

Il software BEST e la sua evoluzione

L'articolo descrive l'evoluzione del Software BEST (Better Electric Solution for public Transport), sviluppato interamente da ENEA all'interno dei Piani Triennali di Realizzazione 2015-2018 e 2022-2024 dell'Accordo di Programma ENEA-MASE per la Ricerca di Sistema elettrico. Nella sua formulazione originaria, BEST era finalizzato a verificare la possibilità di utilizzare veicoli a batteria sulle diverse linee di trasporto pubblico urbano e a confrontare i costi di investimento, di esercizio e delle esternalità prodotte delle diverse soluzioni tecniche di elettrificazione e di alimentazione convenzionale (diesel e metano). Per il secondo periodo di ricerca, è stata realizzata una nuova versione del software, finalizzata, in particolare, a ricostruire i profili di ricarica dei bus urbani per quelle linee per le quali l'alimentazione a batteria risulti tecnicamente fattibile. Il nuovo software è stato denominato BEST_CP, dove CP sta per Charging Profile.

DOI 10.12910/EAI2024-029

di Valentina Conti, Matteo Corazza, Silvia Orchi e Maria Pia Valentini, Laboratorio di Mobilità Sostenibile e Trasporti - ENEA

Il Software BEST sviluppato dall'ENEA consente di analizzare le seguenti configurazioni di ricarica:

- architettura A: ricarica lenta notturna al deposito;
- architettura AB: ricarica lenta notturna al deposito, con una ricarica rapida diurna di supporto (biberonage), al deposito o presso stazioni ubicate in specifici terminali;
- architettura B: ricarica lenta notturna al deposito e continui biberonage ai capolinea, durante le soste fra una corsa e l'altra.

L'analisi dell'Arch. AB rappresenta una totale novità rispetto alla precedente versione di BEST, che non prendeva in esame questo tipo di soluzione di ricarica; si tratta di una soluzione "ibrida" che contempla, oltre al rifornimento durante il ricovero notturno, un solo rifornimento diurno aggiuntivo, al deposito o in altro luogo a ciò deputato. Rispetto alla precedente versione del software (Valentini et al., 2022), è stata invece esclusa l'analisi dell'architettura C (ricarica notturna a deposito e diurna

sia alle fermate che al capolinea) in quanto dalle precedenti applicazioni del modello essa è risultata essere ancora molto lontana dalla competitività economica con le altre soluzioni di ricarica, oltre che adatta solo ad applicazioni particolari.

Capacità delle batterie e potenze di ricarica

L'algoritmo per la stima dei Profili di Ricarica del Trasporto Pubblico Locale su gomma ad alimentazione elettrica parte dall'analisi di fattibilità tecnica e dal confronto economico delle diverse soluzioni di ricarica applicate ad una linea di cui sia noto il programma di esercizio nell'arco dell'anno. In mancanza dell'informazione relativa alla dimensione dei mezzi in servizio sulle singole linee di trasporto pubblico, BEST "ragiona" esclusivamente su autobus da 12 metri di lunghezza, ovvero sulla dimensione prevalente nei servizi urbani delle città italiane. Questa limitazione non sottrae generalità ai risultati comparativi per la selezione dell'Architettura di ricarica preferibile ma deve essere

tenuta presente nella lettura dei risultati relativi ai Profili di Ricarica, che potrebbero subire degli scalamenti in relazione alla dimensione effettiva dei bus utilizzati.

Sulla base della dimensione veicolare fissata, sono stati ipotizzati i valori di capacità della batteria e di potenza della ricarica, al variare della soluzione di ricarica.

Per l'Arch. A è necessario utilizzare batterie di capacità tale da poter effettuare un servizio giornaliero, dall'uscita dal deposito a inizio servizio sino al rientro a fine servizio, senza effettuare alcun biberonage intermedio; per questo tipo di "missione" si assume un range di variazione della capacità di batteria fra 200 e 350 kWh; il valore più opportuno sarà determinato in funzione delle esigenze energetiche del servizio sulla specifica linea. **Questa "tailorizzazione" costituisce un'innovazione modellistica rispetto al vecchio BEST, che invece assumeva un valore di batteria fisso a 350 kWh, senza distinguere fra le diverse situazioni; con tale upgrading si intende valutare la possibilità**

di limitare i costi di acquisto degli autobus per l'implementazione di questo tipo di ricarica.

Per l'Arch. B è stato immaginato, come nella precedente versione del software, di utilizzare autobus con batteria da 80 kWh di capacità, sempre sufficiente a garantire la necessaria potenza di trazione anche in condizioni puntuali di esercizio onerose (salite, carico rilevante, assorbimento di ausiliari) nonché a garantire la copertura del fabbisogno energetico di una singola corsa; in questo caso si procede ad un dimensionamento "tailorizzato" della potenza delle stazioni di ricarica da installare presso i capolinea, da un minimo di 200 ad un massimo di 400 kW; il valore di potenza dovrà garantire, nei tempi di sosta previsti dal servizio, un rifornimento elettrico sufficiente per raggiungere livelli di carica delle batterie ad inizio corsa sempre al di sopra della necessità energetica della corsa successiva; in generale, dopo ogni corsa si mira a rifornire la batteria sino al 100% della sua capacità, accettando livelli inferiori solo durante le ore di punta in cui la frequenza delle corse limita il tempo disponibile per la ricarica. Anche la personalizzazione della potenza di ricarica al capolinea per l'Arch. B rappresenta un'innovazione rispetto alla precedente versione di BEST, introdotta per dare indicazioni sulla possibilità di limitare i costi di investimento per l'implementazione di questo tipo di ricarica.

Per quanto riguarda l'Architettura AB, il valore di batteria è sempre quello massimo ipotizzato (350 kWh), dato che questa architettura di fatto rappresenta un'estensione della soluzione A, laddove la capacità massima di batteria non fosse sufficiente ad operare il servizio giornaliero e ci fosse necessità di integrare con una ricarica veloce "spot"; in questo caso è stato fissato un tempo netto di bibe-

ronage di 30 minuti, con una potenza di ricarica da 250 kW.

I dati sul servizio e la stima dei consumi energetici

La procedura di analisi si basa sui dati GTFS di programmazione del servizio resi disponibili dalla Aziende del TPL, sui quali si effettuano delle pre-elaborazioni necessarie a fornire gli input della verifica di fattibilità tecnica e del confronto economico delle alternative di ricarica.

Per ogni linea vengono identificati tutti i capolinea utilizzati in ciascuna delle sei giornate tipo che descrivono il servizio annuale: lavorativa, prefestiva e festiva per le stagioni invernale ed estiva. Inoltre, per ciascuna fascia oraria del periodo di servizio si calcola la frequenza delle corse programmate, la loro percorrenza, la loro durata e i consumi elettrici in funzione della soluzione di ricarica.

I consumi della trazione elettrica sono calcolati utilizzando le curve di consumo derivate dalla campagna di misura svolta tra il 2015 e il 2018 a Cagliari da ENEA nell'ambito della Ricerca di Sistema elettrico. Ven-

gono inoltre calcolati i consumi per riscaldamento e aria condizionata, utilizzando una metodologia analoga a quella descritta in (Corazza et al., 2021), basata sul calcolo dell'andamento di temperatura nel corso della giornata a partire dai valori climatologici mensili di temperatura minima e temperatura massima. Le temperature ottenute, unitamente ai valori di umidità climatologici vengono utilizzate per il calcolo dell'Heat Index e successivamente per il calcolo delle potenze utilizzate per riscaldamento o condizionamento.

L'interfaccia utente e la visualizzazione dei risultati

Al fine di permettere agli operatori di gestire con semplicità le fonti di informazione e le scelte su come utilizzarle al meglio, è stata sviluppata un'interfaccia che svolge allo stesso tempo la funzione di interfaccia grafica (GUI), di pre-processamento dei dati in ingresso alla procedura, di gestione delle simulazioni e di gestione dei dati di output e del loro post-processamento. In Figura 1 è rappresentata l'interfaccia di scelta

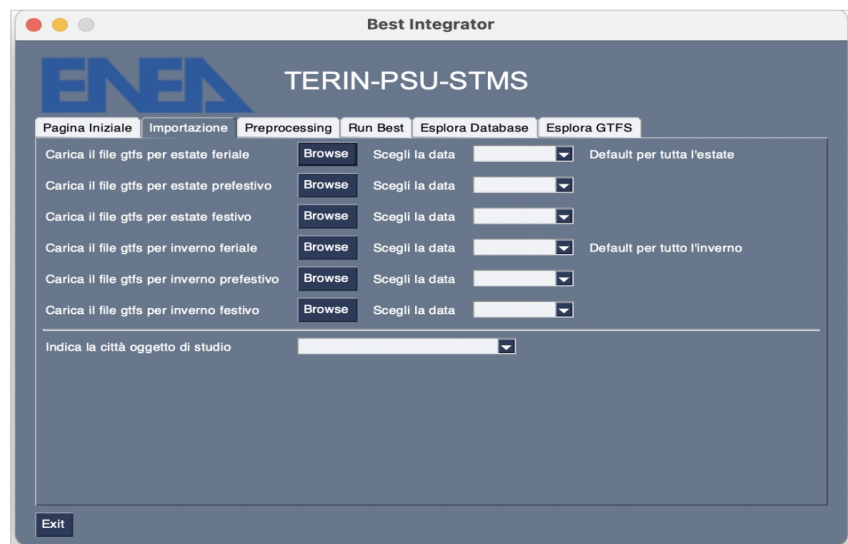


Figura 1: Interfaccia di scelta dei GTFS da considerare per l'analisi Best

dei dati GTFS statici da parte dell'utente. Viene inizialmente guidata la scelta della base di dati GTFS per ognuna delle sei giornate tipo considerate dal modello. L'utente deve inoltre indicare la città oggetto di studio, al fine di selezionare i corretti dati climatici e il Digital Elevation Map (DEM) necessari, rispettivamente, alla stima dei consumi per riscaldamento e raffreddamento dell'abitacolo e della componente "pendenza" nel calcolo dei consumi per trazione. Nel caso il DEM non fosse disponibile, il sistema permette di scaricarlo in automatico per l'area considerata, utilizzando il NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second number data set alla risoluzione di 30 m (NASA JPL, 2013).

La Figura 2 riporta l'energia consumata, ora per ora, da tutti i bus di Architettura B, per ciascuna delle giornate di riferimento prescelte (6, 8, 9 luglio 2023 e 5, 7, 8 ottobre 2023). Nella giornata feriale invernale

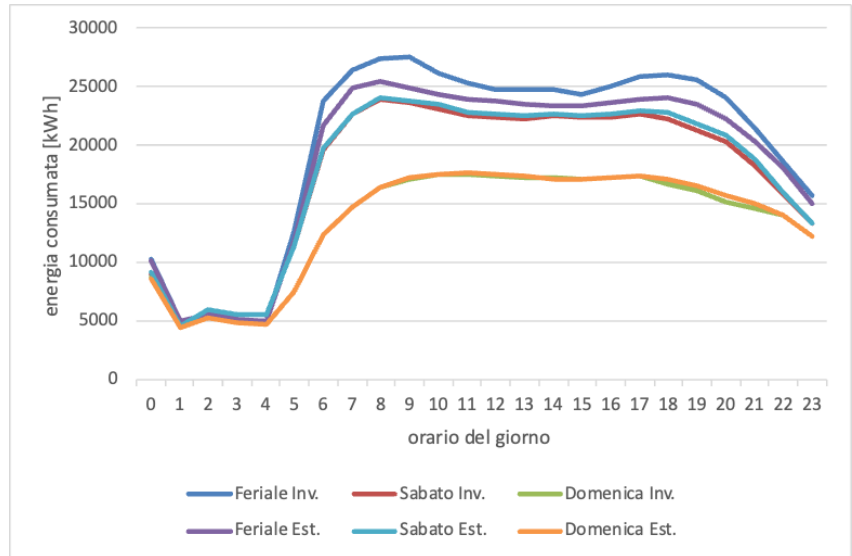


Figura 2: Energia consumata dai bus di architettura B nelle diverse ore delle giornate tipo, in estate e inverno

le sono evidenti i picchi di consumo, che raggiungono un massimo di circa 27.000 kWh/h, laddove i picchi delle rimanenti giornate si attestano sui 18-23.000 kWh/h.

Attraverso l'interfaccia sviluppata, semplicemente cliccando sulla mappa e selezionando il capolinea di interesse, in Best_CP è possibile visualizzare per ogni capolinea i gra-



Figura 3: Capolinea a Termini

fici dell'energia oraria richiesta alla rete (intesa come energia consumata nell'ora - per trazione e condizionamento - equamente suddivisa fra tutti i capolinea utilizzati nell'ora dalle linee incidenti nel capolinea in oggetto) e dell'energia ricaricabile (intesa come energia che sarebbe possibile ricaricare in base alla potenza di ri-

carica disponibile nel capolinea e al tempo utile di ricarica), oltre al numero di arrivi al capolinea. A titolo esemplificativo, è stato riportato il risultato relativo ad uno dei capolinea nel piazzale della Stazione Termini (Figura 3), che accoglie tre linee.

I grafici sono disponibili per tutte le giornate di riferimento, feriali,

pre-festive e festive, del periodo invernale ed estivo. Questa rappresentazione dettagliata offre una panoramica completa dell'andamento dell'energia ricaricabile e del numero di arrivi presso ciascun capolinea lungo l'arco della settimana.

per info: valentina.conti@enea.it

Bibliografia

- Corazza M, Conti V, Genovese A, Ortenzi F, Valentini MP. A Procedure to Estimate Air Conditioning Consumption of Urban Buses Related to Climate and Main Operational Characteristics. *World Electric Vehicle Journal*. 2021; 12(1):29. <https://doi.org/10.3390/wevj12010029>
- NASA JPL (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second number [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2024-03-15 from <https://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1N.003>
- Valentini M.P, Conti V, Orchi S. BEST: a software to verify the feasibility of urban bus line electrification, *Research in Transportation Economics*, Vol 92, May 2022, 101117; <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101117>