



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Flotte di bus elettrici e impatto sulla rete

«Webinar

Flotte di bus elettrici, gli impatti sulla rete e la gestione dei cicli di ricarica»

ENEA Antonino Genovese



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Mobilità sostenibile: PNRR e dintorni



Missione	Componente	Tipologia	Intervento	Proponente	Importo PNRR (mil.)	CLIMATE TAG (importo mil.)	DIGITAL TAG (importo mil.)
M2	C2	Investimento	4.3. Sviluppo infrastrutture di ricarica elettrica		0,74	0,74	0,00
M2	C2	Investimento	4.4. Rinnovo flotte bus e treni verdi		3,64	3,64	0,00
M2	C2		4.4.1. Bus		2,42	2,42	0,00
M2	C2		4.4.2. Treni		0,80	0,80	0,00

Bus
2.42 MI €



Accelerazione del Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile per progressivo rinnovo degli autobus trasporto pubblico locale e la realizzazione di infrastrutture di ricarica dedicate.

E' previsto l'acquisto entro il 2026 di circa 3.360 bus a basse emissioni (≈18% del circolante urbano)

basse emissioni: Bus elettrici, Bus H₂,

Obiettivi

2030 European Green Deal
- 55% GHG emissions



2050
net zero GHG emissions

GHG Italia
Trasporto
25.2%

GHG Italia
Stradale **92.6%**
(23.3%)

GHG Italia
Stradale **98.8%**
CO₂



Contributo ridotto
alle GHG

Emissioni nocive



Smog e rumore



Elettrificazione



100% elettrico
(con e senza
batterie)



Fuel cell H₂

https://www.isprambiente.gov.it/it/events/evento16apr2021_emissioni_strada.pdf



Flotte di bus elettrici e impatto sulla rete

Batterie al litio per il trasporto pesante

Road transport: medium and heavy duty BEV*					
Typical Battery Size: 150-600 kWh (today), up to 1000 kWh (in the future)					
KPI	Operating conditions	System/Pack/ Cell level	Unit	2020	2030
PERFORMANCE					
Cell/pack weight ratio		Pack	%	70	80
Cell/pack volume ratio		Pack	%	60	75
Operating lifetime expectation	Minimum guaranteed lifetime (equivalent 80% DOD)	Pack	km	~750,000 (~Vehicle lifetime)	
Gravimetric Power density**	180s, SoC 100%-10%, 25°C	Cell	W/kg	750	1,000
Gravimetric Energy density	C/3 charge and discharge, 25°C, charging with CC and CV step	Cell	Wh/kg	~250	~450
Volumetric energy density	C/3 charge and discharge, 25°C, charging with CC and CV step	Cell	Wh/L	~500	1,000
Volumetric power density**	180s, SoC 100%-10%, 25°C	Cell	W/L	1,500	2,200
Cycle life	80% DOD, 25°C	Cell	cycles	3,000	6,000
Hazard level		Cell	-	<=4	<=4
COST					
Cost		Pack	€/kWh	~400	~150
Cost		Cell	€/kWh	~140	~75
MARKET					
Market size	Source: Avicenne Energy, 2019, IEA Global EV Outlook 2020		GWh/year	~20	~200

BATTERIES EUROPE EUROPEAN TECHNOLOGY AND INNOVATION PLATFORM

Tempo di vita

Minor peso – minori consumi

Minor volume – maggiore spazio per i viaggiatori

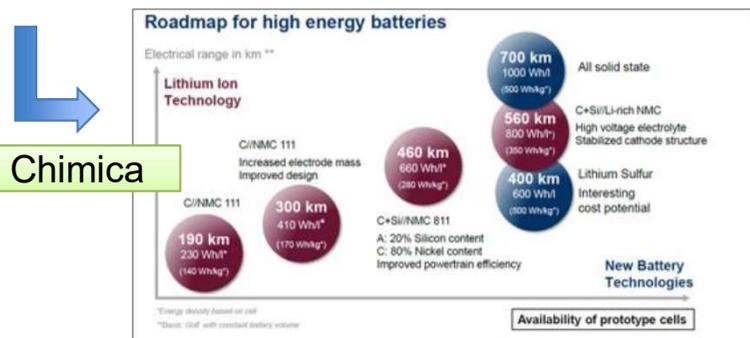
Maggior numero di cariche/scariche

Costi

Caratteristiche richieste batterie per e-bus

Caratteristiche batterie per e-BUS

- Tensione ≥ 400 V (sino a 800 V \rightarrow riduzione corrente)
- Alta energia
- Cycle life ≥ 3000 (≥ 8 anni 1 ciclo giorno 350gg/y)
- Controllo termico (raffreddamento a liquido)
- Sicurezza (controllo OV,OD,OT)
- Modularità
- Contenimento (da IP67 a IP69K)
- Costi



- Riscaldamento per effetto Joule
- Invecchiamento celle a correnti elevate
- Equalizzazione celle

- Profilo di ricarica
- Tipologia della ricarica

Quali consumi ?

Fattori influenzanti il consumo
 Profilo di missione – stile di guida - temperatura

18 m 1.65 - 1.8 kWh/km
 12 m 0.9 - 1.4 kWh/km

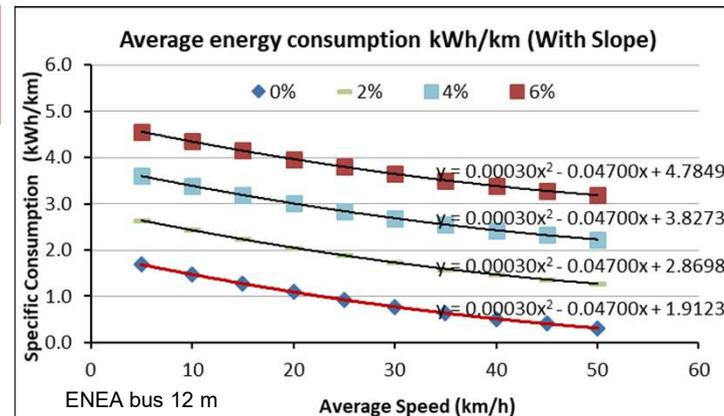
www.sustainable-bus.com/



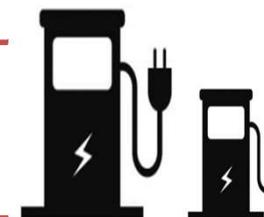
Capacità batteria 300 kWh nominali
 (240 kWh usabili 10-90 % SOC)



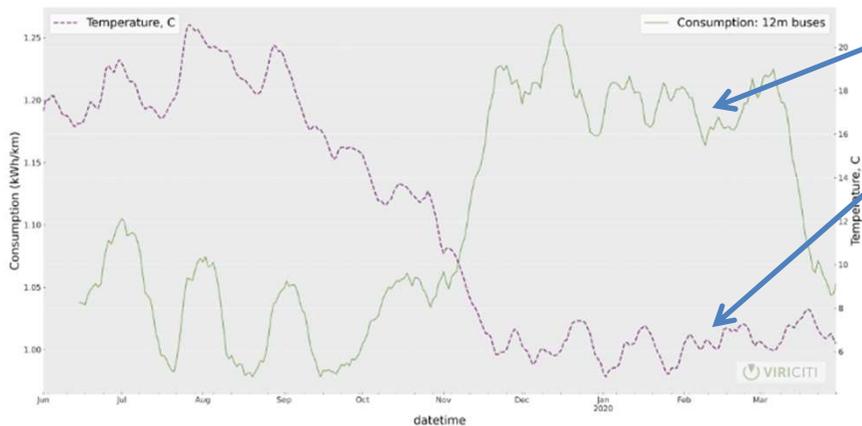
145 – 133 km 18 m
 218 – 171 km 12 m



Dimensione dell'accumulo, consumi e servizio influenzano la tipologia del servizio di ricarica



Quali consumi ?



Estate

Inverno

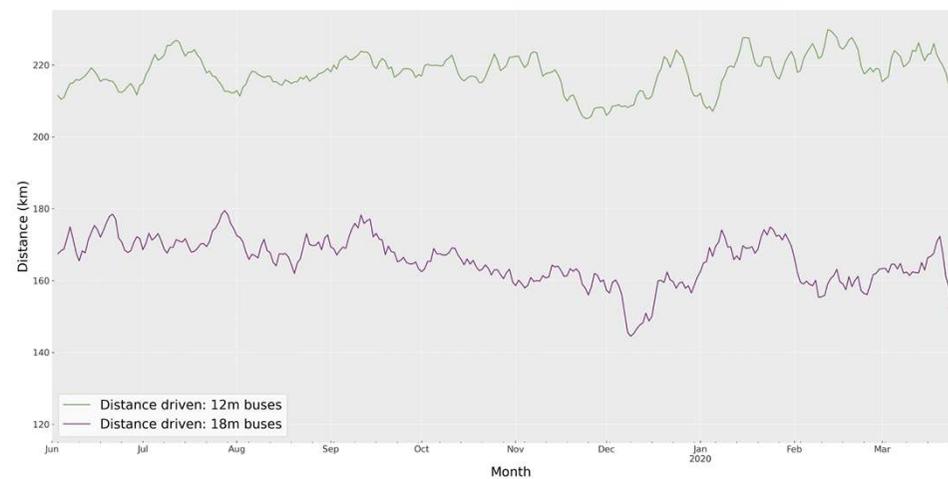
Olanda : distanza media 210 km
consumo 1.15 kWh/km

Viriciti report e-bus performance 2020

Consumi

Temperature

Distanze



Quanta energia

Tab. V.5.6 - Indicatori dell'offerta di servizio di trasporto pubblico locale (autolinee) secondo la tipologia del servizio - Anni 2005, 2010, 2013-2019

	2005	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018 ⁽¹⁾	2019 ⁽²⁾
Servizio urbano									
Autobus utilizzati	18.974	19.220	18.639	18.532	18.919	18.764	18.463	18.188	17.857
Autobus-km (milioni)	755,70	736,23	702,04	698,73	685,54	676,09	654,76	663,45	651,38
Posti offerti (milioni)	1,77	1,67	1,60	1,59	1,60	1,58	1,56	1,56	1,53
Posti-km offerti (milioni)	71.662,87	63.455,98	61.987,17	62.701,06	60.130,46	58.690,84	56.933,28	57.690,49	56.640,61

Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti 2018-19



Eolico 20,03 TWh

Produzione 2019



PV 23,19 TWh

+ 2.3% TWh/anno

Urbano

Km/anno percorsi x bus
27.000 – 47.000

Km/anno percorsi x bus → 36.477

Ipotesi

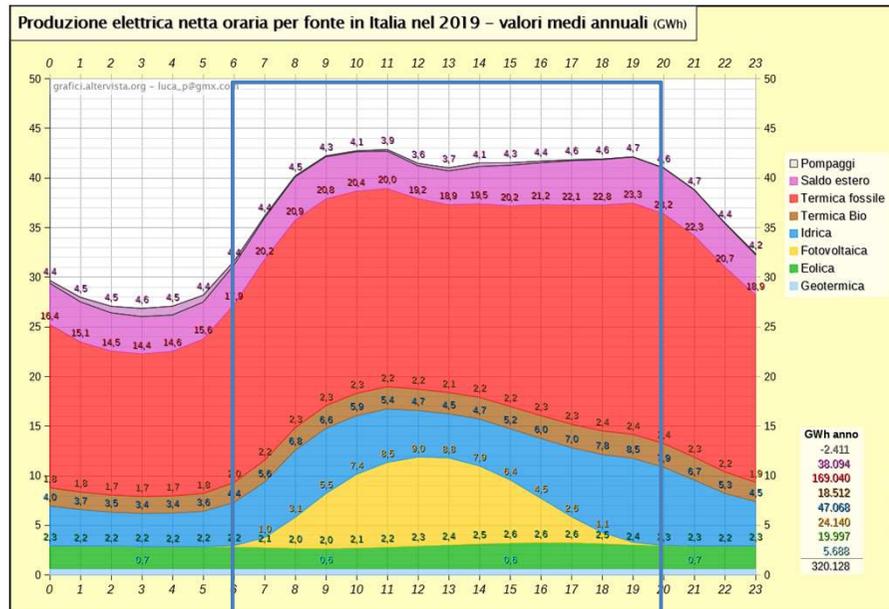
Consumo specifico → 1.4 kWh/km

Consumo/anno x bus → 51.000 kWh



Flotte di bus elettrici e impatto sulla rete

Quale energia



- Non programmabilità delle FER
- Saturazione dell'idroelettrico
- Capacità di espansione della produzione da PV
- Impianti eolici off-shore
- Esigenza di una rete smart con accumulo

- Ricarica notturna in assenza di fonte PV

Servizi di ricarica

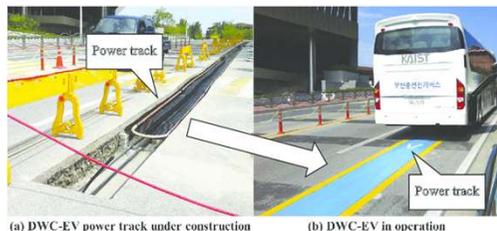


Ricarica in deposito

Ricarica in linea



Ricarica di opportunità



Wireless dinamica



Battery swapping

Battery swapping



Swapping
manuale

- Tecnologia non ancora pronta
- Esigenza di standardizzazione
- Esempi dimostrativi in Cina

Swapping
automatizzato



Tre architetture a confronto

▪ Arch. A:

- **Ricarica** lenta al **deposito** (max 6/8 h/giorno)
- **Accumulo** agli ioni di litio
 1. **dimensionato** sul consumo energetico della linea nella **giornata più onerosa**
 2. **accumulo standardizzato a 350 kWh**



■ Arch. B:

- **Ricarica** lenta al deposito (max 3h/giorno) e **biberonage al capolinea** con pantografo (max 8'/sosta)
- **Accumulo ridotto** agli ioni di litio, **standardizzato** in funzione della dimensione del veicolo (70 kWh per bus 12 m)



■ Arch. C:

- **Ricarica** lenta al deposito (max 1h/giorno), veloce al capolinea (max 4'/sosta) e **ultrarapida alle fermate** (20" per bus articolati, 15" per tutti gli altri)
- **Accumulo** principale **molto ridotto (supercaps)**, accumulo di riserva e per gli ausiliari agli ioni di litio, entrambi **standardizzati** in funzione della dimensione del veicolo



Ricarica in deposito

Conduittiva con cavo e connettore



Usualmente notturna

Potenza di ricarica:

- Stato di carica batteria
- Tipo di batteria
- Connettore
- Temperatura



Conduittiva con pantografo

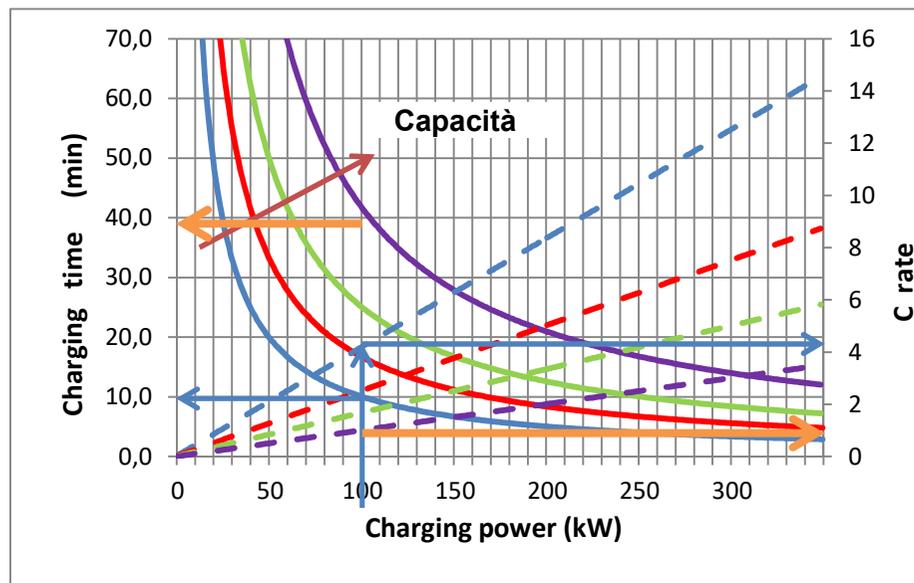


Correnti elevate → perdite Joule
Tensioni elevate → isolamento

Profilo di di ricarica

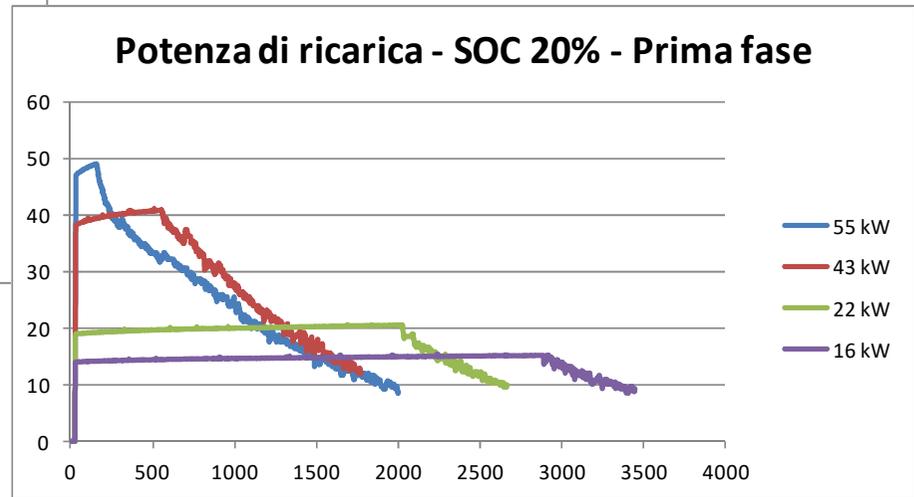
DC	35 mm ²	70 mm ²	95 mm ²
Nominale	125 kW (125A/1000V)	200 kW (200A/1000V)	250 kW (250A/1000V)
Picco (temporaneo)	250 kW (250A/1000V)	500kW (500A/1000V)	500 kW (500A/1000V)

Profilo di ricarica

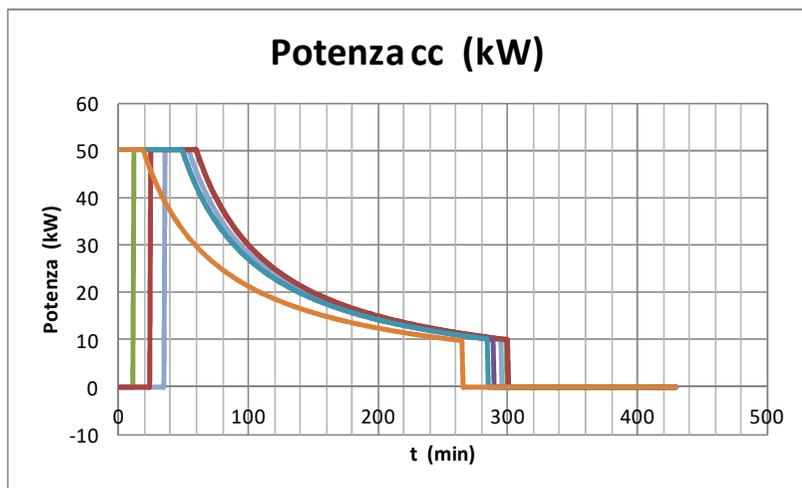


Potenza costante
 Batteria : 24 – 46 – 60 -100 kWh
 SOC = 10 – 80 %

Al diminuire della potenza cresce il tratto a corrente costante

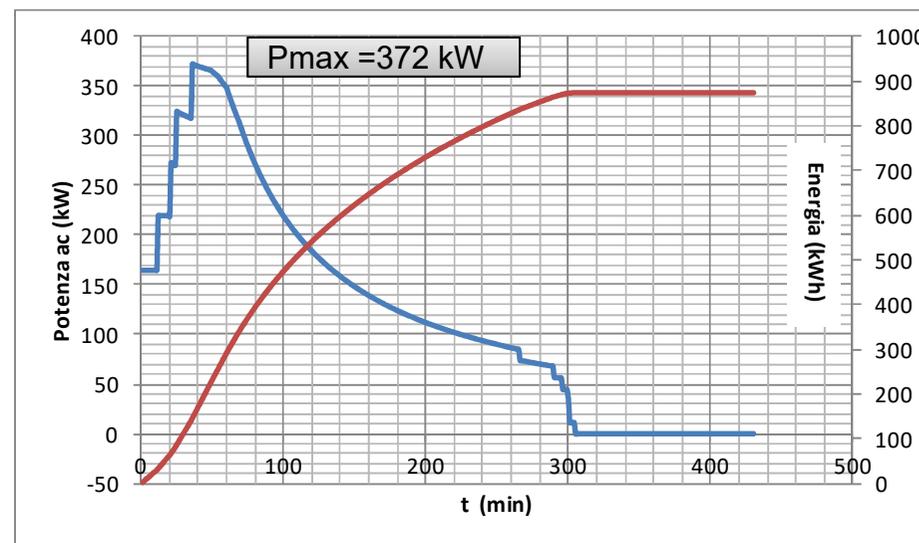


Esempio ricarica deposito 50 kW

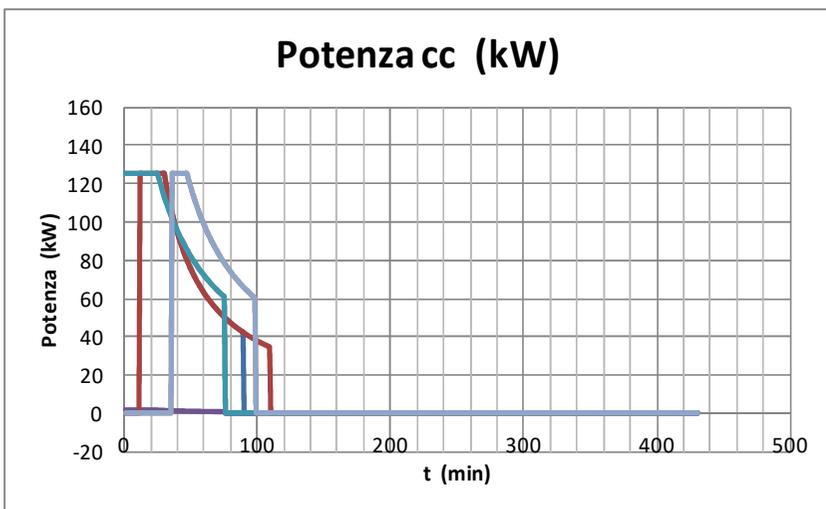


7 bus 200 kWh $P_{\text{ricarica}} = 50 \text{ kW}$
 $\text{SOC}_{\text{iniziale}} = 20 - 30 \%$ $\text{SOC}_{\text{finale}} = 85\%$

Intervallo di arrivo = 40 min
Tempo di ricarica totale = 300 min (5h)

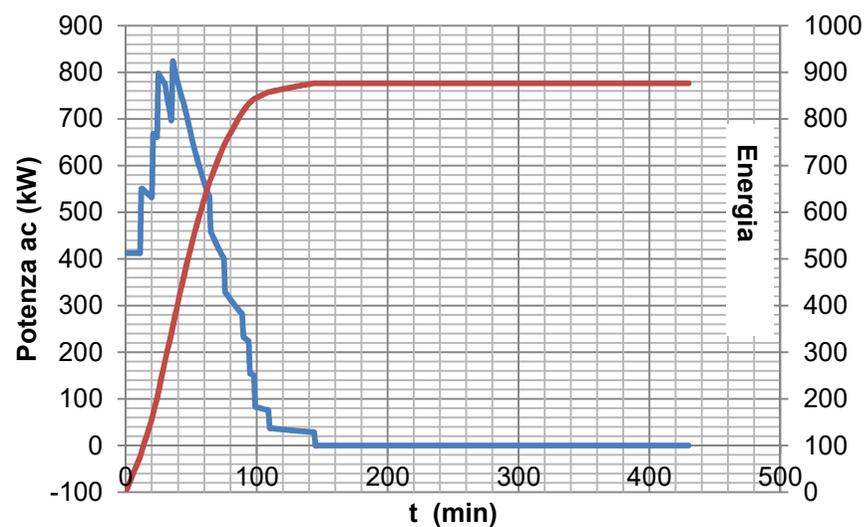


Esempio ricarica deposito 125 kW

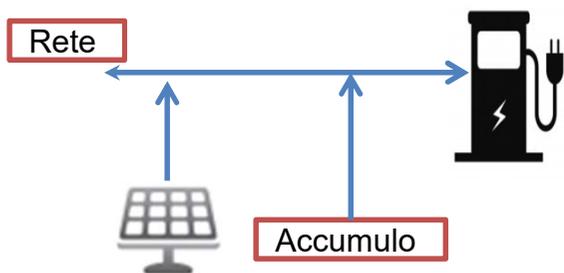


Intervallo di arrivo = 40 min
Tempo di ricarica totale = 140 min (2h)

7 bus 200 kWh $P_{\text{ricarica}} = 125 \text{ kW}$
 $\text{SOC}_{\text{iniziale}} = 20 - 30 \% \quad \text{SOC}_{\text{finale}} = 85\%$

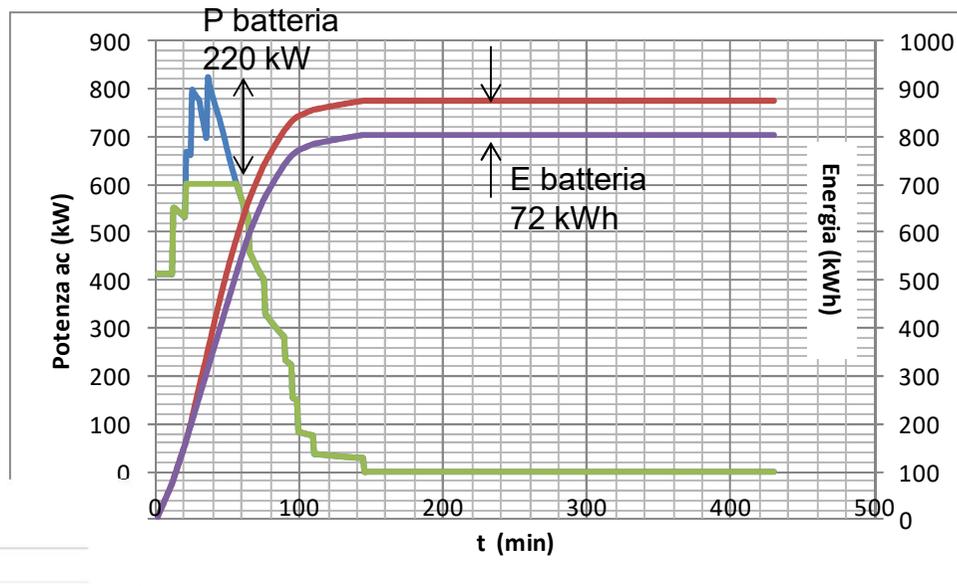
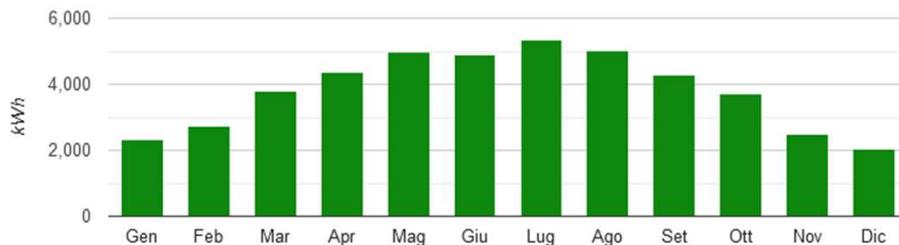


Impianto integrato per ricarica



32 kW p 119 moduli 270 W
Tilt 30° azimuth 0° ≈ 200 m²

Produzione annua impianto fv 46.017 kWh

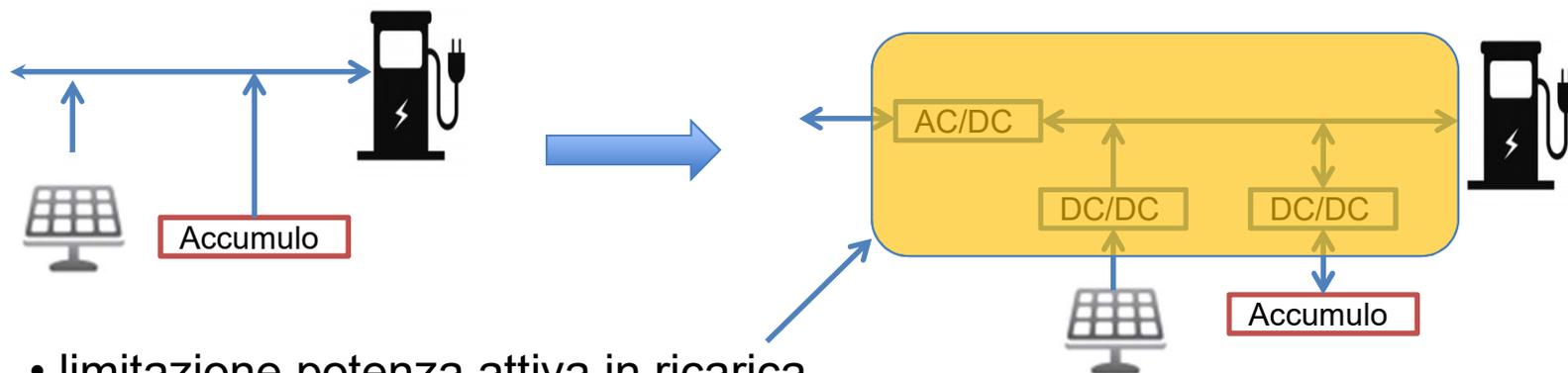


$E_{pv} = 46,000 \text{ kWh}$ $E_{batteria} = 25,200 \text{ kWh}$

$E_{rete} = 281,400 \text{ kWh}$ $E_{inrete} = 20,800 \text{ kWh}$

$E_{risparmiata} = 25,200 \text{ kWh} + 20,800 \text{ kWh}$

Impianto integrato per ricarica 2

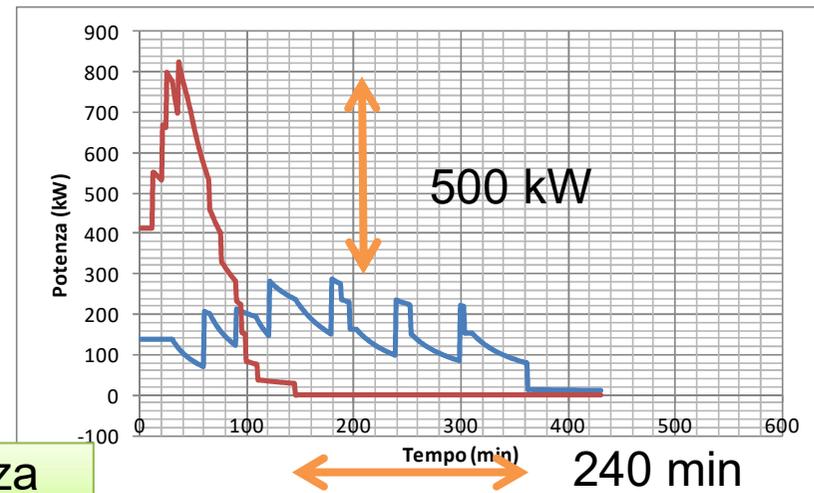
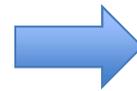
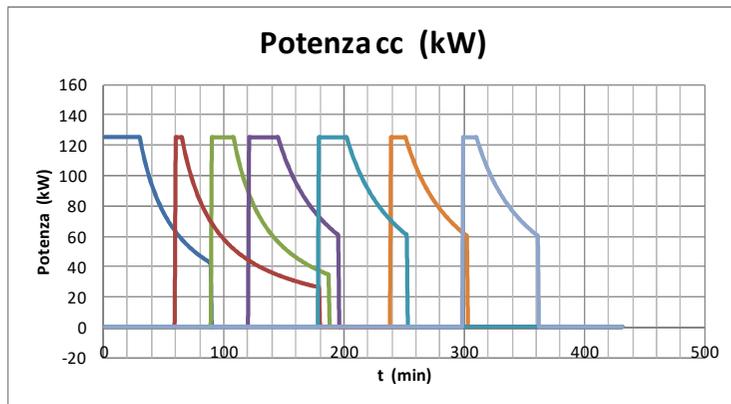


- limitazione potenza attiva in ricarica
- ricarica accumulo buffer
- potenza attiva verso rete da PV
- compensazione potenza reattiva
- possibilità di utilizzo di batterie in 2 life
- predisposizione al B2G

- Azioni sulla distorsione armonica sulla rete THD

Smart charge : ritardo ricarica

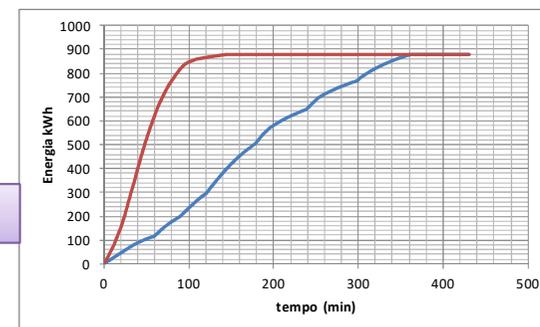
Distanziamento temporale della ricarica di 30 min



Potenza

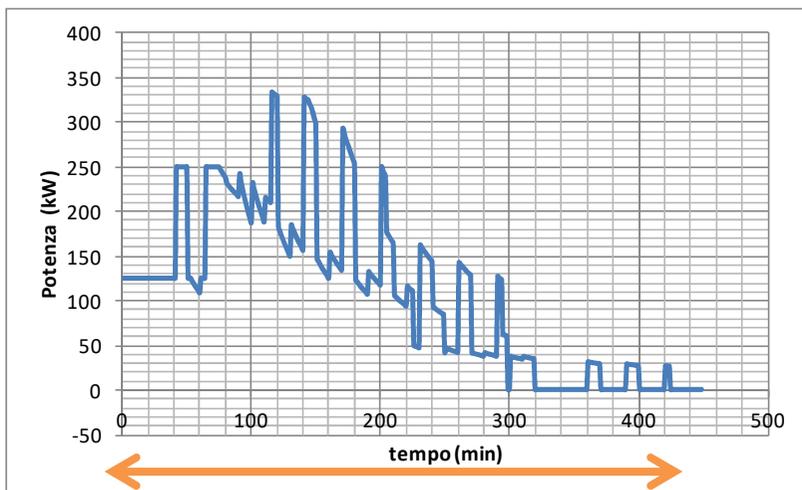
- Precedenza in base all'ora di arrivo
- Precedenza in base all'orario di uscita
- Precedenza in base al SOC min

Energia



Flotte di bus elettrici e impatto sulla rete

Smart charge : ricarica «alternate»

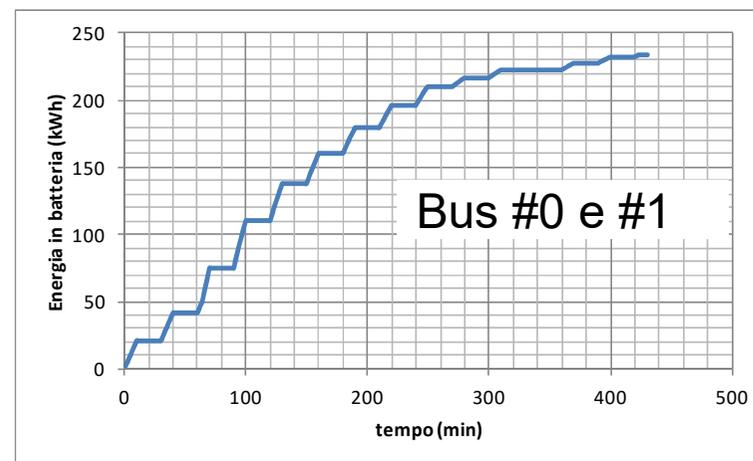


430 min

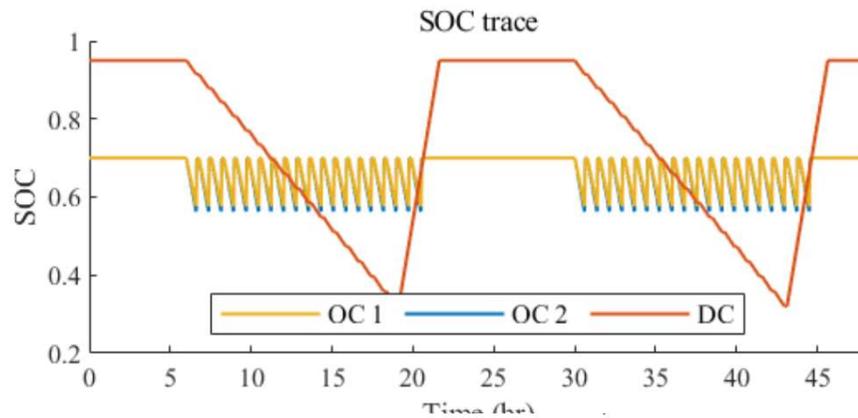
I bus ricevono tutti una carica minima garantita

Due o tre veicoli per volta per 10 min (intervallo di 20 min)

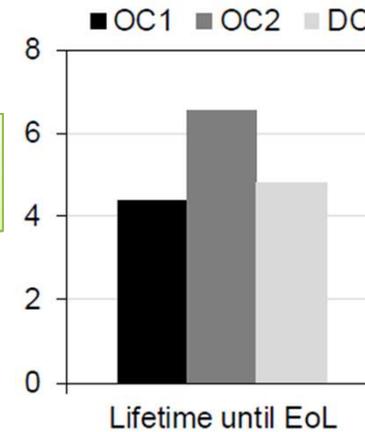
$P_{max} = 330 \text{ kW}$



Ricarica di opportunità



OC1 batterie NMC
 OC2 batterie LTO
 DC batterie LFP



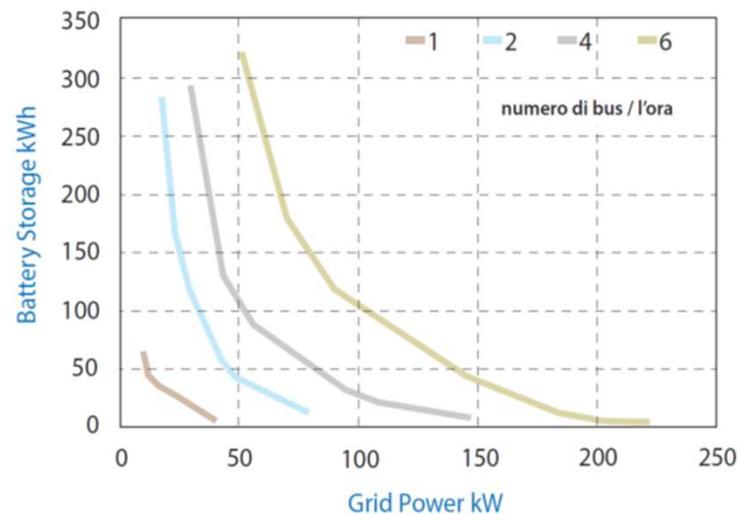
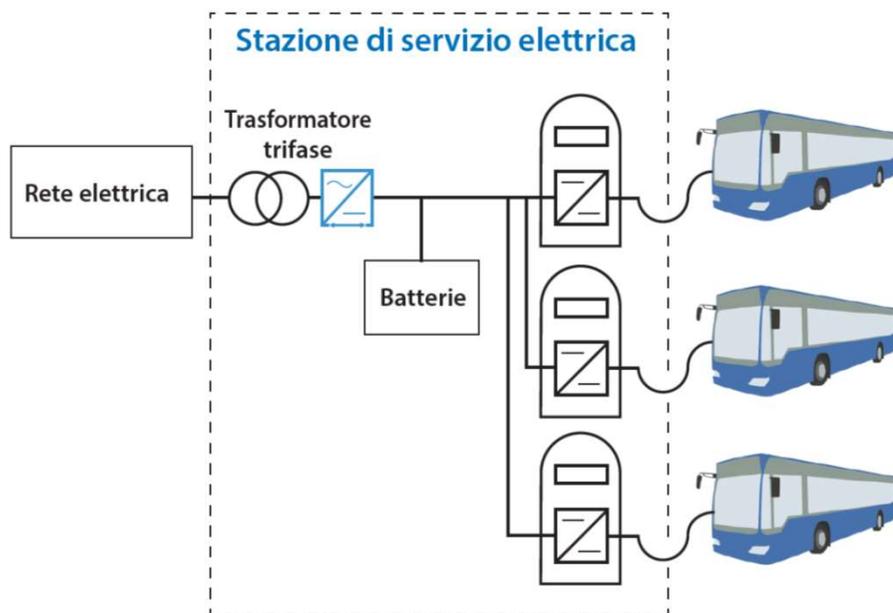
Possibile accumulo stazionario buffer al capolinea per ridurre le potenze impulsive

Case	Charging strategy	Charging interface	Maximum charging power	Battery type	Charging rate	Battery size
OC 1	Opportunity	Induction	200 kW	NMC	3C	90 kWh
OC 2	Opportunity	Pantograph	375 kW	LTO	4C	83 kWh
DC	Depot	Plug	75 kW	LFP	1C	324 kWh

SOC con variazioni minori → maggiore vita con batterie ad elevato C-rate (LTO)
 Ricarica ad alta potenza **300 kW** 2 min 8.3 kWh consumo bus 1.32 kWh/km

CONCEPTUAL DESIGN OF URBAN E-BUS SYSTEMS WITH SPECIAL FOCUS ON BATTERY TECHNOLOGY
 Göhlich, Dietmar ; Fay, Tu-Anh ; Park, Sangyoung

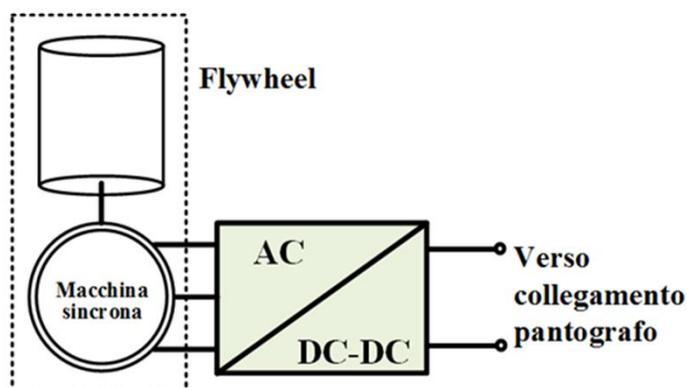
Ricarica opportunità con accumulo



La potenza richiesta alla rete elettrica può ridursi anche dell'80% l'accumulo a terra si ricarica dopo che il bus è ripartito, a potenze più basse

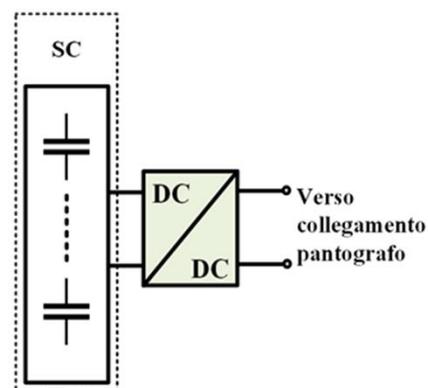
Accumuli disponibili come buffer

Utilizzati sia al capolinea che alla fermata



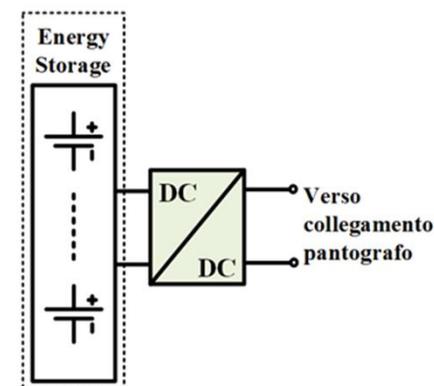
Volano

Accumulo inerziale : idoneo per le soluzioni al capolinea



Supercondensatori

Flash charge : sistema di ricarica per travaso SC-SC idoneo nei sistemi a ricarica in linea



Batterie al Titanato di Litio

Conclusioni

- La transizione tecnologica è prevista anche nel TPL
- La sfida è per il sistema elettrico che deve crescere ed evolvere in senso smart
- La maggiore richiesta di potenza per la ricarica del TPL vedrà impatti sulla rete di distribuzione: carico, distorsione, potenza reattiva, stabilità
- Il corretto mix delle soluzioni per la ricarica del TPL elettrico limiteranno gli impatti sulla rete ma offriranno anche occasioni di risparmi di gestione
- L'innovazione tecnologica e la capacità di gestione offriranno un servizio affidabile e rispettoso dell'ambiente urbano



Antonino Genovese
antonino.genovese@enea.it



Flotte di bus elettrici e impatto sulla rete