



Interreg
CENTRAL EUROPE



European Union
European Regional
Development Fund

EfficienCE



MANUALE TRANSNAZIONALE PER L'IMPIEGO DI TECNOLOGIE AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA NELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO PUBBLICO

(1) Efficienza energetica per i depositi

STAMPA

Numero del progetto:

CE1537 EfficienCE Efficienza energetica per le infrastrutture di trasporto pubblico nell'Europa centrale.

Finanziato da:

Interreg Central Europe (<http://interreg-central.eu/Content.Node/home.html>)

Titolo del documento ufficiale:

D.T2.3.2 Manuali transnazionali per l'impiego di tecnologie ad alta efficienza energetica nelle infrastrutture di trasporto pubblico

Editore:

Consorzio EfficienCE

Autori:

Marcin Wolek (Università di Tecnica di Danzica)

Grafica e progettazione:

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

Data:

giugno 2022

Informazioni sul progetto EfficienCE

EfficienCE è un progetto di cooperazione finanziato dal programma Interreg CENTRAL EUROPE che mira a ridurre l'impronta di carbonio nella regione. La maggior parte delle città dell'Europa centrale dispone di ampi sistemi di trasporto pubblico, che possono costituire la base di servizi di mobilità a basse emissioni di carbonio. Poiché oltre il 63% dei pendolari della regione utilizza il trasporto pubblico, le misure per aumentare l'efficienza energetica e la quota di energie rinnovabili in tali infrastrutture possono avere un impatto particolarmente elevato sulla riduzione di CO₂.

Questo obiettivo è stato raggiunto con il sostegno alle autorità locali, alle autorità di trasporto pubblico e agli operatori attraverso lo sviluppo di strategie di pianificazione e piani d'azione, l'attuazione di azioni pilota, lo sviluppo di strumenti e formazione per la programmazione e la gestione di infrastrutture a basse emissioni di carbonio e il trasferimento di conoscenze e buone pratiche sulle misure di efficienza energetica nelle regioni dell'Europa centrale.

Dodici partner, tra cui sette autorità/aziende di trasporto pubblico di sette Paesi, hanno collaborato per tre anni per sfruttare le potenzialità inesprese di questo settore e per contribuire agli obiettivi del "Libro Bianco" dell'UE per ridurre le emissioni dei trasporti del 60% entro il 2050 e dimezzare l'uso di veicoli "alimentati con carburanti convenzionali" nel trasporto urbano entro il 2030.

Sintesi	5
1. Introduzione.....	6
1.1 Esame della letteratura-----	6
1.2 Processo di selezione dei casi studio -----	7
2. Caso d'uso	8
2.1 DPMB Brno -----	8
2.2 DPO Ostrava -----	8
2.3 MPK Wrocław -----	9
2.4 MZA Warszawa-----	9
2.5 PKT di Gdynia -----	10
2.6 SZKT a Seghedino (lascerei Szeged)-----	10
2.7 Caratteristiche generali dei depositi -----	11
3. Analisi dei casi d'uso	13
3.1 Edifici -----	14
3.1.1 Isolamento-----	14
3.1.2 Misurazione intelligente-----	14
3.1.3 Piccole migliorie edilizie -----	15
3.1.4 Altre attività su piccola scala-----	15
3.2 Riscaldamento-----	16
3.3 Fonti di energia rinnovabile-----	16
3.4 Illuminazione -----	18
3.5 Impianto di verniciatura -----	19
4. Conclusioni	20
Bibliografia	21

Sintesi



Foto della città di Lipsia

Sebbene l'energia non di trazione rappresenti una spesa secondaria, la pressione ambientale e geopolitica per la trasformazione energetica costituisce un valido argomento per la ricerca di miglioramenti nei depositi.

Il deposito consuma energia elettrica, ma anche gas, carburante e teleriscaldamento. La struttura dipende dal caso specifico e l'utilizzo dipende da fattori quali le condizioni tecniche degli edifici, la disponibilità di fonti di energia rinnovabile, le attrezzature (impianti di verniciatura, illuminazione) e le procedure attuate per ridurre il consumo energetico.

L'esame della letteratura ha fornito solo una risposta parziale sul tema dell'efficienza energetica dei depositi. La maggior parte dei lavori si è concentrata sull'uso delle fonti di energia rinnovabile. Nella letteratura, la questione dell'efficienza energetica e termica delle strutture tecniche degli operatori del trasporto pubblico è a malapena citata.

È stata condotta un'analisi approfondita utilizzando sei casi studio di diversi operatori di trasporto pubblico dell'Europa Centrale: è emerso che esistono diverse attività incentrate sull'aumento dell'efficienza energetica dei depositi. La loro portata dipende non solo dalle dimensioni dell'operatore, ma anche dalle circostanze locali e dal quadro normativo nazionale.

Queste azioni sono state raggruppate in cinque gruppi principali: edifici, riscaldamento, fonti di energia rinnovabile, illuminazione e verniciatura, in quanto rappresentano aree molto specifiche di utilizzo quotidiano.

L'ottimizzazione dell'uso dell'energia nel deposito è parte integrante del miglioramento dell'efficienza energetica ed economica delle aziende di trasporto pubblico, il che è particolarmente importante in un momento in cui i prezzi dei combustibili fossili e dell'elettricità stanno aumentando rapidamente e non sono mai stati così imprevedibili.

1. Introduzione

Da molti anni rendere i depositi efficienti dal punto di vista energetico è una sfida di secondo o terzo livello per la maggior parte degli operatori. Negli ultimi anni si è assistito all'acquisizione in massa di materiale rotabile moderno in nome dell'elettrificazione. Attualmente, in tutto il mondo viene utilizzato oltre mezzo milione di veicoli elettrici e la portata dell'elettrificazione è in aumento. Si stima che entro il 2040 gli autobus elettrici potrebbero superare i 2/3 della flotta del trasporto urbano mondiale. Una tendenza parallela è il ruolo crescente dei veicoli a idrogeno, che nel 2040 potrebbero rappresentare il 6% dei veicoli di trasporto urbano¹. L'attenzione si è concentrata soprattutto sui sistemi di accumulo energetico nei veicoli. Tra le tre tecnologie disponibili (batteria, supercondensatore, flywheel)², la batteria sembra essere quella principale, superando le altre due. La tecnologia di ricarica in movimento è considerata una nuova opportunità per l'utilizzo dei filobus, anche grazie alla sua maturità tecnologica³.

Sebbene l'energia non di trazione rappresenti una spesa secondaria⁴, la pressione ambientale e geopolitica per la trasformazione energetica costituisce un valido argomento per la ricerca di miglioramenti nei depositi.

Il deposito consuma energia elettrica, ma anche gas, carburante e teleriscaldamento. La struttura dipende dal caso specifico e l'utilizzo dipende da fattori quali le condizioni tecniche degli edifici, la disponibilità di fonti di energia rinnovabile, le attrezzature (impianti di verniciatura, illuminazione) e le procedure attuate per ridurre il consumo energetico.

1.1 Esame della letteratura

Attualmente, il progresso tecnologico si concentra principalmente sull'accumulo di energia elettrica, rappresentato da diverse generazioni di batterie⁵.

Nel paper di M. Bartłomiejczyk è stato proposto il primo impianto FV per la fornitura di energia al sistema filoviario di Gdynia (Polonia). Il carico irregolare dell'alimentazione di trazione, dovuto alla diversa irradiazione solare e alla ricezione non uniforme dell'energia da parte dei filobus (congestione stradale), consente l'utilizzo di oltre il 70% dell'energia che può essere prodotta dall'impianto fotovoltaico di 500 kW. L'introduzione di un'alimentazione bilaterale aumenta la capacità di utilizzare l'energia. La potenza ottimale dell'impianto solare dipende in gran parte dalla struttura locale del sistema elettrico e dalle condizioni del traffico. Per le grandi sottostazioni si consiglia di sviluppare impianti fotovoltaici con una potenza di 400-500 kW e di 100-150 kW per quelle più piccole. Per gli impianti fotovoltaici collegati alla catenaria di trazione nei punti deboli si raccomanda una potenza massima di 50 kW⁶.

"Un sistema economico di gestione dell'energia" analizzato in un altro paper prendeva in considerazione l'energia prodotta dall'impianto FV supportata dal sistema di stoccaggio energetico. I principali ostacoli di questa soluzione sono stati il costo elevato del capitale iniziale, i requisiti tecnici specifici (come la grande superficie richiesta, la costruzione pertinente) e l'intermittenza, che è stata evidenziata come il problema principale dell'impianto FV. D'altra parte, "un'integrazione efficace e una gestione energetica del FV e del sistema di accumulo energetico nell'ecosistema di ricarica dei depositi può portare a un'attenuazione dell'impatto dell'intermittenza"⁷, alla riduzione dei picchi di carico sulla rete di distribuzione⁸ e alla diminuzione dei costi energetici per il proprietario del deposito⁹.

1 Electric Vehicle Council. Electric Vehicle Outlook 2020. Executive Summary; Electric Vehicle Council:Sydney, Australia, 2020

2 Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, prepared within EfficienCE project, 2022

3 Wołek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279

4 For instance, the non-traction energy bought in 2017 by one of PT operators in Poland was about 5 percent of the overall bought energy. Still, it was worth more than 1M PLN (ca. 213 thous. EUR as of 12.05.2022)

5 Wołek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? "Sustainability" 2020 nr 12

6 Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. "Energies" 2018 nr 11(4)

7 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.

8 W. Khan, F. Ahmad, M.S. Alam, Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange, "Engineering Science and Technology, an International Journal" 2019 nr 22 (1)

9 Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: A Consecutive Energy Management Approach for a VPP Comprising Commercial Loads and Electric Vehicle Parking Lots Integrated with Solar PV Units and Energy Storage Systems. [In:]: 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019

Sulla base della simulazione condotta per Shanghai, è stato dimostrato che il sistema di accumulo energetico con batterie e impianto fotovoltaico è la soluzione più conveniente¹⁰. D'altra parte, in base a uno studio di caso a Singapore, è stata fornita un'analisi per ridurre le variazioni dei picchi di domanda nei capolinea degli autobus dotati di stazioni di ricarica rapida supportate da unità stazionarie di stoccaggio energetico. Lo studio ha dimostrato che il potenziale di riduzione dei costi diminuisce con l'aumentare dei livelli di elettrificazione delle autolinee¹¹. Un altro studio ha evidenziato l'ibridazione dei sistemi di accumulo energetico, utilizzando batterie e supercondensatori che possono essere utilizzati in diversi sistemi di energia rinnovabile, in particolare negli impianti FV¹².

Il recente paper, basato sulla ricerca condotta nell'ambito del progetto TROLLEY 2.0, ha rilevato uno squilibrio tra la generazione di energia da fonti rinnovabili e gli orari intermittenti degli autobus. Di conseguenza, un notevole eccesso di energia rende l'intero sistema non fattibile dal punto di vista economico. Uno studio sull'energia fotovoltaica ed eolica è stato modellato sulla base di uno studio di caso della città di Arnhem (l'unica città dei Paesi Bassi che gestisce un sistema di filobus). La raccomandazione migliore è stata quella di unire la produzione dell'intera rete, mentre il risultato migliore è stato ottenuto con una soluzione ibrida (53% di energia FV e 47% di energia eolica) supportata dall'installazione di un sistema di stoccaggio energetico. Ciò si deve al fatto che la produzione eolica segue meglio l'andamento della richiesta di autobus su base annua¹³.

L'esame della letteratura ha fornito solo una risposta parziale sul tema dell'efficienza energetica dei depositi. La maggior parte dei lavori si è concentrata sull'uso delle fonti di energia rinnovabile. Nella letteratura, la questione dell'efficienza energetica e termica delle strutture tecniche degli operatori del trasporto pubblico è a malapena citata.

1.2 Processo di selezione dei casi studio

Il metodo del caso studio è stato scelto per colmare le lacune di ricerca identificate nell'esame della letteratura. La selezione di casi studio particolari è stata condotta in base alle dimensioni della città, alle dimensioni dell'operatore, ai diversi mezzi di trasporto e ai progressi nell'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile. La Tabella 1 presenta gli studi di caso selezionati per un'ulteriore analisi. Lo studio si è concentrato sugli operatori dell'Europa centrale (sulle aziende, anziché sugli interi sistemi di trasporto pubblico). Ciò ha consentito una maggiore precisione nell'acquisizione dei dati e ulteriori ricerche sotto forma di interviste individuali ai rappresentanti degli operatori interessati.

Tabella 1. Caratteristiche principali degli studi di caso selezionati per l'analisi

Operatore	Paese	Autobus	Filobus	Tram	Fornitura [mil. veic.-km]	FV
DPMB Brno	Repubblica Ceca	334	142	340	37,2	N
DPO Ostrava	Repubblica Ceca	298	68	239	30,7	N
MPK Wrocław	Polonia	328	0	285	22,2	S
MZA Warszawa	Polonia	1422	0	0	89	S
PKT di Gdynia	Polonia	0	100	0	5,3	P
SZKT a Seghedino (lascerei Szeged)	Ungheria	0	61	43	Nessun dato	P

S – sì, N – no, P – previsto

10 Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.

11 Trocker F. et. al.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. "Journal of Energy Storage" 2020 nr 32

12 Z. Cabrane, J. Kim, K. Yoo, M. Ouassaid: HESS-based photovoltaic/batteries/supercapacitors: Energy management strategy and DC bus voltage stabilization. "Solar Energy" 2021 nr 216

13 I. Diab, B. Scheurwater, A. Saffirio, G. R. Chandra-Mouli, P. Bauer: Placement and sizing of solar PV and Wind systems in trolleybus grids. "Journal of Cleaner Production" 2022 nr 352

2. Caso d'uso

2.1 DPMB Brno

Il proprietario unico di DPMB è la città di Brno. Il numero di corse annuali nel 2020 ha superato i 272 mil. di viaggi ed è diminuito del 25% rispetto al 2019¹⁴. Complessivamente, nel 2020 la trazione elettrica ha fornito il 52% dell'offerta di trasporto pubblico a Brno. DPMB intende sviluppare il sottosistema filoviario, sfruttando maggiormente i vantaggi della ricarica in movimento¹⁵.



Figura 1: Filobus Skoda Solaris nel deposito di filobus a due piani di Brno (Foto di Marcin Wolek)

2.2 DPO Ostrava

Dopravní Podnik Ostravy a.s. è l'operatore del trasporto pubblico di Ostrava, di proprietà della città di Ostrava. La fornitura di DPO è stata pari a 30,7 mil. di veicoli-chilometro. Complessivamente, nel 2020 la trazione elettrica rappresentava il 46% dell'offerta di trasporto pubblico a Ostrava¹⁶, ma si prevedeva un aumento della percentuale grazie all'introduzione degli autobus elettrici a batteria nel 2022. Inoltre, a Ostrava è in programma la costruzione di una stazione di rifornimento di idrogeno nel deposito di Hranecnik.



Figura 2: il sistema di filobus di Ostrava serve una parte della città e rappresenta il 10% dell'offerta totale di trasporto pubblico (Foto di Marcin Wolek)

¹⁴ Výroční Zpráva Dopravní Podnik Města Brna, A. S. 2020. Brno 2021

¹⁵ <https://ceetransport.com/40-sor-trolleybus-kits-to-be-assembled-by-brno-carrier-637/>

¹⁶ Dopravní Podnik Ostrava, Výroční Zpráva 2020. Ostrava 2021

2.3 MPK Wrocław



Figura 3: MPK Wrocław gestisce una grande flotta di tram (Foto di Marcin Wolek)

MPK Wrocław è stata fondata nel 1995 ed è interamente di proprietà della città di Wrocław (640.000 abitanti). Nel 2019, MPK ha percorso 22,2 milioni di veicoli-km. Nel 2022 è stata aggiudicata una gara d'appalto per la fornitura di autobus elettrici, che porterà alla consegna di 11 autobus snodati e-Citaro G Mercedes. Presso il deposito di via Obornicka saranno installati caricatori ibridi da 5x60 kW e 6x60 kW, oltre a un caricatore ad alta potenza sul circuito (400 kW).

2.4 MZA Warszawa

MZA è il più importante operatore di trasporto pubblico in Polonia, con circa 4500 dipendenti. Nel 2019, i veicoli di MZA hanno percorso circa 89 milioni di veicoli-km con 1422 veicoli a disposizione, tra cui 160 autobus elettrici. Ciò pone Varsavia nella posizione di leader della mobilità elettrica in Polonia, con una parte della flotta elettrica pari all'11%.



Figura 4: MZA Warszawa gestisce la più grande flotta di autobus in Polonia (Foto di Marcin Wolek)

2.5 PKT di Gdynia

PKT Gdynia è l'operatore filoviario comunale che serve Gdynia e la vicina città di Sopot. Nel 2020 i filobus hanno percorso circa 5,3 milioni di veicolo-km e la flotta era composta da quasi 100 veicoli. Di recente, due linee di autobus alimentati a diesel sono state sostituite da filobus con ricarica in movimento. Inoltre, l'operatore introduce costantemente un modello di ricarica in movimento. Nel 2019 quasi il 10% di veicolo-km dei filobus è stato gestito senza catenaria¹⁷. Poiché i prezzi del carburante sono alti e instabili, questa tendenza è molto promettente.



Figura 5: un filobus di PKT Gdynia in modalità operativa di ricarica in movimento a Gdynia (Foto di Marcin Wolek)

2.6 SZKT a Seghedino (lascerei Szeged)



Figura 6: un filobus convertito di SZKT a Szeged (Foto di SZKT di Szeged)

I filobus e i tram sono gestiti dalla Szegedi Közlekedési Kft. (SZKT), che è al 100% di proprietà del Comune di Szeged. È una delle quattro città ungheresi dotate di tram e una delle uniche tre che gestisce i filobus. La pianificazione del trasporto pubblico di Szeged mira a espandere ulteriormente l'infrastruttura di trasporto elettrico esistente per coprire il maggior numero possibile delle zone di trasporto pubblico locale. Gli attuali autobus alimentati a diesel verranno sostituiti in futuro. L'infrastruttura di linee aeree a Szeged è nata nel 1979 e da allora viene continuamente ampliata.

¹⁷ Wolek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279



Foto della città di Lipsia

2.7 Caratteristiche generali dei depositi

Le caratteristiche generali dei depositi di trasporto pubblico sono le seguenti:

- solitamente l'edificio del deposito è di grandi dimensioni, con cancelli alti che vengono spesso aperti;
- i depositi dispongono di vari livelli di attrezzature tecniche e strutture aggiuntive (come i colorifici);
- all'interno dell'edificio si trova un grande spazio da riscaldare e molta luce necessaria;
- i depositi funzionano praticamente ininterrottamente, di giorno e di notte, con requisiti speciali per il comfort e la sicurezza dei dipendenti;
- i sistemi di riscaldamento variano da deposito a deposito;
- il sistema di alimentazione deve essere di facile manutenzione a causa di quanto indicato in precedenza.

La struttura del consumo energetico totale di PKT Gdynia (Polonia) mostra che il deposito consuma circa il 9,3% dell'energia totale utilizzata dall'operatore (se si considerano l'elettricità, i combustibili e il riscaldamento). Un'officina di verniciatura contribuisce marginalmente al consumo energetico totale (Fig. 7).

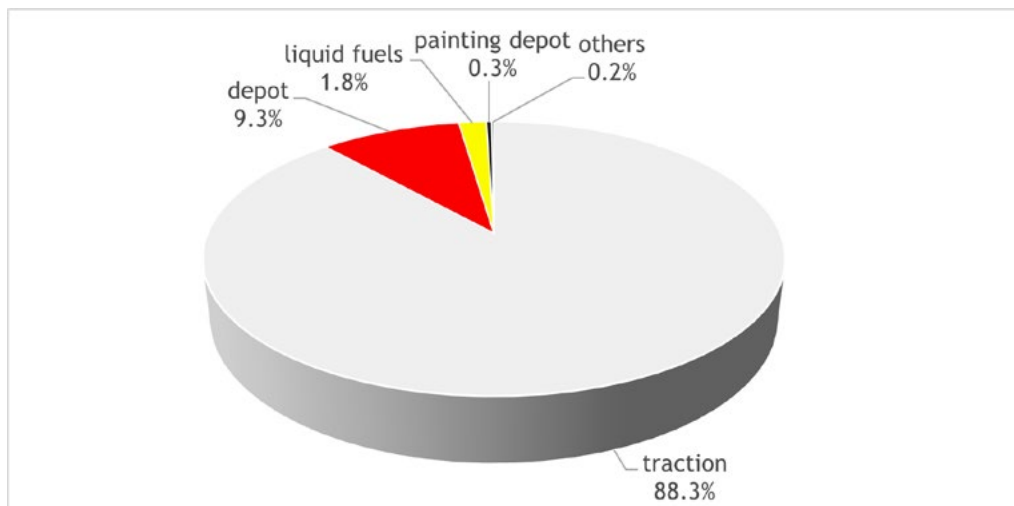


Figura 7: consumo totale di energia di PKT Gdynia nel 2020

Fonte: in base all'audit energetico di PKT Gdynia

3. Analisi dei casi d'uso

Un'analisi approfondita dei casi d'uso selezionati, supportata dalle interviste realizzate con i portatori di interessi rilevanti, ha permesso di selezionare le attività più comuni che conducono a una maggiore efficienza energetica. In generale, tutte le attività identificate possono essere messe insieme a formare vari gruppi comuni (Fig. 8). L'infrastruttura di ricarica per i veicoli situati in determinati depositi è stata esclusa dall'analisi.

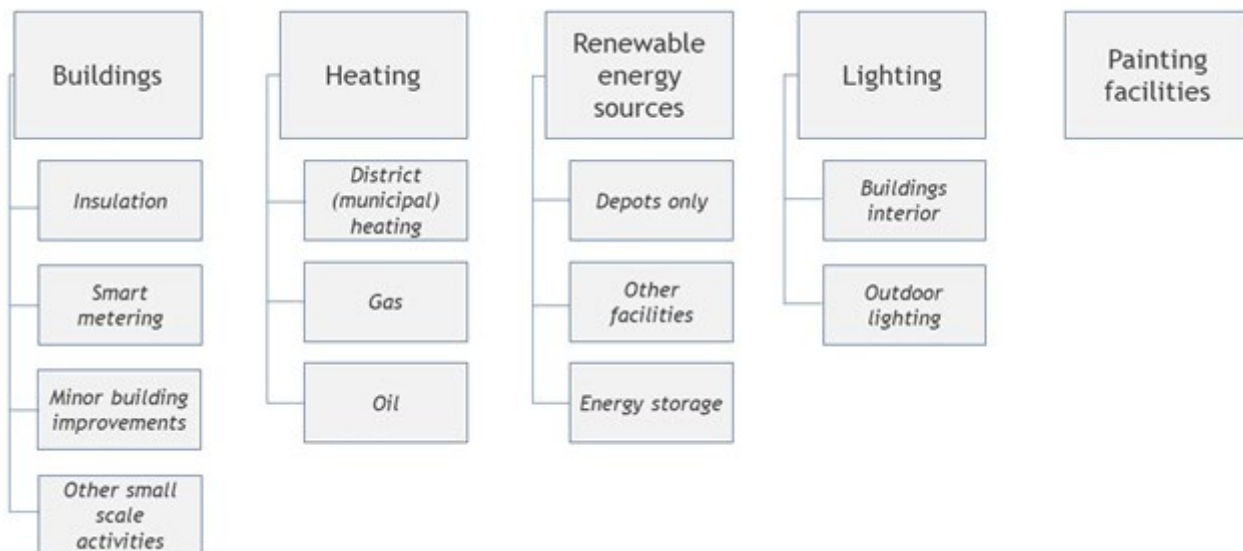


Figura 8: insieme delle attività per una maggiore efficienza energetica dei depositi di trasporto pubblico



3.1 Edifici

3.1.1 Isolamento

Molti edifici dei depositi sono stati costruiti nel secolo scorso: alcuni risalgono addirittura all'inizio del XX secolo. Esistono quindi diverse condizioni tecniche che rendono ogni caso specifico e diverso. L'isolamento complesso degli edifici è un'attività piuttosto comune, supportata da interventi su piccola scala. Ad esempio, a Ostrava (Repubblica Ceca) il progetto di riqualificazione del deposito dei filobus si fondava sulla raccomandazione di realizzare l'isolamento, le strutture del tetto, la sostituzione dei lucernari del tetto e la ricostruzione del sistema di illuminazione degli interni. L'attuazione delle misure precedenti consentirebbe un risparmio energetico per il riscaldamento di circa il 37% rispetto alla situazione iniziale.

3.1.2 Misurazione intelligente

Tutte le strutture a disposizione di DPO Ostrava sono dotate di contatore per i consumi di tutte le utenze (elettricità, calore, acqua). Il software dell'azienda ceca AYISIS consente di monitorare in tempo reale tutte le utenze in un luogo specifico. Ciò avviene, ad esempio, con la creazione di profili orari di consumo di energia elettrica. È inoltre possibile controllare la temperatura all'interno degli edifici tenendo conto delle condizioni meteorologiche in un determinato momento (i dati sono ottenuti dalla stazione meteorologica dell'azienda).

Nell'edificio del deposito di PKT Gdynia è stato installato un BMS (Building Management System, sistema di gestione degli edifici). Nella prima fase, l'azienda ha individuato le utenze da coprire con il sistema. Nel PKT è stata data priorità all'energia termica e sono stati sostituiti i quadri elettrici e 13 riscaldatori, insieme al cablaggio e al sistema di controllo. I riscaldatori sono collegati a sensori di temperatura in ciascuna delle tre zone del deposito (ispezione, pulizia, manutenzione).

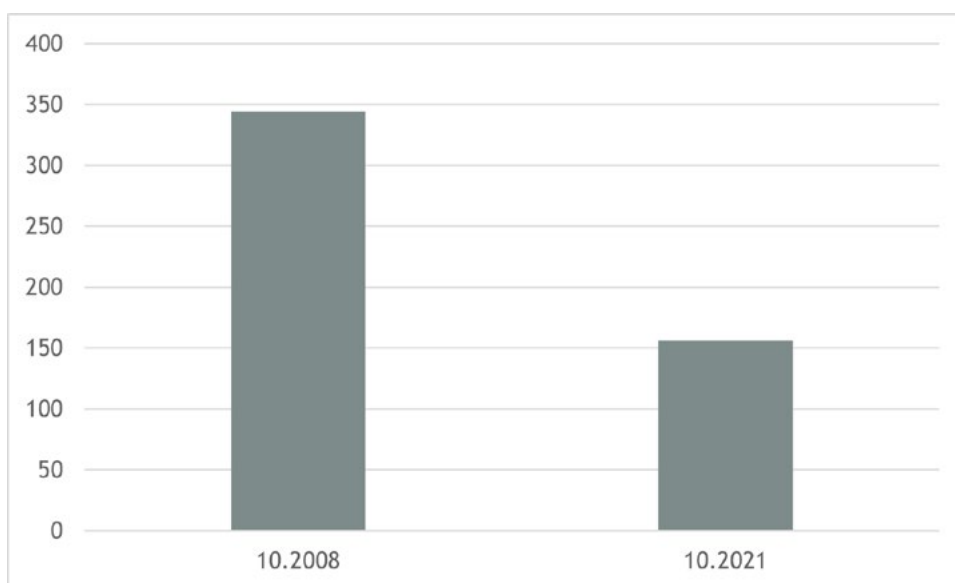


Figura 9: consumo di calore del deposito filobus di PKT Gdynia a 2008 e a ottobre 2021 [GJ]

Fonte: in base ai dati forniti da PKT Gdynia sp. z o. o.

Dopo l'installazione del BMS, la differenza nel consumo di calore durante i mesi invernali è stata di circa 200 GJ, il che si traduce in un risparmio di circa 12.000 PLN (circa 2500 EUR). A ottobre 2008, il consumo di calore ammontava a 344 GJ e a ottobre 2021 è diminuito sensibilmente a 156 GJ (Fig. 9). Il sistema è supportato dal monitoraggio della temperatura esterna.

Ciò ha inoltre consentito di ridurre la potenza ordinata, con un risparmio di circa 18.000 PLN (3840 EUR) all'anno.

3.1.3 Piccole migliorie edilizie

L'edificio del deposito di PKT Gdynia (Polonia) è stato progettato con lucernari e finestre per la catenaria: si tratta di una soluzione standard per i depositi di tram e filobus. Nel deposito è presente un controllo della centrale termica per sfruttare al meglio l'energia termica dell'edificio. Sostituendo gli strati isolanti sul tetto, l'isolamento termico del tetto è migliorato immediatamente.



Figura 10: deposito di filobus di PKT Gdynia (Foto di Marcin Wolek)

Quando sono stati sostituiti i lucernari del deposito PKT Gdynia, la superficie è aumentata: ora occupano 1/3 della superficie del tetto (Fig. 11). I nuovi lucernari sono inoltre dotati di uno standard di resistenza al fuoco e parametri di isolamento termico più elevati.

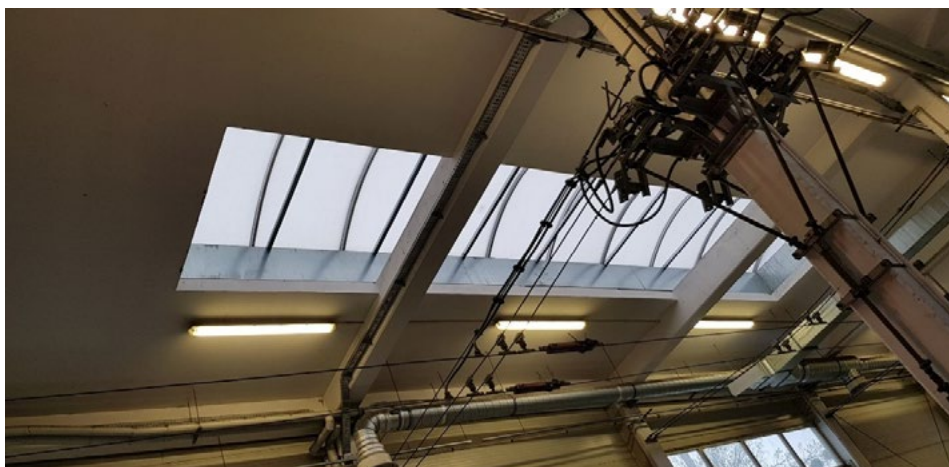


Figura 11: sostituzione dei lucernari sul tetto del deposito di PKT Gdynia (Foto di Marcin Wolek)

3.1.4 Altre attività su piccola scala

A causa della natura specifica del loro regime operativo (compresa la frequente apertura delle porte con un'ampia superficie), nelle sale di servizio giornaliero si dovrebbe prendere in considerazione l'installazione di dispositivi di miscelazione dell'aria (destrificatori). Nella giornate fredde l'aria riscaldata sale verso l'alto e si accumula sotto il tetto, quindi la temperatura percepita dal lavoratore a livello del suolo è più bassa. Per distribuire uniformemente la temperatura dell'aria in questi ambienti, vengono utilizzati dispositivi di miscelazione dell'aria, il cui compito principale è quello di mantenere l'equilibrio della temperatura dell'aria sotto il tetto e sul suolo dell'edificio. In questo modo è possibile ridurre i costi di riscaldamento. Questa soluzione è stata implementata con successo in uno dei depositi di MZA Warszawa (Polonia).

Anche l'isolamento termico delle valvole e delle connessioni a flangia per ridurre le perdite di calore può essere una misura economica con un breve periodo di recupero dell'investimento. Nel caso di MPK Wrocław, la spesa stimata per questa misura ammonta a circa 1300 PLN (circa 279 EUR), con un risparmio annuo di 4841 kWh: in questo modo si ottiene un recupero in meno di due anni.

DPMB Brno (Repubblica Ceca) ha implementato la norma ISO 50001, uno standard internazionale di gestione dell'energia. Le disposizioni dello standard sono volte a migliorare l'efficienza energetica delle imprese, indipendentemente dalle loro dimensioni, dal settore o dal numero di dipendenti. Per implementare questo standard, DPMB non ha bisogno di effettuare un audit energetico. Altri vantaggi includono, tra l'altro, l'identificazione e la gestione dei rischi associati al futuro approvvigionamento energetico, la misurazione e il monitoraggio dell'uso dell'energia per identificare le aree di miglioramento dell'efficienza e la dimostrazione di attenzione all'ambiente per soddisfare i requisiti delle gare d'appalto.

3.2 Riscaldamento

Tre depositi MZA Warsaw sono collegati al teleriscaldamento (Veolia); uno è alimentato a gas. MZA dispone di un nuovo impianto di verniciatura ultimato qualche anno fa, dotato di un doppio sistema di ventilazione e di aspirazione delle polveri. Entrambi gli impianti di verniciatura sono integrati nel sistema energetico del deposito.

Tutti i depositi di MPK Wrocław sono collegati al teleriscaldamento. L'installazione delle pompe di calore non era prevista nel breve periodo, in quanto gli edifici sono stati costruiti in tempi diversi e la loro ricostruzione per installare potenziali pompe di calore non è giustificabile.

Nel caso di SZKT, gli edifici dell'azienda presentano un quadro piuttosto eterogeneo: ci sono edifici vecchi di 100 anni, poco curati e non più in linea con gli standard attuali, ma anche edifici nuovi e moderni che soddisfano i più recenti requisiti architettonici ed energetici. La maggior parte degli edifici è stata progettata in base alla destinazione d'uso: grandi officine a padiglione, edifici per stazioni ed edifici di servizio piccoli e compatti, edifici riscaldati, non riscaldati e climatizzati.

Pertanto, anche il riscaldamento degli edifici è piuttosto variegato. La maggior parte delle sale con gli impianti è dotata di riscaldamento radiante o con termoventilatori. Negli edifici di dimensioni più grandi viene utilizzato il riscaldamento centralizzato ad acqua calda, in parte con caldaie a condensazione. Negli edifici di piccole dimensioni più vecchi e fatiscenti si usa un riscaldamento individuale con convettori a gas, ma sono presenti anche ambienti con riscaldatori elettrici. La fornitura di acqua calda sanitaria è centralizzata nelle aree dei depositi dei tram e dei filobus, con un'adeguata capacità di stoccaggio, mentre negli altri edifici sono presenti per lo più generatori elettrici istantanei di acqua calda¹⁸.

3.3 Fonti di energia rinnovabile

Varsavia è stata la prima in Polonia a dotare gli autobus di pannelli fotovoltaici sul tetto su larga scala. I pannelli consentono di migliorare il bilancio energetico dei veicoli e di risparmiare carburante fino al 5%. Inoltre, l'installazione di un impianto solare sul tetto del deposito "Woronicza" ha permesso di soddisfare le esigenze del funzionamento ordinario dell'impianto. L'efficienza energetica è aumentata anche grazie alla sostituzione di diverse centinaia di lampioni montati sui depositi con LED a risparmio energetico.

I pannelli fotovoltaici, con una potenza di circa 65 kW, sono stati installati nella sala di servizio giornaliero di MZA Warszawa, in via Włociańska 52, il che ha richiesto l'adempimento di diversi obblighi. Dopo l'introduzione degli autobus elettrici, il consumo di elettricità è aumentato così tanto che, di fatto, la vendita di energia verso l'esterno è assente. Un altro impianto fotovoltaico comprende il deposito di Via Woronicza (74 kW).

Su due depositi di autobus (deposito di tram in via Powstańców Śląskich e deposito di autobus in via Obornicka) appartenenti a MPK Wrocław, negli ultimi anni sono stati installati impianti fotovoltaici di circa 50 kW ciascuno. Grazie a ciò, una delle sale in cui (tra l'altro) gli autobus vengono lavati e riparati sarà in gran parte autosufficiente. L'impianto solare sul tetto coprirà metà del fabbisogno della sala, consentendo di risparmiare 30.000 PLN (circa 6200 EUR) all'anno. Il costo dell'investimento è stato di 212.000 PLN netti (45.211 EUR). MPK stima che il denaro sarà ricompensato in energia entro 8 anni.

¹⁸ Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

È previsto un ulteriore sviluppo del fotovoltaico su tutti i tetti degli edifici appartenenti a MPK Wrocław sp. z o.o. Attualmente, un altro impianto fotovoltaico da 50 kW è in costruzione nel deposito di via Obornicka (Fig. 12).

Poiché MPK Wrocław non dispone di aree di parcheggio coperte, l'energia fotovoltaica proveniente da impianti situati nei locali dell'operatore non sarà significativa per la trazione.

Un tasso più elevato del periodo di rendimento è stato ottenuto nei calcoli per una centrale fotovoltaica per uno dei depositi di SZKT a Szeged (Ungheria) con una capacità prevista di 150 kW. La produzione annua di elettricità è stata stimata a 174.000 kWh. Senza cofinanziamento esterno, il periodo di ammortamento era di 12,7 anni, con un cofinanziamento del 30% dei costi di investimento (poco meno di 9 anni). Un aumento dei prezzi dell'energia a causa di guerre e instabilità riduce il tasso di rendimento atteso.



Figura 12: l'impianto fotovoltaico sul tetto del deposito dei tram di MPK Wrocław (Foto di Marcin Wolek)

In uno dei depositi di filobus situati nella parte centrale di Brno, è presente una centrale FV, ma il locatario (cioè la città) addebita solo una commissione per l'uso dell'infrastruttura da parte della centrale.

PKT Gdynia (Polonia) ha in programma di sviluppare una centrale fotovoltaica (circa 500 kW) sul tetto del suo deposito (circa 5000 m²), che coprirebbe fino al 5% del consumo di energia dei filobus. L'aggiunta di un sistema di accumulo energetico aumenterebbe la percentuale. Utilizzando pannelli fotovoltaici monocristallini ad alta efficienza, la potenza massima dell'impianto è stata stabilita a 499,8 kWp. Sulla base dei dati dettagliati ottenuti da un impianto fotovoltaico con parametri simili, PKT Sp. z o. o. ha effettuato i calcoli della produzione di energia solare: la stima annuale è stata di: 431.391 kWh/anno¹⁹.

¹⁹ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

Supponendo che l'impianto fotovoltaico sia collegato alla sottostazione di Grabówek, riuscirà a coprire il suo fabbisogno energetico annuale per oltre il 22,5%, anche in caso di forte variazione mensile (Fig. 13). Il risparmio medio annuo di energia primaria sarà di 431,39 MWh, pari a 37,09 tep/anno. Sarebbe quindi possibile coprire l'intero consumo elettrico del deposito (406,7 MWh). Inoltre, esiste la possibilità di installare i pannelli su altre strutture del PKT Gdynia, il che potrebbe tradursi nella produzione di ulteriori 99,5 MWh²⁰.

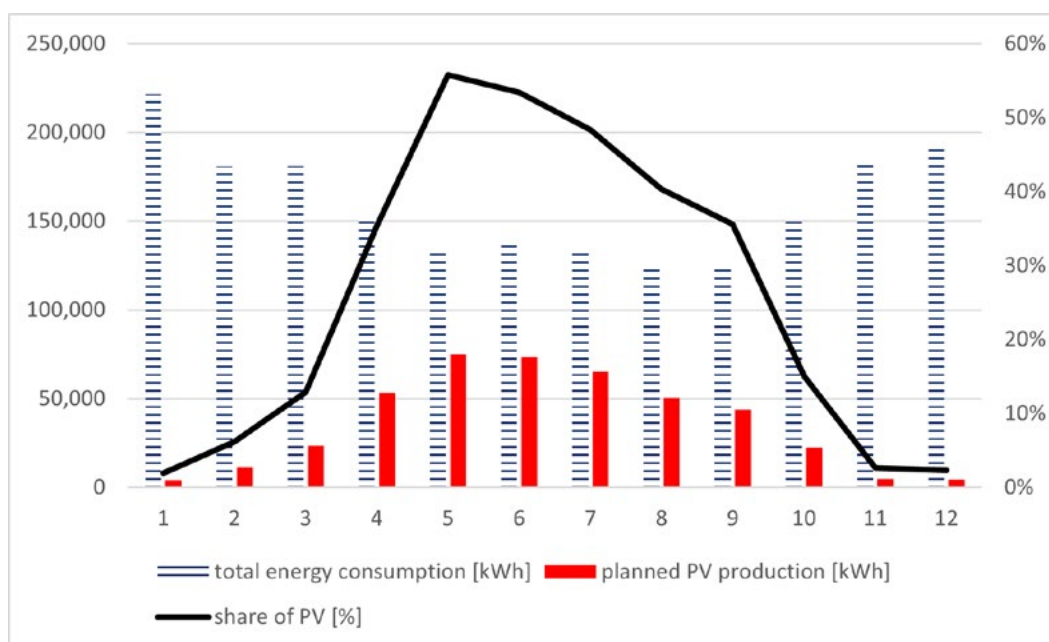


Figura 13: consumo energetico mensile ed energia prevista dal fotovoltaico per la sottostazione di Grabówek, PKT Gdynia (Polonia)

Fonte: in base all'audit energetico di PKT Gdynia, settembre 2021

3.4 Illuminazione

Le moderne lampade a LED richiedono meno energia e la loro durata di vita stimata è molto più lunga di quella di una lampadina a incandescenza o anche di una lampada fluorescente (Fig. 14).

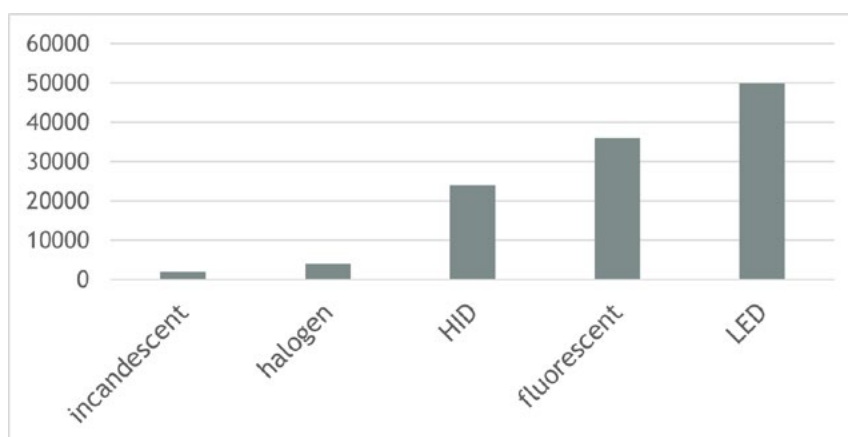


Figura 14: vita nominale media tipica per vari tipi di lampadine (ore)

²⁰ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

La sostituzione completa degli apparecchi di illuminazione comporta un rapido ritorno sull'investimento; possono essere implementati separatamente o come parte di un progetto di modernizzazione e isolamento degli edifici.



Figura 15: illuminazione della piazza di fronte alla sala di MPK Wrocław sp. o. o.

I costi sostenuti per la modernizzazione dell'illuminazione sono stati pari a 314.000 PLN (circa 65.700 EUR). Il risparmio annuale di energia elettrica è stato di 258.939 kWh, con un risparmio di 112.000 PLN (circa 23.400 EUR) e una riduzione di 186 tonnellate di emissioni di CO₂. In questo caso, il ritorno sull'investimento verrà raggiunto in meno di 3 anni²¹. La modernizzazione dell'illuminazione è stata realizzata anche all'esterno (Fig. 15).

L'audit energetico di SZKT di Szeged (Ungheria) contiene conclusioni simili: con l'investimento per la sostituzione dell'illuminazione con i LED (5,12 milioni di HUF = 13.600 EUR), il periodo di ammortamento sarà inferiore a 3 anni²².

3.5 Impianto di verniciatura

Il colorificio di PKT Gdynia sp. z o.o. utilizza olio combustibile a causa della necessità di un'energia termica temporaneamente elevata. Il teleriscaldamento è stato abbandonato a favore del combustibile liquido, per via del costo ingente dell'energia ordinata al distributore di calore. Il consumo annuo di carburante è pari a circa 3440 litri di petrolio²³.

MZA Warszawa dispone di un nuovo impianto di verniciatura, ultimato qualche anno fa, dotato di un doppio sistema di ventilazione e di aspirazione della polvere. Entrambi gli impianti di verniciatura sono integrati nel sistema energetico del deposito.

²¹ Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Attachement 2: Buildings. Audytel, Wrocław 2021, p. 89 and next

²² Energy audit for the SZKT, Szeged 2019

²³ Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021

4. Conclusioni

Sebbene la maggior parte dell'elettricità sia utilizzata per la trazione, i depositi consumano anche energia elettrica e termica. L'ottimizzazione dell'uso dell'energia nel deposito è parte integrante per migliorare l'efficienza energetica ed economica delle aziende di trasporto pubblico.

I depositi delle aziende di trasporto pubblico presentano un quadro molto variegato: si differenziano per l'anno di costruzione, i mezzi di trasporto utilizzati e il grado di modernizzazione e delle attrezzature utilizzate. Tutto ciò influisce sul consumo di energia e di altri servizi (come l'acqua).

L'analisi di determinati esempi indica alcune regolarità nella ricerca da parte degli operatori di modi per migliorare l'efficienza energetica delle strutture.

Tra le attività di investimento di base è molto frequente la modernizzazione degli edifici per migliorarne i parametri termici. La misurazione degli edifici spesso accompagna queste misure: può essere completa e riguardare tutte le utenze (energia, calore e acqua) o essere implementata gradualmente e diretta alle utenze che generano i costi più elevati. L'ambito della modernizzazione tecnica dell'edificio può includere anche attività a basso impatto ma che migliorano il comfort del lavoro nella sala di servizio dei veicoli e, allo stesso tempo, ottimizzano la sicurezza antincendio (come la sostituzione e l'ampliamento dei lucernari sul tetto).

Una buona strategia è l'installazione di impianti fotovoltaici sui tetti dei depositi: di solito l'elettricità generata in questo modo viene utilizzata per il fabbisogno del deposito. L'installazione di dispositivi di accumulo dell'elettricità dovrebbe accompagnare l'installazione di pannelli fotovoltaici.

Come parte di un quadro più ampio, le misure a basso costo svolgono un ruolo essenziale. Sebbene non si traduca in un risparmio significativo per l'intera azienda, l'investimento nell'adeguamento dell'illuminazione è caratterizzato da un breve periodo di ammortamento e può essere implementato gradualmente, anche senza le risorse di investimento essenziali.

Bibliografia

- Arif S. M., Lie T. T., Seet B. Ch., Ayyadi S.: A novel and cost-efficient energy management system for plug-in electric bus charging depot owners. "Electric Power Systems Research" 2021 nr 199
- Bartłomiejczyk M.: Potential application of solar energy systems for electrified urban transportation systems. "Energies" 2018 nr 11(4)
- Bartłomiejczyk M., Połom M.: Multiaspect measurement analysis of breaking energy recovery. "Energy Conversion Management" 2016 nr 127
- Cabrane Z., Kim J., Yoo K., Ouassaid M.: HESS-based photovoltaic/batteries/supercapacitors: Energy management strategy and DC bus voltage stabilization. "Solar Energy" 2021 nr 216
- Deliverable D.T2.3.1 State of the art & peer review for energy-efficient PT infrastructure technologies deployment. Energy storage in public transport infrastructure. Redmint, prepared within EfficienCE project, 2022
- Dai Q., Liu J., Wei Q.: Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm. "Sustainability" 2019 nr 11 (7) 1973.
- Diab I., Scheurwater B., Saffirio A., Chandra-Mouli G. R., Bauer P.: Placement and sizing of solar PV and Wind systems in trolleybus grids. "Journal of Cleaner Production" 2022 nr 352
- Electric Vehicle Council. Electric Vehicle Outlook 2020. Executive Summary; Electric Vehicle Council: Sydney, Australia, 2020
- Energy Audit for the MPK Wrocław sp. z o.o. Attachment 2: Buildings. Audytel, Wrocław 2021
- Energy audit of the PKT Gdynia, PKT Gdynia September 2021
- Energy audit for the SZKT, Szeged 2019
- Gao Z. et. al.: Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. "Energy" 2017 nr 122
- Hamacek S., Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Misak S., Stýskala V.: Energy recovery effectiveness in trolleybus transport. "Electric Power Systems Research" 2014 nr 112
- Khan W., Ahmad F., Alam M.S.: Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange, "Engineering Science and Technology, an International Journal" 2019 nr 22 (1)
- Kratz S. et. al.: Expansion of a Trolleybus Infrastructure towards a 100% Renewable Energy Usage. 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference
- Munoz P. et. al.: Comparative analysis of cost, emissions and fuel consumption of diesel, natural gas, electric and hydrogen urban buses. "Energy Conversion and Management" 2022 nr 257
- Rogge M., van der Hurk E., Larsen A., Sauer D. U.: Electric bus fleet size and mix problem with optimization of charging infrastructure. "Applied Energy" 2018 nr 211
- Trocker F. et. al.: City-scale assessment of stationary energy storage supporting end-station fast charging for different bus-fleet electrification levels. "Journal of Energy Storage" 2020 nr 32
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Města Brna, Brno 2021
- Výroční Zpráva 2020. Dopravní Podnik Ostrava, Ostrava 2021
- Wołek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279
- Wołek M. et. al.: Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). "Journal of Cleaner Production" 2021 nr 279
- Wołek M., Szmelter-Jarosz A., Koniak M., Golejewska A.: Transformation of Trolleybus Transport in Poland. Does In-Motion Charging (Technology) Matter? "Sustainability" 2020 nr 12

Zahedmanesh A., Muttaqi K.M., Sutanto D.: A Consecutive Energy Management Approach for a VPP Comprising Commercial Loads and Electric Vehicle Parking Lots Integrated with Solar PV Units and Energy Storage Systems. [In:]: 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 2019

Link ai siti:

<https://ceetransport.com/40-sor-trolleybus-kits-to-be-assembled-by-brno-carrier-637/>

<https://www.smartcitiesworld.net/news/news/czech-city-of-ostrava-expands-electric-bus-fleet-6345>

[https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-](https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMIw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE)

[Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%20](https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMIw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE)

[50001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMIw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE](https://www.bsigroup.com/pl-PL/ISO-50001-Zarzadzanie-Energia/?creative=406745263368&keyword=iso%2050001&matchtype=e&network=g&device=c&gclid=EAlaIQobChMIw8HZw7Ti9wIVAtiyCh1TEA4-CEAAYASAAEgJ1SPD_BwE)

MAGGIORI INFORMAZIONI SU EfficienCE



Visita il nostro sito web:
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

Contatti



+49 341 123 59 10

Partner principale: Città di Lipsia, Germania



Responsabili di progetto:

Sebastian Graetz
sebastian.graetz2@leipzig.de

Marlene Damerau
m.damerau@rupprecht-consult.eu



<https://www.linkedin.com/company/interreg-efficiency/>



www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/



[@Int_EfficienCE](https://twitter.com/Int_EfficienCE)

TAKING
COOPERATION
FORWARD



BUDAPESTI
KÖZLEKEDÉSI
KÖZPONT



redmint



GDAŃSK UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY



Leipziger
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



University of Maribor
Faculty of Civil Engineering,
Transportation Engineering
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

