

ARTICOLO DI RICERCA SCIENTIFICA

L'analisi dei dati L.C.C. (Life Cycle Cost) come orientamento nell'introduzione di sistemi di trazione sostenibili nelle flotte per il trasporto pubblico locale

Autori: Andrea Bottazzi, Edoardo Chiulli

Riassunto

L'analisi dei dati manutentivi e di Life Cycle Cost di autobus a trazione Diesel, CNG, Ibridi, Filobus come verifica dell'evoluzione temporale dei costi. La metodologia L.C.C. è l'unica che consente di tenere sotto controllo i costi manutentivi e di migliorare il prodotto autobus attraverso il coinvolgimento del costruttore nella fase di esercizio. Attraverso la convalida sperimentale dei dati aziendali di sistemi di trazione tecnologicamente più maturi, si è evidenziata la necessità per l'operatore di TPL che deve introdurre sistemi di trasporto sempre più sostenibili, di caratterizzarli sulla base della metodologia LCC.

In considerazione del fatto che la sostenibilità nel TPL si realizza sempre più con sistemi di trasporto è opportuno applicare tale metodo anche alle stazioni di ricarica/rifornimento degli autobus con minor impatto ambientale.

In questo articolo di ricerca dimostreremo come il metodo LCC evidenzia la non maturità dei nuovi sistemi di trazione sostenibili e risulti allo stesso tempo affidabile al fine di spingere alla maturazione il prodotto "artigianale" autobus.

I limiti riscontrati sono la correttezza delle dichiarazioni del costruttore e la mancanza di dati reali per i nuovi sistemi di trazione.

Background;

Da un punto di vista operativo, viene predisposto un piano di manutenzione che specifica, a vari livelli e secondo precise tempistiche, tutti gli interventi richiesti dal mezzo in termini di manutenzione periodica, preventiva e correttiva. Possono anche essere previste soluzioni tecniche alternative che contemplano, ad esempio, d'infittire le operazioni di manutenzione preventiva poco costose per evitare futuri interventi di manutenzione correttiva molto onerosi, o, al contrario, suggeriscono di adottare scelte economicamente e tecnicamente pesanti ma che si dimostrano più affidabili e durature, richiedendo un numero di interventi minori.

Se quindi un intervallo temporale (o chilometrico) è troppo ampio e tale per cui le parti in oggetto non riescono a raggiungere la percorrenza dichiarata in offerta, con il modello LCC sarà il costruttore a pagare l'effettuazione più ravvicinata di sostituzione. Con il metodo tradizionale ne era assolutamente disinteressato.

Il Life Cycle Cost è da intendersi come un processo di fasi integrate a partire dalle specifiche tecniche di flotta fino all'esercizio vero e proprio. Durante la stesura della propria offerta, il costruttore si impegna contrattualmente a definire il ciclo di manutenzione che è da prevedersi per la maggior parte della vita del mezzo, che può essere 10, 12, 14 anni (facendosi carico di tutte le possibili inefficienze non previste con un metodo di penali o deprezzamento del prodotto).

È importante sottolineare come per l'inserimento in flotta di autobus tecnologicamente in fase di sviluppo questo periodo debba essere aumentato almeno a 18 anni come per esempio per gli autobus elettrici e loro sistema di ricarica. Ciò al fine di rendere economicamente sostenibile la sostituzione delle batterie e sfruttarle al meglio per tutta la loro vita che i costruttori stanno sempre più tentando di allungare (1°, 2° e 3° vita). La figura n°1 mostra come il BEP tra l'LCC cost per gli e-bus ed il tradizionale autobus diesel si verifica attorno al 18° anno.

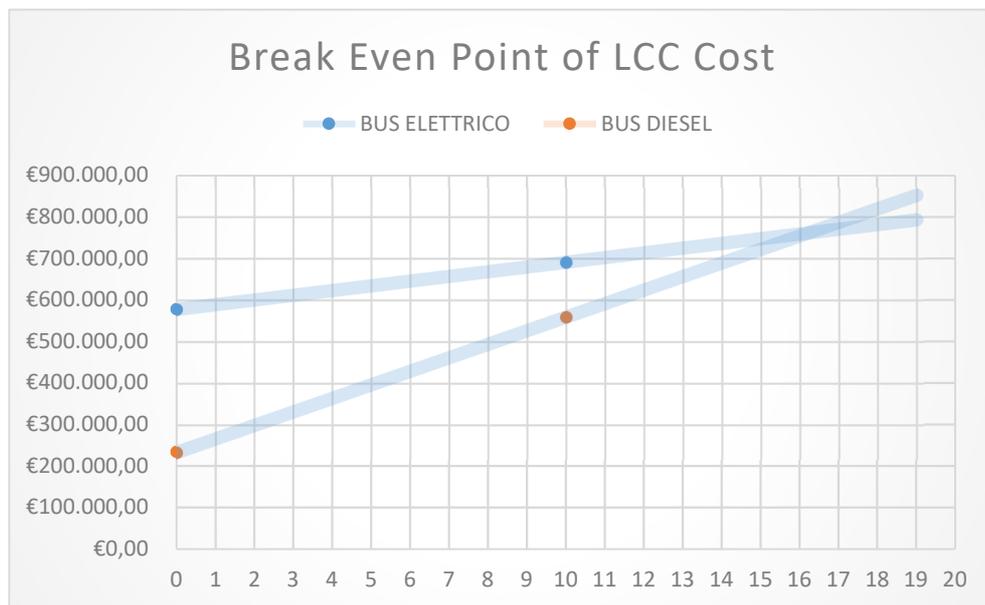


Figura 1: Break Even Point BUS Elettrico/Diesel convenzionale

Si può osservare inoltre, come mostrato in tabella n°1, che l'inserimento di autobus sostenibili implica modifiche dovute alla costruzione delle stazioni di rifornimento e/o dell'officina di riparazione dei mezzi.

Tabella n° 1: Modifiche necessarie all'infrastruttura in base al sistema di trazione scelto

	STAZIONE DI RICARICA	MODIFICHE OFFICINA/DEPOSITO	INFRASTRUTTURA IN LINEA
AUTOBUS ELETTRICI	OVER NIGHT	SI	
	OPPORTUNITY	SI	SI
	IN MOTION	SI	SI
FILOBUS			SI
METANO	CNG	SI	
	LNG	SI	
FUEL CELL	RICARICA	SI	

Alla luce di quanto sopra riportato si deve considerare, nell'introduzione dei sistemi di autobus alternativi ed in particolare degli autobus elettrici, la stessa complessità che vale per le scelte relative ai veicoli anche per le scelte relative alle stazioni di ricarica. In pratica l'operatore TPL si trova a dover scegliere sia per quanto riguarda l'autobus elettrico sia per

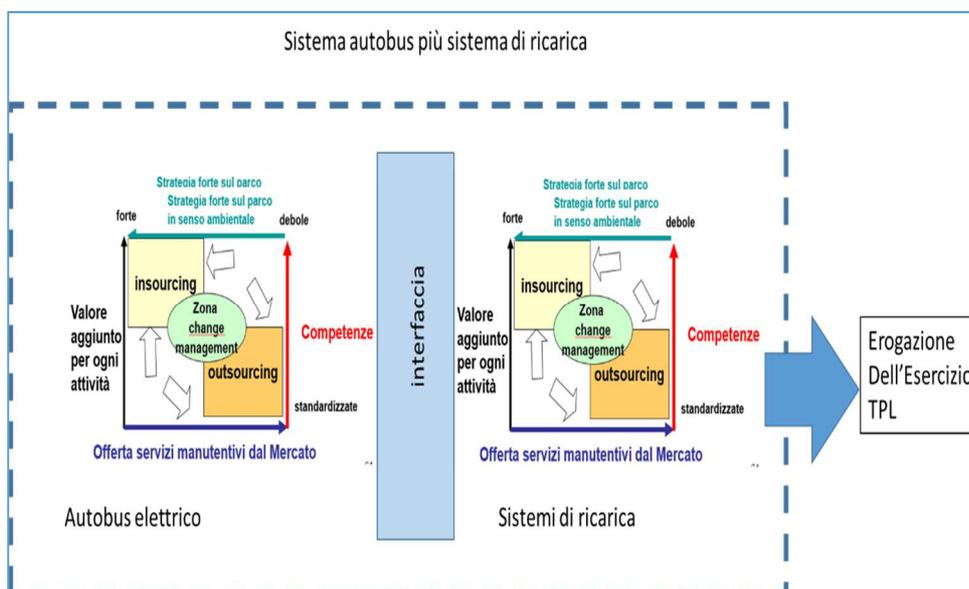


Figura 2: Interfaccia Autobus / sistema di ricarica

quanto riguarda la stazione di rifornimento alle scelte del make or buy , con la complicazione che si tratterà, in generale, di due fornitori diversi come riportato in figura.2 (Autobus elettrico/Sistema di ricarica).

La gestione di una flotta di autobus elettrici da parte di un operatore del TPL per esempio, comporta una serie di attività connesse come il servizio continuo di assistenza 24/7; sviluppo delle soluzioni software per la gestione miglioramento tecnologico di parti o di sistema; servizi di supporto remoto 24/7 ecc.

Come si può osservare dalla complessità di questi servizi, che iniziano con il progetto della loro adozione per verificare il sistema di ricarica lungo la rete più idoneo, sono un'attività completamente diversa dalla gestione di un autobus a gasolio.

La quantità di attività necessarie per esercire sistemi ad alta sostenibilità è elevata e soprattutto potrebbero esserlo anche i relativi costi se non opportunamente valutati. L'operatore TPL diviene sempre più un utilizzatore e sempre meno un comaker, come nel passato. Il problema al momento per la parte elettrica è che non esistono ancora dominant design per le ricariche di uno dei qualunque tipi: ON, OPP e flash in linea.

Metodo;

L'adozione del modello LCC prevede che al momento dell'offerta il costruttore del veicolo si impegni a specificare un piano di manutenzione per il proprio mezzo sia dal punto di vista tecnico sia per l'impatto economico, specificando e quantificando il costo euro/km da sostenere.

Con la metodologia LCC se un costruttore per non rischiare dichiara costi di manutenzione molto elevati dovrà riconoscere uno sconto maggiore sul prezzo d'acquisto per vendere il lotto di veicoli. Oppure se l'intervallo temporale di manutenzione è troppo ampio, e quindi le parti non riescono a raggiungere la percorrenza dichiarata in offerta, con il

Specifiche per la fornitura di n. 6 autobus lunghezza massima 6,5 metri alimentazione a batteria (commessa 01/08)												
SCHEDA n° 7.2./B		PARTE TECNICA - MANUTENZIONE									pag 1/1	
TIPO AUTOBUS												
PARAGR. DI RIF.	OGGETTO	ANNI										COSTO TOTALE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7.3.2.	** MANUTENZIONE programmata (MDO)	534	569	653	569	473	860	569	473	750	473	5923
	** MANUTENZIONE programmata (MAT)	418	628	418	628	418	1046	628	418	628	418	5648
7.3.3.	*Sostituzione parti principali (MDO)	44	184	306	306	44	490	306	306	184	44	2214
	*Sostituzione parti principali (MAT)	206	1006	1686	3296	206	2692	3296	1686	1006	206	15286
7.3.4.	Manutenzione correttiva (MDO + MAT)			2500	2500	2500	3000	3000	3000	3500	3500	23500
TOTALE PARTE TECNICA		1202	2387	5563	7299	3641	8088	7799	5883	6068	4641	52571
MO = Mano d'opera (costo orario pari a 35 Euro/Ora)						MAT = Materiali						
** Costo riferito all'esecuzione del piano di manutenzione periodica del fornitore, allegato all'offerta (schede 7.3.2/a e 7.3.2./b)												
* Costo riferito alla percorrenza dichiarata dal fornitore per i complessivi riportati nella lista parti principali (scheda 7.3.3.)												

Figura 3: Scheda di riepilogo Costi manutentivi LCC

modello LCC sarà il costruttore a pagare l'effettuazione più ravvicinata della manutenzione.

Considerando quindi l'approccio LCC nelle schede tecniche vengono specificate le voci di costo annuali previste per le diverse operazioni di manutenzione (programmata, sostituzioni parti principali e ricambi minori), suddivise per manodopera e ricambi, come mostra la figura n°3. Al fine di arrivare a dimostrare i risultati ottenuti è stato necessario creare un database di dati (schede tecniche fornite in fase di gare ed estrazione dati reali dal sistema informativo della manutenzione aziendale di operatori TPL) relativi ai contratti dei lotti di veicoli con alimentazione Diesel, CNG, ibridi diesel/elettrico, Filobus, elettrico batterie plug-in, elettrico con pantografo. Successivamente sono stati utilizzati per le analisi relative ai costi di manutenzione e interpretazione delle rette di regressione lineare costruite entrando con determinati parametri nel grafico di dispersione al fine d'intercettare risultati significativi dal punto di vista scientifico.

Sono stati creati fogli di lavoro excel per poter analizzare i dati più rilevanti. Per ogni lotto si è specificato la data di immatricolazione, il costruttore, la lunghezza, la tipologia di servizio (urbano, interurbano, suburbano), la modalità di alimentazione.

In questa prima parte del lavoro si è analizzata l'incidenza della manodopera nei costi di gestione della manutenzione, in contrapposizione all'apporto dovuto ai prezzi dei ricambi. Pertanto sono stati raccolti i dati di manodopera complessivi (dovuti sia alla manutenzione programmata, che a quella correttiva) per ciascun lotto. Analogamente si sono raccolte le medesime informazioni per i relativi costi dei ricambi.

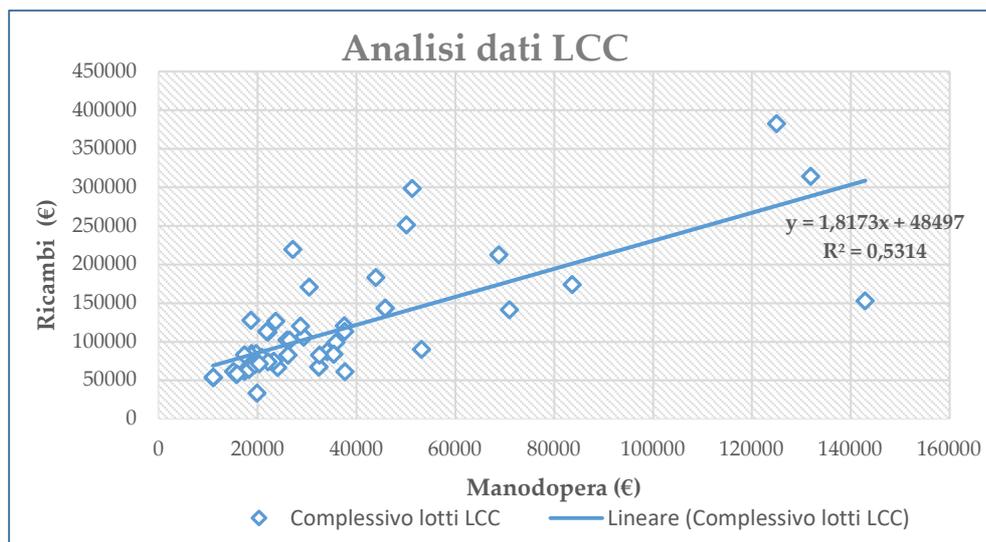


Figura 4: Regressione lineare dei dati LCC indipendentemente dal sistema di trazione

Si sono confrontati il costo totale della manodopera con il costo da sostenere per i ricambi e si è valutato il rapporto complessivo, attraverso un'interpolazione lineare tra i punti ottenuti per i casi considerati. Si riporta il grafico (figura n°4), che esplica i risultati ottenuti.

Dai risultati emerge chiaramente come i costi dei ricambi siano superiori a quelli della manodopera a sottolineare un'impostazione sempre più *spare part intensive* da parte del costruttore indipendentemente dal sistema di trazione utilizzato.

I valori delle grandezze di cui sopra sono dichiarati e garantiti dal costruttore, perciò, definiti formalmente a livello di contratto che stabilisce i rapporti tra le parti anche attraverso meccanismi di penalità.

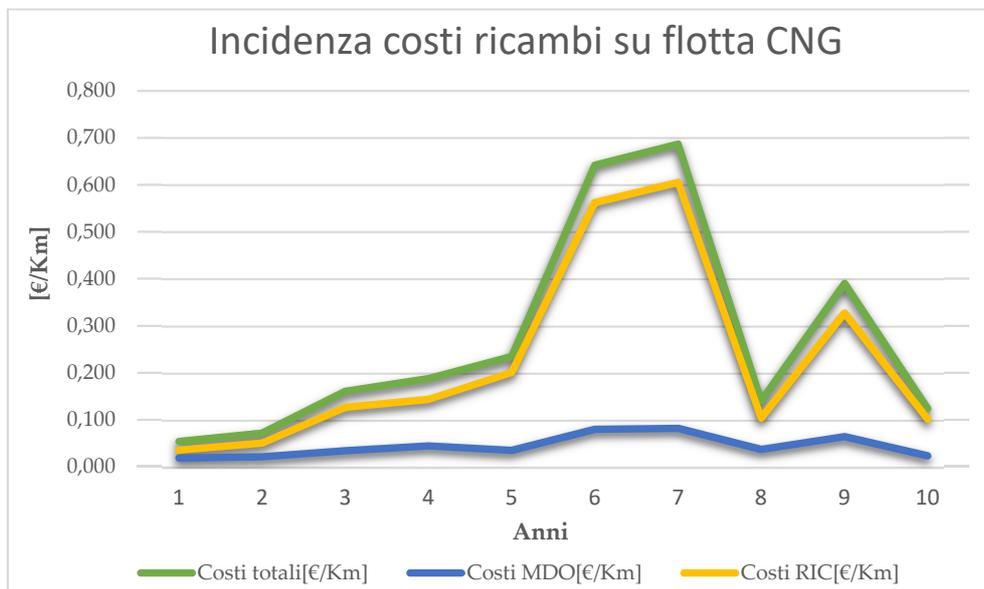


Figura 5: Andamento negli anni dei costi manutentivi di una flotta CNG

Nella figura n°5 si riporta l'incidenza dei ricambi nei dieci anni di contratto LCC per una flotta di autobus CNG. Si osserva come l'andamento nel tempo dei costi di manodopera (MDO) sia significativamente inferiore rispetto a quello dei costi dei ricambi (RIC) e conseguentemente per i costi totali. Tale rappresentazione è coerente con quanto sperimentato con l'analisi d'incidenza dei costi dei ricambi sui costi totali che pesano per il 69.7%.

Si sottolinea inoltre che il picco di spesa per i ricambi non si verifica per un anno solamente, ma bensì per due anni consecutivi, ossia il VI e il VII e si rileva una coincidenza delle due curve nell'anno VII, causata dal fatto che il costruttore ipotizza guasti per la Sostituzione Parti Principali (RIC) di bassa entità in corrispondenza del VII anno di vita utile della flotta.

Al fine di verificare l'affidabilità del metodo LCC sui sistemi di trazione maturi di cui sopra e poterlo estendere anche alle nuove tecnologie a basso impatto ambientale supportando tecnicamente l'operatore TPL, si è eseguita un'ulteriore analisi sulle percorrenze delle parti principali dei veicoli della flotta sottoposti ad analisi LCC. Nello specifico si sono confrontate, e quindi valutate le differenze, tra le percorrenze dichiarate in fase di gara e quelle realmente verificatesi nel corso degli anni.

I dati sono stati assunti a partire da tabelle presenti nel database, dove venivano specificate per ciascuna parte principale (definite da contratto), le percorrenze effettive di ciascun autobus e i valori corrispettivi che si sarebbero dovuti raggiungere.

Per ogni singola parte principale si sono ricavati i valori medi per ciascun lotto (batteria plug in, diesel, CNG, filobus, diesel ibrid) e se ne è valutato il comportamento. Il primo componente esaminato è l'ammortizzatore anteriore di cui si riporta in figura n° 6 il principio di funzionamento.

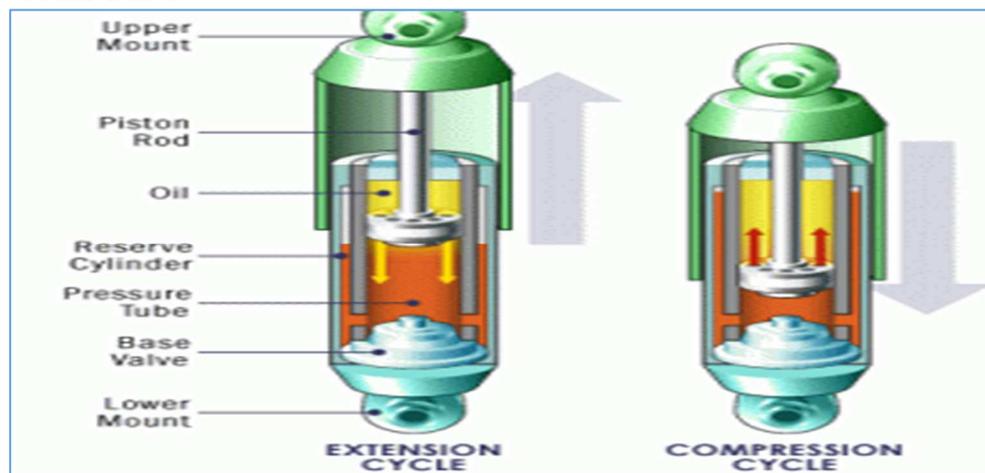


Figura 6: How Front suspensions work

Riportiamo per brevità i grafici ottenuti per gli ammortizzatori del I° asse, dell'intercooler e del compressore impianto pneumatico. si è generalmente verificata un'alta discrepanza tra le percorrenze dichiarate dal costruttore e quelle realmente soddisfatte. Indipendentemente dal sistema di trazione sopra riportato si evidenzia che nel caso degli ammortizzatori del 1° asse PME=PMC solo in un punto coincidente con un lotto di fornitura autobus (figura n°7).

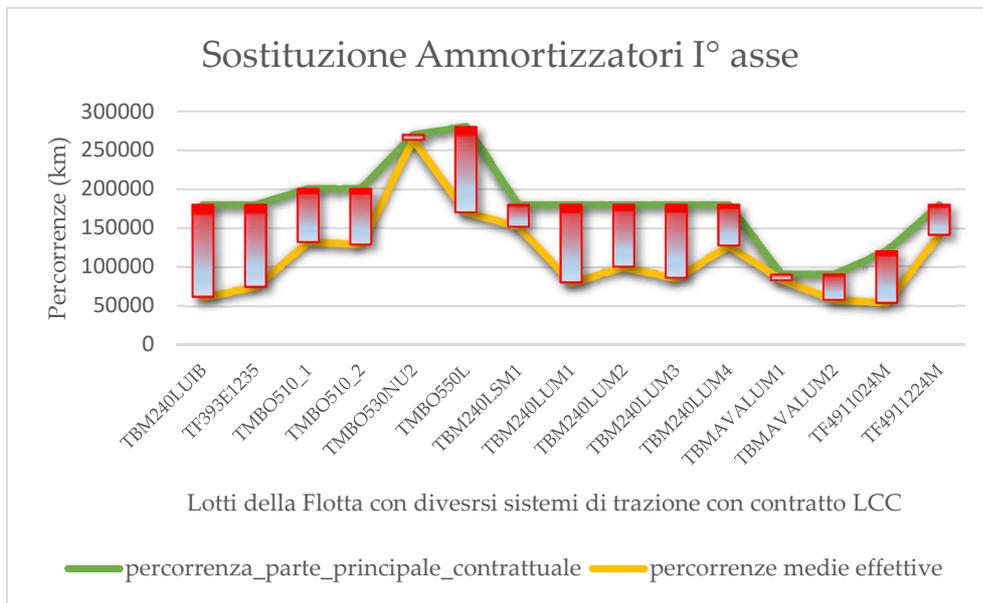


Figura 7: Verifica percorrenza ammortizzatori 1° asse per i diversi sistemi di trazione

Riportando il rapporto tra chilometri previsti e reali per tutti i veicoli e valutando la regressione lineare per individuarne l'andamento emerge la conferma del forte distacco tra ciò che viene previsto dai costruttori in fase di gara e i guasti che poi si realizzano durante la circolazione dei mezzi (vedasi figura n°8). Inoltre all'aumentare della percorrenza

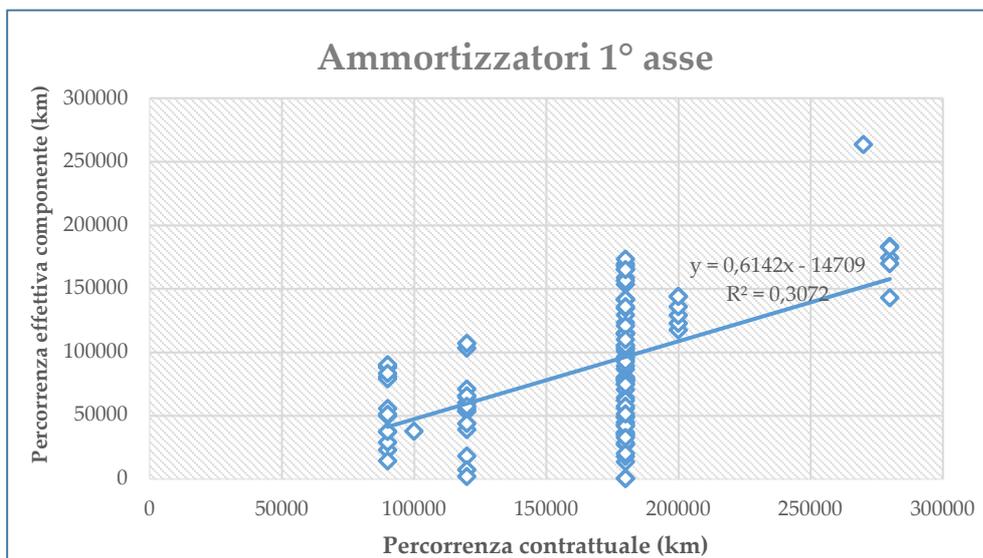


Figura 8: Regressione lineare della percorrenza effettiva Ammortizzatori 1° Asse

dichiarata corrisponde un aumento della media della percorrenza effettiva del componente. Come vedremo in seguito questo accade per i componenti di autobus maturi tecnologicamente e già sottoposti a valutazione LCC da anni. Procediamo con l'analisi di un altro componente di cui viene schematizzato il funzionamento in figura n°9. I dati manutentivi confermano appieno la tendenza appena detta.

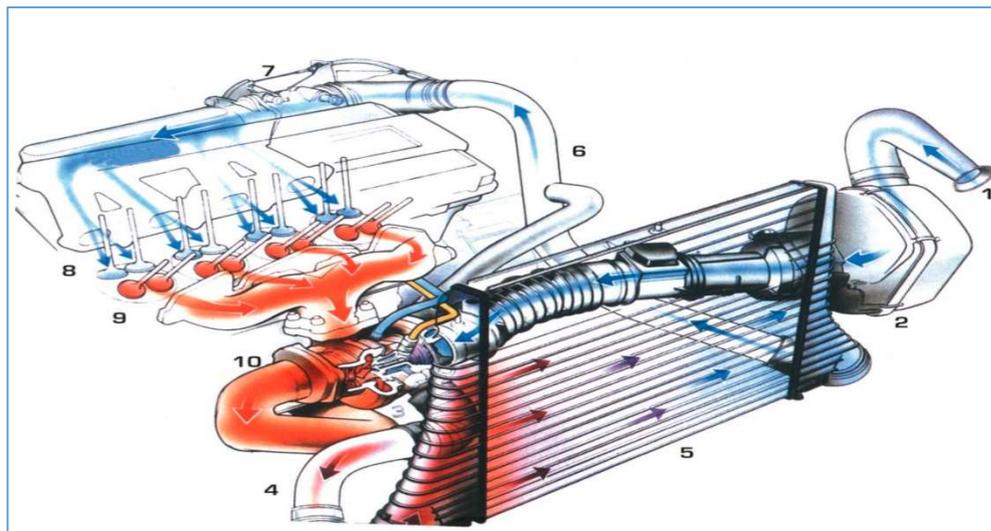


Figura 9: How the intercooler works

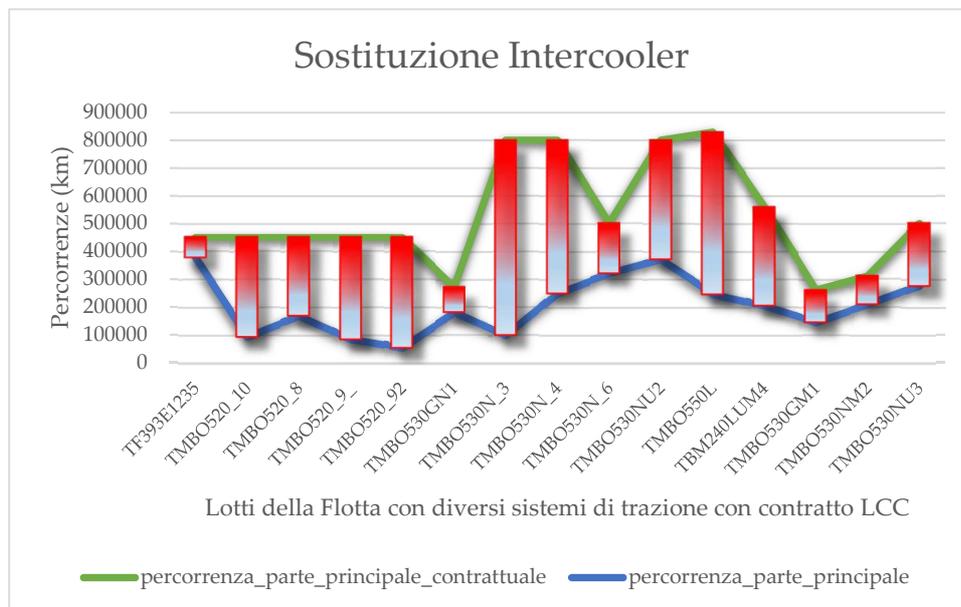


Figura 10: Verifica percorrenza intercooler per i diversi sistemi di trazione

Sulla figura n°11 riportiamo l'andamento della regressione lineare che conferma l'andamento finora osservato in cui all'aumento della percorrenza dichiarata corrisponde l'aumento della media delle percorrenze effettive del componente Intercooler.

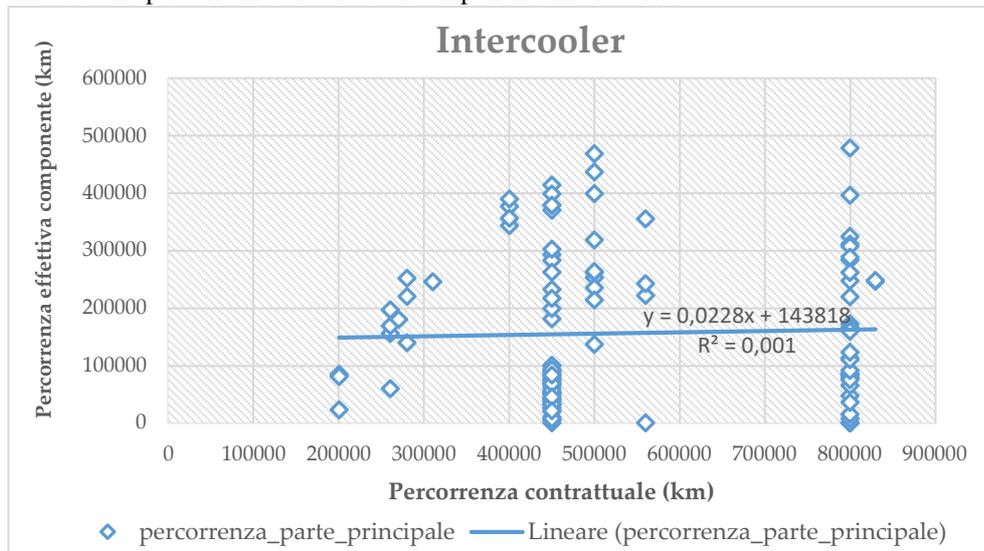


Figura 11: Regressione lineare della percorrenza effettiva intercooler

Passiamo ora all'analisi dell'ultimo componente – Compressore aria impianto pneumatico – riportato nella figura n°12.

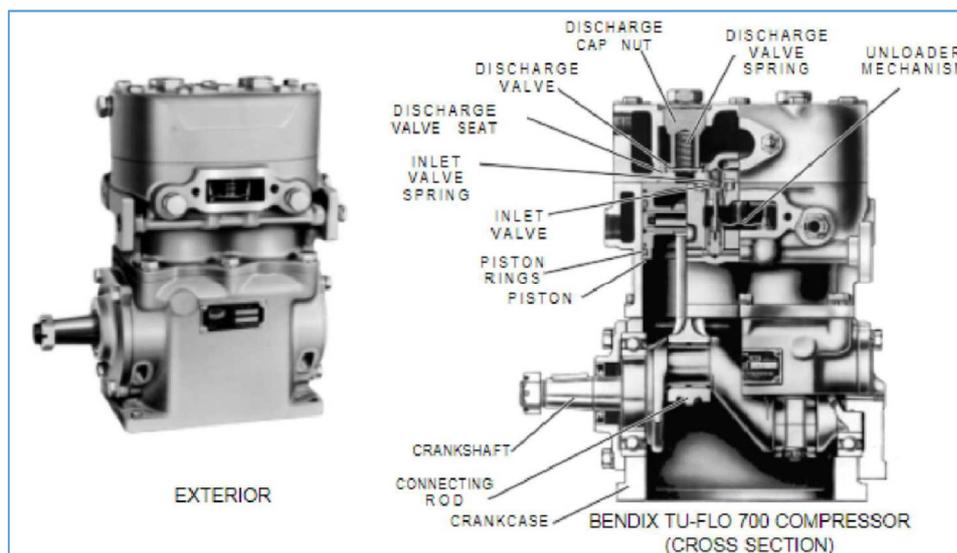


Figura 12:How the air compressor works

L'analisi delle sostituzioni di questo componente evidenzia come le tecnologie non mature possono causare costi elevati di manutenzione o addirittura la non fruibilità del prodotto. Sugli autobus/filobus meno impattanti dal punto di vista ambientale vi sono dei componenti che non raggiungono la percorrenza contrattuale prevista e addirittura invertono la tendenza della retta di regressione lineare ottenendo che all'aumentare della percorrenza dichiarata contrattualmente si verifica una riduzione delle percorrenze reali. In figura n°13 e n°14 sono mostrati i risultati ottenuti per il compressore impianto pneumatico del filobus e per il generatore di trazione elettrico.

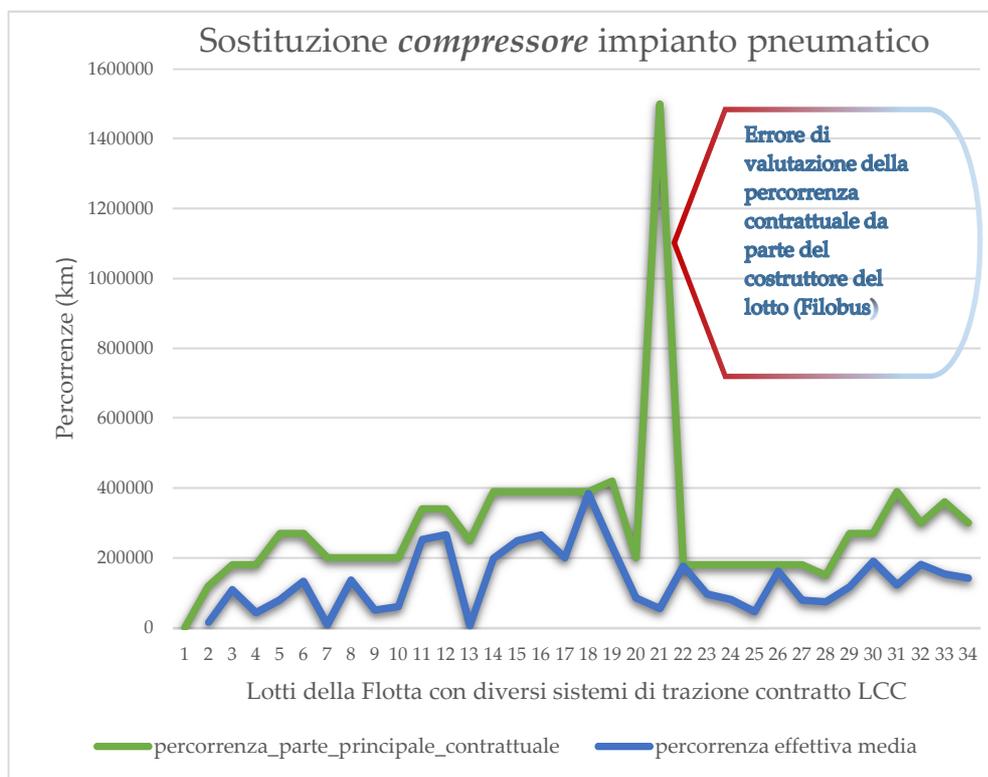


Figura 13: Dato di percorrenza contrattuale errato in fase di progetto

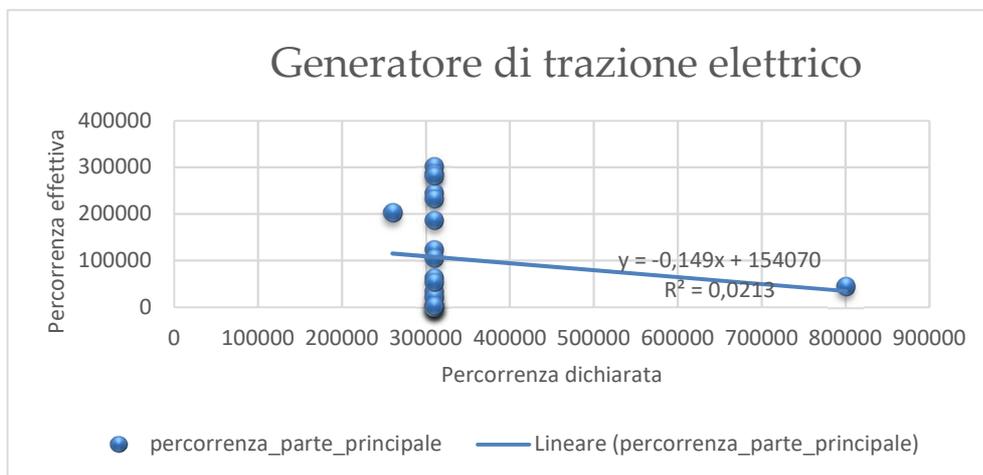


Figura 14: Regressione lineare delle sostituzioni del generatore di trazione

In questo studio è stato possibile osservare come il Metodo LCC consente la standardizzazione dei costi manutentivi per tutti gli autobus che si trovano nel punto più alto della curva di maturità del prodotto che si riporta di seguito. Tale approccio è l'unico che consente agli stakeholder del settore che si trovano nella zona "A" di portare a maturazione una tecnologia che consenta di ridurre sempre più l'impatto ambientale dei mezzi costituenti le flotte per il TPL (figura 15).

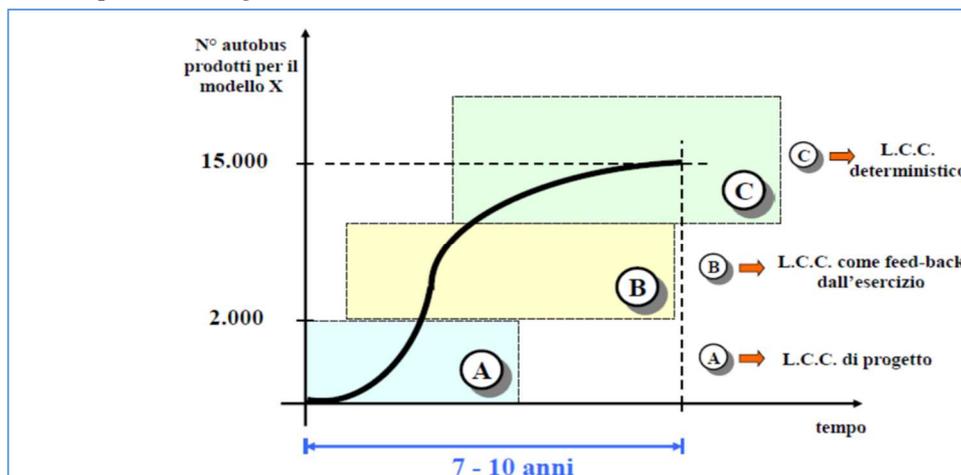


Figura 15: Fasi di sviluppo del metodo LCC nel tempo

In considerazione che la sostenibilità ambientale si realizza con sistemi e quindi con infrastrutture come schematizzato in figura n°2 è opportuno valutare ed integrare i costi manutentivi come segue:

$$LCC = (SMC_{bus} + UMC_{bus}) + (SMC_i + UMC_i) \quad (1)$$

Dove:

SMC_{bus} – Scheduled Maintenance Cost autobus;

UMC_{bus} – Unscheduled Maintenance Cost autobus;

SMC_i – Scheduled Maintenance Cost infrastructure

UMC_i – Unscheduled Maintenance Cost infrastructure;

Per gli altri sistemi di trazione a basso impatto ambientale tra cui le fuel Cell, l'elettrico, l'LNG per i quali non si è ancora raggiunto una maturità tecnologica avanzata e che è stata finora utilizza solo attraverso l'introduzione di progetti pilota spesso spiaggiati, l'LCC rappresenta un supporto per un corretto inserimento in servizio di questi autobus.

Questo approccio è utile anche al costruttore che altrimenti si trova ad affrontare degli errori di valutazione che impattano negativamente sulla buona riuscita del progetto.

La totale adesione dell'operatore al piano di manutenzione del costruttore PMC del veicolo, adesione che costituisce il cardine dell'L.C.C., è qui un punto di arrivo e di partenza per l'organizzazione della manutenzione.

Punto di arrivo nel senso che una organizzazione che adotta la metodologia L.C.C. deve far coincidere i propri piani di manutenzione in modo integrale con quelli del costruttore realizzando, in questo modo, l'equazione $PME=PMC$. Punto di partenza poiché un'organizzazione che opera ancora secondo questa metodologia dovrà tendere a questo risultato. L'organizzazione che adotta ancora il suo PME, diverso da quello PMC, non potrà mettere in tensione eventuali errori nel PMC e pagherà le conseguenze senza poter retroagire. L'organizzazione che adotta il PMC, se trova errori e riesce a formalizzarli, grazie alle competenze al suo interno, in cicli di lavorazione, svilupperà il piano PMC a costi sostenuti dal costruttore.

Risultati;

La regressione lineare dei dati LCC e i relativi grafici che riportano i rapporti tra le due percorrenze: avendo in ordinata i km dichiarati e in ascissa i km medi effettivi ci ha consentito di capire l'andamento delle sostituzioni delle parti principali in funzione dei chilometri percorsi. All'aumentare del chilometraggio dichiarato corrisponde un aumento anche del chilometraggio effettivo prima di arrivare a sostituzione o viceversa.

Dalle analisi dei dati sopra possiamo concludere che la linea di tendenza ha un andamento crescente per i componenti di bus tecnologicamente maturi mentre per i componenti di autobus con tecnologie innovative si nota una linea di tendenza decrescente che sta a significare che la percorrenza dichiarata dal costruttore non è ancora raggiunta in fase di esercizio. Pertanto la metodologia LCC rimane l'unica garanzia per l'esercente il TPL al fine di una maturazione del prodotto autobus e sostenere costi certi qualora si è costretti all'inserimento in flotta di sistemi di trasporto sostenibili.

I costi manutentivi hanno un andamento prevedibile solo sulla base del metodo del L.C.C.. Nella successiva figura n°16 si confronta il risultato delle analisi dei dati dei costi manutentivi dei sistemi di trazione ibrido, metano Euro VI, Diesel Euro VI, Elettrico con pantografo, filobus, elettrico plug-in. La diminuzione dell'impatto ambientale dei sistemi di trazione per il TPL comporta un aumento dell'innovazione tecnologica e dei relativi costi per la manutenzione.

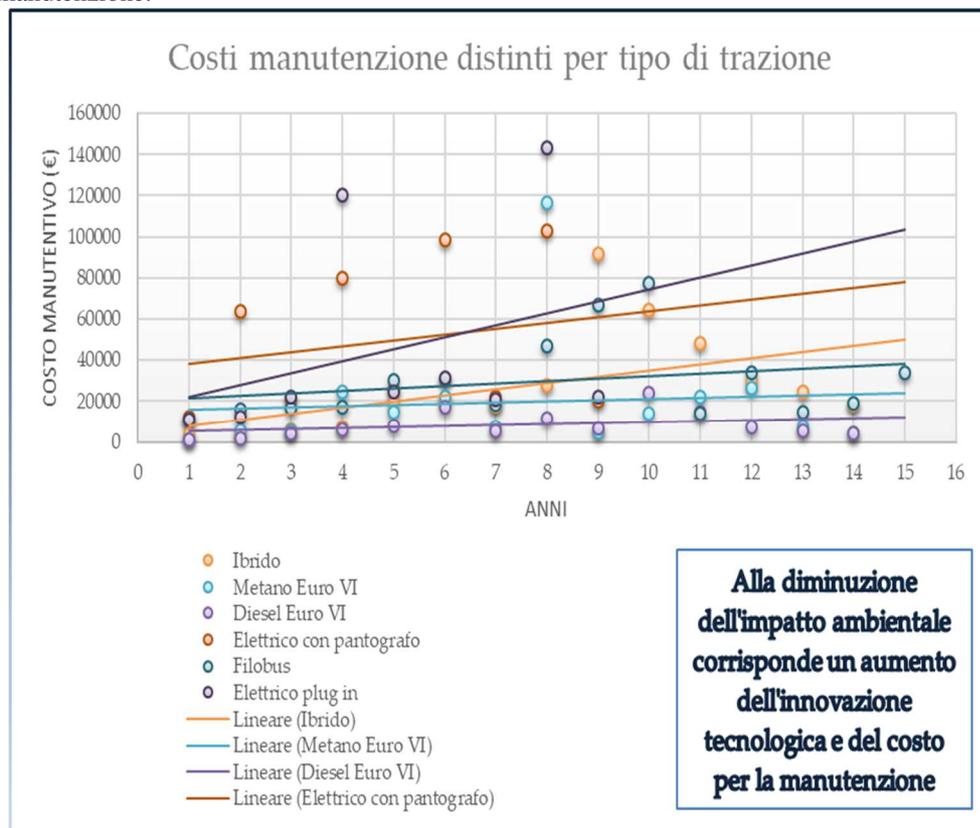


Figura 16: I costi di manutenzione dei diversi sistemi di trazione

Conclusioni;

I risultati dell'analisi numerica dei dati LCC di flotte di autobus sottoposti a vincolo LCC dimostrano di essere sempre più Spare Parts Intensive. Come mostrato nei grafici sopra la sostituzione dei componenti per i sistemi di trazione più maturi avviene tendenzialmente vicina a quella dichiarata dal costruttore. I componenti degli autobus più innovativi tecnologicamente per consentire di pari passo una riduzione del loro impatto ambientale dimostrano invece di essere lontani dalla percorrenza "pensata" in fase di progetto e che risulterà essere determinante in fase di esercizio con i conseguenti costi per l'operatore di TPL.

Il rischio tecnologico legato all'inserimento di sistemi di trazione a basso impatto ambientale deve essere contenuto dall'applicazione della metodologia LCC al fine di standardizzare i costi e permettere al costruttore di far maturare tecnologicamente il prodotto.

Parole Chiave;

Life cycle cost, ricambi autobus, maintenance, traction systems, sustainability.

Bibliografia;

1. Andrea Bottazzi, La gestione delle flotte di veicoli per i servizi pubblici, Pitagora, Bologna, vol. I, vol. II, vol. III e vol. IV;
2. CIVITAS, Smart choices for cities –Alternative Fuel Buses;
3. Roland Berger, Fuel Cell Electric Buses –Potential for Sustainable Public Transport in Europe;
4. CIVITAS, Smart choices for cities – Clean Buses for your city;
5. Comparison of the Lifecycle Cost Structure of Electric and Diesel Buses,
6. Analysis of the potential for electric buses, European Copper Institute;
7. Aa Vv, Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrain in the European context;
8. Aa Vv, Global energy perspective 2019:reference case, Energy inside by Mc Kinsey;
9. Aa Vv, Bus Maintenance Improvement, Special report 198, Transportation Research Board;
10. M.J. Bradley & Associated, Hybrid-electric drive heavy-duty vehicle testing project final report, NAVC;
11. Aa Vv WEB, Alstom il Sistema SRS;
1. Aa Vv WEB, ABB il sistema TOSA;
12. Aa Vv WEB, VDL;
13. Aa Vv, Monitoring Bus Maintenance Performance, TCRP synthesis, National Academy Press, Washington D.C.;
14. Aa Vv, Raccomandazioni per la fornitura di Autobus, ASSTRA;
15. Aida Abdulah, ZeEBUS, Putting electric buses at the core of public transport, UITP.