

The ENEA logo features the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font. To the left of the text is a stylized graphic of a sun or starburst with a bright yellow and orange center and a blue, radiating outer edge.

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

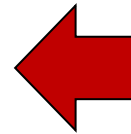
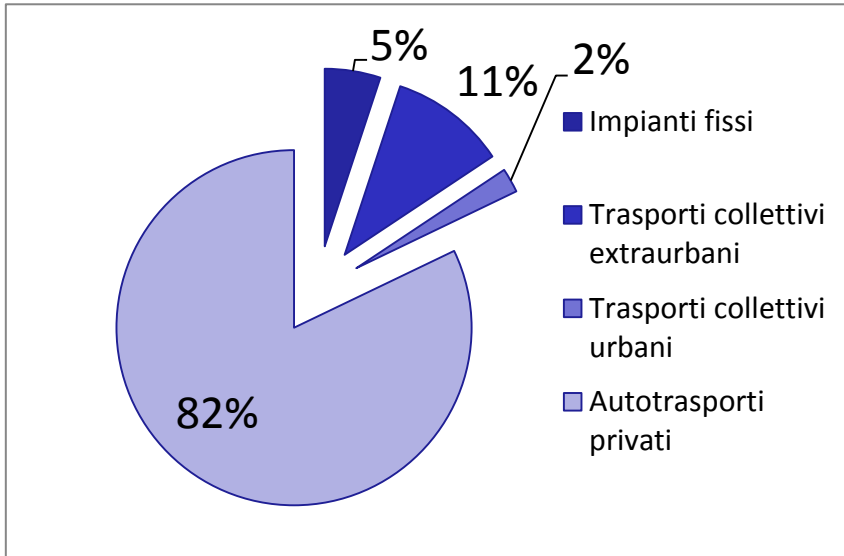


ELETTRIFICAZIONE DEL TPL in diversi contesti urbani

Maria Pia Valentini

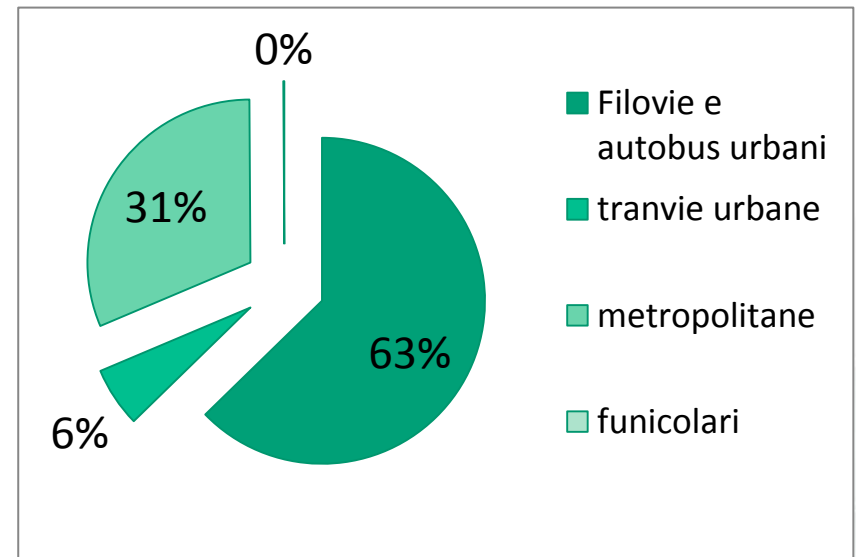
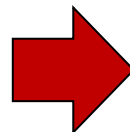
CCSE) RdS RICERCA di SISTEMA

Il TPL in Italia (1/2)



In Italia, il trasporto collettivo copre poco meno il 18% della mobilità passeggeri (2011)

Composizione modale del TPL urbano, 2011 (% su pax-km)



Il TPL in Italia (2/2)

Il parco autobus urbano (dati 2011)

- Consistenza: 18.000 veicoli
- Alimentazione: 86% gasolio, metano o GPL 11% elettrici 2%, ibridi 0,6%
- Anzianità media 13 anni, 60% dei mezzi 10+ anni

	2006	2007	2008	2009	2010
Diesel	89.68	88.62	88.4	87.93	87.63
Methane	6.82	8.37	8.77	9.22	9.53
LPG	0.21	0.39	0.36	0.37	0.23
Hybrid	1.24	0.74	0.66	0.66	0.57
Electric	0.98	1.11	1.18	1.18	1.79
Others	1.07	0.77	0.63	0.65	0.24

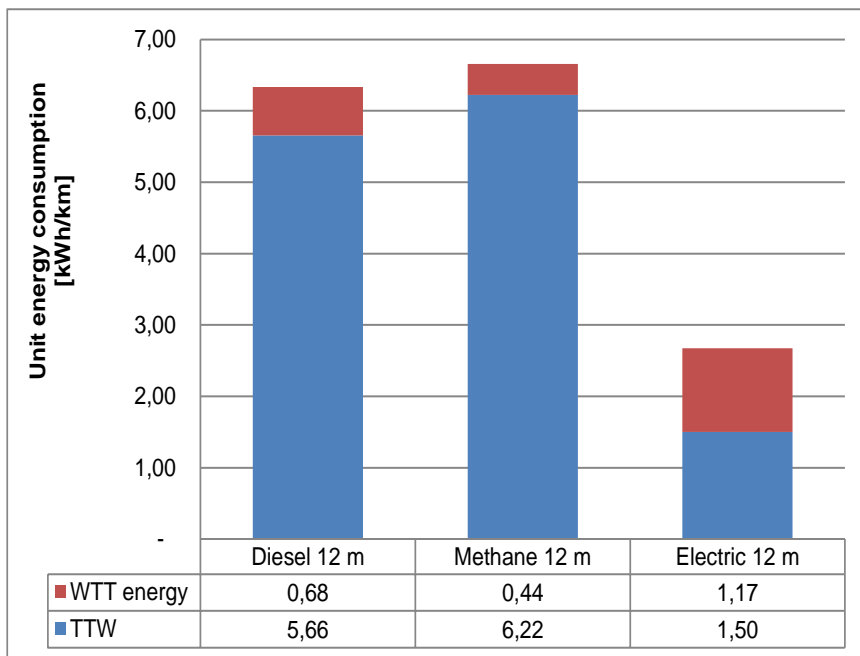


Necessario investire mentre, al contrario, negli ultimi anni si è registrata una flessione nell'allocazione delle risorse pubbliche destinate al settore.

Trasferimento modale da trasporto individuale a trasporto collettivo, uno dei principali obiettivi nel medio termine per migliorare il livello di sostenibilità della mobilità urbana.

Secondo la Direttiva comunitaria 33/2009 l'acquisto di veicoli per flotte pubbliche deve essere supportato da un'analisi costi/benefici comparativa fra le diverse opzioni tecnologiche che tenga in considerazione anche i costi energetici ed ambientali lungo tutto il ciclo di vita del veicolo e delle fonte energetica relativa

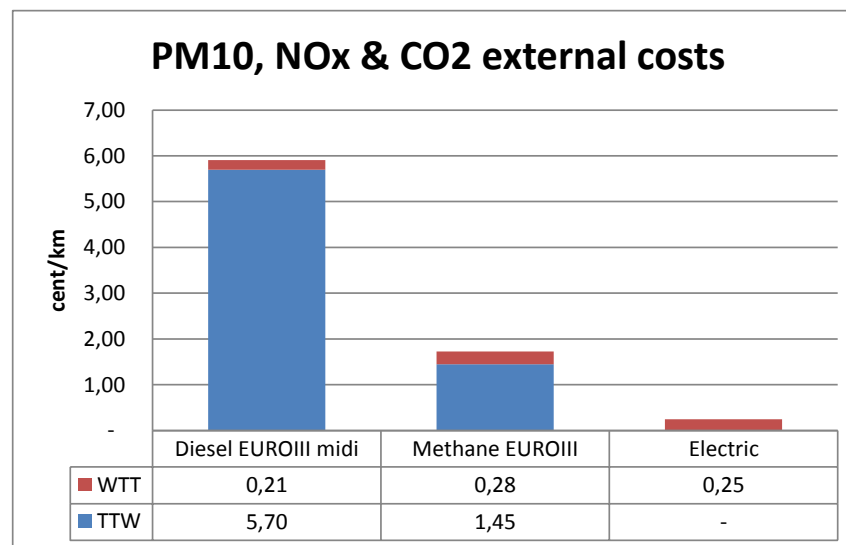
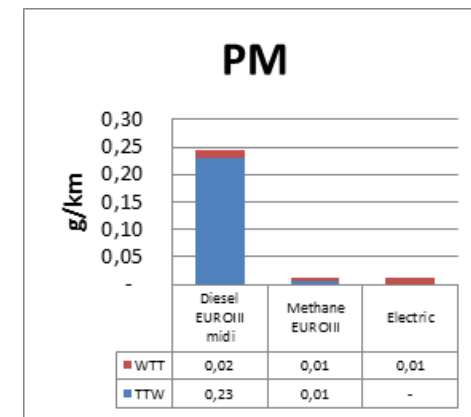
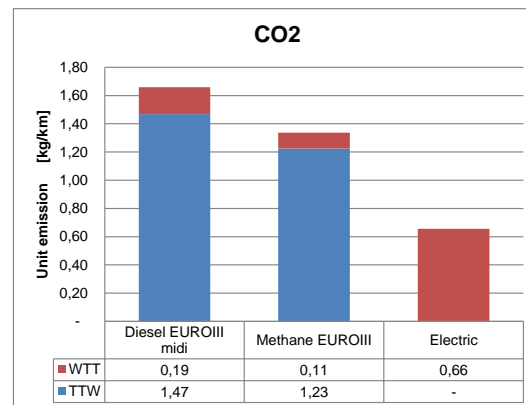
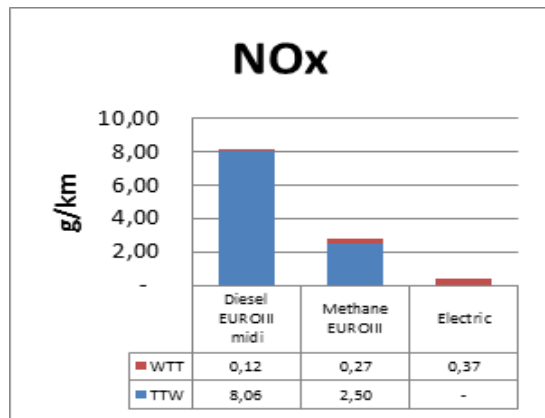
Confronto prestazioni nominali: energia



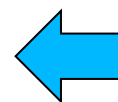
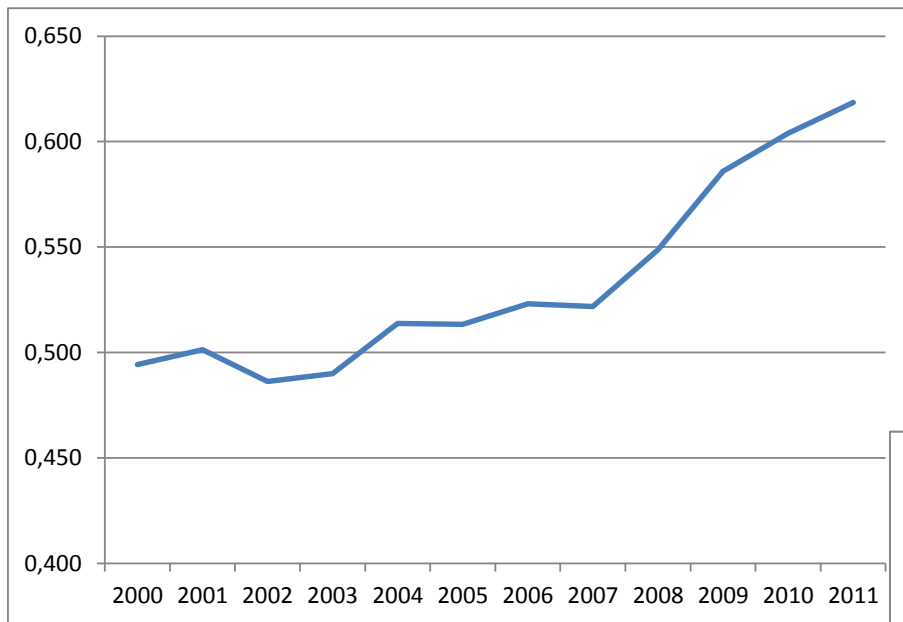
Il consumo nominale alle ruote di un bus elettrico è circa un quarto di un diesel, sull'intero ciclo di vita della fonte energetica il rapporto fra i due consumi si attesta intorno al 50%. Nel caso del motore a combustione interna l'energia consumata è tutta di origine fossile mentre nel caso dell'elettrico incide una quota parte di energia rinnovabile che attualmente, per il parco elettrico italiano, è pari al 28% circa.

Con riferimento ai costi operativi dell'energia, ogni km percorso da un bus alimentato a gasolio costa alle aziende di trasporto pubblico poco più di 55 eurocent/km, nel caso dei bus elettrici tale valore scenderebbe a 20 eurocent, con un risparmio monetario di circa 60%.

Confronto prestazioni medie: esternalità

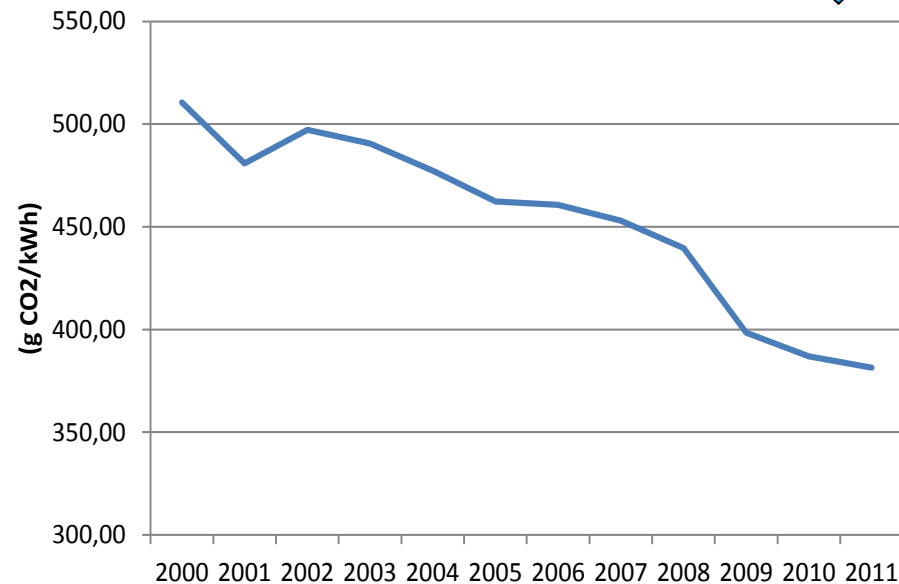
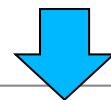


Prospettive della fase upstream



Produttività del parco elettrico italiano (FER comprese)

Emissioni specifiche di CO₂ del parco elettrico italiano (FER comprese)



Fonte: ENEA su dati ISPRA

Migliorano rapidamente le performance della produzione di energia elettrica grazie a cogenerazione e impiego di rinnovabili

Fonte: ENEA su dati ISPRA

Scenari di elettrificazione del TPL a Roma

«Studio della fattibilità tecnico economica e del fabbisogno energetico conseguente all'elettrificazione di parte della flotta di veicoli stradali per il trasporto pubblico.» Attività ENEA :

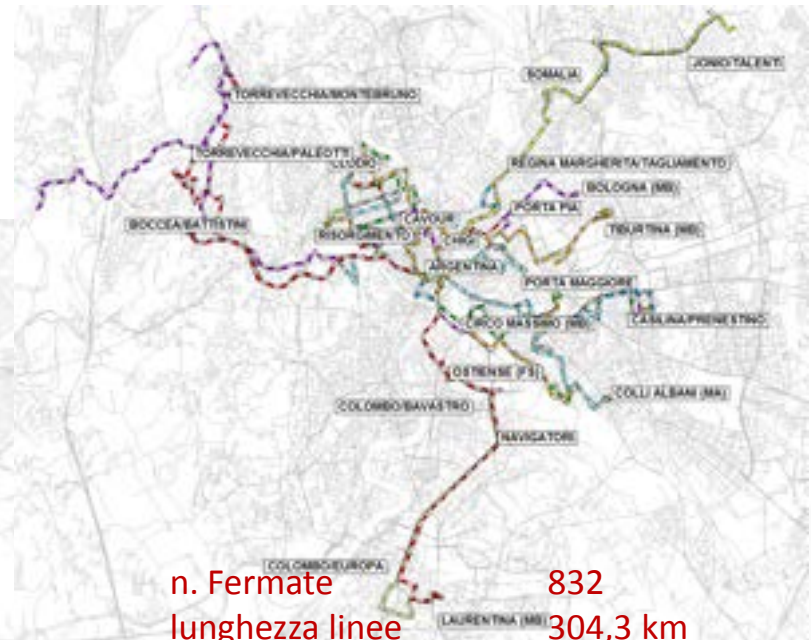
10% M.P. Valentini

Univ. La Sapienza CTL 90% G.Fusco, A.Alessandrini, C.Colombaroni, F.Giubilei

Bacino di Torre Argentina (centro storico e diramazioni)



Bacino Tiburtina



n. Fermate	432
lunghezza linee	126,9 km
Domanda oraria	5700 pax/ora
D media fra fermate	286 m
V.Comm	16 km/h

n. Fermate	832
lunghezza linee	304,3 km
Domanda oraria	13976 pax/ora
D media fra fermate	384 m
V.Comm	15 km/h

Caratteristiche veicoli e sistemi di accumulo

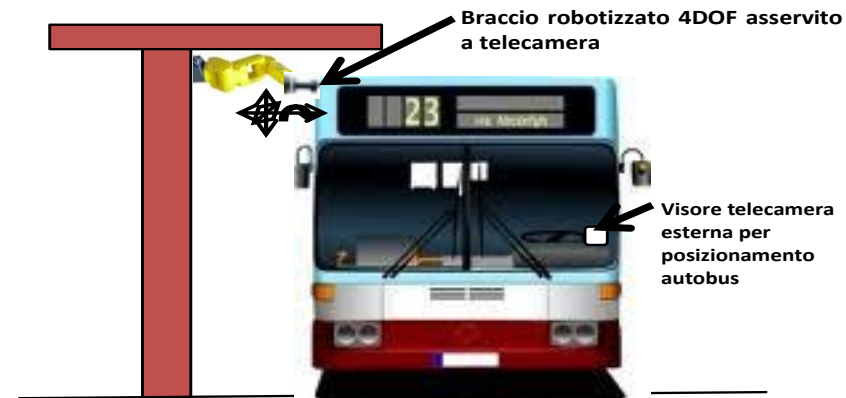
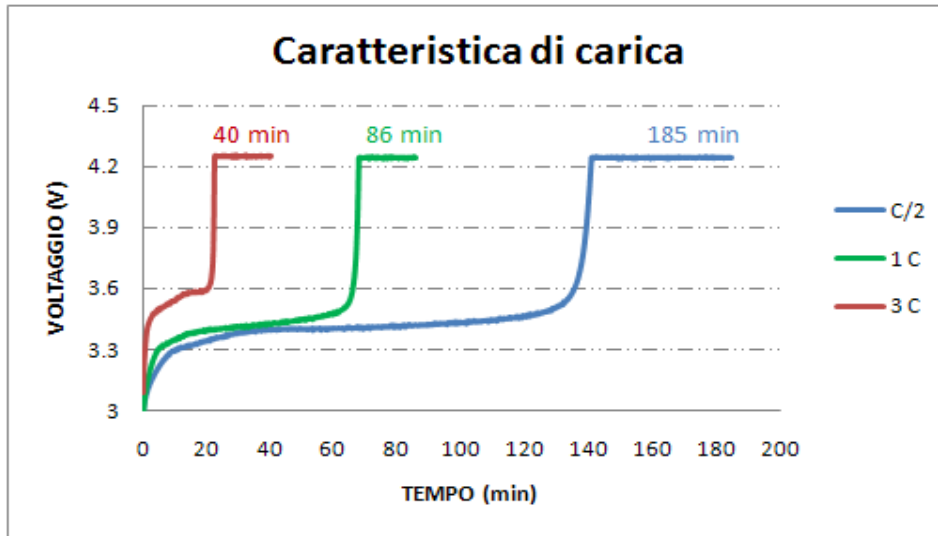


	Unità	BEV			IC		
Codice tipo veicolo	-	1	2	3	4	5	6
Costo di acquisto	[€]	300.000	240.000	180.000	200.000	360.000	100.000
Lunghezza	[m]	12	10	8	12	18	6
Capienza	[posti/veic]	100	85	65	100	160	50
Batteria	-	Li-ion	Li-ion	Li-ion	Nessuna		
Consumo specifico WTW	[kWh/km]	2,74	2,02	1,61	4,82	7,45	2,68
Costi ambientali	[€/km]	0,020	0,015	0,012	0,235	0,285	0,188
Costi energetici	[€/km]	0,193	0,142	0,113	0,430	0,665	0,239
Costi di rumore	[€/km]	0,0020	0,0018	0,0013	0,1214	0,18	0,0824
Vita utile	[anni]	15	15	15	15	15	15

	Li-ion	UltraCap
Potenza specifica in scarica [W/kg]	Fino a 2 100	Fino a 10 000
Potenza specifica in ricarica [W/kg]	Fino a 300	Fino a 10 000
Energia specifica nominale [Wh/kg]	≈ 118	≈ 3.6
Rendimento	0,82 – 0,88	0,85 – 0,99
Cicli di carica e scarica	10 000	500 000

Caratteristiche della ricarica rapida

Utilizzando i supercapacitori i tempi di ricarica possono ridursi sino a 15", rendendo possibile la ricarica alle fermate



Grazie alla ricarica rapida, le batterie dei veicoli possono essere di capacità ridotta (e quindi di minore peso, ingombro e costo) ovvero è possibile pensare a veicoli elettrici anche di grandi dimensioni.

Nel caso del trasporto pubblico locale, la ricarica può essere effettuata parzialmente in corrispondenza dei capolinea o, addirittura, delle fermate, sfruttando i tempi morti del servizio senza alterarne le caratteristiche.

L'impiego dei sistemi di ricarica rapida, inoltre consente una migliore distribuzione spaziale e temporale dell'assorbimento di energia dalla rete elettrica.

Risultati dell'analisi economica (Tiburtina)



- BAU = solo bus diesel
- B = ricarica ultrarapida alla metà delle fermate
- C = ricarica rapida ai capolinea

- 1= 40% linee elettrificate
- 2= 70% linee elettrificate
- 3 = 100% linee elettrificate

		BAU	B	C
		–	3	3
n. fermate attrezzate	[fermate attrezzate]	0	218	0
n. veicoli	[veicoli]	95	97	122
Consumo energetico WTW	[kWh/giorno]	73 300	41 200	59 9 00
Costo Emissioni e Rumore		27,5	1,8	1,9
Costo Energia		35,3	13,5	16,5
Investimenti		20	53,3	53,4
Costo Manutenzione e personale	[M€/15 anni]	69,6	77,9	109,2
<i>Costo Utente</i>		3 423,7	3 315,5	3 315,5
Costo Totale		152	147	181

Nello scenario B, all'aumentare del numero delle linee attrezzate il costo globale si riduce, in virtù dell'economia di scala sui costi d'investimento per gli impianti a terra

Nello scenario C si rileva un costo crescente con l'aumento delle linee BEV, a causa del maggior numero di veicoli da acquistare per l'elettrificazione di linee con elevate esigenze di autonomia

Parametri ottimizzazione:

capacità batterie veicoli, potenza dispositivi ricarica alle fermate e ai capolinea, n° fermate attrezzate per la ricarica ultrarapida, tempi di sosta

		BAU	Non-ottimizzato	Ottimizzato
% linee elettrificate	[%]		100%	100%
Rispetto a rinnovo flotta con veicoli convenzionali				
• Costi netti su quindici anni di esercizio:				-8%
• Costo energia:				-60%
• Costi ambientali:				-95%
• Costi d'investimento				+150%
Investimenti	[M€/15 anni]	20	53,3	49,7
Costi Manutenzione		12,3	25,1	23,4
Costi Personale		56,4	52,8	52,3
Costo Utenza		3.424	3.316	3.305
Costo totale		152	147	140,5

Assorbimenti ai capolinea

Capolinea di ricarica	Linee afferenti al capolinea					Massimo numero di ricariche contemporanee	Stima della potenza assorbita dall'impianto
Balsamo Crivelli	448					1	70 kW
Bologna	62					1	53 kW
Clodio	30	70				3	159 kW
Corso/Popolo	119					1	53 kW
Giulio Cesare/Lepanto	87					1	53 kW
Gregorio VII/Anastasio II	571					1	53 kW
Malatesta	81	810				2	106 kW
Maresciallo Giardino	628					1	53 kW
P.Za Monte Savello	63					2	106 kW
P.Za Venezia	46	916				3	159 kW
S.Maria del Soccorso	309					1	70 kW
Sacco	111	441				2	140 kW
Staz.ne Tiburtina	71	211	490	491	492	6	403 kW
Termini	40	64				4	212 kW
Verano	163	443				3	210 kW

Ogni capolinea avrà bisogno di una sottostazione elettrica (SSE), è quindi importante aggregare il massimo numero di linee su ciascun terminal per minimizzare il numero di SSE massimizzandone la potenza e dunque, generalmente, il rendimento.

L'elettificazione della flotta TPL produce una riduzione piuttosto marcata (attorno al 10%) dei costi netti su quindici anni di esercizio, in particolar modo per le voci di costo relative all'energia consumata (-60% circa) ed all'ambiente (-95%).

I costi d'investimento risultano essere molto maggiori (+150%) della situazione di riferimento, di rinnovo della flotta con veicoli a combustione interna.

Assorbimenti alle SSE variabili da 50 kW a 400 kW, in funzione del numero e della frequenza delle linee in attestamento a ciascun capolinea

Report RdS/2013/102 «Analisi di elettrificazione del TPL in contesti ITC: lo smart ring dell'Aquila»

Attività ENEA : 100%

V. Fabrizi, S. Orchi, F. Ortensi, G. Valenti, M.P. Valentini

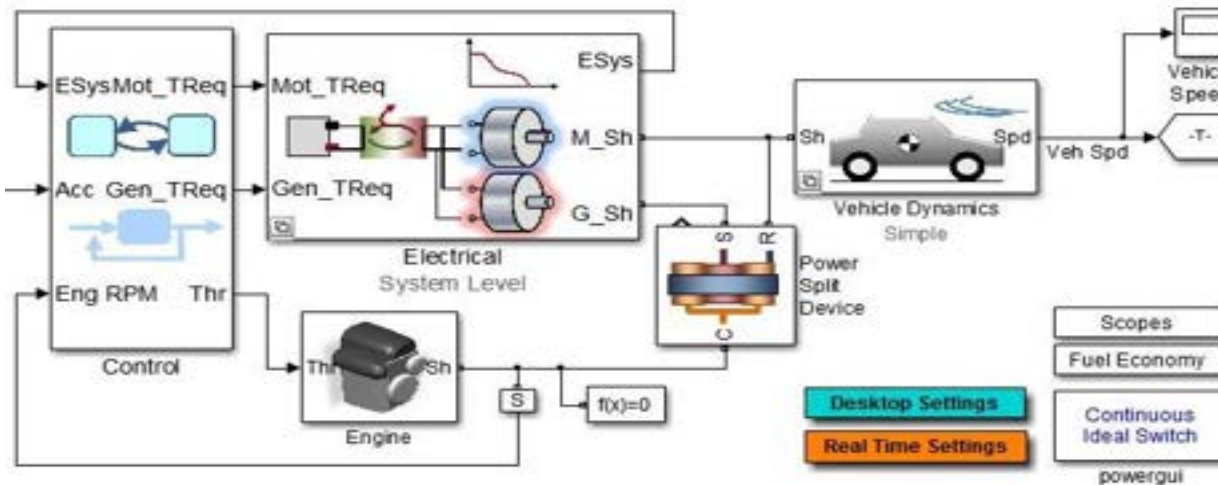
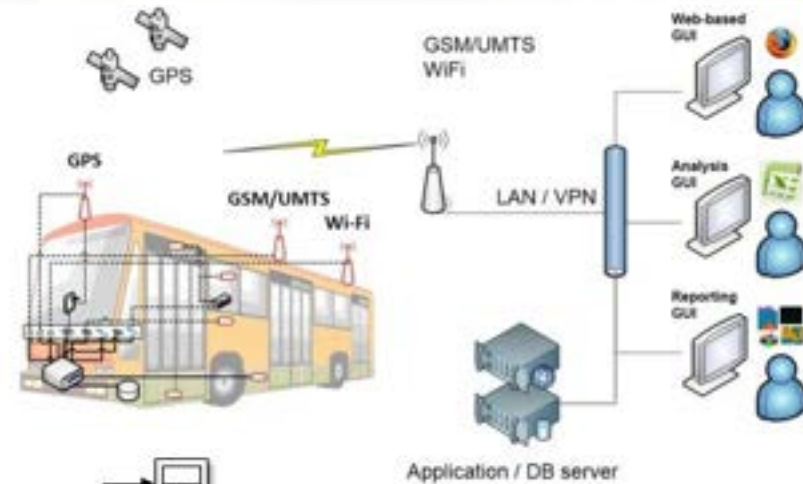
Verifica fattibilità di elettrificazione di due linee su minibus con percorso misto urbano-extraurbano, che attraversano lo Smart Ring:
Linea "10" con un percorso di circa 22 km
Linea "12A" con un percorso di circa 11 km

RISPETTO ALLO STUDIO PRECEDENTE :

- Sostanziale differenza per condizioni di esercizio e tipologia di veicoli esaminati
- Diverso approccio: verifica delle reali condizioni di esercizio mediante misure sul campo e stime puntuali dei consumi e dello Stato di Carica dei sistemi di accumulo di bordo

La metodologia: modello di simulazione

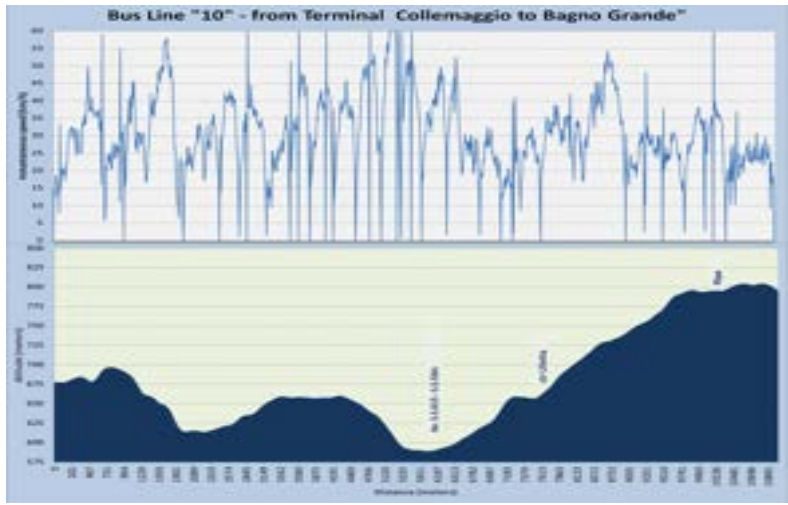
Sviluppo di un software ad hoc, calibrato utilizzando i dati della campagna sperimentale realizzata in passato nel C.R. ENEA Casaccia con il Gulliver Tecnobus



Calcolo del consumo energetico a partire dai dati tecnici dell'autobus e dall'effettivo ciclo di marcia realizzato dall'autobus durante il servizio di linea

La metodologia: i rilievi sul campo e le stime

Campagna di rilevamento dei consumi dei Cacciamali TCC635L in servizio all'Aquila sulle linee di studio nelle reali condizioni di esercizio più gravose (veicolo zavorrato per simulare il carico, stop a tutte le fermate, nel rispetto del programma di servizio)



Caratterizzazione plano-altimetrica dei percorsi da cartografia digitale
 Misure di posizione geografica e velocità istantanea mediante apparecchiatura di bordo
 Misure di consumo mediante rabbocco al rientro
 Filtraggio e smoothing delle serie dei dati di posizione e velocità fornite dal ricevitore GPS

Stima mediante simulazione dei consumi del Minibus elettrico Gulliver Tecnobus



Peso a vuoto	3900 kg
Capacità batterie	585 Ah
Corrente max scarica	1 C
Corrente max carica	0.2 C
Frenata a recupero	No
Tensione batteria	72 V
Rendimento azion. elettrico	77.5%
Motore elettrico	CC 24kW max
Raggio ruota	0.365 m

Conclusioni sulla fattibilità tecnica



Orario inizio	Durata sosta da esercizio (min)	Durata giro (min)	Tratta	Metri	Massa	Consumo (kwh)	Consumo unitario (kwh/km)	Energia Ricarica (kWh)	kwh batt	SOC%
06:50		00:20	"A1"	12.130	3.400	7,27	0,60		40,96	100,00
07:10		00:50	"B1"	19.688	5.500	10,41	0,53		33,69	82,25
08:00		00:25	"C1"	10.998	5.500	8,79	0,80		23,28	56,84
08:25		00:35	"C2"	12.177	5.500	5,85	0,48		14,49	35,38
sosta programmata da allungare	00:25							16,67	8,64	21,09
09:25		00:25	"C1"	10.998	5.500	8,79	0,80		25,31	61,78
09:50		00:35	"C2"	12.177	5.500	5,85	0,48		16,52	40,32
sosta programmata da diminuire	01:00							30,29	10,67	26,04
11:25		00:25	"C1"	10.998	5.500	8,79	0,80		40,96	100,00
11:50		00:35	"C2"	12.177	5.500	5,85	0,48		32,17	78,54
sosta programmata da allungare	00:25							14,64	26,32	64,26
12:50		00:40	"B2"	22.032	5.500	15,69	0,71		40,96	100,00
13:30		00:35	"A2"	12.104	3.400	3,77	0,31		25,27	61,69
Soste da inserire	00:20							12,5	21,50	52,49
14:25		00:20	"D1"	9.064	3.400	4,78	0,53		34,00	83,01
14:45		00:45	"B2"	22.032	5.500	15,69	0,71		29,22	71,34
15:30		00:30	"A2"	12.104	3.400	3,77	0,31		13,53	33,03
									9,76	23,83

Analisi Costi Benefici: input

		BEV	IC
		Gulliver	TCC 635L
INVESTIMENTI C/C			
Veicoli			
Prezzo veicolo (IVA esclusa)	€	215.050	82.025
Durabilità	km	400.000	400.000
Percorrenza media annua	km	65.200	65.200
Vita tecnica	anni.	6	6
Standard emissivo		EEV	Euro 5
Batterie			
Prezzo unit. batterie (IVA esclusa)	€/kWh	328	
Capacità pacco batterie	kWh	41	
Costo pacco batteria (IVA esclusa)	€	13.500	
Durabilità batterie Li-io	km	100.000	
Ricambi pacchi batteria	n.	4	
Stazioni di ricarica elettrica			
Costo acquisto&installazione (IVA esclusa)	€/stazione	28.000	
Stazioni di ricarica elettrica	n. stazioni	2	
Flotta veicoli elettrici	n. veicoli	5	
Costo complessivo stazioni per veicolo (IVA inclusa)	€	11.200	

Analisi Costi Benefici: input

		BEV	IC
		Gulliver	TCC 635L
COSTI DI ESERCIZIO			
Materiali di consumo e manutenzione			
Prezzo unitario energia *	€/kWh-l	0,161	1,057
Consumi energetici unitari	kWh-l/km	0,69	0,372
Percorrenza annuale	km/anno	65.201	65.201
Consumi energetici annuali	kWh-l/anno	45.266	24.268
Costo annuo lubrificanti	€/anno	0	680
Costo annuo materiali manutenzione	€/anno	4.409	8.818
Costo annuo personale manutenzione	€/anno	3.657	7.315
COSTI AMBIENTALI	€cent/km	1.4	7.0

Fonte: elaborazione ENEA, su dati ENEA, Ministero Sviluppo Economico, AEEG, ASSTRA, Electromobility

*

Il prezzo dell'energia elettrica è quello fornito dall'AEEG-III trim 2014, utenti non domestici con potenza impegnata > 16,5 kW al netto delle imposte e dei costi fissi annui.

Il prezzo del gasolio è quello fornito dalle rilevazione del Ministero dello Sviluppo Economico al 30.06.2014 al netto dell'iva e della parte di accisa rimborsata.

Analisi Costi Benefici: risultati

Azienda di
Trasporto
locale AMA

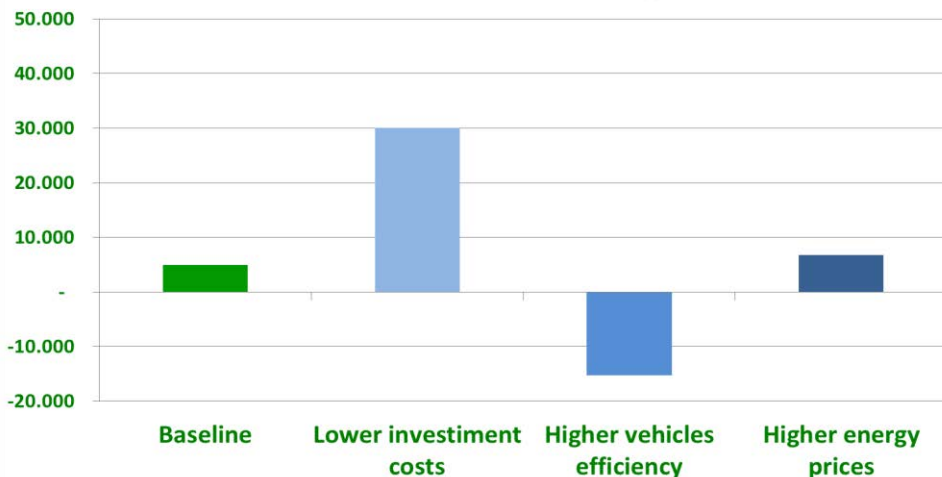
Collettività
locale

Nell'arco della vita utile del veicolo è più conveniente ricorrere alla trazione elettrica piuttosto che al motore diesel, nonostante la necessità di impiegare pacchi batteria di notevoli capacità e di installare sistemi di ricarica rapida ad elevata intensità di corrente.

Scenario di base	Impresa	Collettività
VAN	€ 9.095	€ 3.743
B/C	1,05	1,02
TIR	7,5%	4,3%

Analisi Costi Benefici: sensitività

Economic Net Present Value for Local Community



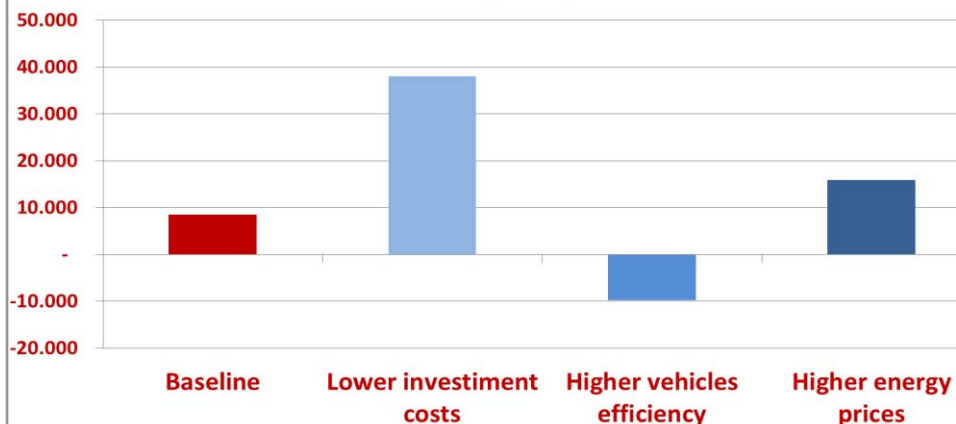
Indicatori sintetici ACB per la collettività

	VANe Collettività	B/C	TIR
Scenario Base	€ 3.743	1,02	4,3%
Scenario A_investimenti	€ 28.879	1,18	10,9%
ScenarioB_consumi	-€ 15.979	0,92	0,2%
Scenario C_prezzi	€ 5.541	1,03	4,7%

Confronto indicatori sintetici ACB per l'azienda

	VANE Impresa	B/C	TIR
Scenario Base	€ 9.095	1,05	7,5%
Scenario A_investimenti	€ 34.621	1,22	15,0%
ScenarioB_consumi	-€ 10.488	0,93	2,7%
Scenario C_prezzi	€ 14.779	1,08	8,3%
Scenario D_sussidio	€ 132.472	3,61	

Economic Net Present Value for Transport Company



Conclusioni

Nonostante la necessità di impiegare pacchi batteria di maggiore capacità rispetto a quelli attualmente montati sui veicoli elettrici in commercio e di installare sistemi di ricarica rapida ad elevata intensità di corrente, con conseguente aggravio dei costi di investimento iniziali, l'analisi economica per l'Azienda di Trasporto risulta positiva sull'arco di vita utile dei veicoli

grazie ai
rifornim
conside

Per la collettività, i vantaggi ambientali riescono a compensare i minori risparmi sui costi di esercizio, dovuti allo scorporo della quota parte di costi di natura fiscale.

La redditività economica potrebbe addirittura migliorare in un non improbabile scenario di "decarbonizzazione" del sistema elettrico nazionale.

una maggio
elettrica fa
elevati risp

Viceversa, è necessario garantire un impiego intensivo dei mezzi, al fine di garantire un rientro sufficientemente veloce degli investimenti iniziali che altrimenti potrebbe non verificarsi; si sottolinea come, per questo aspetto, i servizi di trasporto extraurbani sia preferibili a quelli urbani, sovvertendo un luogo comune secondo cui i veicoli elettrici siano utilizzabili solo in ambito urbano. Naturalmente ciò si rende possibile tecnicamente solo grazie ai progressi nelle prestazioni dei veicoli a batteria e dei sistemi di ricarica.

The logo for ENEA, featuring the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font against a dark blue background with a stylized sunburst graphic.

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



AMBIENTE
IMPIANTO
UTENTE
CONSUMO
RICERCA
H₂D
SOSTENIBILITÀ
ACCUMULO
EFFICIENZA
IMPATTO
ENERGIA
FOTOVOLTAICO
GENERAZIONE
TECNOLOGIA
kWh

GRID
RETE
EOLICO
SISTEMA

Grazie per l'attenzione

CCSE) RdS RICERCA di SISTEMA

RSE – AdP 2012 – 2014 - Prodotti per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

- Forza d'inerzia
- Resistenze di attrito dei pneumatici
- Resistenze aerodinamiche
- Pendenza stradale

**Forza di trazione applicata alle ruote:
POTENZA**



Parametri in batteria

- INPUT: la corrente assorbita o erogata
- OUTPUT: lo stato di carica, la tensione e la temperatura