



Ricerca di Sistema elettrico

Manuale d'uso del DSS per l'analisi di fattibilità tecnico-economica dell'elettrificazione di servizi di trasporto pubblico urbano

V. Conti

MANUALE D'USO DEL DSS PER L'ANALISI DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELL'ELETTRIFICAZIONE DI
SERVIZI DI TRASPORTO PUBBLICO URBANO

V. Conti (ENEA)

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici ed interazione con gli altri vettori energetici

Progetto: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: Strumenti per il TPL

Responsabile del Progetto: Maria Pia Valentini - ENEA

Si ringrazia l'ing. Andrea Gemma dell'Università di Roma Tre per aver contribuito alla realizzazione del presente lavoro.

Indice

1	MANUALE D'USO DEL DSS PER L'ANALISI DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA DELL'ELETTRIFICAZIONE DI SERVIZI DI TRASPORTO PUBBLICO URBANO	4
1.1	INTRODUZIONE	4
1.2	INSTALLAZIONE	4
1.2.1	<i>Installazione di PostgreSQL</i>	4
1.2.2	<i>Installazione Matlab Run-Time</i>	7
1.2.3	<i>Installazione QGIS</i>	8
1.3	UTILIZZO DI RSE INTEGRATOR IN MULTI-UTENZA	8
1.4	RSE INTEGRATOR.....	8
1.4.1	<i>Impostazioni</i>	9
1.4.2	<i>Importazione</i>	11
1.4.3	<i>Parametri di input</i>	13
1.4.4	<i>Calcolo Consumi ed Emissioni e Analisi Costi-Benefici</i>	18
1.4.5	<i>Esplora Output</i>	20
1.4.6	<i>Visualizzazione degli output in ambiente GIS</i>	23
1.4.7	<i>Filtro</i>	25
1.5	DATI UTILIZZATI NEL MODELLO	26
1.5.1	<i>Valori di riferimento dei veicoli</i>	26
1.5.2	<i>Valori di riferimento dei sistemi di ricarica</i>	27
1.5.3	<i>Valori di riferimento dei sistemi di accumulo di bordo</i>	28
1.5.4	<i>Valori di riferimento per calcolo costi esterni</i>	28

1 Manuale d'uso del DSS per l'analisi di fattibilità tecnico-economica dell'elettrificazione di servizi di trasporto pubblico urbano

1.1 Introduzione

Questo manuale contiene le istruzioni per installare e utilizzare correttamente il software RSE Integrator sviluppato per ENEA. Nella parte iniziale della documentazione si ha una descrizione tecnica delle procedure di installazione del software e le relative dipendenze. Successivamente verrà effettuata una descrizione di come utilizzare il software al fine di eseguire la catena modellistica. La descrizione dei passaggi sarà accompagnata da una breve descrizione di tutti i dati di input e i dati di output.

Nel paragrafo 1.5 saranno riepilogati alcuni valori di riferimento che sono stati utilizzati all'interno del modello.

Per maggiori dettagli sulla metodologia applicata si può far riferimento ai report sottomessi durante il triennio di ricerca 2015-2017 (RdS/PAR2015/205, RdS/PAR2016/226 e RdS/PAR2017/232).

1.2 Installazione

RSE Integrator è uno software sviluppato in C# che integra al suo interno 2 software sviluppati in ambiente Matlab. Per integrare questi software tra loro è stato sviluppato un database che è stato utilizzato come ponte per lo scambio dati tra i diversi modelli.

Questi requisiti rendono necessario, al fine di installare il software su uno specifico PC, l'installazione del DBMS usato per la memorizzazione del database e delle librerie Matlab RunTime.

1.2.1 Installazione di PostgreSQL

Il Data Base Management System (DBMS) utilizzato per la memorizzazione del database è PostgreSQL che è un'applicazione open-source scaricabile dal sito ufficiale:

<https://www.openscg.com/bigsql/postgresql/installers.jsp/>

La versione di PostgreSQL utilizzata per il progetto è la 9.6 a 64 bit, anche se nel triennio di lavoro tutte le funzionalità sono state rese compatibili anche per la versione 10 e 11.

PostgreSQL deve essere installato sul PC nel quale si intende usare il software o sul quale si intende memorizzare la banca dati. La scelta del computer di installazione del DBMS è spesso una scelta sistemistica ma si suggerisce di utilizzare lo stesso PC sul quale si ha intenzione di installare RSE Integrator, al fine di incrementare le prestazioni riducendo i tempi per lo scambio dati tra il database e il software.

Per installare il DBMS si può procedere lanciando il programma di installazione e premendo il pulsante Next nella prima finestra, vedi **Figura 1**.



Figura 1: Finestra setup PostgreSQL

Selezionare, quindi, la cartella di installazione del software (vedi Figura 2). Questa cartella non sarà la cartella che conterrà i dati.

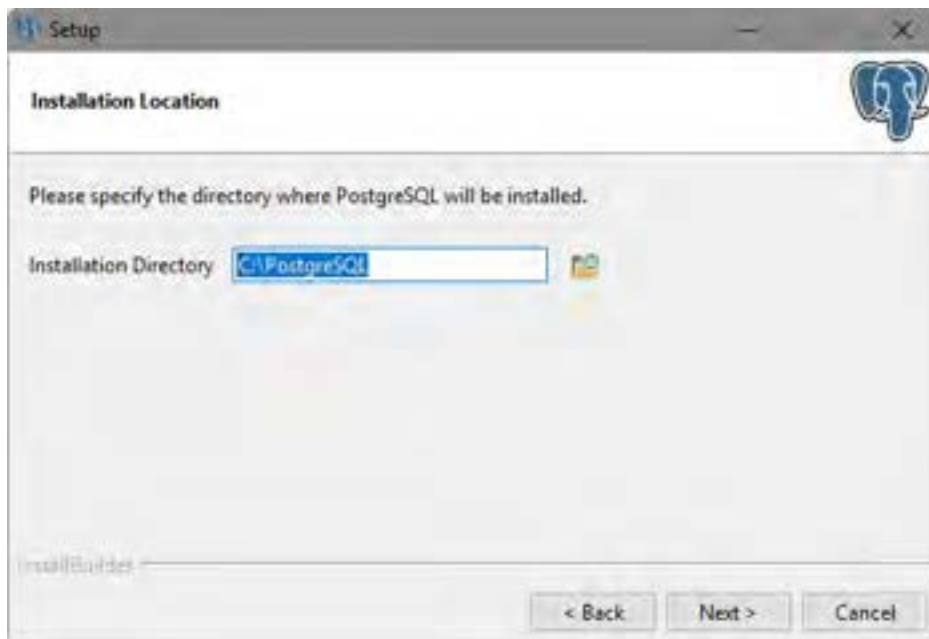


Figura 2: Finestra per selezionare cartella istallazione PostgreSQL

Cliccare su Next e selezionare i moduli da installare (vedi Figura 3). In questo caso selezionare anche PgAdmin che potrà essere utile per accedere direttamente al DB se necessario.

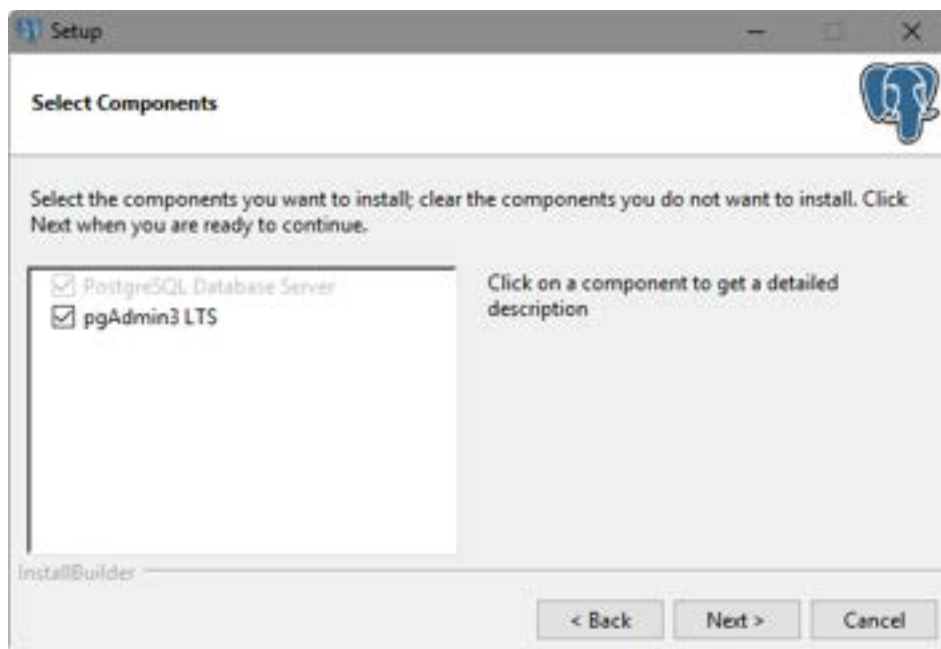


Figura 3: Finestra per selezionare moduli installazione PostgreSQL

Cliccare sul pulsante Next e selezionare la password del DB. Questa password dovrà essere ricordata per poter utilizzare il DBMS e sarà richiesta all'utente per selezionare il database di lavoro. Dentro il campo "PostgreSQL data directory" impostare la cartella di memorizzazione dei dati. Il disco di questa cartella dovrà contenere tutti i dati del database e dovrà avere, quindi, una quantità di spazio sufficiente alla memorizzazione di tutti i casi di studio. Si consideri che i database utilizzati durante la fase di test hanno occupato uno spazio che oscilla tra i 2GB e i 19GB. Nella finestra mostrata in figura è stata scelta una cartella differente da quella suggerita ma questo non altera la procedura di installazione o l'utilizzo del software. L'utente che installa il software dovrebbe scegliere la cartella dati in funzione della configurazione del proprio hardware.

Oltre alla cartella dati, la finestra richiede la configurazione della porta di comunicazione di PostgreSQL (Default: 5432). Anche questo parametro sarà richiesto durante la configurazione di RSE Integrator e si suggerisce quindi di lasciare quella predefinita o di ricordarla attentamente.

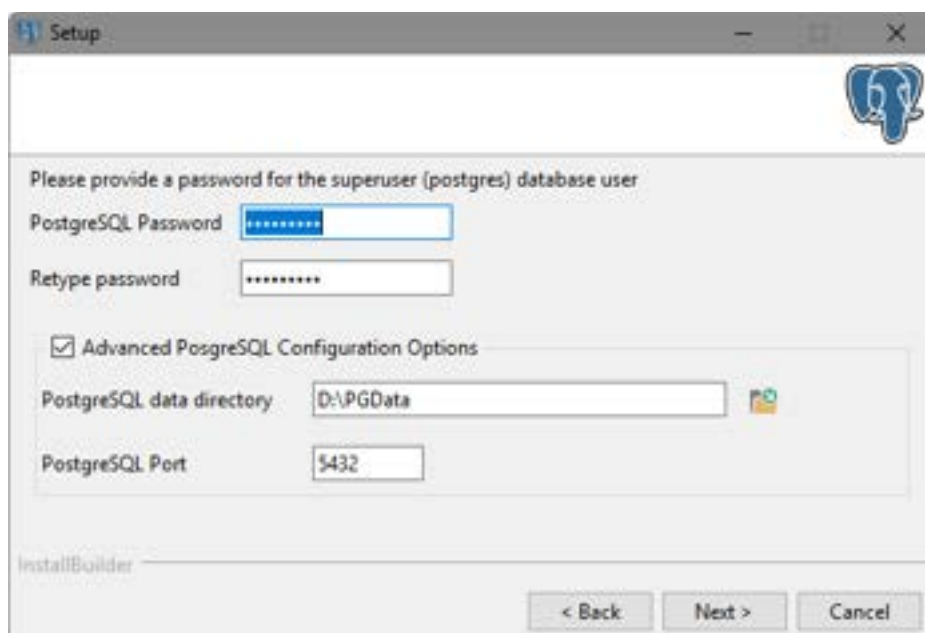


Figura 4: Finestra di configurazione PostgreSQL

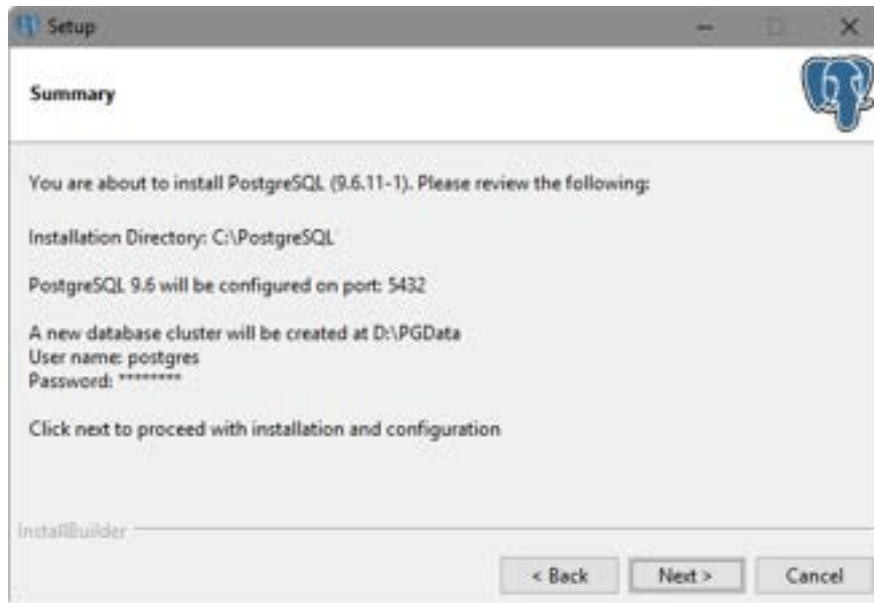


Figura 5: Finestra di verifica parametri PostgreSQL

Verificare i dati dell'installazione e cliccare sul pulsante Next.

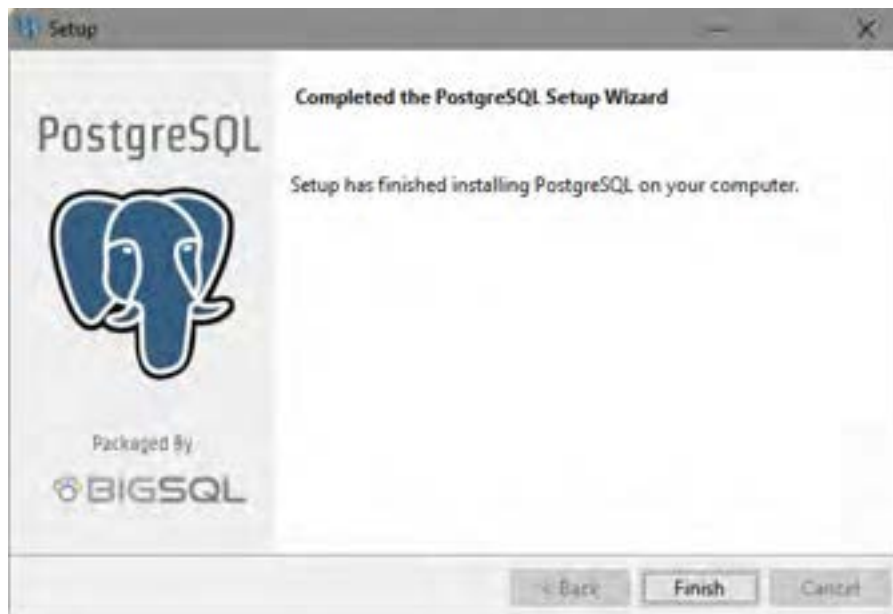


Figura 6: Finestra di fine installazione PostgreSQL

Attendere il completamento dell'installazione e cliccare sul pulsante Finish.

Terminata l'installazione, bisogna modificare i file di configurazione pg_hba.conf presente all'interno della cartella dati scelta in fase di installazione. La seguente riga, necessaria per l'accesso da remoto del DBMS, dovrà essere aggiunta al file:

```
host all all 0.0.0.0/0 password
```

1.2.2 Installazione Matlab Run-Time

MATLAB Runtime è un set autonomo di librerie condivise che consente l'esecuzione di applicazioni MATLAB compilate e dei suoi componenti. Queste librerie hanno consentito di utilizzare i modelli sviluppati dai


ricercatori dell'ENEA e dell'Università dell'Aquila in ambiente Matlab e di renderli disponibili anche ad utenti sprovvisti di licenza.

La versione di MATLAB Runtime richiesta per il funzionamento di RSE Integrator è la versione 9.5 a 64 bit (Matlab R2018b) scaricabile gratuitamente dal sito ufficiale della MathWorks al seguente link:

<https://it.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html>

Una volta terminata l'installazione delle librerie bisogna memorizzare la cartella di installazione all'interno della variabile di ambiente *Path* come segue;

Windows 10 (o Windows 8.1)

1. Cliccare con il tasto sinistro sul pulsante di avvio di Windows 
2. Digitare e cercare "Modifica le variabili di ambiente relative al sistema"
3. Cliccare su "Variabili di ambiente..."
4. Cliccare sulla variabile "Path" and cliccare "Modifica...". Modificare la variabile Path di sistema se si intende apportare la modifica a tutti gli utenti altrimenti modificare solo la variabile Path d'utente
5. Cliccare su "Nuovo"
6. Inserire il percorso della cartella contenete I file binari delle librerie. Se la cartella di installazione non viene personalizzata il percorso della cartella di installazione dovrebbe essere: C:\Program Files\MATLAB\MATLAB Runtime\v95\runtime\win64

Cliccare su "OK" per salvare le modifiche.

1.2.3 Installazione QGIS

La visualizzazione GIS del software è realizzata per mezzo di una integrazione di RSE Integrator con QGIS, software opensource leader tra i software GIS.

Per poter procedere con questa integrazione è richiesta l'installazione di QGIS sul PC di installazione di RSE Integrator.

E' possibile scaricare QGIS dal sito ufficiale <https://qgis.org/>.

E' fondamentale che dopo l'installazione l'apertura dei file .QGS sia associata al software QGIS.

1.3 Utilizzo di RSE Integrator in multi-utenza

RSE Integrator lavora su un singolo caso di studio la volta e conseguentemente su un unico database la volta. In condizioni di multi-utenza, per poter tutelare i dati di ciascun utente, il software identifica l'utente e genera un database associato a lui univocamente. In queste condizioni ciascun utente può lavorare sul proprio caso di studio senza accedere alle informazioni dei casi di studio di altri utenti e mantenendo la privacy dei propri dati. Solo l'utente amministratore può accedere a tutti i database di ciascun utente e accedere pertanto a tutti i casi di studio.

Per poter permettere questo tipo di funzionamento in multi-utenza, l'utente amministratore deve accedere preventivamente ad RSE Integrator ed impostare i parametri per la connessione al database.

1.4 RSE Integrator

L'interfaccia grafica di RSE Integrator è stata studiata per integrare gli applicativi sviluppati dall'Università dell'Aquila e quelli sviluppati presso l'ENEA cercando di aiutare l'utente nella realizzazione flusso di lavoro per poter applicare correttamente la catena modellistica. Pertanto è stata studiata un'interfaccia a schede, una per ogni step fondamentale del flusso di lavoro (vedi [Figura 7](#)):

0. Pagina iniziale: breve scheda di presentazione del software;
1. Importazione: scheda per l'avvio della procedura di importazione del GTFS;

2. Parametri di Input: scheda per la visualizzazione di tutti i dati di input di interesse per l'applicazione della catena modellistica;
3. Calcolo Consumi ed Emissioni: scheda per l'avvio delle procedure sviluppate dall'Università dell'Aquila per il calcolo dei consumi e delle emissioni;
4. Modello di Analisi Tecnico Economica BEST: scheda per l'avvio del modulo di calcolo BEST utilizzato per l'analisi tecnica e per l'analisi Costi-Benefici;
5. Esplora Output: scheda per l'ispezione dei risultati della catena modellistica;
6. Impostazioni: Scheda per la configurazione generale del software con accesso ristretto ai soli amministratori di sistema (database, localizzazione file, etc).



Figura 7: Flusso della catena modellistica

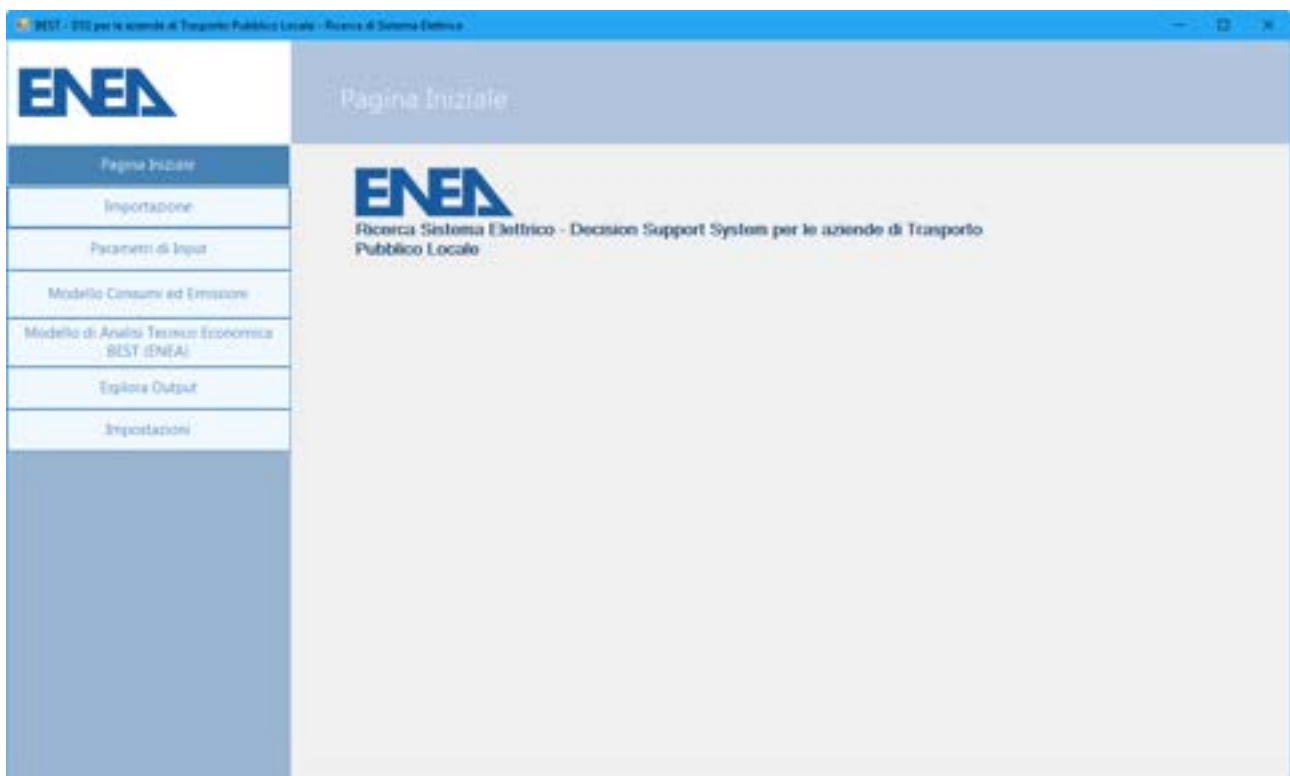


Figura 8: Schermata iniziale di RSE Integrator

1.4.1 Impostazioni

Il passo da effettuare alla prima esecuzione è il settaggio dei parametri generali del software. Queste impostazioni possono essere editate solo dall'amministratore di sistema.

I parametri configurabili sono i seguenti:

- parametri di connessione al database;
- distanza di clustering per l'identificazione dei capolinea;
- la localizzazione sul pc di Matlab.

Cliccando sul pulsante dei parametri di connessione al database verrà aperta una finestra nella quale bisogna inserire i dati sulla localizzazione di PostgreSQL e i parametri di autenticazione. La stessa finestra permette di creare un nuovo database di lavoro per il caso di studio.

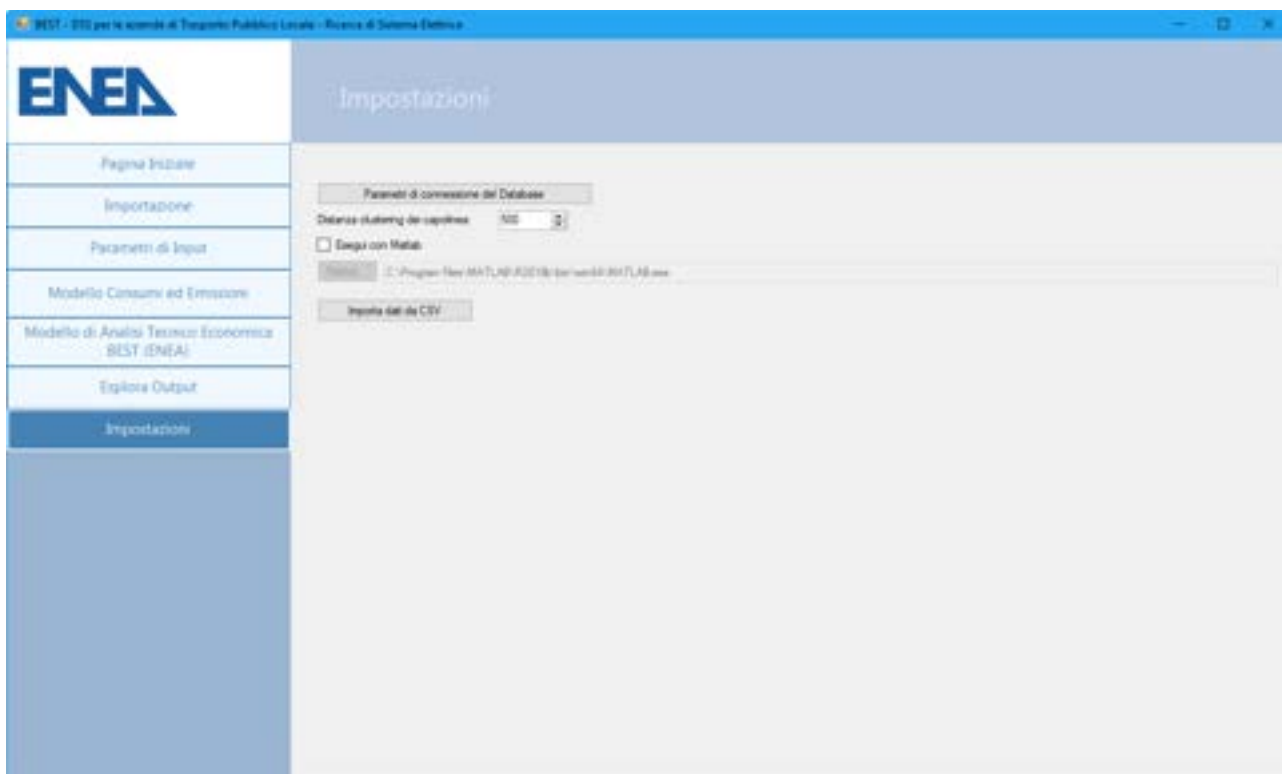


Figura 9: Finestra impostazioni

Il software è stato progettato per lavorare su un solo database e quindi è in grado di lavorare su un solo caso di studio la volta. Attraverso questa finestra un utente può modificare il database di lavoro e quindi il caso di studio.

Una volta impostata la connessione, RSE Integrator è in grado di essere utilizzato anche da un utente non amministratore. In questo caso il software crea automaticamente un database per ciascun utente che inizia a lavorare con il software. Questo implica che un utente non amministratore possa lavorare con un solo caso di studio la volta.

I parametri da inserire sono i seguenti:

- Nome Server: IP o Nome del PC su cui è localizzato PostgreSQL
- Porta: numero della porta di lavoro di PostgreSQL. Tipicamente 5432
- Nome del database: Nome del database di lavoro che conterrà il caso di studio. Qualora il database non esistesse allora dovrà essere premuto il tasto Crea Database dopo aver inserito i restanti parametri
- Utente: nome utente del database. PostgreSQL prevede un utente root "postgres" che usualmente può essere usato per questo scopo.
- Password: password dell'utente usato al punto precedente. Se l'utente è "postgres" questa password dovrebbe essere stata inserita in fase di installazione
- Superuser: nome dell'utente root di PostgreSQL. Usualmente "postgres"
- Superuser password: password dell'utente usato al punto precedente. Se l'utente è "postgres" questa password dovrebbe essere stata inserita in fase di installazione
- Crea Database: Questo pulsante consente di creare il database indicato nella voce "Nome Database" inizializzando la banca dati per il caso di studio.

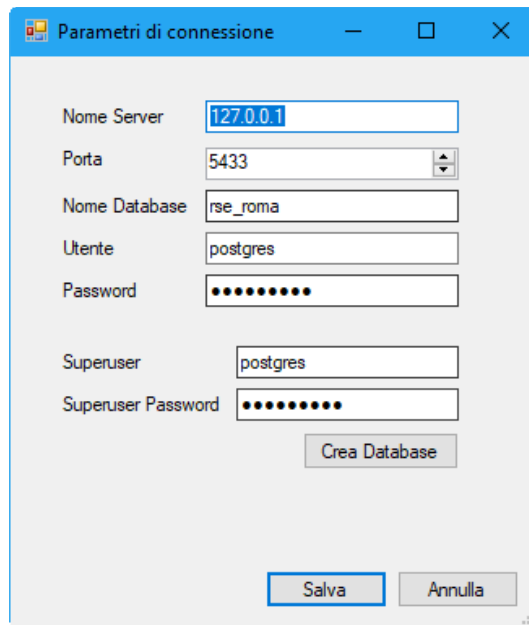


Figura 10: Parametri di connessione

Un'altra fondamentale opzione presente nella scheda *Impostazioni* è la distanza per l'algoritmo di clustering usato nell'identificazione dei capolinea. Durante la fase di importazione viene realizzata un'analisi di tutti i capolinea che spesso sono identificati attraverso le paline delle fermate. In questo caso 2 o più capolinea, molto prossimi, possono risultare completamente differenti anche se in caso di elettrificazione possono condividere infrastrutture e costi di installazione. Per poter accorpare i capolinea al fine di fare una più corretta valutazione dei costi è stato sviluppato un algoritmo di clustering che aggrega le paline dei capolinea in un unico nodo che condividerà le infrastrutture di ricarica. I capolinea reali delle linee incidenti nelle paline aggregate vengono associati al nodo fittizio in modo da simulare anche la condivisione spaziotemporale delle infrastrutture.



Figura 11: Esempio di Clustering dove le paline dei capolinea sono state aggregate in un unico capolinea posto in punto baricentrico

1.4.2 Importazione

La scheda di importazione prevede la possibilità di importare una rete in formato General Transit Feed Specification (GTFS) attraverso la funzione *Seleziona GTFS* (vedi Figura 12). Per ogni file necessario a RSE Integrator e appartenente al GTFS si riporta la lista dei campi utilizzati:

- agency.txt: "agency_id", "agency_name";
- calendar_dates.txt: "service_id", "date";
- routes.txt: "route_id", "agency_id", "route_short_name", "route_long_name", "route_type";
- shapes.txt: "shape_id", "shape_pt_lat", "shape_pt_lon", "shape_pt_sequence", "shape_dist_traveled";
- stop_times.txt: "trip_id", "arrival_time", "departure_time", "stop_id", "stop_sequence", "shape_dist_traveled";
- stops.txt: "stop_id", "stop_name", "stop_lat", "stop_lon";
- trips.txt: "route_id", "service_id", "trip_id", "trip_short_name", "direction_id", "shape_id";

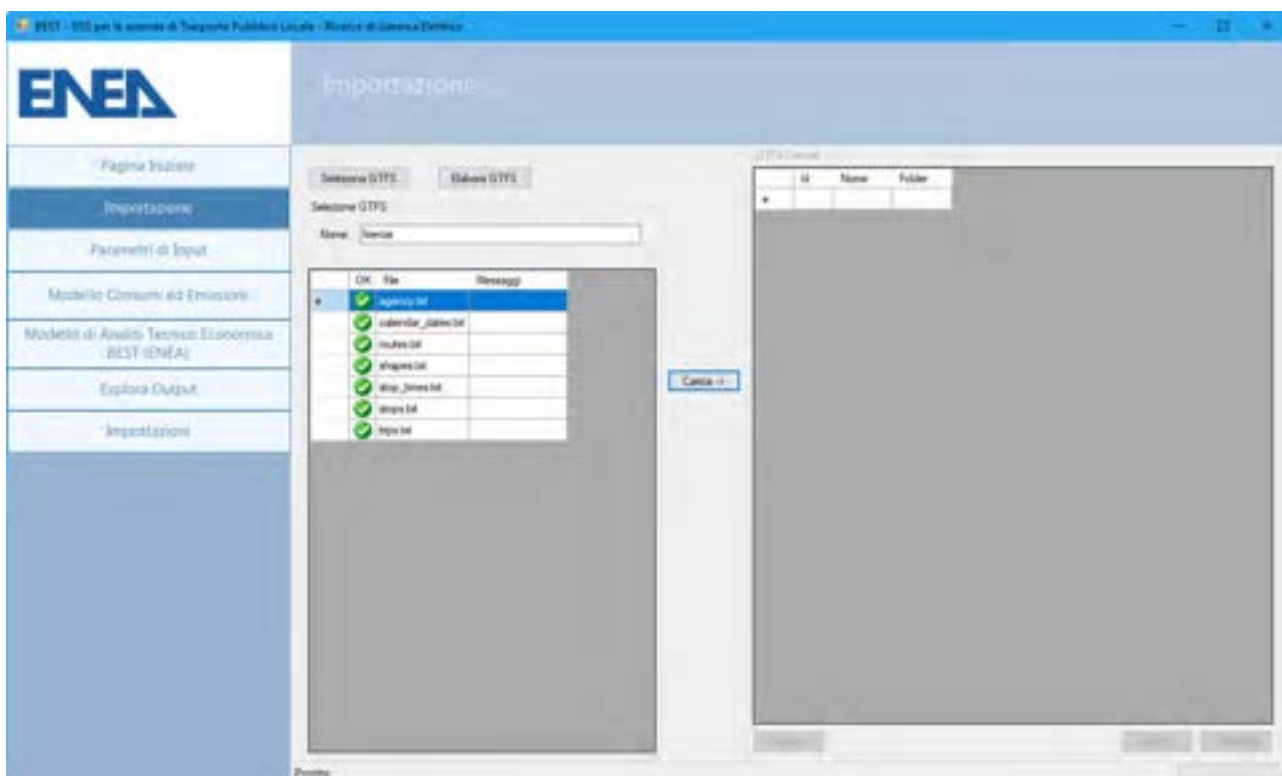


Figura 12: Schermata della scheda di importazione

Tra tutti i campi presenti nel GTFS questi sono basilari e richiesti per il funzionamento della catena modellistica.

Selezionata la cartella contenente i file del GTFS il sistema esegue una verifica sul formato dei file segnalando eventuali anomalie. Qualora tutti i test vengano superati viene abilitata la funzione *Carica* che salva in memoria tutto il GTFS. In questa fase, reiterando le operazioni, è possibile caricare più GTFS contemporaneamente ed effettuare un'unione delle reti. Questa funzione può essere utile per unire GTFS di periodi differenti (es: orario estivo e invernale) in modo da poterle importare come un unico periodo. Caricato il GTFS in memoria ed eventualmente unito con altri GTFS è possibile avviare la procedura di importazione attraverso il pulsante *Importa*.

Nella procedura di importazione è possibile filtrare il GTFS secondo le seguenti grandezze:

- Agenzia: operatore del TPL come ad esempio: ATAC, ROMA TPL, Trenitalia, ATM, ATF ...;
- Tipi di linea: tipologia di servizio definito dallo standard GTFS. Usualmente si utilizza il tipo 3=Bus;
- Linea: Specifica linea

- Data: giorno da importare. I giorni che il software dà la possibilità di importare sono stati 4 e rappresentativi dell'intera annualità ed in particolare un giorno festivo ed uno feriale per periodi estivi o invernali. La codifica per i giorni da importare è la seguente:
 - 1: feriale invernale;
 - 2: festivo invernale;
 - 3: feriale estivo;
 - 4: festivo estivo;

è lasciata comunque all'utente la possibilità di scegliere un qualsiasi giorno come rappresentativo del periodo e del servizio.

Al termine della procedura di filtraggio è possibile vedere i risultati del filtro attraverso il pulsante *Avvia Filtro*. Il filtro selezionerà automaticamente le linee che verranno importate nel sistema. Prima di avviare l'importazione l'utente può personalizzare questa scelta nella tabella *Linee*. Attraverso il pulsante *Salva*, infine, l'utente può avviare la procedura di importazione che sovrascriverà i dati preesistenti all'interno del database.

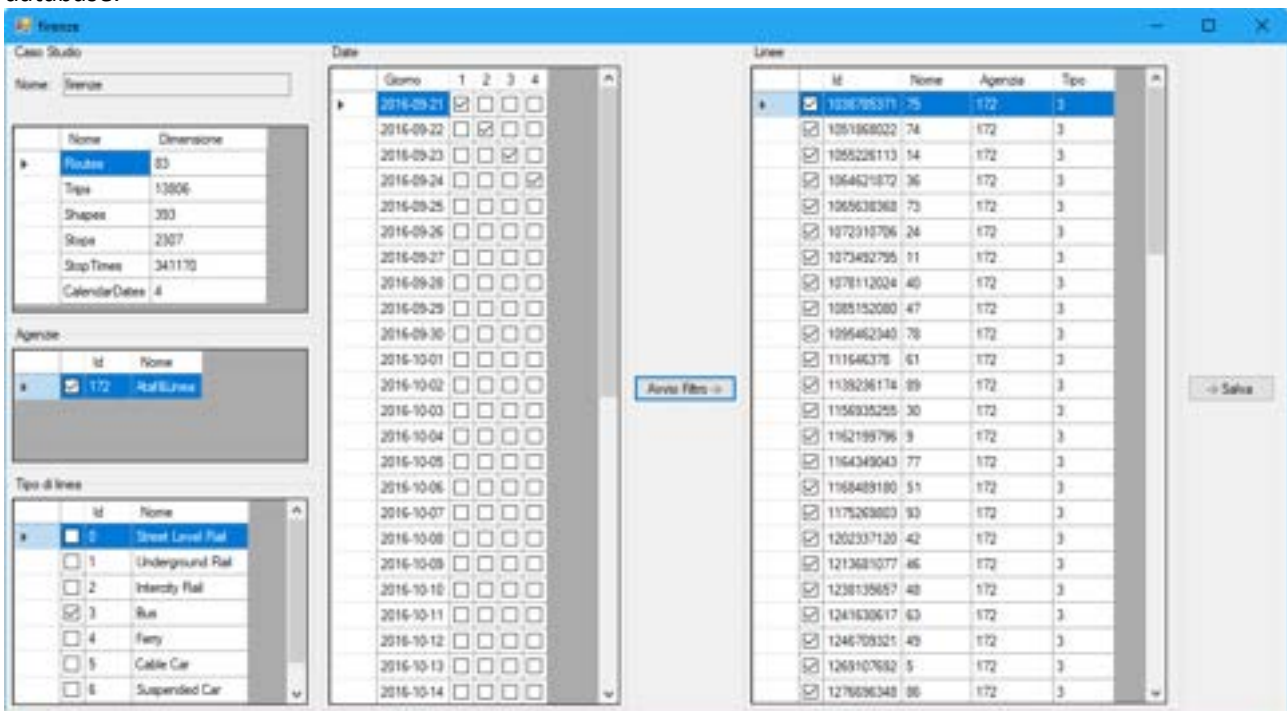


Figura 13: Schermata della procedura di importazione

1.4.3 Parametri di input

All'interno del software è stata progettata una scheda per consentire un accesso più agevolato ai parametri principali di input.

La finestra dei Parametri di Input, visibile nella [Figura 14](#), è stata suddivisa in un insieme di schede che raggruppano i parametri di input come segue:

- Caso Studio
- Linee
- Capolinea
- Fermate
- Costi:
 - Costi Energia
 - Costi Veicoli

- Costi Batterie
- Costi Infrastrutture di Ricarica

Nel paragrafo 1.5 sono stati riepilogati i valori di input che si trovano all'interno del modello e che sono stati considerati per il calcolo dell'analisi tecnico economica.

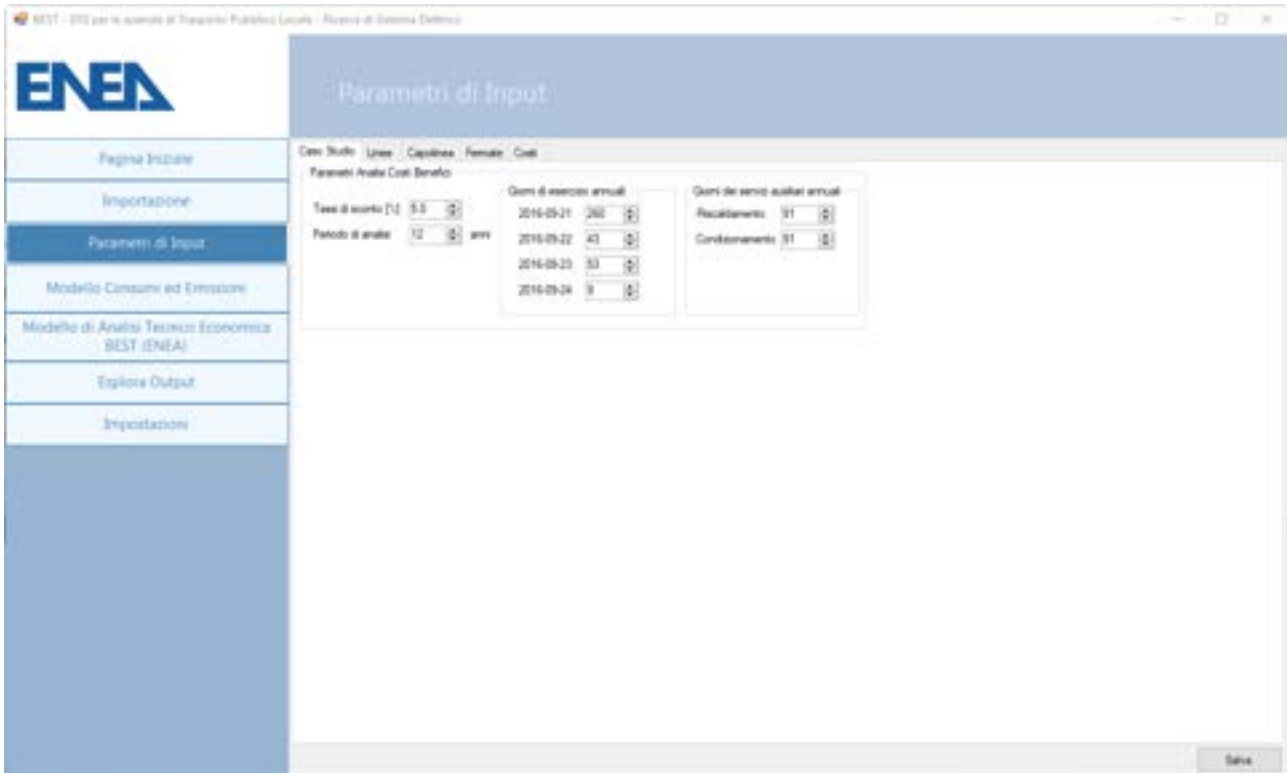


Figura 14: Scheda Parametri di Input – Analisi Costi Benefici

All'interno dei parametri per il Caso di Studio si possono trovare i principali parametri inerenti l'analisi costi-benefici quali:

- Tasso di sconto
- Periodo di analisi
- Giorni di esercizio annuali
- Giorni dei servizi ausiliari annuali



Figura 15: Scheda Parametri di Input – Linee

All'interno della scheda "Linee" è possibile impostare il load factor della linea per ogni giorno di esercizio

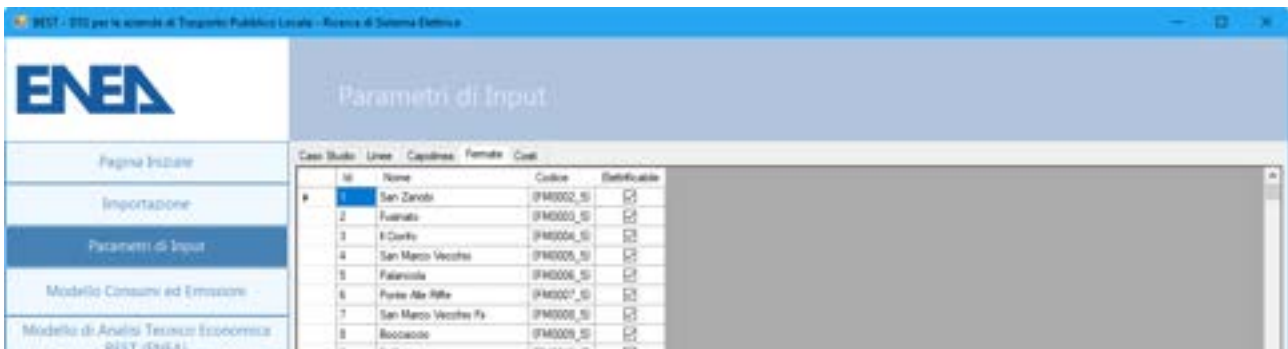


ENEA Parametri di Input

Capolinea

Caso Studio	Linea	Capolinea	Fermate	Costi	Elettrificabile
1	2308	Sociale Pietro		FM0042_S	<input type="checkbox"/>
2	2309	Magenta		FM1587_S	<input type="checkbox"/>
3	2310	Croffico		FM1481_S	<input type="checkbox"/>
4	2311	Seppole		FM1190_S	<input type="checkbox"/>
5	2312	Taverna Del Davallo		FM1018_SFM1197_S	<input type="checkbox"/>
6	2313	Il Rovato (C)		FM1032_S	<input type="checkbox"/>
7	2314	Baldo A Settino		FM1482_S	<input type="checkbox"/>
8	2315	Camp Borsari Gallo		FM1052_S	<input type="checkbox"/>

Figura 16: Scheda Parametri di Input – Capolinea



ENEA Parametri di Input

Fermate

Caso Studio	Linea	Capolinea	Fermate	Costi	Elettrificabile
1	2	San Zeno		FM0002_S	<input type="checkbox"/>
2	3	Fornate		FM0003_S	<input type="checkbox"/>
3	4	Il Cavlo		FM0004_S	<input type="checkbox"/>
4	5	San Marco Vecchio		FM0005_S	<input type="checkbox"/>
5	6	Falavola		FM0006_S	<input type="checkbox"/>
6	7	Foro Ala Rife		FM0007_S	<input type="checkbox"/>
7	8	San Marco Vecchio Fv		FM0008_S	<input type="checkbox"/>
8	9	Boccardo		FM0009_S	<input type="checkbox"/>

Figura 17: Scheda Parametri di Input – Fermate

In alcuni casi, per motivi tecnici, non è possibile elettrificare un particolare capolinea o una specifica fermata. Le schede “Capolinea” e la scheda “Fermate” implementano la possibilità di indicare la fattibilità di elettrificazione del capolinea o della fermata.



ENEA Parametri di Input

Costi Energia

Costi Energia Costi Veicoli Costi Batterie Costi Infrastrutture di Ricerca

Costo Specifico Diesel (€/l) 1.00

Costo Specifico Metano (€/kg) 0.90

Costo Energia Elettrica (€/kWh) 0.10112

Costo Potenza (€/kW/anno) 26.68

Costo Punto Potenza (€/anno) 1.00434

Figura 18: Scheda Parametri di Input - Costi Energia



ENEA Parametri di Input

Costi Veicoli

Nome	Acquisto (€)	Sostituzione Motore (€)	Manutenzione (€/km)	Vita Utile Veicolo (km)	Vita Utile Motore (km)	Sconto
Elettrica Mix	203.000	10.000	0.09428	1.000.000	1.000.000	0.00
Elettrica Mix	194.000	10.000	0.09428	1.000.000	1.000.000	0.00
Elettrica Standard	423.000	10.000	0.07900	1.000.000	1.000.000	0.00
Elettrica Attuale	502.000	10.000	0.09176	1.000.000	1.000.000	0.00

Figura 19: Scheda Parametri di Input - Costi Veicoli



Figura 20: Scheda Parametri di Input - Costi Batterie



Figura 21: Scheda Parametri di Input - Costi Infrastrutture di Ricarica

L’ultima scheda della finestra relativa ai parametri di input raccoglie al suo interno tutti i parametri necessari a definire i costi.

In particolare all’interno di questa scheda troviamo 4 sotto-schede con la suddivisione dei costi come segue:

- **Costi Energia:** In questa scheda vengono esplicitati i costi dei carburanti e dell’energia elettrica, quest’ultima suddivisa in costi dell’energia, della potenza e dei punti di prelievo.
- **Costi dei veicoli:** In questa scheda vengono esplicitati i costi per l’acquisto, la manutenzione del veicolo e del motore oltre alla vita utile e ad eventuali tassi di sconto. I costi di manutenzione dei veicoli riguardano sia i costi di manutenzione ordinaria che straordinaria, ma non è inclusa la sostituzione del motore che invece può essere tenuta in conto modificando i parametri relativi vita utile del motore in km ed il costo del motore. Anche la voce di costo relativa alla sostituzione della batteria nel solo caso del veicolo elettrico è calcolata a parte nel software a partire dai dati relativi alla vita utile della batteria, solo quest’ultimo è un dato modificabile dall’utente.
- **Costi batteria:** Per i veicoli elettrici, uno dei costi da tenere in considerazione sono ovviamente i costi delle batterie. In questa scheda è possibile esplicitarli definendo la vita utile, il costo specifico per l’accumulo e per ogni cella oltre ad eventuali tassi di sconto.
- **Costi infrastruttura:** In questo caso, per ogni tipo di infrastruttura ipotizzato da BEST è possibile definire i costi di acquisto, installazione e manutenzione.

Di seguito si riporta una tabella sintetica di tutti i dati di input con una breve descrizione del significato

Scheda	Nome parametro	Editabile	Descrizione
Caso Studio	Tasso di sconto [%]	Si	Tasso di sconto generale sui costi interni
Caso Studio	Periodo di analisi [anni]	Si	Periodo usato dall’analisi costi-benefici
Caso Studio	Giorni di esercizio annuali per il giorno 1 [gg]	Si	Numero di giorni con un servizio analogo a quelli del giorno 1
Caso Studio	Giorni di esercizio annuali per il giorno 2 [gg]	Si	Numero di giorni con un servizio analogo a quelli del giorno 2
Caso Studio	Giorni di esercizio annuali per il giorno 3 [gg]	Si	Numero di giorni con un servizio analogo a quelli del giorno 3
Caso Studio	Giorni di esercizio annuali per il giorno 4 [gg]	Si	Numero di giorni con un servizio analogo a quelli del giorno 4

Caso Studio	Giorni dei servizi ausiliari annuali [gg] – Riscaldamento	Si	Numero di giorni in cui il servizio ausiliare di riscaldamento è acceso sugli autobus
Caso Studio	Giorni dei servizi ausiliari annuali [gg] - Condizionamento	Si	Numero di giorni in cui il servizio ausiliare di condizionamento è acceso sugli autobus
Linee	Id	No	Identificativo della linea
Linee	Nome Linea	No	Nome della linea
Linee	Classe Dimensionale	No	Classe dimensionale più frequente per gli autobus che effettuano il servizio della linea: Mini, Midi, Standard, Articulated
Linee	Load Factor Giorno 1	Si	Load factor medio della linea durante il giorno 1
Linee	Load Factor Giorno 2	Si	Load factor medio della linea durante il giorno 2
Linee	Load Factor Giorno 3	Si	Load factor medio della linea durante il giorno 3
Linee	Load Factor Giorno 4	Si	Load factor medio della linea durante il giorno 4
Capolinea	Id	No	Identificativo del capolinea
Capolinea	Nome	No	Nome del capolinea
Capolinea	Codice	No	Codice degli stops del GTFS che compongono il capolinea
Capolinea	Elettrificabile	Si	Permette di disabilitare la possibilità di elettrificazione del capolinea
Fermate	Id	No	Identificativo della fermata
Fermate	Nome	No	Nome della fermata
Fermate	Codice	No	Codice degli stops del GTFS che compongono la fermata
Fermate	Elettrificabile	Si	Permette di disabilitare la possibilità di elettrificazione della fermata
Costi Energia	Costo Specifico Diesel [€/l]	Si	Costo in € del diesel
Costi Energia	Costo Specifico Metano [€/kg]	Si	Costo in € del metano
Costi Energia	Costo Energia Elettrica [€/kWh]	Si	Costo dell'energia elettrica
Costi Energia	Costo Potenza [€/kW/Anno]	Si	Costo della potenza
Costi Energia	Costo Punto Prelievo [€/anno]	Si	Costo di canone per l'allaccio al distributore dell'energia elettrica nel punto di prelievo
Costo Veicolo	Nome	No	Classe dimensionale e Tecnologia del veicolo
Costo Veicolo	Acquisto [€]	Si	Costo di acquisto del veicolo
Costo Veicolo	Sostituzione Motore [€]	Si	Costo di sostituzione del solo motore
Costo Veicolo	Manutenzione [€/km]	Si	Costo di manutenzione del veicolo
Costo Veicolo	Vita Utile Veicolo [km]	Si	Vita utile del veicolo
Costo Veicolo	Vita Utile Motore [km]	Si	Vita utile del motore
Costo Veicolo	Sconto	Si	Sconto per l'acquisto del veicolo
Costi Batterie	Nome	No	Tipologia di batteria
Costi Batterie	Cicli Vita Utile	Si	Cicli di carica/scarica durante la vita utile della batteria
Costi Batterie	Costo Specifico Accumulo [€/kWh]	Si	Costo specifico dell'intero accumulatore
Costi Batterie	Costo Specifico Cella [€/kWh]	Si	Costo specifico delle sole celle dell'accumulatore
Costi Batterie	Sconto	Si	Sconto sull'acquisto delle batterie
Costi Infrastrutture di Ricarica	Id	No	Identificativo dell'infrastruttura di ricarica
Costi Infrastrutture di Ricarica	Nome	No	Nome dell'infrastruttura
Costi Infrastrutture di Ricarica	Acquisto e Installazione Impianto [€]	Si	Costo di acquisto e installazione dell'impianto di ricarica
Costi Infrastrutture di Ricarica	Sconto Impianto	Si	Sconto sull'acquisto dell'impianto
Costi Infrastrutture di Ricarica	Manutenzione [€/anno]	Si	Costo di manutenzione annuale

1.4.4 Calcolo Consumi ed Emissioni e Analisi Costi-Benefici

Terminata l'importazione del GTFS e la configurazione dei parametri di input è possibile avviare, tramite le schede della GUI appositamente predisposte, la procedura sequenziale di calcolo.

Attraverso la scheda *Modello Consumi ed Emissioni* è possibile avviare il calcolo dei consumi e delle emissioni sviluppato in Matlab, utilizzando le curve di consumo ed emissioni. È possibile effettuare il calcolo su tutte le linee della rete importata o su una selezione di esse. Il calcolo viene effettuato per tutte le corse ed i risultati vengono salvati all'interno del database. I dettagli metodologici possono essere approfonditi all'interno dei report sul modello.

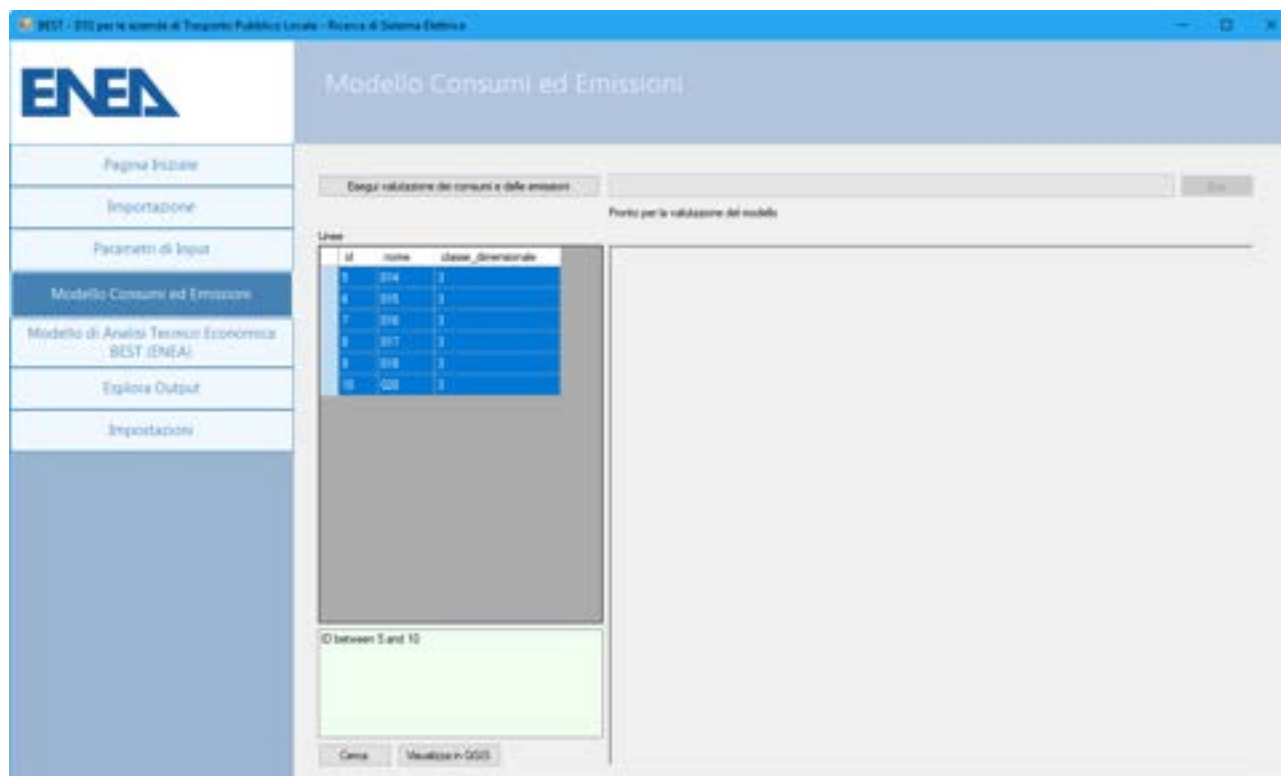


Figura 22: Schermata per il calcolo delle emissioni

In funzione della configurazione dei parametri di Matlab, presenti nella scheda impostazioni, RSE Integrator eseguirà il codice Matlab o l'eseguibile compilato del modello.

Nella parte inferiore della tabella Linee è possibile inserire una condizione per limitare il numero di linee da elaborare. Una volta effettuato il filtro, l'utente può selezionare manualmente i dati per limitare ulteriormente il numero delle linee da elaborare. Per avere un esempio di possibili interrogazioni si fa riferimento al paragrafo 1.4.5

Successivamente al calcolo di consumi ed emissioni è possibile lanciare la procedura per il calcolo la valutazione tecnica ed economica dell'elettrificazione delle linee del TPL.

Analogamente a quanto accade per il calcolo dei consumi, anche in questo caso, il modello può essere eseguito come codice Matlab o come eseguibile. In entrambi i modelli (emissioni-consumi e analisi tecnico-economica) i dati di input dei modelli vengono letti direttamente dal database e dopo l'elaborazione i relativi output vengono inseriti nel database.

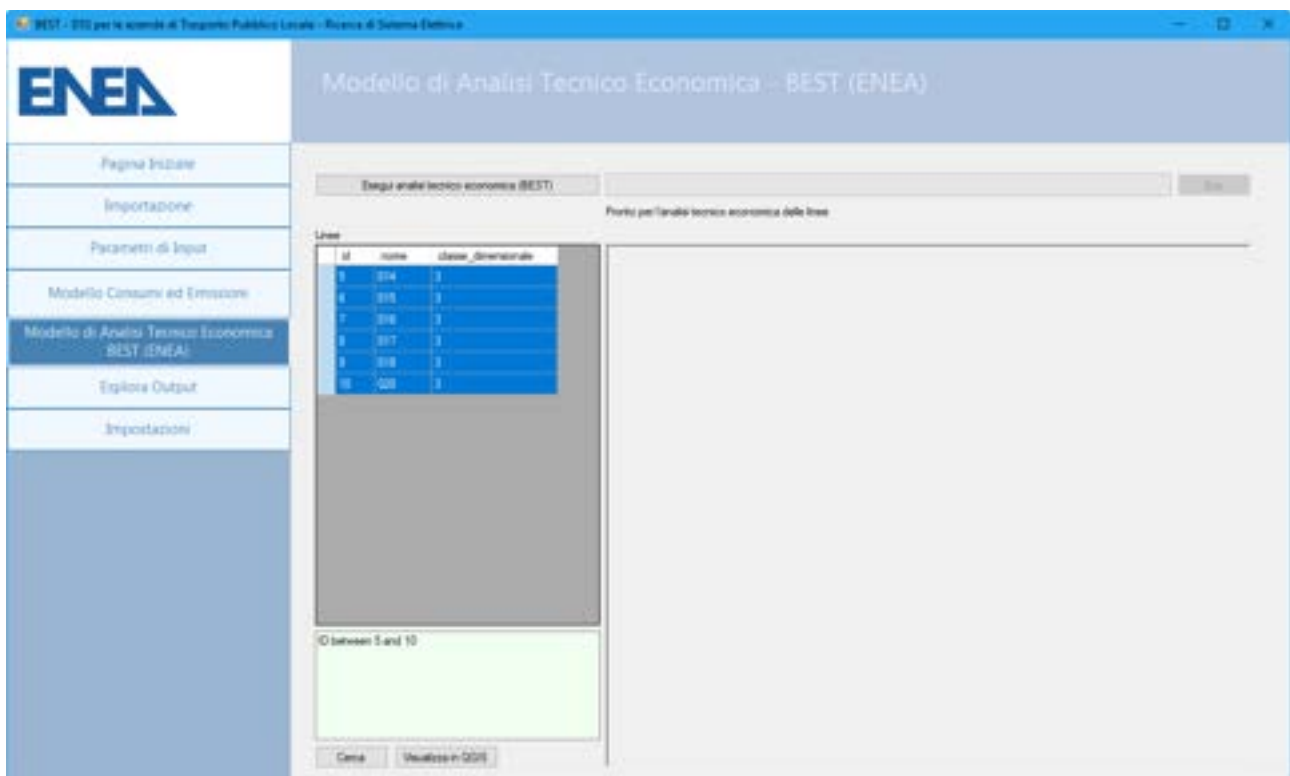


Figura 23: Schermata per il calcolo dei costi

Anche in questa scheda è presente un'area dedicata alla selezione delle linee che risponde alle stesse regole di filtro descritte nel paragrafo paragrafo 1.4.5

In entrambe le schede è presente un pulsante "Visualizza in QGIS" che permette la visualizzazione delle linee in ambiente GIS.

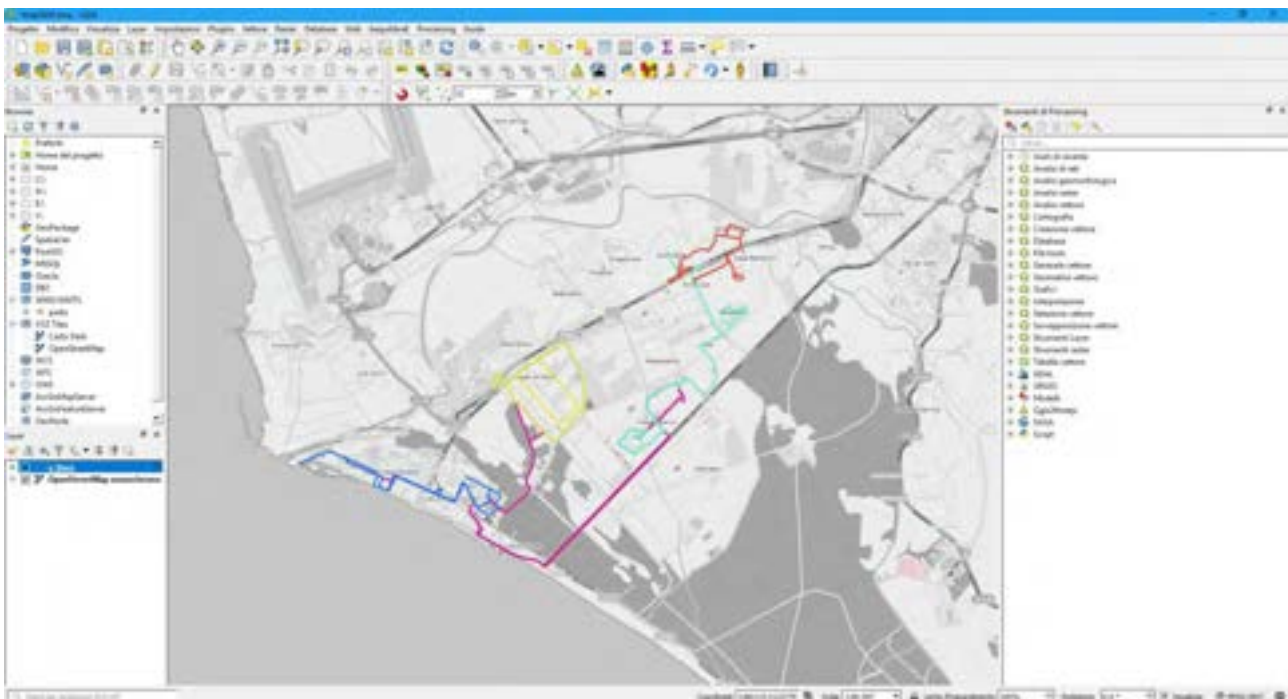


Figura 24: Visualizzazione GIS delle linee

1.4.5 Esplora Output

Al termine dell'applicazione della catena modellistica è possibile consultare gli output con differenti livelli di aggregazione all'interno della scheda "Esplora Output".

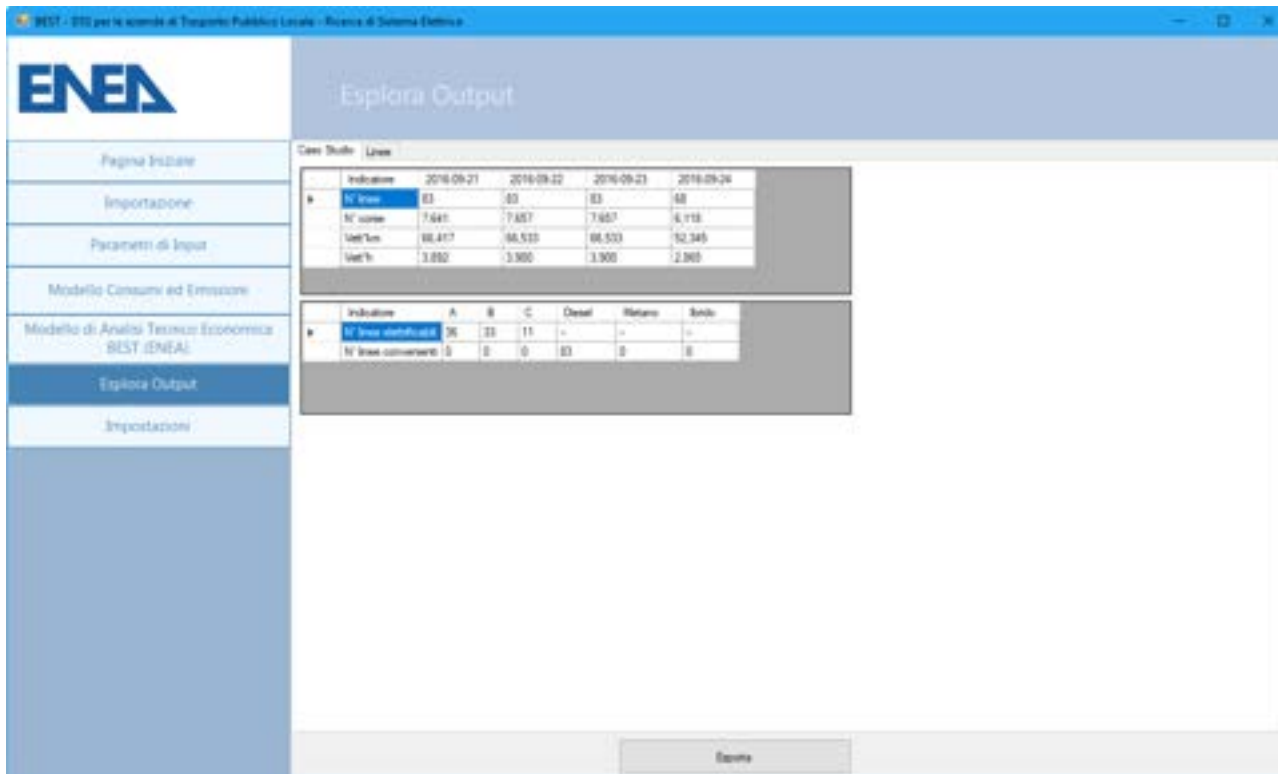


Figura 25: Esplora Output - Caso Studio

La prima delle schede, presenti all'interno della finestra, riporta alcune informazioni molto aggregate a livello più generale del caso di studio. In questa schermata è possibile vedere quindi le seguenti informazioni:

- N° linee per giorno di analisi
- N° corse per giorno di analisi
- Vetture*km per giorno di analisi
- Vetture*h per giorno di analisi
- N° di linee elettrificabili per ogni tecnologia
- N° di linee convenienti per ogni tecnologia

Questi valori vengono in parte ricavati dal GTFS e in parte dall'analisi costi-benefici effettuata dal modulo BEST.

La seconda scheda analizza i dati in forma più disaggregata e a livello di linea e per ogni linea visualizza le seguenti informazioni:

- Id: identificativo della linea;
- Nome linea: Nome della linea;
- Fatt. A: Fattibilità per la tecnologia a ricarica lenta A;
- Fatt. B: Fattibilità per la tecnologia a ricarica rapida B;
- Fatt. C: Fattibilità per la tecnologia a ricarica ultrarapida C;
- La tecnologia migliore tra quelle le seguenti:
 - Diesel;
 - Metano;
 - Ibrido;

- Ricarica al Deposito A;
 - Ricarica al Capolinea B;
 - Ricarica alla Fermata C;
- Le percorrenze annuali della linea;
- Veicoli della flotta stimati per la realizzazione del servizio. Questa stima viene calcolata da BEST e utilizzata per l'analisi tecnica ed economica;

Selezionando una o più linee all'interno della vista è possibile, nell'area inferiore della scheda, visualizzare il dettaglio dei costi e i parametri tecnici di ciascuna linea e per ciascuna tecnologia. In particolare è possibile visualizzare:

- Costi Totali per tecnologia:
 - Totale Costi Interni
 - Totale Costi Esterni
 - Totale Costi
- Dettaglio dei costi interni:
 - Totale costi interni
 - Investimento netto delle stazioni di ricarica
 - Investimento netto per la realizzazione della flotta
 - Investimento netto per l'accumulo
 - Costo di manutenzione della flotta
 - Costo di manutenzione delle stazioni di ricarica
 - Costo Punto Prelievo
 - Costo Potenza
 - Costo Energia
- Dettaglio dei costi esterni:
 - Totale costi esterni
 - Costo rumore
 - Costo Emissioni TTW
 - Costo Emissioni PTT
- Parametri tecnici:
 - N° Veicoli della flotta
 - N° capolinea da elettrificare
 - N° stazioni di ricarica al capolinea
 - N° fermate da elettrificare
 - Potenza al deposito
 - Potenza al capolinea
 - Potenza alle fermate
 - Potenza impegnata
 - Energia consumata
 - Capacità di accumulo

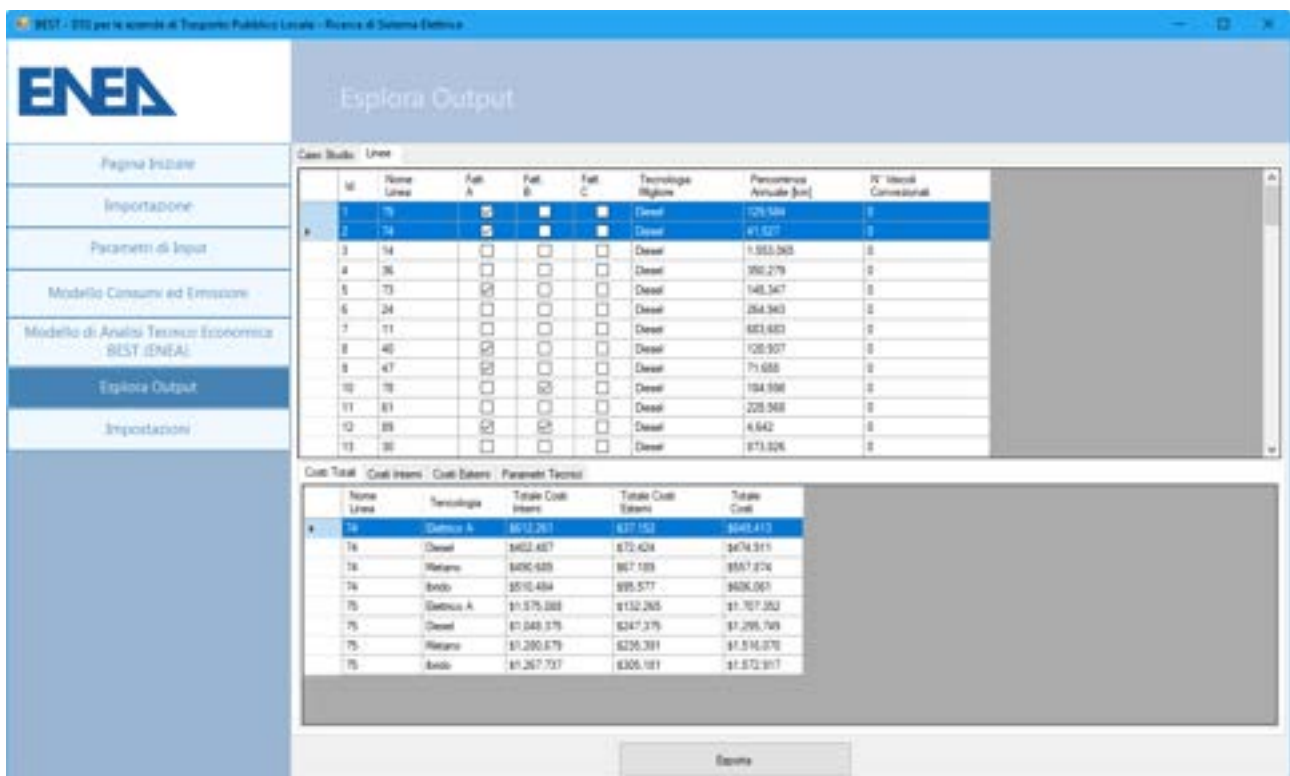


Figura 26: Visualizzazione Output

Nella parte inferiore della scheda viene riportato un pulsante di esportazione che permette di esportare le informazioni di output in due formati distinti.

Il primo formato corrisponde ad un progetto di QGIS per la visualizzazione GIS dei dati e il secondo corrisponde al formato utilizzato dagli ottimizzatori di rete che vengono utilizzati per calcolare la rete migliore da elettrificare tenendo in considerazione un vincolo di budget massimo. Uno di questi algoritmi è un algoritmo euristico di ricerca globale sviluppato dall'Università di Roma Tre. Analogamente l'Università di Tor Vergata ha sviluppato un altro algoritmo di ricerca globale, ma di tipo esatto, che fa utilizzo del sistema di super calcolo CRESCO dell'ENEA. Entrambi gli algoritmi utilizzano un formato comune di dati per poter risolvere il problema di ottimizzazione.

Anche in questo caso, nella finestra di esportazione, è possibile inserire una condizione di esportazione secondo quanto descritto nel paragrafo paragrafo 1.4.5.

Effettuata il filtro di ricerca, tutte le linee selezionate in blu nella finestra potranno essere esportate con i pulsanti Esporta in QGIS ed Esporta per Ottimizzatore. La scelta delle linee selezionate può essere modificata manualmente.

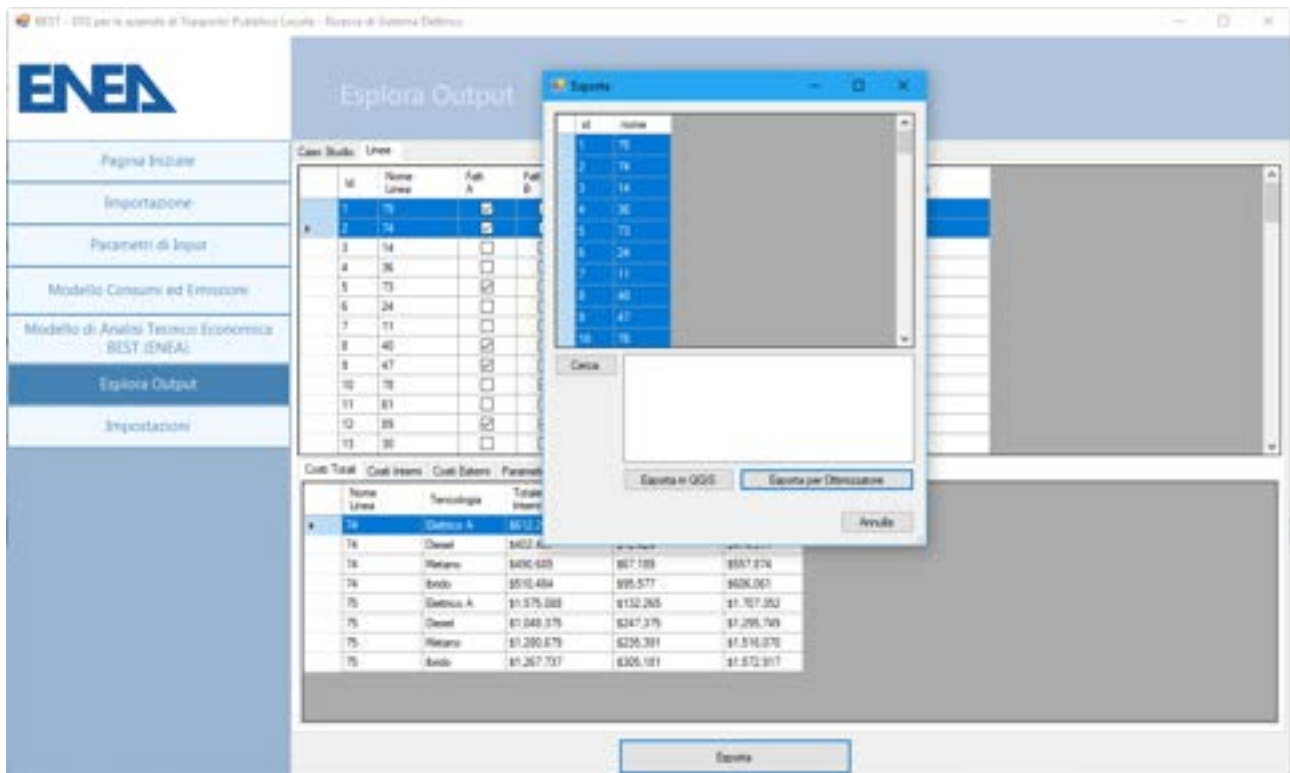


Figura 27: Esportazione

1.4.6 Visualizzazione degli output in ambiente GIS

Attraverso il tasto “Esporta in QGIS”, visibile in [Figura 27](#), RES Integrator crea un progetto per QGIS al cui interno integra una interrogazione specifica rispetto alla richiesta dell’utente. Successivamente RSE Integrator lancia QGIS per aprire il progetto appena creato.

Con questo approccio il progetto risulta direttamente connesso con il database, in questo modo, qualora si aggiornassero i calcoli nel database, modificando ad esempio un parametro, i risultati sarebbero immediatamente visibili in QGIS. Nella necessità di dover salvare i risultati per poter, ad esempio, effettuare un confronto tra diverse simulazioni, si può fare utilizzo delle funzioni messe a disposizione da QGIS.

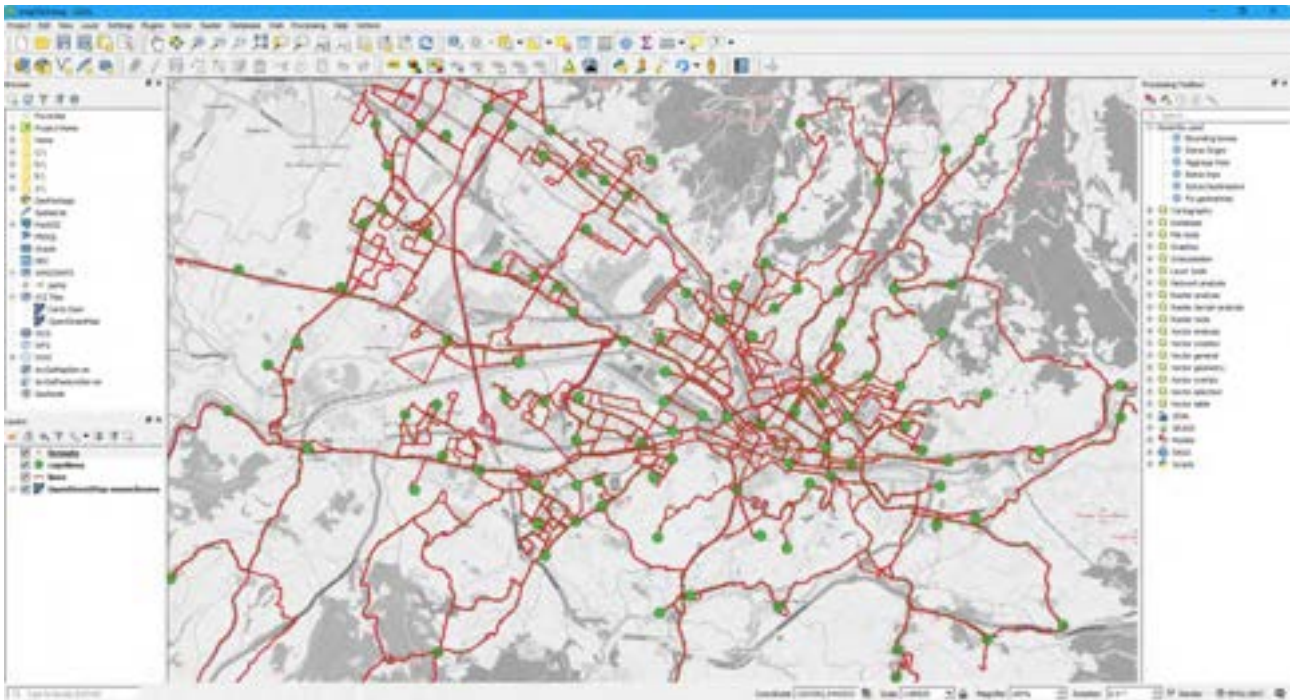


Figura 28: Visualizzazione GIS delle fermate, dei capolinea e delle linee

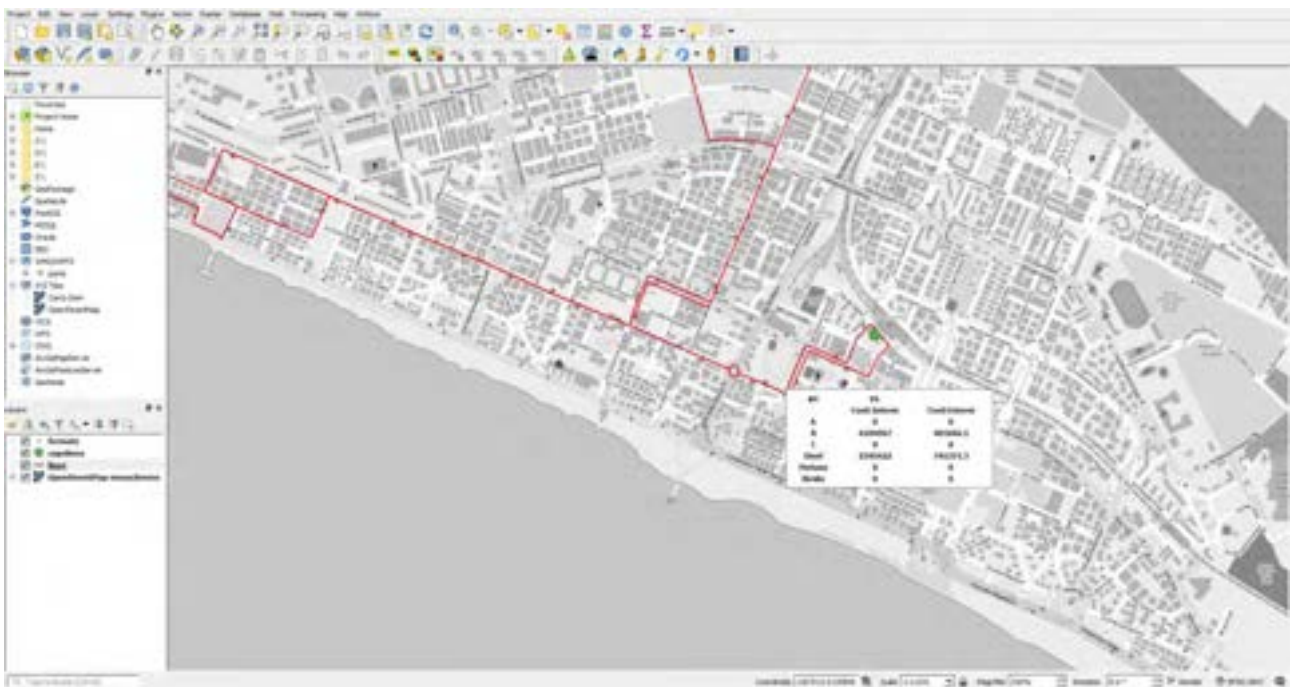


Figura 29: Visualizzazione GIS con popup dei costi per linea

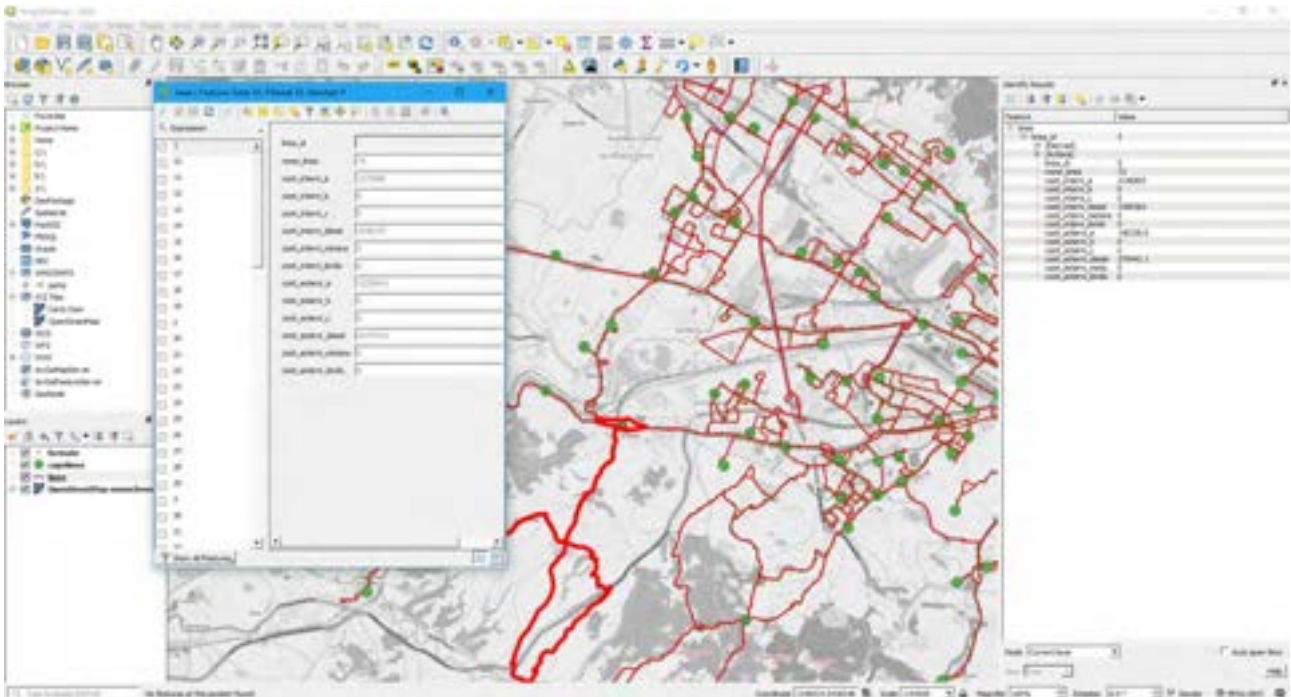


Figura 30: Visualizzazione GIS con dettaglio tabella dei costi

Come mostrato nelle figure, attraverso l'interfaccia di QGIS è possibile consultare i risultati sulla analisi tecnica-economica di ogni singola linea.

In particolare il sistema è in grado di visualizzare, anche attraverso opportuni popup, i costi interni ed esterni per ciascuna linea.

Oltre alle informazioni di linea è possibile visualizzare anche le informazioni per fermata e per capolinea. Quest'ultimi sono calcolati dalla procedura di importazione in quanto rappresentano una clusterizzazione spaziale dei capolinea reali.

1.4.7 Filtro

Di seguito sono riportati alcuni esempi dei possibili filtri:

ID=1	Seleziona solo la linea con ID=1
ID<>10	Seleziona solo le linee con ID diverso da 10
ID in (10,21,32)	Seleziona solo le linee con ID=10 o ID=21 o ID=32
ID >= 5 AND NOT ID > 10	Seleziona solo le linee con ID compreso tra 5 e 10
ID BETWEEN 5 AND 10	Seleziona solo le linee con ID compreso tra 5 e 10
Nome = '0123'	Seleziona solo la linea con nome uguale a 0123
Nome LIKE '0%'	Seleziona solo le linee il cui nome che inizia con il carattere 0
Nome LIKE '%0'	Seleziona solo le linee il cui nome che finisce con il carattere 0
Nome LIKE '%0%'	Seleziona solo le linee il cui nome che contiene con il carattere 0
Nome NOT LIKE '%0%'	Seleziona solo le linee il cui nome che NON contiene con il carattere 0
ID > 5 OR NOT NOME LIKE '0%'	Seleziona solo le linee con ID maggiori di 5 il cui nome NON inizia per "0"

Utilizzando le parentesi e gli operatori AND, OR e NOT è possibile concatenare le condizioni liberamente. Terminata la scrittura della condizione è possibile cliccare sul pulsante "Cerca". Se lo sfondo diventa verde

allora la condizione è stata accettata e conseguentemente nella finestra verranno mostrate solo la lista delle linee che soddisfano la condizione altrimenti lo sfondo sarà rosso indicando la presenza di un errore. Effettuato la ricerca, tutte le linee filtrate vengono selezionate in blu ma la scelta finale delle linee selezionate può essere modificata anche manualmente.

1.5 Dati utilizzati nel modello

In questo paragrafo vengono riepilogati alcuni valori di riferimento che sono stati utilizzati all'interno del modello; in particolare i valori relativi alle caratteristiche dei veicoli, delle stazioni di ricarica e dei sistemi di accumulo e i valori che sono stati considerati per il calcolo dei costi esterni.

1.5.1 Valori di riferimento dei veicoli

All'interno di Best è possibile modificare i valori di costo sia di acquisto che di manutenzione oltre ai dati relativi al costo del veicolo e del motore (vedi 1.4.3 la figura **Figura 19**).

All'interno del software sono stati chiamati Mini gli autobus da 6 metri, midi quelli da 8, standard quelli da 12 e articulated quelli da 18 metri. Attualmente nel software è possibile editare soltanto i dati relativi ai veicoli da 12 metri. Per ogni tecnologia è stata considerato un valore residuo del quale si può usufruire alla fine della vita utile ed è rappresentato come percentuale del costo sostenuto della tecnologia.

Nella **Tabella 1** sono stati riportati i dati sulle caratteristiche tecniche del veicolo elettrico. I dati relativi a capacità, potenza e carico passeggeri si riferiscono ad un veicolo di tipologia A standard. Questi dati sono stati utilizzati per calcolare i consumi di riferimento dell'elettrico e poi per ogni altra architettura sono stati ridimensionati utilizzando a riferimento i rispettivi dati tecnici caratteristici (**Tabella 3** per architettura B, **Tabella 4** per architettura C). Il modello considera i dispositivi ausiliari per il raffrescamento ed il riscaldamento del mezzo nei diversi periodi dell'anno. I valori presi in considerazione sono riportati come valori in kWh da moltiplicare per le percorrenze. Il consumo degli ausiliari incide percentualmente di più sui veicoli elettrici a causa del minor consumo per trazione di questa tecnologia. Nei veicoli elettrici l'assorbimento per riscaldamento è maggiore rispetto a quello per raffrescamento, al contrario di quanto avviene per i veicoli a combustione interna dove d'inverno si sfrutta il calore del motore.

Nel modello questi dati sono stati utilizzati per la verifica di fattibilità dell'elettrificazione nelle tre Architetture e per il dimensionamento dell'accumulo dell'architettura A, considerando sempre il surplus di consumo in inverno, essendo il valore più vincolante. E' stato considerato un valore a parte per l'architettura B poiché si considera nella progettazione del sistema un'incidenza maggiore degli ausiliari nell'ora di punta rispetto ad un'intera giornata.

Dell'impiego degli ausiliari si tiene conto anche nella stima dei consumi annuali per le diverse alternative tecnologiche. I consumi vengono calcolati in funzione del numero di giorni di utilizzo degli impianti sia in estate sia in inverno, assumendo di default per entrambe le stagioni una durata pari a 90 giorni (3 mesi). Questo dato può essere modificato per tener conto delle diverse temperature che si potrebbero verificare nei diversi contesti territoriali.

Tabella 1: Caratteristiche veicolo elettrico di riferimento

veicoli 12 metri	Capacità accumulo di riferimento [kWh]	Potenza di riferimento [kW]	Peso Chassis [kg]	Carico massimo passeggeri [n]	valore residuo a fine vita [%]	Consumo ausiliari estate [kWh/km]	Consumo ausiliari inverno [kWh/km]	Consumo ausiliari corsa critica. [kWh/km]
Elettrico	324	160	9264	83	0.02	0.2	0.3	0.5

Per l'architettura A sono stati riportati nella seguente tabella altri valori che sono stati utilizzati per il dimensionamento del sistema. I valori di potenza media di ricarica tengono conto di una ricarica notturna di 6 ore. Nel modello è ipotizzata la possibilità di effettuare una ricarica parziale di 2 ore al deposito durante le ore diurne di servizio, approfittando delle ore di morbida.

Tabella 2: Caratteristiche veicolo elettrico di tipo A

Lungh. Veic. [m]	potenza media ricarica a capolinea [KW/veicolo]	Max consumo progetto [kWh]	potenza media ricarica a deposito [KW/veicolo]
12	43.2	216	33

Le architetture B e C hanno lo stesso numero di passeggeri del Diesel, poiché gli accumuli che vengono installati a bordo del veicolo occupano meno spazio di quella prevista per la soluzione A.

I tempi di ricarica al capolinea per l'architettura B sono di 8 minuti complessivi più 2 minuti di perditempo per attaccare e staccare la carica. La potenza media di ricarica è stata calcolata su questi tempi. I tempi di cui necessita B al deposito invece sono più elevati e di conseguenza la potenza media di ricarica risulta essere molto bassa.

Tabella 3: Caratteristiche veicolo elettrico di tipo B

lungh. Veic. [m]	potenza media ricarica a capolinea [KW/veicolo]	Max consumo progetto [kWh]	capacità dell'accumulo di bordo [kWh]	potenza media ricarica a deposito [KW/veicolo]
12	207	23,0	70	9.2

Per la ricarica alle fermate per l'architettura C sono stati ipotizzati 15 secondi di conseguenza la potenza media di ricarica mostra valori molto elevati.

Tabella 4: Caratteristiche veicolo elettrico di tipo C

lungh. Veic. [m]	potenza media ricarica a capolinea [kW/veicolo]	potenza media ricarica a fermate [kW/veicolo]	tempi ricarica al capolinea [minuti]	tempi ricarica alle fermate [secondi]	Max consumo progetto [kWh]	capacità dell'accumulo di bordo [kWh]	capacità accumulo supporto [kWh]
12	38.5	540	3	15	1.7308	2.81	40

Le caratteristiche tecniche degli altri veicoli sono riportate in **Tabella 5**.

Tabella 5: Caratteristiche veicoli convenzionali

veicoli 12 metri	carico massimo [n.passeggeri]	valore residuo a fine vita [%]	Consumo ausiliari estate [kg/km]	Consumo ausiliari inverno [kg/km]
Diesel	107	0.02	0.02	0.02
Metano	85	0.02	0.02	0.02
Ibrido	102	0.02	0.02	0.02

1.5.2 Valori di riferimento dei sistemi di ricarica

Nella tabella **Tabella 6** sono stati riportati i dati tecnici che sono stati utilizzati per dimensionare le stazioni di ricarica. I costi di acquisto e manutenzione si possono editare nel software (vedi la **Figura 21** al paragrafo 1.4.3) e fanno riferimento a questi valori.

Tabella 6: Caratteristiche degli impianti standard di ricarica

id	Tipo Impianto	Architettura	Potenza [kW]	Turni [n.]	n. veicoli per turno [n.]
1	Deposito a 1 posto con connettore	B	12	2	1
2	Deposito a 2 posti con connettore	B	23	2	2
3	Deposito a 3 posti con connettore	B	34	2	3
4	Deposito a 1 posto con connettore	C	6	6	1
5	Deposito a 2 posti con connettore	C	12	6	2
6	Deposito a 3 posti con connettore	C	17	6	3
7	Capolinea monoposto con pantografo	B	250	1	1
8	Capolinea dual con pantografo	B	500	1	2
9	Capolinea monoposto con pantografo	C	50	1	1
10	Capolinea monoposto con pantografo	C	600	1	1
11	Deposito monoposto con connettore	A	10	1	1
12	Deposito monoposto con connettore	A	20	1	1
13	Deposito monoposto con connettore	A	30	1	1
14	Deposito monoposto con connettore	A	40	1	1
15	Deposito monoposto con connettore	A	50	1	1
16	Deposito monoposto con connettore	A	60	1	1

1.5.3 Valori di riferimento dei sistemi di accumulo di bordo

In Best sono modificabili anche i valori di costo e di vita utile degli accumuli di bordo (vedi la [Figura 20](#) al paragrafo 1.4.3). La batteria al litio ferro fosfato ha un'energia specifica di 71.2 Wh/kg, mentre i supercap hanno un'energia specifica di 2.8 Wh/kg.

1.5.4 Valori di riferimento per calcolo costi esterni

Le esternalità considerate nel modello fanno riferimento alle emissioni in atmosfera di inquinanti e di gas serra e alle emissioni acustiche. Nello specifico, gli inquinanti esaminati sono il particolato sottile (PM₁₀), gli ossidi di azoto (NO_x), gli ossidi di zolfo (SO₂) e i composti organici volatili non-metanici (NMVOC) mentre i gas-serra presi in esame sono l' anidride carbonica (CO₂) e il metano (CH₄). Nella [Tabella 7](#) sono riportati i valori di riferimento considerati. Gli impatti delle emissioni nocive generate in fase di esercizio del veicolo sono connessi ai soli autobus a combustione interna.

Tabella 7: Costi esterni unitari dei principali inquinanti del trasporto terrestre in Italia (€/tonn.)

Inquinante	Ambito	Valore €2010/t
CO2	tutti	90
PM 2.5	urbano	197.361
PM 2.5	suburbano	50.121
PM 2.5	rurale	24.562
NOx	tutti	10.824
VOC	tutti	1.242
SO2	tutti	9.875

Per il calcolo del danno da rumore sono stati utilizzati i dati nella [Tabella 8](#) riporta i valori relativi ai veicoli pesanti alimentati a gasolio. Si nota che, anche in questo caso, gli impatti in ambito urbano sono decisamente più importanti rispetto a quelli rilevati nelle altre aree a causa della maggiore sensibilità del

contesto. Inoltre, i valori sono maggiori in caso di traffico scorrevole, in quanto, a maggiori velocità corrispondono maggiori emissioni acustiche.

Tabella 8: Costi specifici del rumore nelle diverse fasce orarie e condizioni di traffico

	Diurno traffico denso [€/1000vkm]	Diurno traffico scorrevole [€/1000vkm]	Notturno traffico denso [€/1000vkm]	Notturno traffico scorrevole [€/1000vkm]
Urban	44	107	80,3	194,7
Suburban	2,4	6,8	4,5	12,7
Rural	0,4	0,8	0,7	1,5

La rumorosità dell'autobus diesel è la più alta tra quella delle varie alternative tecnologiche prese in esame nel modello. L'autobus a metano è più silenzioso dell'omologo diesel e nel modello è stata inserita una riduzione del 50%, ed anche per l'autobus ibrido è stata considerata una riduzione, pari al 15%.

Per quanto riguarda l'autobus elettrico, l'unica componente significativa è quella del rumore da rotolamento che dipende dal tipo di pneumatico montato e dalla rugosità della superficie stradale, ossia da fattori indipendenti dal tipo di alimentazione e di motore; si è quindi attribuito una abbattimento pari ai $\frac{3}{4}$ del rumore percepito prodotto da analoghi bus a gasolio.

Nel modello sono stati considerati anche le emissioni prodotte in fase Processing to Tank (PtT ossia dalla raffineria o dalla centrale elettrica sino al sistema di stockaggio a bordo del veicolo (down-stream). In questo lavoro, è stata esclusa la stima dei danni prodotti nella fase WtP in quanto spesso estranea al contesto nazionale.

Tabella 9: Fattori di emissione della fase PT

	PM_ratio [g/kWh - g/kg]	NOx_ratio [g/kWh - g/kg]	NM VOC_ratio [g/kWh - g/kg]	CO2_ratio [g/kWh - g/kg]	SO2_ratio [g/kWh - g/kg]	CH4_ratio [g/kWh - g/kg]
Elettrico	0,0043	0,19	0,03	323,63	0,12	0,00
Diesel	0,01	0,26	0,16	395,51	0,54	0,67
Metano	0	0	0,49	13,51	0	7,64