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
65	diesel	0	221.604	0	132.972	0	16.064	370.641
65	metano	0	258.264	0	169.125	0	17.199	444.589
65	ibrido	0	329.743	0	153.016	0	12.933	495.692
66	arch.A	149.646	2.479.936	525.484	607.945	127.187	284.477	4.174.675
66	arch.B	219.386	2.479.936	207.348	590.373	197.044	241.881	3.935.968
66	arch.C	1.650.670	2.479.936	438.758	864.868	712.633	245.661	6.392.526
66	diesel	0	1.766.787	0	1.225.238	0	1.039.227	4.031.252
66	metano	0	2.181.531	0	1.645.350	0	724.310	4.551.191
66	ibrido	0	2.538.054	0	1.194.384	0	836.631	4.569.068
67	arch.A	119.717	1.773.906	292.256	424.370	103.531	154.149	2.867.928
67	arch.B	203.390	1.773.906	275.227	409.230	192.313	139.720	2.993.785
67	arch.C	1.650.670	1.923.296	422.965	715.215	854.569	141.903	5.708.619
67	diesel	0	1.254.196	0	844.740	0	734.579	2.833.514
67	metano	0	1.526.862	0	1.122.976	0	425.154	3.074.991
67	ibrido	0	1.815.478	0	851.738	0	591.374	3.258.589
68	arch.A	59.858	733.594	54.469	166.927	56.219	33.403	1.104.470
68	arch.B	0	0	0	0	0	0	0
68	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
68	diesel	0	510.837	0	323.473	0	140.325	974.635
68	metano	0	607.331	0	420.350	0	99.931	1.127.612
68	ibrido	0	750.786	0	350.104	0	112.969	1.213.859
69	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
69	arch.B	219.386	3.368.230	258.681	837.949	197.044	421.960	5.303.250
69	arch.C	4.981.976	3.517.620	622.004	1.726.839	1.334.396	428.554	12.611.390
69	diesel	0	2.428.878	0	1.760.674	0	1.886.725	6.076.277
69	metano	0	3.034.804	0	2.399.160	0	1.267.147	6.701.112
69	ibrido	0	3.447.165	0	1.630.155	0	1.518.910	6.596.230
70	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
70	arch.B	215.476	1.797.556	267.133	489.824	135.539	220.646	3.126.173
70	arch.C	3.467.746	1.797.556	325.078	1.041.040	961.453	224.094	7.816.968
70	diesel	0	1.294.776	0	934.792	0	973.370	3.202.938
70	metano	0	1.614.979	0	1.272.134	0	662.015	3.549.127
70	ibrido	0	1.839.682	0	869.582	0	783.613	3.492.877
71	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
71	arch.B	215.476	984.239	142.318	278.755	135.539	96.074	1.852.400
71	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
71	diesel	0	598.923	0	426.170	0	372.226	1.397.319
71	metano	0	749.855	0	577.232	0	284.039	1.611.126

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
71	ibrido	0	854.414	0	403.208	0	299.661	1.557.282
72	arch.A	29.929	311.613	6.950	67.178	32.563	2.999	451.233
72	arch.B	215.476	311.613	20.907	109.256	135.539	3.147	795.937
72	arch.C	2.559.208	311.613	81.180	501.455	624.139	3.196	4.080.792
72	diesel	0	213.583	0	126.150	0	12.759	352.492
72	metano	0	247.495	0	159.389	0	9.385	416.268
72	ibrido	0	318.916	0	147.789	0	10.271	476.976
73	arch.A	164.610	3.008.437	675.428	751.520	139.015	404.426	5.143.435
73	arch.B	319.126	3.008.437	227.102	753.906	257.995	332.489	4.899.055
73	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
73	diesel	0	2.156.118	0	1.528.654	0	1.575.038	5.259.810
73	metano	0	2.692.126	0	2.068.039	0	1.002.848	5.763.014
73	ibrido	0	3.078.940	0	1.452.403	0	1.267.986	5.799.330
74	arch.A	44.894	685.298	143.633	165.066	44.391	67.008	1.150.290
74	arch.B	215.476	685.298	130.776	205.176	135.539	58.022	1.430.288
74	arch.C	2.862.054	685.298	154.593	650.295	1.067.761	58.929	5.478.931
74	diesel	0	485.549	0	329.729	0	257.899	1.073.177
74	metano	0	593.016	0	439.599	0	174.168	1.206.783
74	ibrido	0	701.358	0	329.324	0	207.622	1.238.304
75	arch.A	0	0	0	0	0	0	0
75	arch.B	215.476	843.345	106.217	251.734	135.539	99.205	1.651.516
75	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
75	diesel	0	605.364	0	431.649	0	340.085	1.377.097
75	metano	0	758.502	0	585.051	0	290.299	1.633.851
75	ibrido	0	863.109	0	407.405	0	273.786	1.544.299
76	arch.A	194.539	3.129.814	611.087	762.558	162.671	331.904	5.192.574
76	arch.B	319.126	3.129.814	346.801	760.739	249.088	288.386	5.093.954
76	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
76	diesel	0	2.225.484	0	1.532.125	0	1.418.384	5.175.994
76	metano	0	2.740.206	0	2.052.351	0	872.523	5.665.081
76	ibrido	0	3.203.162	0	1.506.209	0	1.141.872	5.851.243
77	arch.A	89.787	1.603.734	323.920	398.933	79.875	205.009	2.701.258
77	arch.B	200.049	1.603.734	200.313	388.131	187.582	173.349	2.753.158
77	arch.C	2.256.362	1.603.734	299.410	771.122	748.261	176.058	5.854.947
77	diesel	0	1.147.839	0	809.801	0	757.848	2.715.488
77	metano	0	1.430.535	0	1.093.756	0	519.657	3.043.949
77	ibrido	0	1.641.317	0	773.826	0	610.106	3.025.249
78	arch.A	104.752	1.675.302	302.892	407.662	91.703	173.656	2.755.967
78	arch.B	200.049	1.675.302	202.948	394.590	187.582	153.148	2.813.618
78	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
78	diesel	0	1.190.770	0	818.553	0	736.599	2.745.922
78	metano	0	1.463.288	0	1.095.925	0	462.483	3.021.697
78	ibrido	0	1.714.563	0	806.104	0	593.000	3.113.667
79	arch.A	14.965	157.046	4.163	33.955	20.735	1.802	232.666
79	arch.B	315.216	157.046	10.444	100.418	196.489	1.885	781.498
79	arch.C	1.347.825	157.046	40.519	257.741	410.947	1.914	2.215.991

linea	tecnologia	Investimenti netti stazioni ricarica	Investimenti netti bus	Investimenti netti accumulo	costi manutenzione	costo allacci e potenza impegnata	costo energia	totale costi interni
79	diesel	0	107.731	0	63.874	0	6.894	178.500
79	metano	0	125.009	0	80.835	0	5.582	211.427
79	ibrido	0	160.726	0	74.507	0	5.550	240.783
80	arch.A	89.787	1.443.350	270.162	351.601	79.875	151.633	2.386.409
80	arch.B	200.049	1.443.350	227.551	340.883	187.582	132.790	2.532.205
80	arch.C	1.953.516	1.443.350	301.525	670.612	872.383	134.865	5.376.251
80	diesel	0	1.026.252	0	706.374	0	655.179	2.387.805
80	metano	0	1.263.509	0	946.153	0	401.815	2.611.478
80	ibrido	0	1.477.175	0	694.590	0	527.453	2.699.218
81	arch.A	59.858	868.193	165.517	206.649	56.219	75.242	1.431.678
81	arch.B	200.049	868.193	105.527	200.123	187.582	66.863	1.628.337
81	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
81	diesel	0	612.876	0	410.272	0	258.647	1.281.795
81	metano	0	744.335	0	544.223	0	198.808	1.487.366
81	ibrido	0	888.539	0	416.601	0	208.224	1.513.364
82	arch.A	74.823	1.113.354	221.218	266.607	68.047	101.726	1.845.774
82	arch.B	215.476	1.113.354	148.097	302.219	135.539	89.363	2.004.048
82	arch.C	2.559.208	1.262.744	272.798	723.672	908.011	90.760	5.817.193
82	diesel	0	787.407	0	530.969	0	415.507	1.733.884
82	metano	0	959.035	0	706.151	0	269.155	1.934.340
82	ibrido	0	1.139.445	0	534.640	0	334.505	2.008.590
83	arch.A	74.823	1.319.247	278.597	327.369	68.047	166.425	2.234.508
83	arch.B	200.049	1.319.247	192.790	318.809	187.582	139.792	2.358.268
83	arch.C	1.650.670	1.468.637	285.051	624.895	712.633	141.977	4.883.863
83	diesel	0	943.495	0	663.744	0	637.383	2.244.623
83	metano	0	1.174.608	0	895.637	0	420.414	2.490.659
83	ibrido	0	1.350.164	0	636.359	0	513.126	2.499.649
84	arch.A	44.894	704.378	154.691	170.696	44.391	73.214	1.192.265
84	arch.B	200.049	704.378	172.331	166.583	187.582	62.489	1.493.412
84	arch.C	1.650.670	853.768	203.513	472.677	854.569	63.466	4.098.663
84	diesel	0	500.014	0	342.033	0	290.476	1.132.522
84	metano	0	613.272	0	457.159	0	188.205	1.258.636
84	ibrido	0	720.886	0	338.750	0	233.848	1.293.483
85	arch.A	134.681	2.169.562	428.754	528.741	115.359	231.165	3.608.262
85	arch.B	418.866	2.169.562	232.294	557.817	310.038	200.354	3.888.931
85	arch.C	0	0	0	0	0	0	0
85	diesel	0	1.542.818	0	1.062.487	0	982.788	3.588.092
85	metano	0	1.899.882	0	1.423.406	0	606.046	3.929.334
85	ibrido	0	2.220.406	0	1.044.127	0	791.194	4.055.727

Risultati analisi costi esterni sistemi elettrici per le singole linee di Firenze

Tabella 64: Risultati costi esterni

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
1	arch.A	-	52.626	18.200	70.827
1	diesel	75.019	87.711	7.827	170.556

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
1	metano	139.606	87.711	5.843	233.160
1	ibrido	45.011	76.308	6.301	127.620
2	arch.A	-	14.838	5.718	20.556
2	diesel	21.535	24.730	2.301	48.566
2	metano	45.625	24.730	1.910	72.265
2	ibrido	12.921	21.515	1.852	36.288
3	arch.A	-	686.608	282.041	968.649
3	diesel	1.373.976	1.144.347	135.841	2.654.164
3	metano	1.986.736	1.144.347	83.153	3.214.235
3	ibrido	824.385	995.582	109.359	1.929.326
4	arch.A	-	153.717	64.666	218.383
4	diesel	295.227	256.195	29.481	580.903
4	metano	454.209	256.195	19.010	729.414
4	ibrido	177.136	222.890	23.734	423.760
5	arch.A	-	55.854	19.738	75.593
5	diesel	89.083	93.091	9.191	191.365
5	metano	159.159	93.091	6.661	258.911
5	ibrido	53.450	80.989	7.399	141.838
6	arch.B	-	111.787	40.974	152.761
6	diesel	196.569	186.311	20.223	403.103
6	metano	341.617	186.311	14.298	542.226
6	ibrido	117.941	162.091	16.281	296.313
7	arch.B	-	299.690	99.351	399.041
7	diesel	554.227	499.483	55.358	1.109.067
7	metano	835.786	499.483	34.981	1.370.250
7	ibrido	332.536	434.550	44.566	811.652
8	arch.A	-	43.745	17.190	60.934
8	diesel	82.887	72.908	8.366	164.161
8	metano	129.424	72.908	5.417	207.749
8	ibrido	49.732	63.430	6.735	119.897
9	arch.B	-	31.275	10.589	41.863
9	diesel	44.576	52.125	4.690	101.391
9	metano	87.528	52.125	3.663	143.316
9	ibrido	26.746	45.349	3.776	75.870
10	arch.A	-	83.219	35.779	118.998
10	diesel	157.285	138.699	15.904	311.888
10	metano	248.305	138.699	10.393	397.396
10	ibrido	94.371	120.668	12.804	227.843
11	arch.A	-	99.381	35.986	135.367
11	diesel	129.127	165.634	13.754	308.516
11	metano	276.274	165.634	11.563	453.472
11	ibrido	77.476	144.102	11.073	232.651
12	arch.A	-	1.929	582	2.511
12	diesel	3.127	3.215	319	6.661
12	metano	5.100	3.215	213	8.528
12	ibrido	1.876	2.797	257	4.930
13	arch.A	-	-	-	-

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
13	diesel	-	-	-	-
13	metano	-	-	-	-
13	ibrido	-	-	-	-
14	arch.B	-	158.896	63.703	222.599
14	diesel	358.749	264.827	35.794	659.370
14	metano	536.208	264.827	22.442	823.477
14	ibrido	215.250	230.399	28.816	474.465
15	arch.B	-	82.036	29.195	111.231
15	diesel	165.808	136.726	16.564	319.099
15	metano	245.909	136.726	10.292	392.928
15	ibrido	99.485	118.952	13.335	231.772
16	arch.A	-	4.713	1.459	6.173
16	diesel	7.999	7.856	804	16.659
16	metano	12.461	7.856	522	20.838
16	ibrido	4.799	6.834	648	12.282
17	arch.A	-	15.455	4.910	20.366
17	diesel	20.387	25.759	2.152	48.299
17	metano	41.068	25.759	1.719	68.546
17	ibrido	12.232	22.410	1.732	36.375
18	arch.A	-	12.515	4.658	17.173
18	diesel	21.028	20.858	2.165	44.051
18	metano	35.833	20.858	1.500	58.191
18	ibrido	12.617	18.147	1.743	32.506
19	arch.A	-	26.618	9.828	36.446
19	diesel	47.296	44.363	4.800	96.459
19	metano	75.412	44.363	3.156	122.931
19	ibrido	28.378	38.596	3.864	70.838
20	arch.B	-	33.032	10.952	43.984
20	diesel	52.324	55.053	5.400	112.777
20	metano	91.321	55.053	3.822	150.197
20	ibrido	31.394	47.897	4.347	83.638
21	arch.A	-	36.583	12.992	49.575
21	diesel	50.623	60.972	5.327	116.922
21	metano	102.177	60.972	4.276	167.425
21	ibrido	30.374	53.046	4.288	87.708
22	arch.A	-	28.070	9.172	37.241
22	diesel	38.894	46.783	4.071	89.747
22	metano	74.128	46.783	3.103	124.013
22	ibrido	23.336	40.701	3.277	67.314
23	arch.A	-	151.642	68.968	220.610
23	diesel	240.369	252.736	24.940	518.045
23	metano	465.478	252.736	19.482	737.696
23	ibrido	144.221	219.880	20.078	384.180
24	arch.A	-	27.681	8.859	36.540
24	diesel	41.414	46.134	4.288	91.837
24	metano	74.265	46.134	3.108	123.508
24	ibrido	24.848	40.137	3.452	68.438

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
25	arch.A	-	4.092	1.232	5.325
25	diesel	7.001	6.821	705	14.526
25	metano	10.819	6.821	453	18.092
25	ibrido	4.200	5.934	568	10.702
26	arch.A	-	89.169	49.933	139.102
26	diesel	216.859	148.615	21.949	387.423
26	metano	342.652	148.615	14.341	505.609
26	ibrido	130.115	129.295	17.670	277.080
27	arch.A	-	377.021	121.252	498.273
27	diesel	533.543	628.369	53.772	1.215.684
27	metano	833.715	628.369	34.894	1.496.978
27	ibrido	320.126	546.681	43.289	910.096
28	arch.A	-	2.790	835	3.624
28	diesel	4.749	4.649	480	9.878
28	metano	7.375	4.649	309	12.333
28	ibrido	2.850	4.045	386	7.281
29	arch.A	-	-	-	-
29	diesel	-	-	-	-
29	metano	-	-	-	-
29	ibrido	-	-	-	-
30	arch.A	-	22.186	8.464	30.650
30	diesel	46.957	36.976	4.625	88.558
30	metano	66.590	36.976	2.787	106.353
30	ibrido	28.174	32.169	3.724	64.067
31	arch.A	-	101.820	36.148	137.968
31	diesel	173.461	169.700	17.414	360.575
31	metano	270.215	169.700	11.310	451.224
31	ibrido	104.077	147.639	14.019	265.734
32	arch.A	-	4.996	1.606	6.602
32	diesel	8.757	8.327	867	17.950
32	metano	12.599	8.327	527	21.453
32	ibrido	5.254	7.245	698	13.196
33	arch.A	-	47.841	17.697	65.538
33	diesel	70.730	79.734	7.396	157.861
33	metano	136.850	79.734	5.728	222.312
33	ibrido	42.438	69.369	5.954	117.761
34	arch.A	-	15.478	5.154	20.631
34	diesel	21.628	25.796	2.265	49.689
34	metano	41.664	25.796	1.744	69.203
34	ibrido	12.977	22.442	1.823	37.242
35	arch.A	-	319.652	130.600	450.252
35	diesel	574.570	532.753	57.689	1.165.012
35	metano	888.501	532.753	37.187	1.458.442
35	ibrido	344.742	463.495	46.443	854.680
36	arch.A	-	72.569	29.031	101.600
36	diesel	139.205	120.948	13.945	274.098
36	metano	211.415	120.948	8.849	341.212

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
36	ibrido	83.523	105.225	11.227	199.974
37	arch.B	-	186.875	66.067	252.941
37	diesel	378.177	311.458	37.591	727.226
37	metano	556.654	311.458	23.298	891.410
37	ibrido	226.906	270.968	30.263	528.138
38	arch.A	-	658.113	284.323	942.435
38	diesel	1.400.449	1.096.854	138.629	2.635.932
38	metano	2.032.108	1.096.854	85.052	3.214.013
38	ibrido	840.269	954.263	111.604	1.906.136
39	arch.A	-	30.543	9.627	40.169
39	diesel	44.481	50.904	4.536	99.921
39	metano	73.863	50.904	3.091	127.859
39	ibrido	26.689	44.287	3.652	74.627
40	arch.A	-	22.726	7.915	30.641
40	diesel	32.478	37.877	3.400	73.755
40	metano	61.609	37.877	2.579	102.065
40	ibrido	19.487	32.953	2.737	55.177
41	arch.A	-	118.073	48.985	167.059
41	diesel	200.872	196.789	20.579	418.240
41	metano	336.710	196.789	14.093	547.591
41	ibrido	120.523	171.206	16.568	308.297
42	arch.A	-	61.541	23.631	85.172
42	diesel	102.343	102.569	10.419	215.331
42	metano	168.891	102.569	7.069	278.528
42	ibrido	61.406	89.235	8.388	159.029
43	arch.A	-	6.619	2.020	8.640
43	diesel	11.208	11.032	1.131	23.371
43	metano	17.499	11.032	732	29.263
43	ibrido	6.725	9.598	910	17.233
44	arch.A	-	15.713	5.541	21.254
44	diesel	20.843	26.188	2.221	49.252
44	metano	44.140	26.188	1.847	72.176
44	ibrido	12.506	22.784	1.788	37.077
45	arch.A	-	151.869	63.323	215.191
45	diesel	272.845	253.114	27.563	553.522
45	metano	443.371	253.114	18.557	715.042
45	ibrido	163.707	220.210	22.190	406.106
46	arch.A	-	8.314	2.531	10.845
46	diesel	13.541	13.857	1.375	28.773
46	metano	21.980	13.857	920	36.757
46	ibrido	8.125	12.055	1.107	21.287
47	arch.B	-	148.421	58.458	206.879
47	diesel	309.435	247.369	31.198	588.002
47	metano	490.141	247.369	20.514	758.024
47	ibrido	185.661	215.211	25.116	425.988
48	arch.A	-	10.890	3.399	14.289
48	diesel	17.290	18.149	1.773	37.212

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
48	metano	28.719	18.149	1.202	48.070
48	ibrido	10.374	15.790	1.427	27.591
49	arch.A	-	13.421	4.109	17.530
49	diesel	24.712	22.369	2.448	49.529
49	metano	35.481	22.369	1.485	59.335
49	ibrido	14.827	19.461	1.971	36.259
50	arch.A	-	11.906	3.789	15.696
50	diesel	16.048	19.844	1.686	37.578
50	metano	31.477	19.844	1.317	52.638
50	ibrido	9.629	17.264	1.357	28.251
51	arch.A	-	-	-	-
51	diesel	-	-	-	-
51	metano	-	-	-	-
51	ibrido	-	-	-	-
52	arch.B	-	239.858	80.018	319.876
52	diesel	438.973	399.764	44.053	882.790
52	metano	672.503	399.764	28.147	1.100.414
52	ibrido	263.384	347.795	35.465	646.644
53	arch.A	-	101.665	37.335	139.000
53	diesel	220.248	169.442	21.231	410.921
53	metano	288.535	169.442	12.076	470.053
53	ibrido	132.149	147.414	17.092	296.655
54	arch.B	-	185.515	60.360	245.875
54	diesel	305.243	309.191	31.061	645.495
54	metano	504.781	309.191	21.127	835.099
54	ibrido	183.146	268.996	25.006	477.148
55	arch.A	-	19.432	6.782	26.214
55	diesel	26.328	32.386	2.792	61.506
55	metano	53.335	32.386	2.232	87.953
55	ibrido	15.797	28.176	2.248	46.220
56	arch.A	-	199.019	75.730	274.749
56	diesel	325.285	331.699	33.534	690.517
56	metano	579.165	331.699	24.240	935.104
56	ibrido	195.171	288.578	26.996	510.745
57	arch.A	-	3.393	1.020	4.413
57	diesel	5.719	5.656	577	11.951
57	metano	8.971	5.656	375	15.002
57	ibrido	3.431	4.920	464	8.816
58	arch.A	-	100.088	39.970	140.058
58	diesel	168.966	166.814	17.391	353.171
58	metano	292.617	166.814	12.247	471.677
58	ibrido	101.380	145.128	14.001	260.509
59	arch.A	-	400.503	182.157	582.660
59	diesel	942.623	667.505	93.065	1.703.194
59	metano	1.347.200	667.505	56.386	2.071.090
59	ibrido	565.574	580.730	74.922	1.221.226
60	arch.A	-	44.152	16.337	60.489

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
60	diesel	78.812	73.586	8.017	160.416
60	metano	127.947	73.586	5.355	206.888
60	ibrido	47.287	64.020	6.454	117.762
61	arch.A	-	142.852	57.603	200.455
61	diesel	269.056	238.086	26.829	533.972
61	metano	401.557	238.086	16.807	656.450
61	ibrido	161.434	207.135	21.599	390.168
62	arch.A	-	3.595	1.102	4.697
62	diesel	5.932	5.991	604	12.528
62	metano	9.504	5.991	398	15.893
62	ibrido	3.559	5.213	487	9.258
63	arch.A	-	-	-	-
63	diesel	-	-	-	-
63	metano	-	-	-	-
63	ibrido	-	-	-	-
64	arch.B	-	145.900	51.697	197.597
64	diesel	197.870	243.166	21.029	462.066
64	metano	422.554	243.166	17.686	683.406
64	ibrido	118.722	211.555	16.930	347.206
65	arch.A	-	5.914	1.885	7.800
65	diesel	5.684	9.857	632	16.173
65	metano	15.636	9.857	654	26.148
65	ibrido	3.410	8.576	508	12.495
66	arch.B	-	225.890	78.684	304.574
66	diesel	401.794	376.483	40.861	819.138
66	metano	658.492	376.483	27.560	1.062.536
66	ibrido	241.077	327.540	32.895	601.512
67	arch.A	-	135.467	50.145	185.612
67	diesel	301.671	225.779	28.882	556.332
67	metano	386.520	225.779	16.177	628.476
67	ibrido	181.003	196.428	23.252	400.682
68	arch.A	-	33.160	10.866	44.026
68	diesel	53.800	55.266	5.517	114.584
68	metano	90.850	55.266	3.802	149.919
68	ibrido	32.280	48.082	4.442	84.804
69	arch.B	-	405.341	137.264	542.605
69	diesel	736.601	675.569	74.183	1.486.353
69	metano	1.152.002	675.569	48.216	1.875.787
69	ibrido	441.961	587.745	59.721	1.089.426
70	arch.B	-	209.318	71.776	281.094
70	diesel	380.340	348.863	38.271	767.474
70	metano	601.858	348.863	25.190	975.911
70	ibrido	228.204	303.511	30.810	562.525
71	arch.B	-	90.162	31.253	121.415
71	diesel	142.162	150.270	14.635	307.068
71	metano	258.229	150.270	10.808	419.307
71	ibrido	85.297	130.735	11.782	227.814

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
72	arch.A	-	3.242	976	4.217
72	diesel	4.862	5.403	502	10.766
72	metano	8.532	5.403	357	14.292
72	ibrido	2.917	4.700	404	8.021
73	arch.B	-	435.413	108.159	543.572
73	diesel	623.781	725.689	61.928	1.411.397
73	metano	911.720	725.689	38.159	1.675.568
73	ibrido	374.268	631.349	49.855	1.055.473
74	arch.A	-	57.551	21.798	79.349
74	diesel	100.209	95.918	10.140	206.268
74	metano	158.342	95.918	6.627	260.887
74	ibrido	60.126	83.449	8.163	151.738
75	arch.B	-	92.002	32.271	124.274
75	diesel	126.660	153.337	13.372	293.368
75	metano	263.919	153.337	11.046	428.303
75	ibrido	75.996	133.403	10.765	220.164
76	arch.B	-	266.832	93.812	360.644
76	diesel	569.135	444.721	55.768	1.069.624
76	metano	793.237	444.721	33.200	1.271.157
76	ibrido	341.481	386.907	44.896	773.284
77	arch.A	-	164.691	66.690	231.381
77	diesel	295.490	274.486	29.797	599.773
77	metano	472.436	274.486	19.773	766.695
77	ibrido	177.294	238.802	23.988	440.085
78	arch.A	-	150.611	56.490	207.101
78	diesel	293.003	251.018	28.962	572.983
78	metano	420.458	251.018	17.598	689.073
78	ibrido	175.802	218.385	23.316	417.503
79	arch.A	-	1.934	586	2.520
79	diesel	2.565	3.223	271	6.059
79	metano	5.075	3.223	212	8.511
79	ibrido	1.539	2.804	218	4.561
80	arch.A	-	128.942	49.326	178.268
80	diesel	262.243	214.903	25.761	502.906
80	metano	365.302	214.903	15.289	595.495
80	ibrido	157.346	186.966	20.739	365.050
81	arch.A	-	66.605	24.476	91.082
81	diesel	97.614	111.009	10.170	218.792
81	metano	180.742	111.009	7.565	299.316
81	ibrido	58.568	96.578	8.187	163.333
82	arch.A	-	82.688	33.091	115.779
82	diesel	163.534	137.813	16.337	317.684
82	metano	244.697	137.813	10.242	392.751
82	ibrido	98.120	119.897	13.152	231.170
83	arch.A	-	128.947	54.138	183.085
83	diesel	250.245	214.911	25.061	490.217
83	metano	382.212	214.911	15.997	613.120

linea	tecnologia	costo emissioni	costo rumore	PTT	totale costi esterni
83	ibrido	150.147	186.973	20.175	357.295
84	arch.A	-	59.459	23.817	83.275
84	diesel	114.194	99.098	11.421	224.713
84	metano	171.103	99.098	7.161	277.362
84	ibrido	68.516	86.215	9.194	163.926
85	arch.A	-	194.909	75.198	270.107
85	diesel	394.201	324.849	38.642	757.691
85	metano	550.975	324.849	23.060	898.884
85	ibrido	236.521	282.619	31.108	550.248