

K-BUS

Simulazione di performance tecnico gestionale di sistema di biberonaggio energetico a ricarica rapida di autobus a trazione elettrica

Sommario

1. Premessa.....	2
2. Dati e ipotesi adottate nella simulazione.....	3
3. Simulazione conto economico di gestione di linea di trasporto pubblico.....	8
4. Sintesi dei risultati.....	11

1. Premessa

Il presente documento delinea una soluzione per la mobilità pubblica con un sistema di biberonaggio energetico ad alta velocità (*K-bus*), basato sul brevetto n. TO 2006 A 000610 a titolarità di Sequoia Automation dal titolo “*Sistema di biberonaggio energetico a ricarica rapida di mezzi di trasporto collettivo a trazione elettrica*”, confrontando i dati relativi ad un sistema esistente (Linea Star 1 gestita da GTT - Gruppo Trasporti Torino, con autobus elettrici realizzati da Eco Power Technology con sistema a ricarica mista conduttiva ed induttiva rapida prodotta dalla Wampfler SA).

Il sistema K-bus riduce drasticamente la necessità di accumulo elettrochimico di energia elettrica a bordo del mezzo, demandando al territorio la funzione di fornire l’energia necessaria ai mezzi, eliminando così il problema della autonomia.

Si definisce biberonaggio la ricarica parziale delle batterie che equipaggiano un mezzo di locomozione elettrico autonomo. Lo stato dell’arte della tecnologia ha come prerogativa un prolungamento dell’autonomia giornaliera dei veicoli elettrici, i quali richiedono comunque una ricarica lenta notturna prima di potere riprendere servizio.

La soluzione K-bus, prevedendo l’impiego di supercondensatori al posto degli accumulatori tradizionali, consente di abbattere i tempi di ricarica, rendendoli compatibili con il tempo necessario alla salita/discesa dei passeggeri. In questo modo, il concetto di autonomia viene trasferito dal veicolo al territorio, consentendo di estendere le virtù della trazione elettrica a tutte le linee, urbane e extraurbane, servite attualmente dai mezzi a trazione endotermica.

K-bus comporta inoltre il recupero dell’energia persa in frenata dai veicoli, con un risparmio dell’energia necessaria assai significativo (dell’ordine del 30-50% a seconda del numero e tipo di accelerazioni e discese) rispetto ad un veicolo elettrico “tradizionale”.

La soluzione proposta, infine, comporta rilevanti economie gestionali, poiché la vita dei supercondensatori è enormemente più lunga delle batterie tradizionali e persino degli stessi autobus.

Da ultimo il sistema è maggiormente sostenibile dal punto di vista ambientale, contribuendo maggiormente al “sequestro” del carbonio (uso di sistemi di stoccaggio di energia a base di carbonio, i cd. “ultracapacitori” e impiego di fonti di energia rinnovabile, il fotovoltaico) e riducendo drasticamente il problema dello smaltimento delle batterie esauste.

- Costi di manutenzione connessi alla sostituzione/rigenerazione del pacco batterie del bus (del costo di ca. € 20.000), di norma da effettuarsi ogni 30 mesi.
- Le batterie hanno un comportamento asimmetrico: mentre possono erogare importanti quantità di energia, sono molto più lente nell'accettare la ricarica. Il sistema Star 1 prevede una ricarica conduttiva notturna completa (lunga) del bus + una serie di ricariche induttive parziali (sistema Wampfler) da effettuarsi nel corso della giornata (ca. 9 minuti per ogni ricarica).
- Il sistema, basato su batterie elettrochimiche, permette assai modesti apporti da recupero dell'energia in frenata, che potrebbe apportare una significativa riduzione dei consumi.
- Il sistema richiede investimenti significativi per la realizzazione dei sistemi di carica, sia a terra che a bordo dell'autobus.

Al fine di comparare il sistema K-bus con il sistema attualmente in uso dalla linea Star 1 sono stati considerati i soli dati relativi alle due configurazioni considerate, tenendo fermi gli altri costi (costo del bus al netto del sistema di carica e di stoccaggio dell'energia) e prendendo in considerazione la struttura attuale delle fermate presenti sulla linea.

I dati di base a partire dai quali è stato effettuato il confronto sono i seguenti:

1	Consumo bus	1 kWh/km
2	Pacco batterie a bordo bus	56 batterie piombo-gel da 6V del peso di kg. 34 l'una per complessivi 336V/180Ah
3	Prezzo singola batteria (comprensivo di rigenerazione, vita utile 30 mesi)	€ 360
4	Prezzo di attrezzamento sistema di ricarica induttiva a terra	€ 120.000
5	Prezzo di attrezzamento sistema di ricarica induttiva a bordo (per bus)	€ 16.000
6	Prezzo di attrezzamento sistema di ricarica conduttiva a terra (per bus)	€ 10.000

Sistema K-Bus

Il sistema proposto prevede:

- L'adozione di un sistema in grado di recuperare energia in frenata pari al 40% del consumo totale di energia;
- La sostituzione del pacco batterie a bordo del bus con un pacco di supercondensatori in grado di garantire l'autonomia necessaria nei percorsi che intercorrono tra una stazione di ricarica e l'altra.

- L'adozione di un pacco di batterie al litio di emergenza da utilizzarsi in caso di malfunzionamento da parte di una stazione di ricarica.
- La realizzazione di quattro stazioni di ricarica conduttiva, due ai capolinea e due intermedie (Ottavio e Arsenale), queste ultime in grado di servire i bus in entrambe le direzioni.
- Dimensionamento della linea elettrica di alimentazione in relazione alla necessità di carica dei supercondensatori in dotazione alle pensiline in questione alla luce della frequenza dei passaggi impostata;
- Sostituzione periodica del pacco batterie di riserva

I dati di base relativi alla tecnologia K-bus sono i seguenti:

1	Consumo bus	0,6 kWh/km
2	Pacco supercondensatori a bordo bus pacco (max) supercondensatori presso pensilina	435 supercondensatori Maxwell MC Power Series BCAP3000 P270 da 2,7 Volt, di 0,55 kg l'uno per complessivi 1,45 kWh di energia immagazzinabile
3	Prezzo singolo supercondensatore (durata > 1 Milione di cicli di carica)	€ 53,30
4	Costo di attrezzamento sistema di ricarica a terra* – tappeto conduttivo (esclusi supercap)	€ 4.000
5	Costo elettronica di controllo e connessioni* (per stazione di ricarica)	€ 6.500
6	Costo di attrezzamento sistema di ricarica a bordo* - presa (per bus, esclusi supercap)	€ 2.000
7	Costo elettronica di controllo e connessioni a bordo* (per bus)	€ 4.000
8	Costo pacco batterie di riserva al litio (per bus)	€ 1.500

* I costi indicati sono relativi ad una produzione di tipo industriale dei sistemi in questione, al netto dei costi di R&D e di prototipazione, stimati in relazione ai costi attuali della relativa componentistica e del costo del lavoro necessario per la loro realizzazione.

Con riferimento inoltre all'opportunità di integrare i sistemi in questione, in relazione alle rispettive performance, con sistemi di alimentazione tramite pannelli fotovoltaici, sono stati adottati i seguenti parametri:

Costo Pannelli fotovoltaici al mq (€)	700
Potenza di picco per mq di pannello (W)	160
Ore equivalenti di disponibilità annua (h)	1.200
Potenza mediata nell'anno per mq (W)	21,92
Energia prodotta mq/anno (kWh)	192
Prezzo di acquisto dell'energia elettrica (€/kWh)	0,12
Prezzo di vendita dell'energia elettrica – conto energia (€/kWh)	0,40

La simulazione prevede:

- Una sostituzione biennale dei tappeti conduttivi nel sistema K-bus, potenzialmente soggetti ad usura, per garantirne il livello di sicurezza;
- Una sostituzione biennale del pacco batterie di riserva al litio a bordo dei K-bus, ipotizzandone un uso saltuario ma comunque consistente;
- Costi di manutenzione straordinaria doppi per il sistema K-bus rispetto ai costi di manutenzione del sistema Wampfler (ipotesi conservativa).

La simulazione della tecnologia k-bus, in relazione ai consumi energetici richiesti dalla linea, prevede due stazioni di carica opportunamente dimensionate ai capolinea + 2 intermedie; queste ultime servono gli autobus in entrambe le direzioni. Il dimensionamento stabilito garantisce comunque una autonomia residua dei bus alimentati dai supercondensatori, a cui si aggiunge quella garantita dalle batterie di riserva agli ioni di litio.

La simulazione non tiene invece conto de:

1. Il costo dei bus

Si ritiene analogo per i due sistemi, eccettuati naturalmente i costi dei sistemi di alimentazione e di stoccaggio dell'energia.

2. La differenza nel numero di autobus in relazione al sistema di ricarica adottato

Non è stato tenuto in conto un eventuale maggior numero di bus richiesti dal sistema Wampfler per garantire la frequenza dei passaggi in relazione ai tempi di ricarica induttiva (9 minuti)

3. L'evoluzione dei costi degli Energy Storage Systems

L'evoluzione della tecnologia comporta un miglioramento delle performance ed una riduzione dei costi nel tempo dei supercondensatori. L'abbondanza della materia prima (carbonio e alluminio), anche in prospettiva, unitamente alla ricerca industriale di cui sono attualmente oggetto, permette di configurare soluzioni tecniche più performanti di quella qui proposta ed a costi inferiori. Sono infatti in una fase già avanzata di sviluppo capacitori con una densità energetica pari a ca. 30 Wh/kg (contro i 5,4 Wh/kg dei Maxwell adottati nella simulazione).

4. Le variazioni nei consumi in relazione al peso

Il peso a bordo autobus del pacco batterie piombo-gel è di ca. 1.900 kg. contro i ca. 270 kg del pacco supercondensatori + batterie al litio. Non si è tenuto conto nella simulazione degli effetti sui consumi di tale differenza (stimati in uno studio realizzato da EPT- Università di Brescia in circa il 10%).

5. *Gli ammortamenti.*

In particolare in relazione al fatto che i pacchi di supercap a bordo bus hanno una vita utile assai più elevata degli stessi bus, possono essere quindi trasferiti da un bus all'altro al termine della vita del primo.

3. Simulazione conto economico di gestione di linea di trasporto pubblico

Confronto tecnologia Wampfler / K-bus

Dati simulazione

	K-bus	Wampfler
Recupero energia in frenata	40%	---
Consumo bus in kWh / km	0,6	1
n. autobus	8	
consumo kW/tratta/n.bus	56,93	94,88
corse x singolo bus	6,61	
consumo tot. Giorno (kW)	376,32	627,20
Consumo tot. Anno (kW)	30.481,92	50.803,20
Velocità media bus (kmh)	9,8	
frequenza passaggi (min.)	10	
Km totali percorsi/anno	50.803,20	
Tempo percorso completo (min)	73	
Ore funzionamento/giorno	8	
Giorni lavoro annui	81	
Potenza rete richiesta (kW):	17	10
Riserva di energia (kW):	0,4	
Prezzo di acquisto energia (kWh)	€ 0,120	
Prezzo di vendita energia (kWh)	€ 0,400	

Ingombro pacco batterie (dm3)	2.940
Ingombro pacco supercondensatori (dm3)	406

Costo supercap Maxwell PCAB3000 (€)	53,3
Costo Pannelli fotovoltaici al mq (€)	700
Potenza di picco pannelli al mq (W)	160
Ore equivalenti di disponibilità annua (h)	1.200
Potenza mediata nell'anno per mq (W)	21,92
Energia prodotta mq/anno (kWh)	192

Dati di percorso e di consumo

GTT (TORINO) - Linea Star 1	Distanza in km	m.s.l.m.	Energia richiesta dislivello (kW)	K-BUS						WAMPFLER					
				EDLC			Batterie			EDLC			Batterie		
				Rifornimento kWh	Consumo in kWh	Carica Residua kW/h	n.	kg.	€	Rifornimento kWh	Consumo in kWh	Carica Residua kW/h	n.	kg.	€
CAVALLI CAPOLINEA		250		1,420		1,42	435	263	€ 23.186	6,000		6,00	56	1904	€ 20.000
Magenta	0,44	248	-0,06		0,204	1,22					0,38	5,62			
Duca Degli Abruzzi	0,52	246	-0,06		0,252	0,96					0,46	5,16			
Ferraris	0,29	244	-0,06		0,114	0,85					0,23	4,93			
G.A.M.	0,30	243	-0,03		0,15	0,70					0,27	4,66			
Vittorio Emanuele II	0,36	241	-0,06		0,156	0,54					0,3	4,36			
ARSENALE	0,34	239	-0,06	1,200	0,144	1,60	368	222	€ 19.593		0,28	4,08			
Arcivescovado	0,32	237	-0,06		0,132	1,47					0,26	3,82			
Roma	0,45	236	-0,03		0,24	1,23					0,42	3,40			
Carlo Emanuele II	0,47	235	-0,03		0,252	0,98					0,44	2,96			
Maria Vittoria	0,22	232	-0,09		0,042	0,93					0,13	2,83			
S. Ottavio	0,28	230	-0,06		0,108	0,83					0,22	2,61			
S. OTTAVIO	0,10	230	0	1,200	0,06	1,97	368	222	€ 19.593		0,1	2,51			
Gaudenzio Ferrari	0,42	228	-0,06		0,192	1,77					0,36	2,15			
Regina Margherita	0,26	226	-0,06		0,096	1,68					0,2	1,95			
Guastalla	0,30	224	-0,06		0,12	1,56					0,24	1,71			
Largo Belgio	0,26	224	0		0,156	1,40					0,26	1,45			
Ricasoli	0,33	223	-0,03		0,168	1,23					0,3	1,15			
Ospedale Gradenigo	0,39	222	-0,03		0,204	1,03					0,36	0,79			
OSPEDALE GRADENIGO CAPOLINEA	0,15	222	0	1,200	0,09	2,14	368	222	€ 19.593	6,000	0,15	6,64			
Regina Margherita	0,34	224	0,06		0,264	1,88					0,4	6,24			
S. Giulia	0,3	224	0		0,18	1,70					0,3	5,94			
Guastalla	0,31	225	0,03		0,216	1,48					0,34	5,60			
Gaudenzio Ferrari	0,29	228	0,09		0,264	1,22					0,38	5,22			
S. OTTAVIO	0,24	228	0	1,200	0,144	2,27					0,24	4,98			
Rosine	0,29	230	0,06		0,234	2,04					0,35	4,63			
Accademia Albertina	0,32	234	0,12		0,312	1,73					0,44	4,19			
Carlo Alberto	0,27	235	0,03		0,192	1,53					0,3	3,89			
Lagrange	0,18	236	0,03		0,138	1,40					0,21	3,68			
Gramsci	0,28	237	0,03		0,198	1,20					0,31	3,37			
ARSENALE	0,33	239	0,06	1,200	0,258	2,14					0,39	2,98			
Vittorio Emanuele II	0,42	241	0,06		0,312	1,83					0,48	2,50			
Galleria d'Arte Moderna	0,45	243	0,06		0,33	1,50					0,51	1,99			
Ferraris	0,18	244	0,03		0,138	1,36					0,21	1,78			
Duca Degli Abruzzi	0,24	246	0,06		0,204	1,16					0,3	1,48			
Magenta	0,50	248	0,06		0,36	0,80					0,56	0,92			
Palagiustizia	0,47	250	0,06		0,342	0,45					0,53	0,39			
CAVALLI CAPOLINEA	0,25	250	0		0,15	0,30					0,25	0,14			
Totali	11,86	28	0	7,420	7,12					12,000	11,86				

Conto economico

Costi sistema di alimentazione K-Bus

voce		costo	unità	importo
Pensiline	tappeto conduttivo	€ 4.000	6	€ 24.000
	Armadio supercap	€ 20.491	4	€ 81.966
	Conessioni	€ 2.500	6	€ 15.000
	Elettronica di controllo	€ 4.000	6	€ 24.000
Bus	Presu su bus	€ 2.000	8	€ 16.000
	Elettronica di controllo	€ 4.000	8	€ 32.000
	Pacco supercondensatori	€ 23.186	8	€ 185.484
	Pack batterie di riserva	€ 1.500	8	€ 12.000

Costi sistema alimentazione Wampfler

voce		costo	unità	importo
Sistemi a terra	Attrezzamento sistemi carica induttiva	€ 120.000	2	€ 240.000
	Attrezzamento sistemi carica conduttiva	€ 10.000	8	€ 80.000
	Attrezzamento bus	€ 16.000	8	€ 128.000
Bus	Pack batterie	€ 360,00	448	€ 161.280

	Anno 0	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10	Anno 11	Anno 12	TOT	
K-BUS	Attrezzamento pensiline	€ 144.966												€ 144.966	
	Sostituzione tappeti conduttivi		€ 24.000		€ 24.000		€ 24.000		€ 24.000		€ 24.000		€ 24.000	€ 120.000	
	Attrezzamento bus	€ 245.484												€ 245.484	
	Sostituzione batterie		€ 12.000		€ 12.000		€ 12.000		€ 12.000		€ 12.000		€ 12.000	€ 60.000	
	Altra manutenzione	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 5.000	€ 55.000	
	Energia consumata nell'anno (kWh)		30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	30.482	335.301
	Costo energia	€ 3.658	€ 3.768	€ 3.881	€ 3.997	€ 4.117	€ 4.240	€ 4.368	€ 4.499	€ 4.634	€ 4.773	€ 4.916	€ 5.063	€ 5.214	€ 46.849
	TOT	€ 394.107	€ 8.658	€ 44.768	€ 8.881	€ 44.997	€ 9.117	€ 45.240	€ 9.368	€ 45.499	€ 9.634	€ 45.773	€ 9.916	€ 10.063	
	TOT cumulato		€ 402.765	€ 447.533	€ 456.413	€ 501.410	€ 510.527	€ 555.768	€ 565.135	€ 610.634	€ 620.268	€ 666.040	€ 675.956	€ 686.020	
WAMPFLER	Attrezzamento sistemi di carica	€ 320.000												€ 320.000	
	Attrezzamento bus	€ 289.280												€ 289.280	
	Sostituzione batterie (ogni 30 mesi ca.)		€ 161.280		€ 161.280		€ 161.280		€ 161.280		€ 161.280		€ 161.280	€ 645.120	
	Altra manutenzione	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.500	€ 2.501	€ 2.501	€ 27.500	
	Energia consumata nell'anno (kWh)		50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	50.803	558.835	
	Costo energia	€ 6.096	€ 6.279	€ 6.468	€ 6.662	€ 6.862	€ 7.067	€ 7.279	€ 7.498	€ 7.723	€ 7.954	€ 8.193	€ 8.439	€ 78.081	
	TOT	€ 615.376	€ 8.596	€ 170.059	€ 8.968	€ 9.162	€ 170.642	€ 9.567	€ 171.059	€ 9.998	€ 10.223	€ 171.734	€ 10.693	€ 10.940	
	TOT cumulato		€ 623.972	€ 794.032	€ 803.000	€ 812.161	€ 982.803	€ 992.370	€ 1.163.430	€ 1.173.427	€ 1.183.650	€ 1.355.385	€ 1.366.078	€ 1.377.017	50,2%

Simulazione costi con sistema di alimentazione fotovoltaico

	Anno 0	Anno 1	Anno 2	Anno 3	Anno 4	Anno 5	Anno 6	Anno 7	Anno 8	Anno 9	Anno 10	Anno 11	Anno 12	TOT	
K-BUS	Pannelli solari (mq)	159													
	Pannelli solari	€ 111.132													
	Saldo ricavi vendita energia	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 12.193	€ 146.313	
	TOT	€ 505.239	-€ 3.535	€ 32.575	-€ 3.312	€ 32.804	-€ 3.076	€ 33.048	-€ 2.825	€ 33.306	-€ 2.559	€ 33.580	-€ 2.277	-€ 2.129	
	TOT cumulato		€ 501.705	€ 534.279	€ 530.967	€ 563.771	€ 560.696	€ 593.743	€ 590.918	€ 624.224	€ 621.665	€ 655.245	€ 652.968	€ 650.838	
WAMPFLER	Pannelli solari (mq)	265													
	Pannelli solari	€ 185.220													
	Saldo ricavi vendita energia	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 20.321	€ 243.855	
	TOT	€ 800.596	-€ 20.321	€ 149.738	-€ 11.354	-€ 11.160	€ 150.320	-€ 10.754	€ 150.738	-€ 10.323	-€ 10.099	€ 151.413	-€ 9.628	-€ 9.381	
	TOT cumulato		€ 780.275	€ 930.013	€ 918.659	€ 907.500	€ 1.057.820	€ 1.047.066	€ 1.197.804	€ 1.187.481	€ 1.177.382	€ 1.328.795	€ 1.319.167	€ 1.309.786	50,3%

4. Sintesi dei risultati

La simulazione evidenzia la competitività del sistema K-BUS.

Si noti che il trasporto mediante i bus elettrici della linea Star presenta già significative performance migliorative rispetto ad una linea con bus a motore endotermico standard. Le valutazioni effettuate sulla linea Star 2 (che utilizza gli stessi mezzi) evidenziano infatti come il costo dell'energia elettrica consumata è pari, al livello attuale dei prezzi, a circa un quarto rispetto al costo del carburante necessario per alimentare un bus di pari caratteristiche alimentato a gasolio.

Tecnologia	Consumo l/km	Consumo kWh/km
Autobus linea Star	---	0,97
Autobus di pari caratteristiche (Alé MAN) con motore endotermico	0,43	4,27

L'investimento iniziale per la realizzazione della linea attrezzata con tecnologia k-bus (al netto dei costi dei bus) permette un risparmio di circa il 36% rispetto al costo della tecnologia attuale

Il conto economico a 12 anni mostra invece un risparmio complessivo di ca. il 50%, se non superiore, in considerazione del fatto che i pacchi di supercondensatori, a fine vita di un autobus, possono essere trasferiti e riutilizzati su un altro autobus per un certo numero di volte senza percepibili cali di rendimento. Nel caso della linea Star il pacco di supercondensatori a bordo bus raggiungerebbe il milione di cicli di ricarica (a partire dal quale il produttore segnala una perdita di efficienza di circa il 20%) in circa 55 anni, calcolando 365 giorni all'anno di operatività.

Tecnologia	Investimento iniziale	Costo a 10 anni
A ricarica conduttiva + induttiva Wampfler	€ 615.376	€ 1.377.017
K-bus	€ 394.107	€ 686.020

Si noti che la convenienza relativa aumenta al crescere delle giornate di attività, nella simulazione stabilite in 81.

Si tenga inoltre presente che se in luogo degli ultracapacitori Maxwell si adottassero dei più economici ultracapacitori di produzione cinese i valori previsti sarebbero i seguenti (simulazione con SHV Capacitor 3000F 2,7V):

Tecnologia	Investimento iniziale	Costo a 10 anni
A ricarica conduttiva + induttiva Wampfler	€ 615.376	€ 1.377.017
K-bus	€ 277.192	€ 569.104

L'adozione di pannelli fotovoltaici, alle condizioni date, non muta sostanzialmente il quadro, salvo per il minor impegno economico iniziale per quanto riguarda la tecnologia k-bus, che richiede apporti energetici inferiori. In entrambi i casi l'investimento si ripaga in termini economici in 10/11 anni, tenendo fermo il prezzo di vendita dell'energia prodotta alla rete. Può tuttavia costituire una scelta particolarmente vantaggiosa in percorsi extraurbani (con passaggi dei mezzi meno frequenti) e dove non ci siano reti elettriche in prossimità, oltre che per ragioni di ordine ambientale e politico.

Occorre considerare che il conto economico gestionale di una linea di trasporto elettrico è tuttavia aggravato dai costi di acquisto degli autobus (relativamente superiore a quello degli autobus normali, ancorché presumibilmente condizionato dalle ridotte economie di scala) e di attrezzamento della linea di ricarica induttiva, oltre che del costo delle batterie, soggette a sostituzione periodica.

Il sistema k-bus ha caratteristiche tali da superare tali ultimi aggravii di costo, infatti l'attrezzamento delle stazioni di ricarica è assai meno costoso ed i supercondensatori non sono sostanzialmente soggetti a usura.

La soluzione adombrata di alimentazione del sistema sulla linea per mezzo di pannelli fotovoltaici risulta inoltre in grado di ripagare l'investimento in tempi relativamente brevi a fronte dell'esistenza di un sistema di remunerazione dell'energia prodotta particolarmente vantaggioso (cd. "conto energia"). Il sistema è comunque sostanzialmente dedicato all'immissione dell'energia prodotta in rete piuttosto che all'alimentazione dei supercondensatori, per questa è infatti comunque richiesta una connessione alla rete di capacità adeguata al caricamento del pacco supercondensatori nei tempi intercorrenti tra un passaggio e l'altro dei bus sulla linea.

Il **costo energetico** del servizio in questo caso **sarebbe praticamente nullo** con un'infrastruttura di mezzi e pensiline solari che avrebbero un orizzonte temporale di sfruttamento superiore ai trent'anni senza necessità di manutenzione ordinaria.

Il sistema prospettato è relativo ad una tratta urbana con frequenza di passaggi elevata. L'applicazione della stessa tecnologia in tratte extraurbane si dimostra ancor più efficiente in quanto il minor fabbisogno di energia renderebbe particolarmente idonea l'alimentazione del sistema tramite pannelli solari.

La diffusione e standardizzazione del sistema potrebbe inoltre portare in prospettiva alla creazione di una rete infrastrutturale di punti di alimentazione di mezzi di vario genere dotati della tecnologia K-bus, in tal modo generando un valore aggiunto ed una opportunità di crescente rilevanza sul territorio degli operatori che per primi adottassero questa tecnologia.

Ma la cosa importante è che avremo un'infrastruttura che offrirà il servizio per i prossimi 50 anni senza esternalità o inquinamento e senza i rischi legati alla disponibilità dell'energia fossile. Il Bus invecchia e si usura, ma i supercondensatori e il fotovoltaico perdono delle piccole percentuali di efficienza complessiva, prevedibile in fase di dimensionamento.

Un altro vantaggio attualmente poco evidente è relativo al fatto che i supercondensatori sono fatti di carbonio. In un'ottica di diffusione del principio proposto, ne parteciperanno al sequestro, e non hanno problemi di carenza della principale materia costitutiva (oltre all'alluminio).

Si tenga poi conto che il dimensionamento del pacco supercondensatori a bordo e a terra così come il numero di stazioni di ricarica può essere modificato al fine di garantire autonomie maggiori/minori, esigenza di un minor/maggior numero di condensatori a bordo dei bus, ecc.

Infine il sistema k-bus permette una gestione più elastica ed efficiente del parco automezzi e del personale, poiché i bus non risultano più vincolati ai tempi lunghi di ricarica notturna né a quelli di ricarica induttiva che, per quanto assai più brevi, comportano in ogni caso il fermo del mezzo.