



Ricerca di Sistema elettrico

DSS per l'efficientamento energetico e la decarbonizzazione della mobilità urbana

Gaetano Valenti, Maria Pia Valentini, Maurizio Pollino

Report RdS/PTR2019/018

DSS PER L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO E LA DECARBONIZZAZIONE DELLA MOBILITÀ URBANA

Gaetano Valenti, Maria Pia Valentini, Maurizio Pollino (ENEA)

Dicembre 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Mobilità

Linea di attività 2.19: Progetto dell'aggiornamento della Piattaforma di supporto allo sviluppo della e-mobility urbana di passeggeri e merci

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Maria Pia Valentini, ENEA

Gli autori ringraziano i colleghi che hanno contribuito fattivamente alla stesura di questo rapporto tecnico, in particolare: Vittorio Rosato del laboratorio Analisi e Protezione delle Infrastrutture Critiche, Matteo Corazza, Federico Karagulian, Maria Lelli, Carlo Liberto e Silvia Orchi del laboratorio Sistemi e Tecnologie per la Mobilità e l'Accumulo.

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
2 STRUTTURA E CARATTERISTICHE DELLA PIATTAFORMA.....	7
3 GLI STRATI INFORMATIVI DELLA PIATTAFORMA.....	11
3.1 BASI TERRITORIALI E VARIABILI CENSUARIE	11
3.2 IL GRAFO STRADALE OPENSTREETMAP (OSM)	13
3.3 DATI GTFS (GENERAL TRANSIT FEED SPECIFICATION)	15
3.4 FLOATING CAR DATA (FCD)	21
3.5 I PARCHEGGI DI SCAMBIO	24
3.6 DATI PER LA PROGRAMMAZIONE DELLE CONSEGNE DI MERCI	26
3.7 DATI DI MONITORAGGIO DELLE OPERAZIONI DI LOGISTICA DELL'ULTIMO MIGLIO	27
4 LA SUITE DI MODELLI	28
4.1 IL MODELLO DI PROGRAMMAZIONE DEI GIRI DI CONSEGNA MERCI	30
4.2 IL MODELLO DI CALCOLO DEL CONSUMO E DELLE EMISSIONI CLIMALTERANTI TANK-TO-WHEEL	33
4.2.1 <i>Calcolo dei consumi di carburante</i>	33
4.2.2 <i>Emissioni di Anidride Carbonica (CO₂)</i>	34
4.2.3 <i>Gli effetti del gradiente nel caso degli autobus</i>	35
4.3 IL MODELLO DI CALCOLO DEL CONSUMO E DELLE EMISSIONI CLIMALTERANTI WELL-TO-TANK.....	36
5 CONCLUSIONI	40
6 APPENDICE I: LOGISTICA E TECNOLOGIA PER L'ULTIMO MIGLIO DELLE MERCI	41
6.1 SOLUZIONI ORGANIZZATIVE	41
6.2 INNOVAZIONE TECNOLOGICA	42
7 APPENDICE II: IL MERCATO DEI VEICOLI ELETTRICI PER L'ULTIMO MIGLIO DELLE MERCI	46
7.1 FURGONI.....	46
7.2 E NON SOLO	48
8 APPENDICE III : SISTEMI GESTIONALI DI VEICOLI E FLOTTE COMMERCIALI	51
9 APPENDICE IV: DISTRIBUZIONE URBANA INNOVATIVA - PROGETTI IN CORSO	55
10 BIBLIOGRAFIA.....	59

Sommario

I Big Data della mobilità sono oggi una grande opportunità per poter orientare e valutare al meglio le politiche per la mobilità sostenibile e migliorare così la qualità della vita nelle nostre città sempre più congestionate, energeticamente dispendiose e inquinate per via degli elevati volumi di traffico veicolare.

Il documento riporta i risultati ottenuti nel corso del primo anno di lavoro (su un totale di tre anni) finalizzato all'integrazione e all'ampliamento dell'impianto modellistico della piattaforma software "EMU" sviluppata e sperimentata nell'area metropolitana di Roma nel corso del precedente periodo di ricerca (PAR 2016 e 2017).

La piattaforma "EMU" era stata ideata e sviluppata come strumento di ausilio allo studio di scenari di diffusione di flotte di veicoli elettrici nelle aree urbane per la stima e la visualizzazione su diverse scale spaziali e temporali delle potenziali fluttuazioni dei consumi elettrici e per la valutazione di soluzioni per lo sviluppo di una rete di ricarica pienamente adeguata alle esigenze di autonomia dei veicoli e di compatibilità con la capacità della rete elettrica.

La nuova versione della piattaforma software EMU è concepita con nuovi layer (o strati) informativi e un più esteso impianto modellistico capace di integrare, analizzare e interpretare open data e big data urbani riguardanti l'offerta di trasporto e la mobilità di veicoli passeggeri e merci.

L'obiettivo è di offrire un più ampio e articolato quadro conoscitivo sullo stato e sulla struttura della mobilità in termini di comportamento e abitudini dei viaggiatori, di accessibilità e fruizione degli spazi urbani, di offerta di servizi di trasporto collettivo, di consumi energetici per le diverse modalità di trasporto e di impatto sulle emissioni di gas responsabili del cambiamento climatico.

L'ampliamento dell'impianto modellistico di "EMU" va inoltre incontro all'esigenza di sviluppare nuove funzionalità di ausilio allo studio e valutazione dei potenziali effetti sui consumi energetici e sulle emissioni legati ai principali macrotrend che nel breve-medio termine contribuiranno a ridisegnare il settore della mobilità urbana, ossia l'elettrificazione, la condivisione, la multimodalità e i veicoli a guida autonoma.

Infine la nuova piattaforma sarà arricchita di nuovi dati e nuovi layer informativi per lo sviluppo e il test di algoritmi e tecnologie per l'ottimizzazione della consegna delle merci, il monitoraggio delle flotte di veicoli elettrici e la gestione delle operazioni di ricarica delle batterie dei veicoli.

Il documento presenta, in particolare, l'architettura e le caratteristiche funzionali del nuovo ambiente di modellazione e simulazione della mobilità pensato come strumento operativo per un più efficace governo della mobilità urbana. Questo strumento è infatti focalizzato sui criteri di riduzione dei consumi energetici e di decarbonizzazione del trasporto passeggeri e merci.

Dopo la prima parte di introduzione e inquadramento del lavoro svolto, il documento descrive la struttura e le caratteristiche del nuovo ambiente di modellazione e simulazione, gli approcci modellistici definiti per la rappresentazione della mobilità urbana e il calcolo dei consumi energetici dal pozzo alla ruota per le diverse modalità di trasporto, i dataset per il training e il testing degli algoritmi di calcolo e simulazione del sistema mobilità e, infine, i layer informativi per agevolare la visualizzazione e l'interpretazione dei risultati.

1 Introduzione

Una sfida rilevante per le città che si prefiggono di sostenere l'efficienza energetica, la decarbonizzazione e, in generale, il miglioramento della qualità della vita dei cittadini, è di saper scardinare l'attuale sistema di mobilità dominato dal caotico ed eccessivo utilizzo dell'auto privata, oggi altamente dipendente dai combustibili fossili e responsabile di notevoli criticità con molteplici ripercussioni negative sul piano economico, sociale, energetico e ambientale.

Un tema ampiamente considerato in molte delle attuali politiche per la sostenibilità del trasporto urbano è la transizione verso la mobilità veicolare elettrica basata su fonti rinnovabili. L'elettrificazione delle flotte veicolari è oggi considerata come l'evoluzione più promettente per far fronte alle pressanti necessità di limitare la dipendenza energetica dai combustibili fossili, di contrastare i rischi dei cambiamenti climatici e di migliorare la qualità dell'aria, in particolar modo nelle città dove la questione inquinamento da traffico è quanto mai all'ordine del giorno per le pesanti ripercussioni sulla salute dei cittadini.

Inoltre, i veicoli elettrici sono particolarmente adatti alle percorrenze urbane sia per le limitate distanze percorse giornalmente sia perché più vantaggiosi nel ciclo di marcia urbano in virtù del recupero di energia in frenata e del consumo nullo nei frequenti momenti di inattività, come ad esempio durante le attese ai semafori o in coda nelle situazioni di congestione.

Tuttavia la semplice sostituzione dell'attuale flotta di veicoli a combustione interna, con veicoli elettrici di pari dimensioni e caratteristiche, non risolverebbe del tutto le attuali criticità del traffico urbano, come ad esempio: gli ingorghi, i ritardi, lo spreco di energia, lo stress, gli incidenti, la sosta incontrollata, il dispendio di tempo per la ricerca del parcheggio e, non ultimo, l'enorme consumo di spazio urbano da destinare alla sosta e al movimento dei veicoli.

La saturazione degli spazi occupati dai veicoli e la congestione del traffico sono fattori che incidono in maniera consistente sulla quasi totalità delle attuali realtà urbane e metropolitane. Sono fenomeni difficili da contrastare e non esistono delle soluzioni universali, perché ogni città è diversa dalle altre e richiede interventi e soluzioni su misura a seconda delle diverse esigenze e caratteristiche dell'agglomerato urbano, come la tipologia e la morfologia insediativa, la dislocazione delle attività sul territorio, l'assetto socio-economico e la dotazione di infrastrutture e servizi per il trasporto.

L'equilibrio sostenibile tra domanda e offerta di trasporto nelle città va pertanto ricercato attraverso l'adozione di un pacchetto di misure che intervengano in maniera sinergica su diversi ambiti: dalle prestazioni dei veicoli, al riequilibrio modale verso forme più sostenibili, alla riduzione delle percorrenze attraverso, ad esempio, la pianificazione integrata trasporti-territorio.

A questo riguardo l'approccio ASI (da Avoid, Shift, Improve), adottato inizialmente da EEA ed UNEP, è oggi utilizzato anche a livello europeo per definire politiche di intervento per l'efficienza e la sostenibilità del trasporto urbano con una visione globale e di medio lungo termine. L'approccio ASI è ramificato su tre linee di intervento: 1) risparmiare traffico, ovvero ridurre la necessità di spostamento, intervenendo sull'esigenza, o anche sulla lunghezza dei percorsi da effettuare, nonché sui coefficienti di occupazione dei veicoli; 2) spostare quote di mobilità verso forme più sostenibili, ovvero promuovere il trasferimento dall'utilizzo dell'auto verso la mobilità ciclopeditone, il trasporto pubblico e i servizi mobilità condivisa; 3) migliorare l'efficienza dei veicoli, ovvero migliorare tecnologicamente i mezzi di trasporto in modo che siano energeticamente efficienti ed a basse emissioni.

In breve, promuovere una mobilità urbana intelligente, energeticamente efficiente e a bassa intensità di carbonio significa agire in modo coordinato sulle tre principali grandezze che la caratterizzano: lo spostamento, la sua distanza, il veicolo migliorando l'efficienza.

In questa prospettiva si inserisce la linea di ricerca diretta allo sviluppo di una piattaforma di supporto alle città per l'individuazione delle strategie ottimali di governo della mobilità orientate all'efficienza energetica e alla decarbonizzazione del settore del trasporto urbano oggi fortemente dipendente dall'uso di combustibili fossili e con alte potenzialità di risparmio energetico.

Base di partenza per l'attività di ricerca è la piattaforma eMu [1] sviluppata e testata nel precedente periodo di ricerca assumendo come caso di studio l'area metropolitana di Roma. eMU è stato ideato e realizzato per l'analisi e la valutazione di scenari legati alla diffusione di flotte di veicoli elettrici in contesti urbani e metropolitani con il proposito di fornire un nuovo strumento di ausilio alla pianificazione e progettazione degli interventi infrastrutturali e tecnologici atti a garantire una rapida ed efficiente transizione verso la mobilità elettrica. L'ambiente software di eMU, accessibile via WEB, consente di riprodurre e visualizzare su diverse scale spaziali e temporali le fluttuazioni della domanda di energia elettrica, corrispondenti a diverse ipotesi di diffusione dei veicoli elettrici, di configurazione dei punti di ricarica e di comportamento dei singoli individui nelle scelte di viaggio e di ricarica.

In particolare l'attività di ricerca in corso mira a potenziare e sviluppare ulteriormente la piattaforma eMU con nuovi layer informativi e un più esteso impianto modellistico capace di integrare, analizzare e interpretare open data e big data urbani riguardanti l'offerta di trasporto e la mobilità di persone e veicoli.

L'obiettivo è di offrire un più ampio e articolato quadro conoscitivo sullo stato e sulla struttura della mobilità in termini di comportamento e abitudini dei viaggiatori, di accessibilità e fruizione degli spazi urbani, di offerta di servizi di trasporto collettivo e, soprattutto, di consumi energetici per le diverse modalità di trasporto e di impatto sulle emissioni di gas climalteranti.

La nuova versione di "eMU" includerà anche un sistema di modelli di simulazione della mobilità veicolare passeggeri per lo studio e la valutazione, con riferimento al caso di studio di Roma, dei principali macrotrend che nel breve-medio termine contribuiranno a ridisegnare il settore della mobilità urbana, ossia l'elettrificazione, la condivisione, la multimodalità e i veicoli a guida autonoma.

Un nuovo campo di applicazione della piattaforma eMU è la distribuzione urbana delle merci che, ad oggi, rappresenta una componente critica del sistema globale dei trasporti urbani in fatto di consumi, inquinamento e congestione. Con riferimento ad un caso di studio specifico di un servizio di consegna di ultimo miglio nell'area metropolitana di Roma saranno implementati nuovi layer informativi per l'applicazione di algoritmi e tecnologie per la programmazione delle consegne, il monitoraggio della flotta di veicoli elettrici e la gestione della rete di colonnine di ricarica.

2 Struttura e caratteristiche della piattaforma

La motivazione alla base della ricerca è quella di migliorare gli attuali processi di monitoraggio e valutazione della mobilità urbana in fatto di consumi energetici e di impronta climatica per le diverse modalità di trasporto.

La ricerca mira in particolare a sviluppare un nuovo impianto modellistico capace di sfruttare sia i big data della mobilità, resi disponibili dalle moderne tecnologie di geo-localizzazione, sia gli open data provenienti da ambiti differenti al fine di trarne un più ampio e articolato quadro conoscitivo sulla struttura e dinamica della mobilità, sulla capacità attrattiva delle diverse zone, sulle prestazioni dei singoli modi di trasporto, sui consumi energetici finali e primari e sulle connesse emissioni di gas climalteranti del trasporto urbano.

La ricerca si innesta nel filone di attività svolto nel precedente triennio del programma Ricerca Sistema Elettrico e che ha portato allo sviluppo e test della piattaforma eMU nell'area metropolitana di Roma. La piattaforma eMU era stata ideata come ambiente di simulazione di scenari di elettrificazione della mobilità veicolare urbana per l'analisi delle possibili ripercussioni sulla rete di distribuzione elettrica, per la progettazione della rete di infrastrutture di ricarica, per lo studio di soluzioni impiantistiche di ricarica con pannelli fotovoltaici e per la definizione di strategie efficaci di gestione ottima dei flussi energetici e di massimizzazione del consumo di energia rinnovabile (Smart Charging e VehicleToGrid).

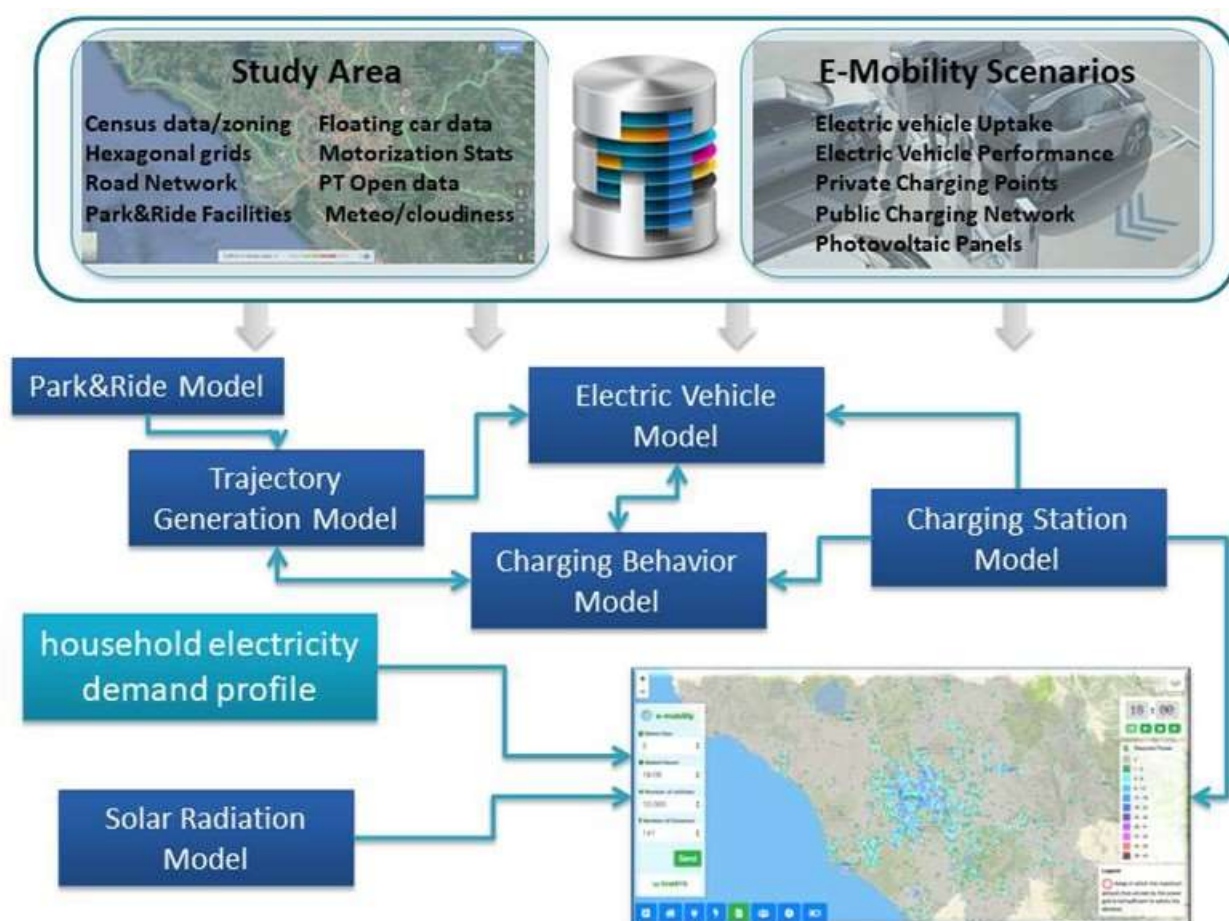


Figura 1. Impianto Modellistico di eMU

L'attuale ricerca mira ad ampliare l'impianto modellistico sviluppato nel triennio precedente con nuovi metodi e modelli che consentono di processare grandi quantità di tracce digitali di viaggi automobilisti, di elaborare gli open data in formato GTFS che descrivono percorsi, fermate e orari dei servizi di trasporto pubblico locale e i dati di domanda ed offerta degli operatori della distribuzione urbana delle merci, di

simulare catene di spostamenti e percorsi su base settimanale, di calcolare i consumi energetici disaggregati per vettore energetico e modo di trasporto e di stimare le emissioni di gas serra considerando l'intero ciclo di vita dei vettori energetici utilizzati.

Il nuovo impianto modellistico è pensato come strumento a supporto delle decisioni per le città volto ad orientare politiche e interventi atti a favorire la transizione verso un modello di Smart Mobility energeticamente efficiente e a bassa intensità di carbonio.

Un componente fondamentale del nuovo impianto modellistico è rappresentato da un modello di concatenamento degli spostamenti in auto (Car Travel Chain Model) capace di riprodurre schemi di attività e sequenze di spostamenti e percorsi sul grafo stradale effettuati settimanalmente dalle auto private. La base utilizzata per la modellizzazione dei profili di mobilità delle auto private è costituita da consistenti dataset di tracce GPS registrate nell'area di studio presa in esame.

Un secondo modello, sviluppato dall'UDR DICEA della Sapienza Università di Roma, permetterà di elaborare i dati di domanda ed offerta degli operatori che effettuano consegne di merce ai destinatari finali, allo scopo di rendere più efficiente il processo logistico, riducendone i costi sostenuti dall'operatore e gli impatti energetici ed ambientali, ma anche di garantire agli amministratori locali maggiore contezza delle caratteristiche del trasporto merci dell'ultimo miglio, permettendo una migliore gestione dei flussi di traffico veicolare e delle facilities pubbliche come piazzole di sosta per lo scarico delle merci e postazioni di ricarica di veicoli elettrici. Il modulo destinato all'ottimizzazione dei processi logistici di distribuzione urbana delle merci sarà in grado di operare anche su dati di monitoraggio in tempo reale di alcune grandezze provenienti dal campo.

La seguente figura illustra le nuove funzionalità di supporto alle attività di distribuzione urbana delle merci ed i risultati attesi per le due categorie di utenti della piattaforma.

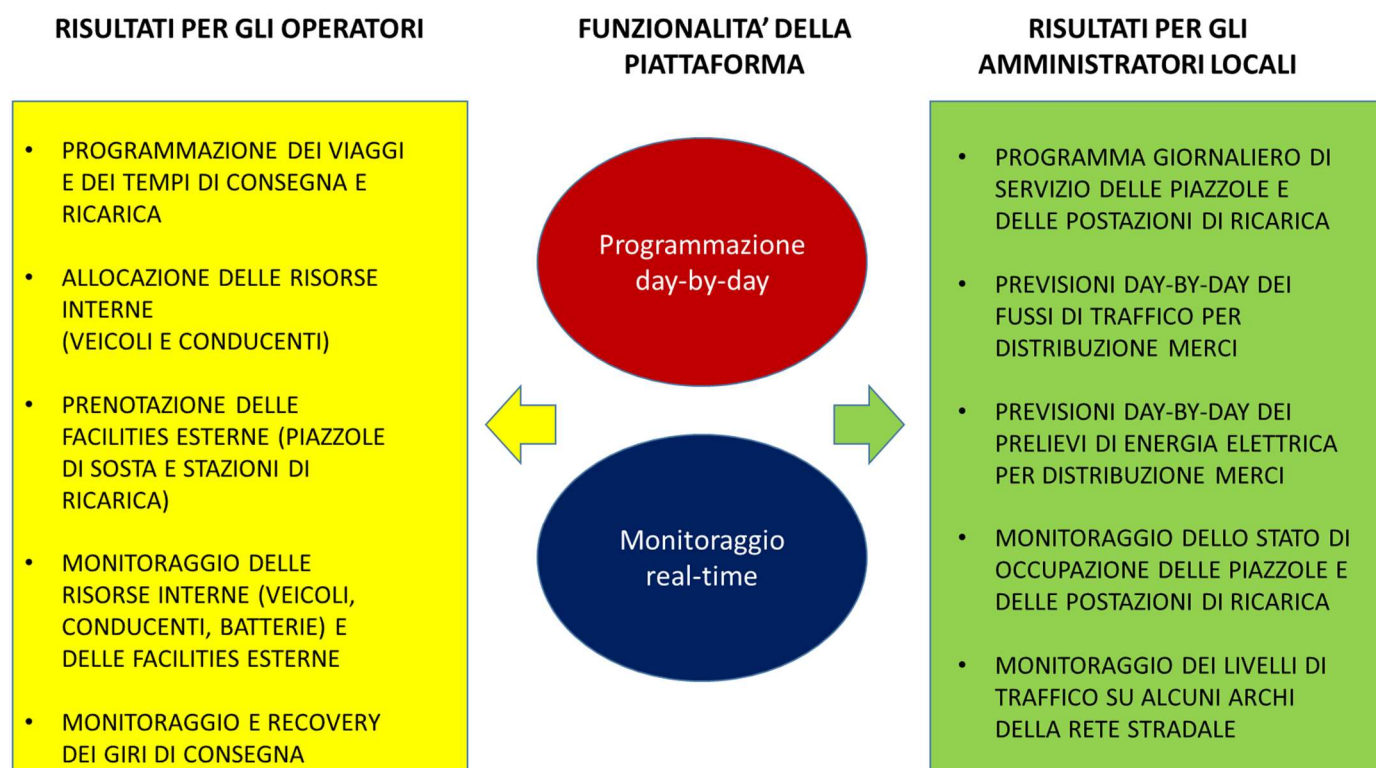


Figura 2: Funzionalità e output della piattaforma di gestione delle consegne urbane con BEV

Ulteriori nuovi moduli riguardano il calcolo di consumi energetici ed emissioni climalteranti delle diverse componenti di trasporto.

Il primo di questi è il modello di calcolo del consumo e delle emissioni climalteranti Tank-To-Wheel (TTW, letteralmente dal serbatoio alla ruota) associato ai singoli mezzi di trasporto, privato e pubblico su gomma, circolanti nell'area di applicazione. Si tratta di un modello di tipo disaggregato che stima il consumo finale di energia e le emissioni di gas serra per ogni veicolo in base alla categoria del veicolo stesso e ai dati di ogni singolo viaggio (percorrenza e velocità media) registrati dai veicoli sonda o simulati dal modello di generazione delle catene di spostamenti in auto su base giornaliera e settimanale.

Con analoghe funzionalità, ma diverso ambito di applicazione, è il modello sviluppato da UDR DICEA per il calcolo dei consumi elettrici del trasporto pubblico su ferro (Urban Rail Transport energy consumption model) a partire dai dati descrittivi del servizio offerto, codificati secondo lo standard GTFS, della tipologia e composizione dei treni, dei diagrammi del moto tra fermate, dell'andamento plano-altimetrico e del coefficiente di riempimento.

Infine, farà parte del nuovo impianto modellistico il modello per la stima dei consumi "Well-To-Tank" (WTT, letteralmente dal pozzo al serbatoio) in base ai processi di trasformazione e conversione energetica a monte del veicolo necessari per ottenere il vettore energetico (benzina, gasolio, CNG, GPL ed energia elettrica) per la propulsione dei veicoli.

L'impianto modellistico è inoltre integrato con procedure di pre-processamento del dataset di tracce GPS per eliminare errori, incongruenze e valori anomali. A valle del preprocessamento sono previste le procedure di estrazione e archiviazione di pattern e statistiche sulla mobilità veicolare pubblica e privata, sia passeggeri che merci, in termini di percorrenze, percorsi, tempi di viaggio, soste e catene di viaggio con prima origine ed ultima destinazione casa.

L'impianto modellistico comprende inoltre le procedure di lettura, integrazione ed archiviazione dei dati GTFS sul trasporto pubblico e dei layer geografici OpenStreetMap con la struttura topologica e funzionale della rete viaria e pedonale.

Il nuovo ambiente software sarà sviluppato mantenendo la tipica architettura Client-Server per essere accessibile via web da qualsiasi postazione collegata ad Internet senza la necessità di dover installare alcun software dedicato.

Il software sarà organizzato in due parti: il front-end ed il back-end. Il front-end costituisce la parte software visibile all'utente che consente di interagire direttamente con l'ambiente di simulazione attraverso una rappresentazione visiva delle sue funzionalità.

L'applicazione front-end sarà configurata in modo da permettere all'utente, tramite un editing grafico semplice ed intuitivo, l'impostazione dei parametri dei modelli di calcolo e simulazione del sistema di mobilità urbana con i relativi consumi energetici ed emissioni di gas serra.

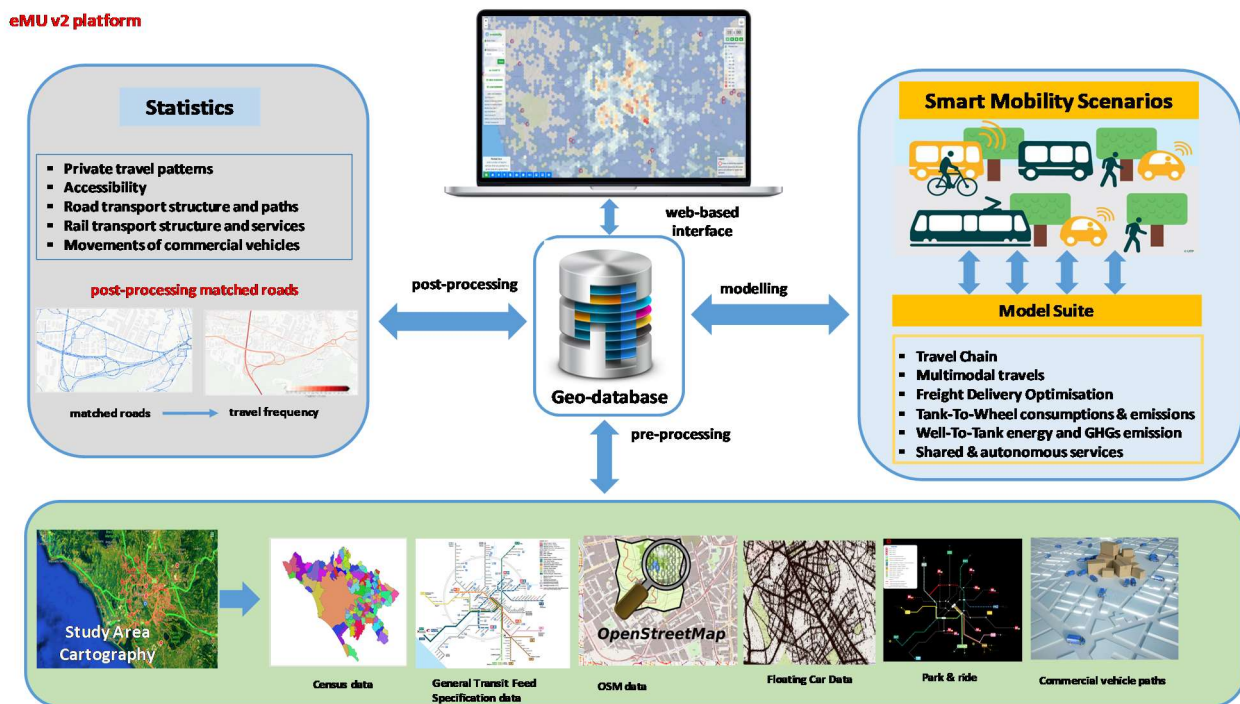


Figura 3. Schema funzionale della nuova piattaforma

L'applicazione Front-end includerà inoltre le finestre di dialogo per la configurazione di scenari di mobilità futuri legati allo sviluppo del trasporto multimodale e alla diffusione di servizi di mobilità condivisi e a guida autonoma.

L'applicazione Front-end permetterà all'utente di visualizzare dati fondamentali e risultati dei processi di simulazione, sia in forma disaggregata su mappa geo-referenziata, sia in modalità aggregata, per mezzo di grafici e tabelle riassuntive, per una più agevole comprensione delle simulazioni effettuate

Il back-end è invece la parte software che permetterà l'effettivo funzionamento del simulatore; in particolare di ricevere in input le impostazioni relative agli scenari, di eseguire le simulazioni, di salvare i risultati e di fornire una serie di feedback all'utente tramite Front-end.

La parte di back-end, non accessibile dall'utente ma solamente dagli amministratori del simulatore, comprende l'interfaccia software con il front-end, l'archivio dati per la memorizzazione e la rappresentazione di dati eterogenei e senza schemi ed, infine, gli algoritmi implementati per la simulazione degli scenari di elettrificazione della mobilità, incluse le procedure software ausiliare per le operazioni di interrogazione dei dati di ingresso e di memorizzazione dei risultati delle simulazioni nell'archivio dati.

I dati presenti nell'archivio saranno organizzati e analizzati utilizzando diversi livelli di zonizzazione del territorio riguardanti l'intera area geografica di applicazione delle analisi. Alle singole zone saranno, inoltre, associati i dati demografici e socioeconomici provenienti dalle indagini censuarie e campionarie disponibili.

L'infrastruttura informatica principale individuata per la sperimentazione della piattaforma verrà sviluppata attraverso l'integrazione di diversi sistemi e strumenti open source. Il nucleo della nuova architettura informatica sarà costituito dal database relazionale PostgreSQL dotato di un'estensione spaziale (Postgis) e integrabile con diversi software GIS anche open source.

Per quanto riguarda la pubblicazione sul web, è stato individuato MapServer, ambiente multipiattaforma di sviluppo e fruizione open source finalizzato alla rappresentazione di dati geospaziali che, oltre ad essere utilizzato per realizzare applicazioni Web GIS permette, attraverso specifiche funzionalità, di far confluire l'output in un template HTML, in modo da generare una pagina web di lettura particolarmente amichevole.

3 Gli strati informativi della piattaforma

Un elemento essenziale della nuova architettura funzionale è il geo-database costituito dalla cartografia di base e da una serie di strati informativi a cui sono associate le tabelle di attributi alfanumerici. Gli strati informativi svolgono la duplice funzione di organizzare e gestire dati di ingresso e di uscita dal sistema di modelli e di permettere la visualizzazione di dati, grafici ed informazioni correlate all'elemento geografico.

Gli strati informativi che compongono il geo-database della piattaforma riguarderanno i seguenti tematismi:

- basi territoriali e variabili censuarie ISTAT;
- grafo stradale OpenStreetMap,
- dati sulla programmazione del trasporto pubblico locale, su gomma e su ferro, in formato GTFS (General Transit Feed Specification);
- dati provenienti da flotte di veicoli stradali "sonda" circolanti su territorio ed equipaggiati con unità di bordo (On Board Unit - OBU);
- dati per la programmazione delle consegne di merci, che si compongono di più strati informativi necessari alla pianificazione delle consegne di merci e pacchi da parte di operatori logistici e corrieri
- dati di monitoraggio delle operazioni di logistica dell'ultimo miglio, continuamente ed automaticamente aggiornati mediante un processo di acquisizione che prevede protocolli di comunicazione M2M (IoT).

Di seguito, una descrizione del contenuto informativo dei diversi tematismi.

3.1 *Basi territoriali e variabili censuarie*

Gli strati geografici, denominati basi territoriali, sono il supporto cartografico ufficiale per le operazioni di raccolta e diffusione dei dati rilevati in occasione dei censimenti generali effettuati dall'Istat con cadenza decennale. In sostanza le basi territoriali descrivono i mosaici insediativi che caratterizzano le diverse entità geografiche ed amministrative presenti sul territorio Italiano.

La sezione censuaria rappresenta l'entità territoriale elementare rispetto alla quale sono fornite, in modalità "open access", i dati dei censimenti. A partire dalle sezioni di censimento sono ricostruibili, per aggregazione, tutte le entità geografiche ed amministrative di livello superiore come ad esempio le circoscrizioni sub-comunali, le aree comunali, le province e le regioni.

Nella nuova piattaforma è previsto l'utilizzo della base territoriale composta dalle sezioni censuarie a cui sono associati con il dettaglio più spinto tutti i dati del censimento 2011 riguardanti la popolazione, gli addetti e le abitazioni presenti nell'area di applicazione.

Nel geo-database della piattaforma è presente inoltre uno strato informativo territoriale ottenuto aggregando le unità censuarie in zone di traffico al fine di schematizzare e caratterizzare gli spostamenti che si effettuano nell'area di applicazione.

La procedura di discretizzazione del territorio in zone di traffico, denominata zonizzazione, avviene dopo aver individuato l'area di applicazione del sistema di modelli. La dimensione delle zone è in funzione della diversa precisione con cui si vuole modellizzare la domanda di mobilità. Ad esempio, nelle città, le zone interne hanno dimensioni più piccole, perché la popolazione è più densa, mentre le zone esterne hanno dimensioni più larghe, per mantenere una omogeneità nel numero degli spostamenti che hanno origine da ogni zona, e nel numero degli abitanti o di attività che vi sono compresi. La zonizzazione comprende anche l'ambiente esterno al cordone che racchiude l'area di applicazione al fine di rappresentare tutte le interconnessioni del sistema mobilità con il territorio circostante.

L'area di applicazione della piattaforma è rappresentata dal territorio della Città metropolitana di Roma Capitale che coincide con quello della Provincia omonima. L'area metropolitana di Roma si estende su un'area di poco superiore ai 5'000 km² ed è formata da 121 comuni. L'ambiente esterno all'area di applicazione comprende le 5 province confinanti, in particolare: Frosinone, Latina, Viterbo, Rieti e l'Aquila. Nell'area

metropolitana vivono circa 4'330'000 abitanti di cui circa il 65% risiede all'interno del comune di Roma che si estende su un'area di circa 1'300 km². Per la parte economica sono disponibili il numero degli addetti, sia da imprese, da istituzioni pubbliche e associazioni no profit, per sezione censuaria del 2011, per cui si procede alla somma degli impiegati di queste 3 tipologie per ogni particella. Solo Roma vede 1'200'000 addetti, il resto della provincia escludendo Roma ne ha 320'000, per cui solo Roma ne attrae il 79%.

La base territoriale disaggregata per zone censuarie relativamente alla provincia di Roma è composta da 20'645 particelle, di cui 13'656 all'interno del comune di Roma e 6'898 per i comuni esterni. I dati ISTAT indicano che nel comune di Roma sono presenti 1.200.000 addetti corrispondente a circa 79% del totale presente nell'intera area metropolitana.

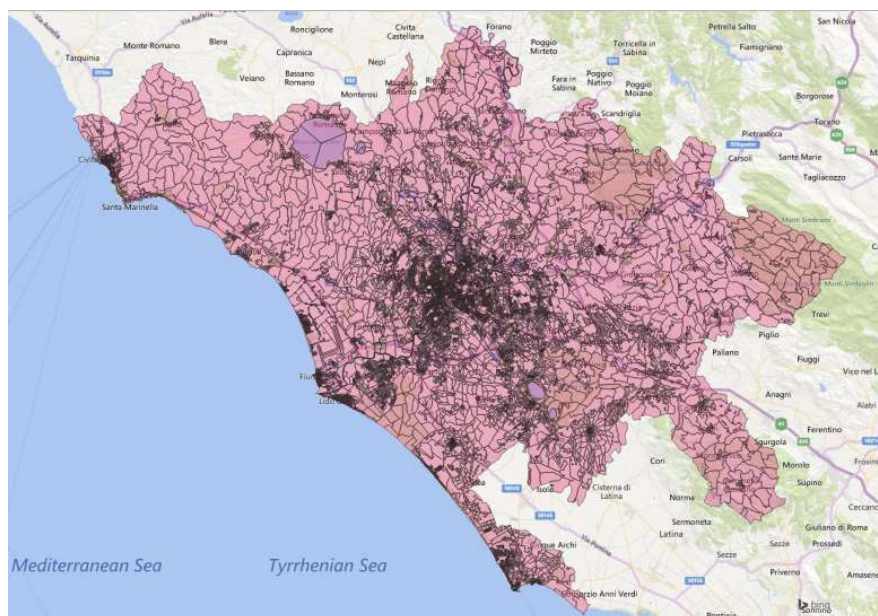


Figura 4. Base territoriale della Provincia di Roma disaggregata per zone Censuarie

Nell'applicazione a Roma il geo-database della piattaforma includerà lo strato informativo delle sezioni censuarie a cui sono associati i seguenti dati rilevati nel corso dell'ultimo censimento 2011:

- codice istat
- codice regione
- regione
- codice provincia
- provincia
- codice comune
- comune
- codice provincia e comune
- sezione censuaria (sez2011)
- numero sezione censuaria (nsez)
- area di censimento
- codice località
- popolazione (p1)
- abitazioni con almeno un residente (a2)
- abitazioni vuote (a6)

- abitazioni occupate da non residenti (a7)
- famiglie residenti (pf1)
- edifici totali (e1)
- edifici a uso residenziale (e3)
- addetti
- informazione geografica (geom)

Il geo-database della piattaforma includerà inoltre uno strato informativo con il territorio della provincia di Roma suddiviso in zone di traffico. La zonizzazione sul territorio del Comune di Roma è stata effettuata aggregando le zone censuarie secondo le 155 zone urbanistiche di Roma. Le zone urbanistiche sono una suddivisione dei Municipi di Roma per fini statistici e di pianificazione e gestione del territorio, secondo criteri di omogeneità dal punto di vista urbanistico. Al di fuori del territorio comunale le zone di traffico sono state fatte corrispondere ai restanti 120 Comuni della provincia di Roma.



Figura 5. Strato geografico della Provincia di Roma disaggregata per zone di traffico

3.2 Il grafo stradale OpenStreetMap (OSM)

Uno strato informativo fondamentale per la modellazione della mobilità veicolare e dei percorsi è rappresentato dal grafo della rete stradale con tutte le informazioni ad esso associate. Come è noto il grafo schematizza la rete stradale attraverso una serie di link e di nodi. I link rappresentano tratti stradali dalle caratteristiche omogenee e i nodi rappresentano gli incroci tra le varie strade e gli estremi di tratti omogenei di una stessa strada.

L'acquisizione del grafo stradale è svolta tramite uno script in Python, incorporato nella nuova piattaforma, che estrae e converte in strato geografico le mappe digitali Open Street Map (OSM) disponibili su WEB [2].

OSM è un progetto collaborativo, basato sull'approccio di Wikipedia, finalizzato a creare mappe a contenuto libero del mondo. Il progetto punta ad una raccolta mondiale di dati geografici, con scopo principale la creazione di mappe e cartografie che possono essere visualizzate, stampate e scaricate per l'utilizzo in navigatori satellitari ma anche in sistemi informativi geografici.

La caratteristica fondamentale dei dati geografici presenti in OSM è che possiedono una licenza libera, la Open Database License. È cioè possibile utilizzarli liberamente per qualsiasi scopo con il solo vincolo di citare la fonte e usare la stessa licenza per eventuali lavori derivati dai dati di OSM. Tutti possono contribuire arricchendo o correggendo i dati. Gli strati vettoriali di OSM sono aggiornati quotidianamente e i dati scaricabili gratuitamente. Esistono varie soluzioni per scaricarli, in primis lo strumento di “esportazione” presente nello stesso sito di OSM.

Come già anticipato, Il team ENEA ha messo a punto uno script in python per l’importazione dello strato geografico della rete stradale. Lo script utilizza la libreria OSMnx per estrarre e convertire in modo completamente automatico la mappa digitale OSM di una specifica città in un grafo diretto con i relativi attributi geometrici e funzionali.

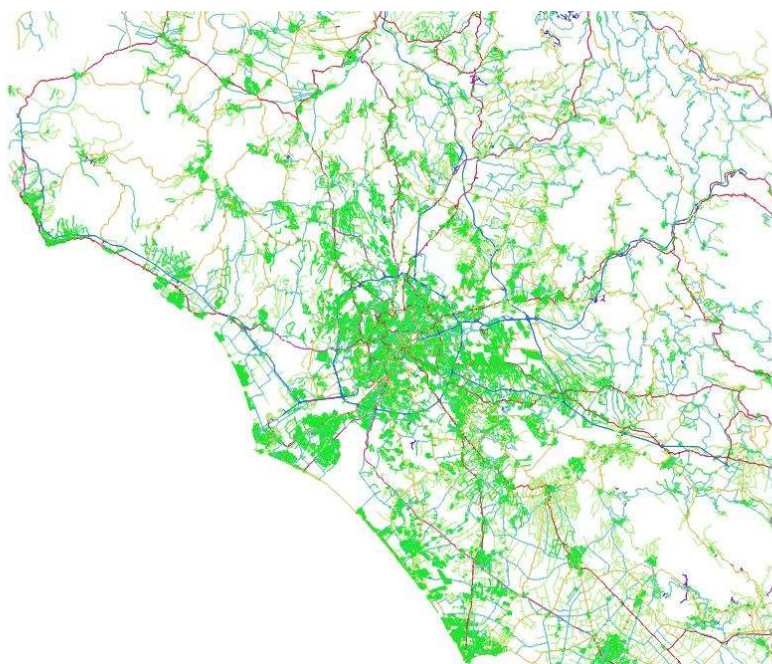


Figura 6. Grafo stradale OSM della provincia di Roma

Tra gli attributi associati a ciascun arco del grafo OSM figurano: la lunghezza, il numero di corsie, la velocità massima, la tipologia o classe per importanza e la geometria.

La classificazione dei singoli tratti stradali adottata da OSM risulta come segue [3]:

- Motorway, Autostrade a pagamento o gratuite, compresi i raccordi autostradali come le tangenziali di Milano e il Grande Raccordo Anulare di Roma;
- Motorway Link, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un'autostrada ed un'altra autostrada o altra strada di classificazione inferiore. Solitamente i limiti sono analoghi a quelli autostradali;
- Trunk, Strade che si pongono a metà strada tra Autostrade/Tangenziali e le Statali. Può anche essere classificato così il tratto di svincolo di un'autostrada-tangenziale che porta al centro città. Le cosiddette superstrade potrebbero essere contraddistinte come due corsie per distinguerle dalle autostrade. Le strade extraurbane ad una sola corsia per senso di marcia, che però non presentano incroci sul loro percorso e abbiano accessi ed uscite mediati da corsie di accelerazione e decelerazione per distinguerle da altre strade che potrebbero presentare incroci e rotonde;
- Trunk Link, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra un trunk ed un altro trunk o altra strada di classificazione inferiore;
- Primary, Strade di importanza nazionale e regionale che non godono della classificazione di autostrada, tangenziale o superstrada. Collegano tra loro le città principali. Normalmente sono classificate come SS (Strade Statali) o SR (Strade Regionali), tuttavia esistono eccezioni come per

esempio in piccoli centri montani dove la strada SS attraversa il paese ma la strada primaria è una tangenziale di moderna costruzione che evita il centro abitato;

- **Primary_link**, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza nazionale (primary) ed un'altra strada di importanza nazionale o altra strada di classificazione inferiore.
- **Secondary**, Strade di importanza regionale e provinciale. Collegano tra loro i principali comuni di una regione. Sono normalmente classificate come SP (Strade provinciali) ma esistono eccezioni. In ambito urbano normalmente sono classificate come vie importanti anche a due corsie per senso di marcia;
- **Secondary link**, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di importanza regionale/provinciale (secondary) ed un'altra strada di importanza regionale/provinciale o altra strada di classificazione inferiore.
- **Tertiary**, Strade di importanza locale o comunale. Collegano tra loro i comuni più piccoli. In ambito urbano sono le strade laterali a primarie e secondarie con un discreto flusso di traffico;
- **Tertiary link**, Tratti di collegamento (svincoli/rampe) tra una strada di classificazione tertiary ed un'altra strada di classificazione tertiary od inferiore;
- **Residential**, Strade situate in zone residenziali per l'accesso alle abitazioni, senza funzione di collegamento tra diversi insediamenti. Sono spesso fiancheggiate da case;
- **Living Street**, Strade a prevalente uso pedonale dove il limite di velocità è particolarmente basso, i pedoni hanno la precedenza sugli automezzi ed è facile che bambini giochino per strada (poco frequenti in Italia, comunque indicate da apposito segnale di zona residenziale).
- **Unclassified**, Classificazione per il livello minimo della rete stradale extraurbana. In ambito urbano sono utilizzate per raggiungere destinazioni nelle immediate vicinanze e il flusso del traffico è relativamente più basso che in strade di classificazione superiore. Spesso collegano villaggi e borghi.

La rete stradale OSM acquisita per la provincia di Roma comprende circa 152.000 mila archi (sensi unici e a doppio senso di marcia) per una lunghezza complessiva di 26.350 Km, inclusi i circa 790 Km di autostrade e raccordi autostradali. Nella Tabella 1 sono riportati il numero di archi e la lunghezza complessiva per singola tipologia di arco del grafo stradale della provincia di Roma.

Tabella 1 Statistiche per singola tipologia di arco della rete stradale di Roma

Tipologia	Numero di archi	Lunghezza (km)
living_street	698	78,26
motorway	442	798,89
motorway_link	796	207,14
primary	5758	1158,31
residential	87094	10265,92
road	609	147,67
secondary	12833	2567,21
secondary_link	791	48,92
tertiary	21192	4236,12
tertiary_link	773	44,75
trunk	671	436,93
trunk_link	937	153,91
unclassified	19370	6205,59

La rete viaria è stata integrata con il dataset dei 1523 impianti semaforici reso disponibile in modalità “open data”.

3.3 Dati GTFS (General Transit Feed Specification)

Lo strato informativo relativo alla rete di trasporto pubblico fornisce i dati di ingresso per il calcolo delle prestazioni energetiche e delle emissioni di gas climalteranti per singola modalità di trasporto pubblico su rotaia e su gomma. Questo strato fornisce inoltre i dati di ingresso per il calcolo dei tempi di percorrenza e degli indici di accessibilità nelle diverse zone della città.

I dati di trasporto per la mobilità pubblica, indicati come GTFS, sono degli open data ben conosciuti da tutte le agenzie di trasporti internazionali. È grazie ai dati GTFS che queste agenzie possono comunicare con il ben noto motore di ricerca Google Maps. Le specifiche dettagliate dei dati GTFS si possono trovare al seguente link: <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference/> [4].

Il vantaggio del formato dei dati GTFS è il contenuto di informazioni sui percorsi (route), sugli orari (timetable) e sulle posizioni geografiche delle fermate (stops) associate al trasporto pubblico. Il formato di questi dati è di tipo testo (estensione .txt) e quindi non è necessario usare alcun software proprietario per la loro elaborazione. Molte autorità pubbliche stanno iniziando ad esplorare le potenzialità dei dati GTFS per il loro possibile utilizzo nella pianificazione del trasporto urbano e nella gestione operativa del servizio. L'analisi del trasporto di persone è estremamente interessata in quanto dati spazio-temporali e reti di trasporto aggiornati in tempo reale, se opportunamente elaborati, possono migliorare gli spostamenti giornalieri di molte persone. I dati GTFS si possono scaricare da siti web sulla mobilità pubblica di molte città e/o provincie. Di solito i dati GTFS sono forniti in formato compresso (.zip files) il cui contenuto racchiude una raccolta di files in formato testo. Un tipico dataset di dati GTFS contiene i seguenti files [5]:

- “agency.txt”
- “calendar_dates.txt”
- “routes.txt”
- “shapes.txt”
- “stop_times.txt”
- “stops.txt”
- “stoptostop.txt”
- “trips.txt”

Alcuni files come *fares_rules.txt*, *fares_attributes.txt* e *frequencies.txt* non sono sempre presenti nell'archivio GTFS. Questo archivio può essere considerato a tutti gli effetti come un insieme di *databases* collegati tra loro da campi comuni (*keys*). Nel suo complesso, l'archivio completo raccoglie diversi aspetti degli orari del trasporto pubblico e la posizione geografica dei punti di fermata dei veicoli. Se disponibili, anche le informazioni delle tariffe (costi) inerenti ai percorsi tra fermate sono incluse nell'archivio dei dati GTFS.



Figura 7 Relazione tra files presenti nell'archivio GTFS

A scopo di esempio, dati GTFS per la città di Roma sono stati scaricati dal sito: <https://romamobilita.it/it/tecnologie/open-data> [6] oppure dal sito [7].

Questi dati sono aggiornati su base giornaliera e contengono informazioni relative alle linee di trasporto che operano nel mese corrente durante tutti i giorni della settimana. Ogni variazione di tragitto/itinerario dovrebbe essere riportata nella versione più recente dell'archivio GTFS. Tabella 2, riporta i dati GTFS presenti nel file *stops.txt*. Come si può osservare, ad ogni fermata è associato un identificativo (*stop_id*) utile ad identificare la medesima fermata presente negli altri files GTFS. Uno dei benefici dei dati GTFS, è la presenza delle coordinate geografiche puntuali (*lat/lon*) riferite alle singole stazioni di fermata. Questo consente di avere una mappatura delle fermate e di visualizzare l'area di interesse.

Tabella 2. Struttura del file 'stops.txt' presente nell'archivio GTFS per la città di Roma.

	stop_id	stop_code	stop_name	stop_lat	stop_lon	location_type	parent_station
9178	tre-242	1	Ellera Corciano	43.09	12.32	1	
9179	tre-242-1	1	Ellera Corciano	43.09	12.32	0	tre-242
9180	tre-243	1	Magione	43.14	12.2	1	
9181	tre-243-1	1	Magione	43.14	12.2	0	tre-243
9182	tre-244		Passignano Sul Trasimeno	43.19	12.13	1	
9183	tre-244-1	1	Passignano Sul Trasimeno	43.19	12.13	0	tre-244

Di seguito è riportata una breve descrizione dei files più importanti dell'archivio GTFS:

trip.txt: questo file raccoglie il livello più alto di informazione per ogni tragitto/viaggio effettuato. Per ogni tragitto viene riportato il suo codice identificativo (*trip_id*), inteso come la sequenza di fermate (percorso) del mezzo pubblico, la linea (*route_id*), la direzione, un codice per il tipo di servizio, *service_id* (es. autobus, tram, metropolitana, treno), ed un codice (*shape_id*) riferito ad ogni tragitto (*route_id*).

routes.txt: questo file raccoglie le informazioni per ogni linea di trasporto identificata da un codice identificativo (*route_id*) e da un colore (*route_color*).

stop_times.txt: questo file raccoglie i dettagli di ogni viaggio. Più precisamente riporta la sequenza (*stop_sequence*) delle fermate che ogni viaggio percorre nel tempo. Questo file non ha informazioni sulle linee di percorrenza, ma e' relazionato al file *trip.txt* attraverso il codice *trip_id*. I dati contenuti nel file *stop_times.txt* riportano i tempi di arrivo (*arrival_time*) che coincidono con i tempi di partenza (*departure_time*) ad ogni fermata. Questi tempi di partenza sono associati ad un codice identificativo della fermata (*stop_id*) e ad un codice identificativo del tragitto di una singola linea (*trip_id*). Tuttavia, il tempo di percorrenza di questo tragitto può protrarsi anche dopo la mezzanotte. Infatti, nel file *stop_times.txt* ci sono *arrival_time/departure_time* che vanno oltre le ore 24:00:00. Teoricamente, un orario che indica le ore 25:00:00 significherebbe l'una del mattino del giorno seguente. Tuttavia quando si sviluppano software per la gestione dei tempi e percorsi dei mezzi pubblici, il campo tempo è sempre trattato come un numero intero e progressivo nel tempo. Nei dati GTFS, l'ora 25:00:00 derivante da un set di dati per un determinato giorno, significa che una determinata linea (*route_id*) di trasporto continua la sua corsa anche dopo le ore 24:00:00. Ma questo potrebbe accadere solo per determinati giorni della settimana (per esempio i giorni feriali e non quelli festivi). Quindi, per lo sviluppo di software applicativi, è meglio mantenere l'informazione progressiva del tempo come viene fornita nei dati GTFS. Invece, per analisi statistiche, è più opportuno convertire tutti gli orari dopo le ore 24:00:00 in nuove sequenze temporali che partono dall' ora 01:00:00.

Dal file *stop_times.txt* possiamo quindi ottenere il numero di viaggi per ora. Tuttavia, nel file *stop_times.txt* non c'è alcuna variabile che indica quale percorso il mezzo di linea urbana sta effettuando. Per ottenere questa informazione bisogna dapprima elaborare il file *trip.txt* dove è riportata la relazione tra i codici delle linee (*trip_id*) ed i codici dei tragitti (*route_id*) (presenti nel file *routes.txt*).

Nella Tabella 3 sono stati accorpati i files *stop_times.txt*, *trips.txt* e *routes.txt*. Tuttavia, se si vuole calcolare in numero di tragitti effettuati per ogni ora da ogni linea, abbiamo solo bisogno della prima fermata. In aggiunta, considerando che tutti i tragitti hanno un'andata ed un ritorno, dobbiamo solo considerare una sola direzione di viaggio.

Tabella 3. Orari delle fermate per la linea della metropolitana A, MEA - Roma (5 dicembre 2019).

route id	trip id	stop id	service id	arrival time	departure time	shape id
226	55939_11637_33900_-1	82372	11637	09:25:00	09:25:00	55939
226	55939_11637_33900_-1	82281	11637	09:25:45	09:25:45	55939
226	55939_11637_33900_-1	82284	11637	09:27:28	09:27:28	55939
226	55939_11637_33900_-1	72855	11637	09:28:30	09:28:30	55939
226	55939_11637_33900_-1	71111	11637	09:29:03	09:29:03	55939
226	55939_11637_33900_-1	71100	11637	09:32:12	09:32:12	55939

Per mostrare alcune delle informazioni che si possono ottenere dai dati GTFS, è stato scelto un servizio di linea (*service_id*) della città di Roma che fa riferimento alla Linea A della metropolitana (MEA). Per semplificazione, solo la prima fermata di ogni tragitto e per una direzione è stata presa in considerazione. Dopo avere scelto un determinato tragitto (METRO A: Battistini-Anagnina), il numero di tragitti effettuati ogni ora (*trip_id*) è stato calcolato e riportato nella Figura 9.

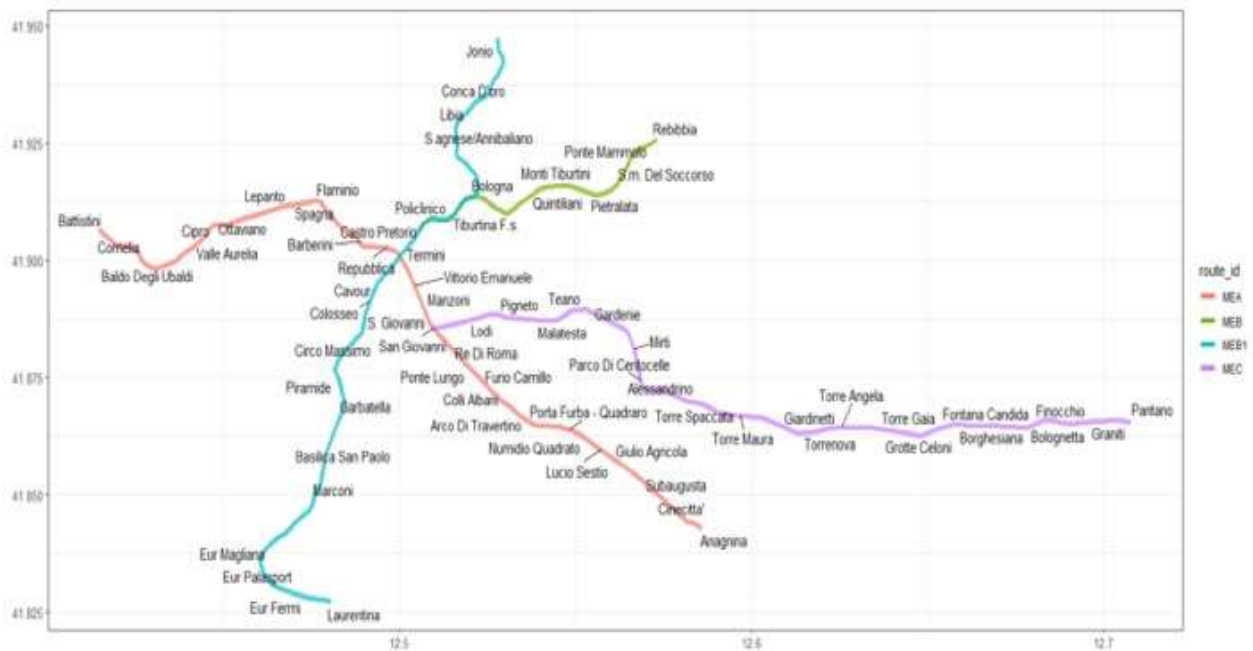


Figura 8. Linee della metropolitana di Roma ottenute da dati GTFS.

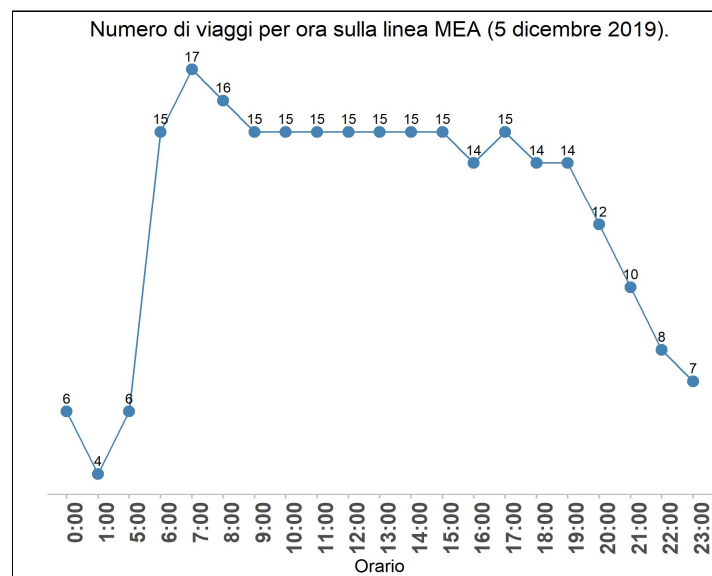


Figura 9. Numero di viaggi per ora sulla linea METRO A (5 dicembre 2019).

Le informazioni fornite nei dati GTFS sulle posizioni delle fermate sono di aiuto per potere individuare le aree urbane servite da una determinata linea. Inoltre, è possibile visualizzare su mappa l'estensione di tutta la copertura del servizio pubblico fornita all'interno/esterno di un'area urbana. A scopo dimostrativo, Figura 4 riporta le posizioni delle fermate di trasporto pubblico nella provincia di Roma per gli operatori Atac, Roma TPL, Trenitalia. Dopo avere aggregato informazioni comuni presenti nei files agency.txt, routes.txt e trips.txt e stop_times.txt, è stata creata la Tabella 3 che riporta la sola struttura delle fermate nella città di Roma gestite dall'operatore ATAC. Oltre le coordinate geografiche, la Tabella 3 include anche l'identificativo del tipo di percorso route_id ed il nome della fermata stop_name.

Tabella 4. Fermate per il trasporto pubblico nel Comune di Roma gestite dall'operatore ATAC

agency id	agency name	route short name	route id	stop id	stop name	lat	lon
atac	Atac	MEA	MEA	AP1	Anagnina	41.84	12.59
atac	Atac	MEA	MEA	AP2	Cinecitta'	41.85	12.57
atac	Atac	MEA	MEA	AP3	Subaugusta	41.85	12.57
atac	Atac	MEA	MEA	AP4	Giulio Agricola	41.86	12.56
atac	Atac	MEA	MEA	AP5	Lucio Sestio	41.86	12.56
atac	Atac	MEA	MEA	AP6	Numidio Quadrato	41.86	12.55

Con le informazioni contenute nei dati GTFS, è possibile visualizzare le principali zone agglomerate (*hubs*) di traffico per tipo di operatore usando il conteggio di tutti i *viaggi* effettuati per ogni *fermata* [8]. Figura 4 mostra tutte le posizioni delle fermate per le linee **Atac**, **Roma TPL**, **Trenitalia** indicate con un punto la cui dimensione aumenta con il numero di viaggi che passano per quella posizione. Questo aiuta a visualizzare la distribuzione locale del trasporto pubblico nella città di Roma (Figura 4). La stessa informazione, è stata visualizzata per esteso con una mappa di tipo "heatmap2 (Figura 5) mostra le zone con un alto/basso numero di viaggi di trasporto pubblico nella provincia di Roma.

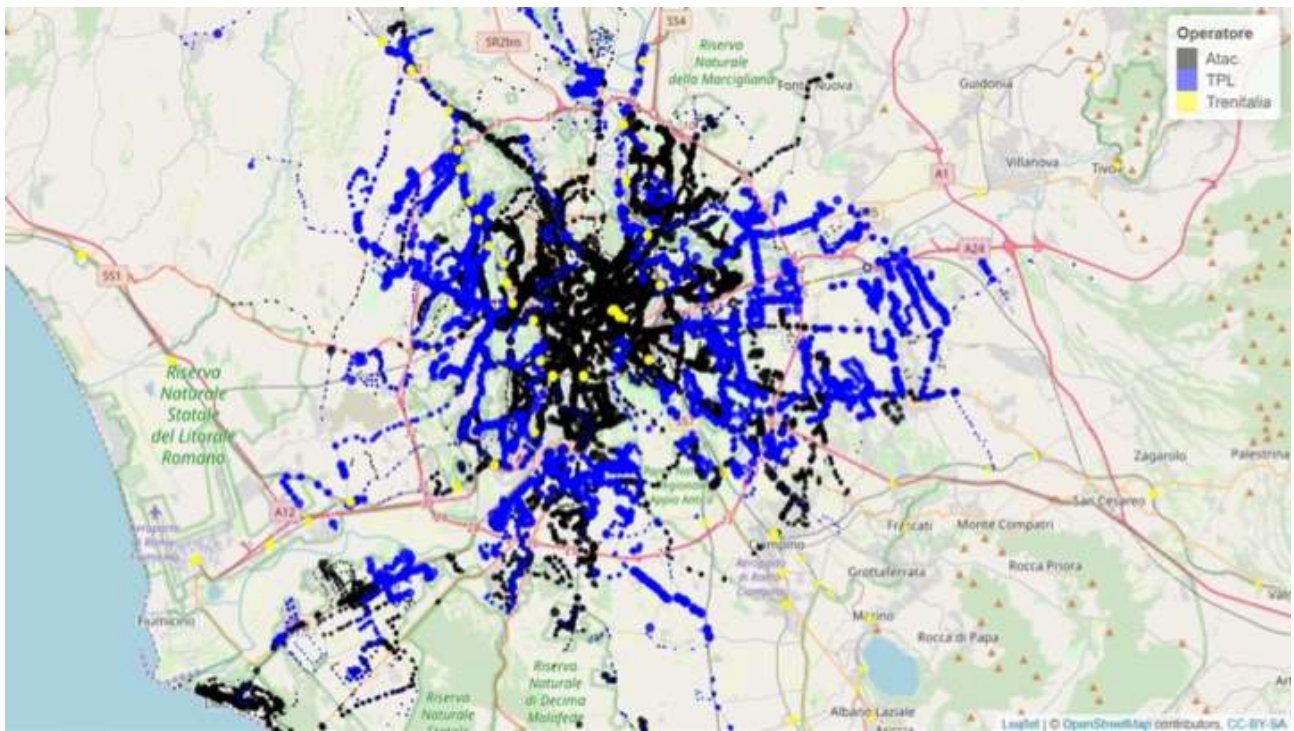


Figura 10 Conteggio dei viaggi ad ogni fermata nella provincia di Roma (il diametro di ogni punto è proporzionale al numero di conteggi dei viaggi).



Figura 11 Zone con un alto/basso numero di viaggi di trasporto pubblico nella provincia di Roma tra le ore 8:00 e le ore 8:30. Il colore rosso/giallo indica le zone con il più alto numero di viaggi (campione di 1000 fermate)

In conclusione, i dati GTFS contengono informazioni utili per l'elaborazione dei percorsi urbani e per la visualizzazione di aree di copertura del trasporto pubblico. I dati GTFS possono essere utilizzati per calcolare percorsi ottimizzati da un punto di partenza ad un punto di arrivo. Con questi dati è infatti possibile costruire connessioni temporali tra le diverse linee di trasporto (*route_id*) che tengano conto dei diversi tempi di partenza/arrivo. In questo modo, si possono costruire percorsi a tempo minimo che variano a seconda della combinazione temporale dei tempi di partenza/arrivo.

3.4 Floating Car Data (FCD)

Lo strato Informativo FCD comprende informazioni e dati geo-referenziati registrati da flotte di veicoli equipaggiati con unità di bordo (On Board Unit - OBU). Le OBU sono solitamente composte da un microprocessore incorporato, una memoria per l'archiviazione dei dati, un ricevitore GPS, un accelerometro triassiale e un modulo per la comunicazione wireless automatica e/o su richiesta dei dati registrati a bordo ad un Centro Servizi.

Il ricevitore GPS associa alla posizione la data e l'ora al meridiano Greenwich, la velocità istantanea e la direzione di marcia del veicolo espressa in gradi rispetto al nord geografico, nonché la qualità del segnale GPS espressa da un indice variabile tra 1 e 3.

L'indice di qualità del segnale è pari a 1 se il numero di satelliti visibili è inferiore a 2. Tale condizione potrebbe comportare una sequenza di informazioni non completamente attendibili o caratterizzate da errori di posizionamento. Se invece l'indice è pari a 2 i satelliti visibili sono inferiori a 3, mentre quando l'indice è pari a 3 indica un'ottima ricezione del segnale caratterizzata dalla visibilità di 3 o più satelliti. Quando il segnale è buono l'incertezza nella misura della posizione è solitamente intorno ai 10 metri, mentre in situazioni sfavorevoli di copertura satellitare l'errore della posizione può aumentare fino a 30 metri e più.

In alcune OBU l'indice di qualità del segnale è espresso in *hdop* (Horizontal Dilution Of Precision). L'indice 'hdop' specifica quanto sia buona la geometria dei satelliti utilizzati dal ricevitore GPS per fare il calcolo della posizione. Più l'*HDOP* è basso e migliore è la geometria dei satelliti.

Ai dati del ricevitore GPS sono solitamente associate le informazioni sullo stato del veicolo (accensione, moto e spegnimento) e la distanza percorsa dall'ultima registrazione.

Per l'applicazione a Roma delle nuove funzioni della piattaforma si utilizzeranno gli FCD prodotti da due importanti gestori di flotte di veicoli sonda, Octo Telematics [9] e Viasat [10], che erogano servizi di localizzazione, protezione e assistenza per le compagnie assicurative e i gestori di flotte.

Gli FCD di Octo Telematics includono tutte le tracce GPS registrate nel mese di maggio 2015 da circa 220 mila veicoli privati e aziendali. Per questi veicoli la frequenza di registrazione delle posizioni è programmata ogni 2 km di percorrenza oltre che negli istanti di avvio e spegnimento del motore. Quando il veicolo transita sulla rete autostradale o sulle principali arterie stradali situate in aree metropolitane le registrazioni avvengono ogni 35 secondi.

Ogni campione registrato dalle OBU Octo Telematics ha le seguenti informazioni:

- Identificativo del dispositivo in formato alfanumerico
- Data e ora di registrazione in formati UTC, formato YYYY-MM-DD HH24:MI:SS
- Latitudine e longitudine, wgs84 in formato numerico intero (valore wgs84 x 10^8).
- Velocità espressa in km/h
- Direzione di movimento espressa da un valore compreso tra 0 e 360, indicante l'angolo rispetto al Nord (risoluzione 2°)
- Qualità del segnale gps espresso con indice da 0 a 3
- Stato del motore (0 accensione, 1 in funzione, 2 spento)
- Odometro di viaggio (viene azzerato ad ogni avvio del motore)

Gli FCD di Viasat includono tutte le tracce GPS registrate nel mese di Novembre 2019 da circa 45 mila veicoli privati e commerciali. La frequenza di registrazione delle unità di bordo Viasat è programmata ogni 30 secondi tra gli istanti di accensione e spegnimento del motore. Gli FCD Viasat anche se generati da un numero di terminali inferiore a quello di Octo Telematics, hanno una frequenza di registrazione più elevata e quindi più completi ai fini della ricostruzione dei percorsi sulla rete viaria.

Ogni campione registrato dalle OBU Viasat ha le seguenti informazioni:

- Identificativo del dispositivo in formato alfanumerico
- Data e ora di registrazione in formati UTC, formato YYYY-MM-DD HH24:MI:SS
- Latitudine e longitudine, wgs84 in formato numerico con 6 decimali significativi.
- Velocità espressa in km/h
- Direzione di movimento espressa da un valore compreso tra 0 e 360, indicante l'angolo rispetto al Nord (risoluzione 2°)
- Qualità del segnale gps, espresso in decimi di hdop, compreso tra 0 (ottima) e 150 (pessima)
- Stato del motore (1 acceso 0 spento)
- Tipologia veicolo (1 autovettura, 2 veicolo commerciale)
- Odometro di viaggio (viene azzerato ad ogni avvio del motore)

Per la costruzione degli strati informativi FCD all'interno della nuova piattaforma si farà ricorso ad una procedura di pre-processamento dei dati grezzi. Questa procedura è articolata nei seguenti 3 passi:

- 1) individuazione, classificazione e correzione degli errori di registrazione delle OBU,
- 2) ricostruzione delle catene di spostamenti e soste effettuate da ciascun veicolo,
- 3) creazione delle tabelle tracce e percorsi con i campi geometrici per le successive analisi spaziali e statistiche.

A valle della fase di pre-processamento dei dati grezzi, è prevista la fase di esplorazione e analisi degli FCD per quantificare e caratterizzare la mobilità veicolare nell'area di applicazione. Questa seconda fase è mirata soprattutto a identificare correlazioni e pattern sulle scelte di mobilità individuali, sulle oscillazioni dei flussi Origine-Destinazione e della domanda di sosta, sui percorsi effettuati, sui tempi di percorrenza e sull'accessibilità alle diverse zone della città.

Gli FCD rappresentano inoltre un input prezioso per la costruzione e messa a punto dei nuovi modelli di simulazione delle catene di spostamenti e di ottimizzazione del processo di distribuzione delle merci.

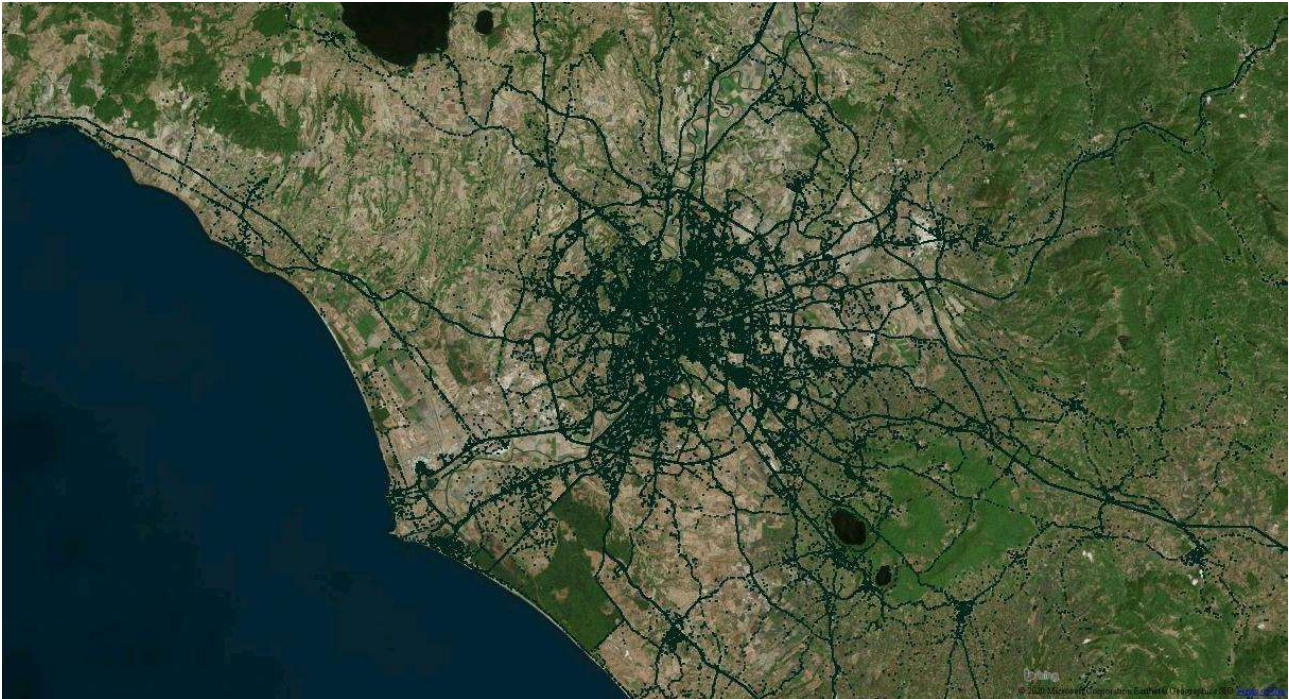


Figura 12 Tracce FCD nell'area di Roma

3.5 I parcheggi di scambio

Lo strato informativo dei parcheggi di scambio include tutte le informazioni sulla dislocazione geografica, sulla tipologia di impianto e sull'offerta di stalli. I parcheggi di scambio, in inglese 'Park and Ride', hanno la caratteristica di essere collegati alle linee del trasporto pubblico della località di pertinenza.

I parcheggi di scambio hanno lo scopo di favorire una mobilità urbana più sostenibile migliorando l'accesso al trasporto pubblico locale accrescendone così l'attrattività. Sono realizzati per permettere ai pendolari e ai viaggiatori occasionali che arrivano dalle periferie o dai centri vicini, di poter parcheggiare il proprio veicolo e di utilizzare i mezzi pubblici (autobus, tram, metro e treni metropolitani) per il resto del viaggio fino alla destinazione finale.

Il veicolo, solitamente, viene posteggiato nei parcheggi di scambio per un periodo solitamente medio-lungo della giornata e, successivamente, recuperato per il ritorno a casa. Generalmente, i parcheggi di scambio sono situati nelle periferie delle aree metropolitane, in prossimità di importanti stazioni o fermate del trasporto pubblico.

Nella nuova piattaforma lo strato informativo dei parcheggi di scambio costituisce la base per l'analisi e la modellistica della mobilità multimodale basata sull'uso e combinazione di diversi mezzi di trasporto per i viaggi urbani.

Allo strato informativo dei parcheggi di scambio sono inoltre associati i risultati delle analisi degli FCD volte a determinare il reale bacino di utenza e a stimare l'andamento della domanda di sosta, in termini di occupazione e durata, nei singoli parcheggi di scambio nelle diverse tipologie di giornate.

A titolo di esempio, per poter definire il bacino di utenza di un parcheggio di scambio verrà dapprima calcolato il tasso di emissione, ovvero il rapporto tra il numero delle auto provenienti da una determinata zona e la popolazione della zona stessa. Successivamente verrà ricavato il "valore medio del tasso di emissione" come media dei tassi di emissione di ciascuna zona. Infine ciascuna zona verrà assegnata ad una classe di emissione in base al rapporto tra il tasso di emissione della zona e il valore medio del tasso di emissione. La somma della popolazione residente nelle zone con classe di emissione superiore a una prefissata soglia (solitamente superiore ad 1) rappresenterà il bacino di utenza del parcheggio di scambio.

Nell'area di applicazione di Roma sono presenti 56 parcheggi di scambio dedicati all'intermodalità. Nella Tabella 5 sono riportati i singoli parcheggi di scambio con le informazioni su tipologia, numero di stalli e linee del trasporto pubblico collegate.

Tabella 5. Parcheggi di scambio nell'area metropolitana di Roma (Fonte ATAC)

Nome	Tipologia	Stalli	Interscambio TPL
Anagnina	Raso	134	Metro A e linee di superficie
Anagnina A e C	Multipiano	1476	Metro A e linee di superficie
Anagnina B	Raso	300	Metro A e linee di superficie
Borghesiana	Raso	331	Metro C e linee di superficie
Arco di Travertino	Multipiano	986	Metro A e linee di superficie
Battistini	Raso	177	Metro A e linee di superficie
Cinecittà	Multipiano	592	Metro A e linee di superficie
Cipro	Raso	284	Metro A e linee di superficie
Elio Rufino	Raso	135	Linee di superficie
Eur Magliana	Multipiano	962	Metro B, RL e linee di superficie
Grotte Celoni	Raso	532	Metro C e linee di superficie
La Celsa	Raso	125	Rm-Vt e linee di superficie
La Giustiniana	Raso	236	Rm-Vt, FL3 e linee di superficie
La Storta	Raso	489	FL3 e linee di superficie

Labaro	Raso	209	Rm-Vt e linee di superficie
Laurentina	Multipiano	1268	Metro B e linee di superficie
Montebello	Raso	350	Rm-Vt e linee di superficie
Nuovo Salario	Modulare	222	FL1 e linee di superficie
Ostiense	Raso	151	Metro B, RL e linee di superficie
Togliatti	raso	419	Metro B e linee di superficie
Partigiani	Raso	430	Metro B, RL, FL1, FL3, FL5 e linee di superficie
Ponte Mammolo 1	Raso e modulare	1317	Metro B e linee di superficie
Ponte Mammolo 2	Raso	271	Metro B e linee di superficie
Rebibbia 1	Raso	465	Metro B e linee di superficie
Rebibbia 2	Raso	136	Metro B e linee di superficie
S.Maria Soccorso	Raso	575	Metro B e linee di superficie
Saxa Rubra	Raso	499	Rm-Vt e linee di superficie
Nomentana	Raso	105	FL1 e linee di superficie
St. San Pietro	Interrato	148	FL3, FL5 e linee di superficie
St. Tiburtina	Raso	100	Metro B, FL1, FL2 e linee di superficie
Trastevere	Modulare	221	Linee di superficie
Valle Aurelia	Raso	126	Metro A, FL3 e linee di superficie
Villa Bonelli	Raso	329	FL1 e linee di superficie
Vitinia	Raso	150	RL e linee di superficie
Casal Bernocchi	Raso	200	RL e linee di superficie
Cesano	Raso	280	FL3 e linee di superficie
Fidene	raso	30	FL1 e linee di superficie
Finocchio	Raso	80	Metro C
Gemelli	Raso	250	FL3 e linee di superficie
Giardinetti	Raso	248	Metro C e linee di superficie
Giustiniana	raso	80	Rm-Vt e linee di superficie
Ipogeo degli Ottavi	Raso	280	FL3 e linee di superficie
Jonio	Multipiano	252	Metro B1 e linee di superficie
Monte Mario	Raso	350	FL3 e linee di superficie
Olgiata	Raso	280	FL3 e linee di superficie
Ostia Antica	Raso	350	RL e linee di superficie
Ostia Lido Nord	Raso	265	RL e linee di superficie
Ostia Stella Polare	Raso	100	RL e linee di superficie
Pantano 1	Raso	322	Metro C e linee di superficie
Pantano 2	Raso	160	Metro C e linee di superficie
Pantano Multipiano	Multipiano	382	Metro C e linee di superficie
Tor di Valle	Raso	328	RL e linee di superficie
Torre Angela	Raso	80	Metro C e linee di superficie
St. Trastevere	Raso	120	FL1, FL3, FL5 e linee di superficie
Auditorium	Interrato	1005	Linee di superficie
Fontana Candida	Raso	383	Metro C e linee di superficie

A Roma sono presenti due tipologie di parcheggi di scambio: quelli senza personale fisso e quelli con personale fisso. In particolare sono 11 quelli che rientrano nella seconda (tra cui risaltano quelli di Cinecittà, Magliana, Laurentina, Montebello e Stazione San Pietro), aperti tutti i giorni feriali, quindi dal lunedì al venerdì, dalle ore 07:00 del mattino fino alle ore 20:00. Le tariffe applicate per la sosta variano in base alla localizzazione del parcheggio di scambio. Per i parcheggi di scambio che si trovano all'interno dell'anello ferroviario dell'Urbe (esempio, Cipro o Tiburtina), la tariffa è di € 2,00 per 12 ore di sosta continuativa e di € 3,00 per 16 ore di sosta continuativa. Nel caso di parcheggi di scambio posizionati al di fuori dell'anello ferroviario cittadino, le tariffe risultano leggermente più basse, toccando € 1,50 per 12 ore di sosta continuativa e € 2,00 per le 16 ore di sosta continuativa.

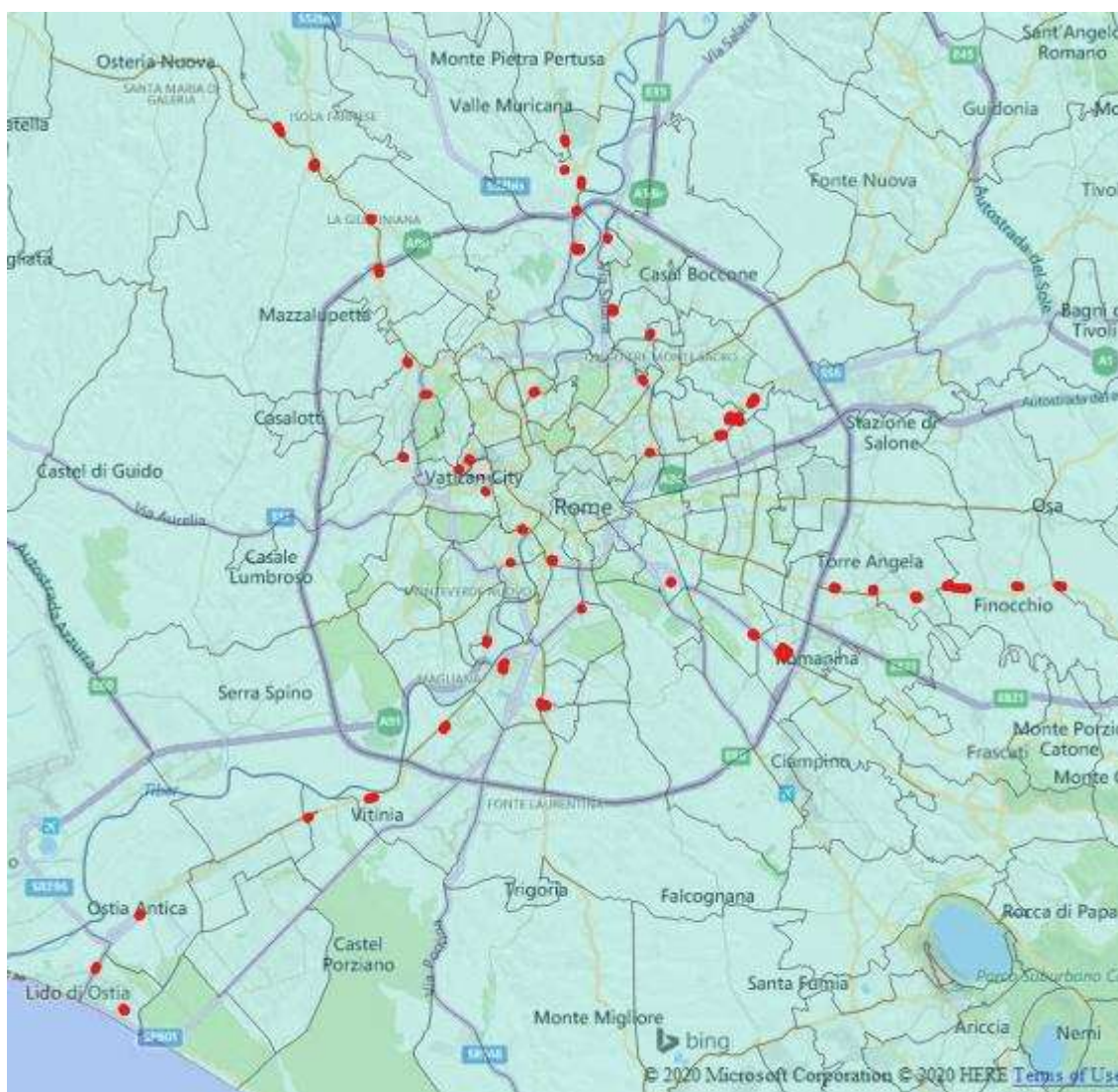


Figura 13 Mappa dei parcheggi di scambio nell'area metropolitana di Roma

3.6 Dati per la programmazione delle consegne di merci

Questo insieme di dati si compone di più strati informativi di base per le attività di pianificazione delle consegne di merci e pacchi da parte di operatori logistici e corrieri. Per pianificazione delle consegne si intende la programmazione giornaliera dei giri effettuati dai veicoli afferenti ad una o più flotte adibite al recapito di colli generalmente di piccole dimensioni e facenti capo ad uno più centri di sconsolidamento/consolidamento da cui i giri hanno inizio e termine nell'arco di un periodo lavorativo. Un giro di consegna è definito attraverso la sequenza di luoghi che devono essere raggiunti

dal veicolo che effettua il giro, rispettando uno scheduling temporale. Nel caso di veicoli elettrici, oltre ai luoghi di recapito delle consegne è necessario programmare anche le eventuali soste necessarie per ripristinare la carica delle batterie di bordo.

I dati necessari ad effettuare tale programmazione fanno riferimento a più strati informativi e cioè:

Punti notevoli (POI) – Corrispondono ai luoghi di origine o destinazione degli spostamenti elementari che compongono un giro di consegna. Tali luoghi possono essere i centri di consolidamento dove i veicoli vengono caricati della merce da consegnare ed a cui devono fare ritorno a fine giro, i punti di recapito della merce, che si tratti di negozi, abitazioni private o drop-point di vicinato da cui il cliente finale andrà a prelevare la merce, oppure le stazioni di ricarica delle batterie.

Il contenuto informativo di tale layer comprende:

le coordinate geografiche di localizzazione del POI

la sua tipologia

la potenza di ricarica (in caso si tratti di postazione di ricarica)

Lista delle consegne da effettuare nella giornata da una determinata flotta di veicoli – fornita dall'operatore logistico che utilizza la funzionalità di programmazione dei giri. Per ciascuna consegna sono indicati:

- il giorno previsto per la consegna
- il punto di recapito concordato
- le finestre temporali utili alla consegna indicate del destinatario finale
- il numero di colli, il peso ed il volume totale della consegna
- il livello di priorità della consegna, in base al tipo di accordo con il destinatario finale

Caratteristiche della Flotta allocata dall'operatore per la lista di consegne – anche queste fornite dall'operatore logistico che programma i propri giri di consegna utilizzando le funzionalità del DSS. Le informazioni richieste in questo caso sono:

- l'identificazione del centro logistico di caricamento della merce
- il numero di veicoli di determinata tipologia presenti nel centro logistico
- la capacità di carico e la capacità di batteria di ogni tipologia veicolare
- la funzione di consumo di ogni tipologia veicolare, intesa come valore del consumo specifico medio del veicolo tipo al variare della velocità media di spostamento, in condizioni di carico e pendenza nulli.

Infine, per ogni coppia di POI presenti nel relativo layer, è necessario disporre **delle matrici dei tempi e delle distanze** calcolati sul grafo sul cammino di minimo tempo, per ogni fascia oraria della giornata.

3.7 Dati di monitoraggio delle operazioni di logistica dell'ultimo miglio

Rispetto ai dati contenuti nei layers informativi descritti in precedenza, che si modificano con cadenza tale da poter essere considerati “statici” e comunque mediante processi di acquisizione “on-demand”, i dati di monitoraggio sono continuamente ed automaticamente aggiornati mediante un processo di acquisizione che prevede protocolli di comunicazione M2M (IoT).

I dati in questione permettono di verificare con costanza le attività di consegna e di ricarica delle merci, verificando che la prevista programmazione delle operazioni venga rispettata.

Il monitoraggio riguarda posizione e velocità dei veicoli, stato di carica della batteria, stato di effettuazione delle consegne, stato di occupazione delle piazzole adibite allo scarico delle merci e delle postazioni di ricarica delle batterie.

Attraverso il monitoraggio, è possibile implementare funzionalità di recovery della programmazione dei giri di consegna delle merci e ricarica della batteria, in caso di anomalie rispetto a quanto previsto in fase di programmazione off-line.

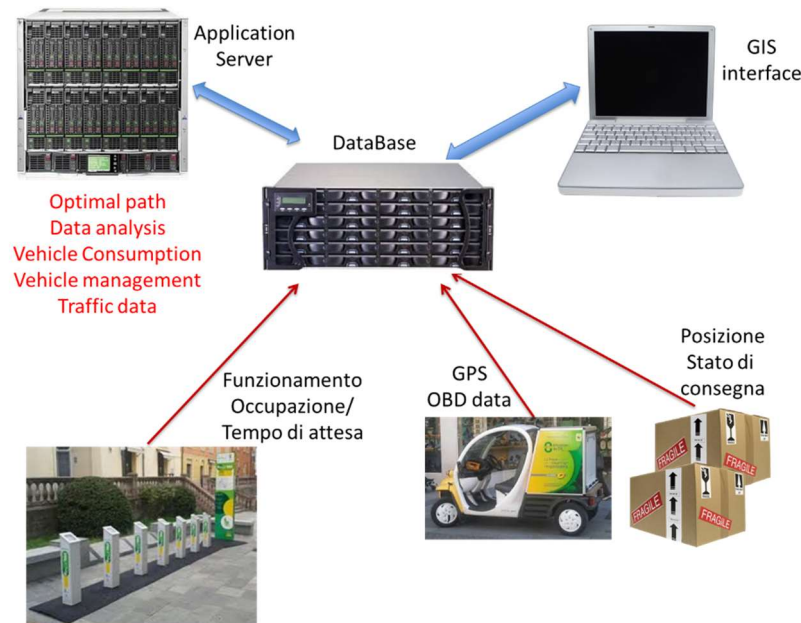


Figura 14 Monitoraggio dal campo e connesse funzionalità

4 La suite di modelli

Nel precedente triennio di ricerca è stato sviluppato e testato un impianto modellistico per la simulazione di scenari di penetrazione di flotte di veicoli elettrici, la stima dell'andamento spaziale e temporale della relativa domanda di energia elettrica e lo studio di soluzioni di ricarica intelligente e a bassa intensità di carbonio.

L'obiettivo della ricerca in corso è quello di ampliare l'impianto modellistico sviluppato nel triennio precedente con nuovi modelli e procedure di calcolo di supporto alle decisioni per la scelta e valutazione di interventi volti a favorire la transizione verso un nuovo modello di mobilità urbana, passeggeri e merci, energeticamente efficiente e a bassa intensità di carbonio.

Il nuovo impianto modellistico si avvale di un insieme di procedure ausiliarie, automatiche e semi automatiche, per il filtraggio, la convalida, l'analisi e la rappresentazione grafica di diverse fonti di dati disponibili, da quelle "tradizionali", quali le indagini censuarie, alle nuove fonti di dati (in particolar modo open data e big data) sul sistema di trasporto urbano, quali i dati in formato GTFS delle aziende di trasporto pubblico, le tracce GPS registrate da un campione di veicoli privati, gli archivi OpenStreetMap con la rete stradale digitalizzata e i POI (point of interest), o meglio, i luoghi di generazione e attrazione della mobilità come, ad esempio, i parcheggi di scambio e i centri commerciali.

Le procedure ausiliarie svolgono inoltre la conversione e il caricamento dei dati e dei risultati in un geo-database relazionale dedicato, che sarà sviluppato in ambiente open source PostGIS-Postgresql.

L'analisi delle tracce FCD include anche l'utilizzo di un algoritmo di map-matching per l'identificazione dei percorsi effettuati dai veicoli sulla rete stradale.

Il processo di map-matching consente, in particolare, di associare le tracce GPS agli archi della rete digitalizzata e di studiare statisticamente le scelte di percorso e i tempi di percorrenza sugli archi attraversati, necessari anche alla calibrazione dei modelli di scelta dei percorsi.

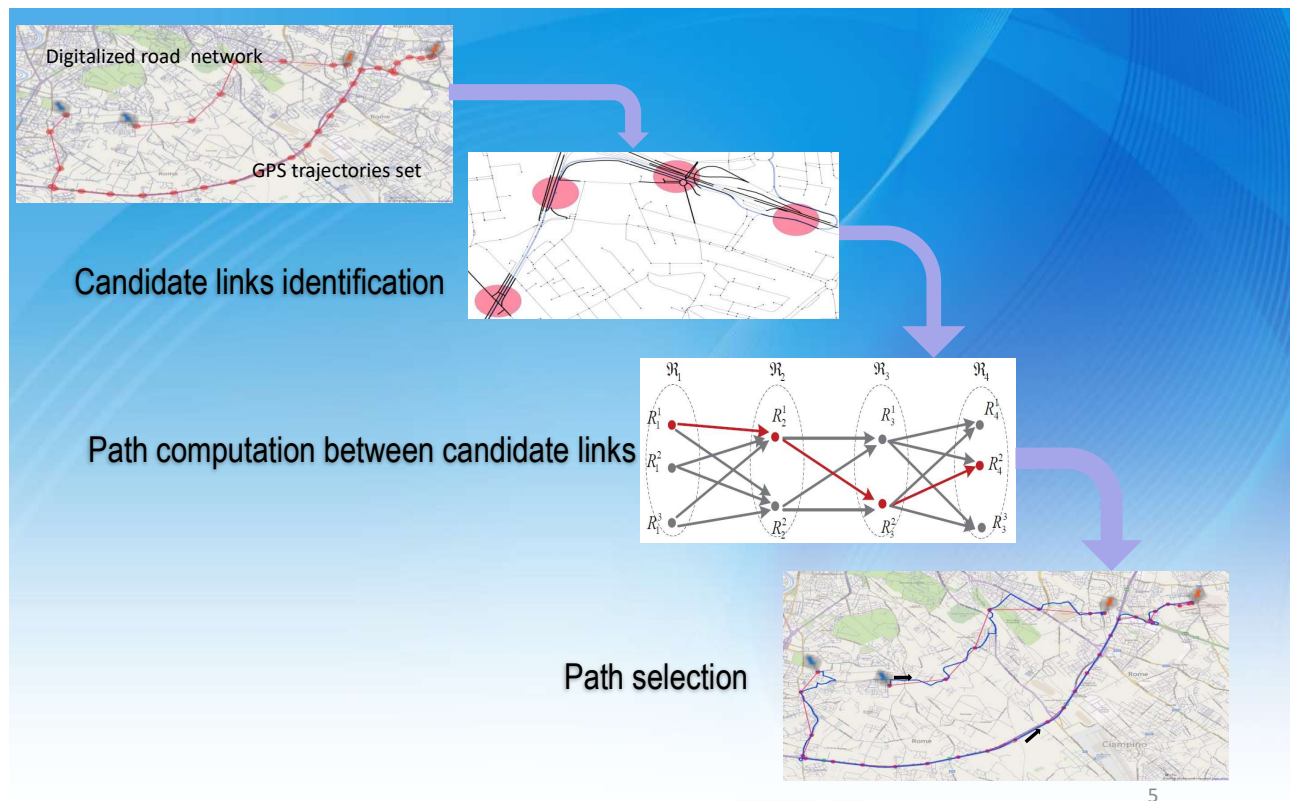


Figura 15 Passi principali dell'algoritmo di map-matching

Le procedure ausiliarie, oltre a permettere di estrarre informazioni e statistiche utili sulla distribuzione delle attività, sulla struttura dell'offerta di trasporto e sui pattern di mobilità veicolare nell'area di applicazione, sono preparatorie e funzionali alla messa a punto e applicazione della suite di modelli che costituisce il nucleo centrale dell'impianto modellistico.

L'applicazione della suite di modelli, sia sullo stato attuale che su prefigurati scenari evolutivi futuri, fornisce una stima completa e dettagliata della mobilità veicolare e dei relativi impatti in termini di consumi energetici e quantità di emissioni di gas ad effetto serra generate lungo il ciclo di vita dei singoli vettori energetici.

Un componente fondamentale della suite di modelli è rappresentato da un modello microscopico di concatenamento degli spostamenti in auto (Car Travel Chain Model) capace di riprodurre schemi di attività e sequenze di spostamenti, soste e percorsi sul grafo stradale effettuati settimanalmente dalle auto private. La base di riferimento per la fase di costruzione e calibrazione di questo modello è rappresentata principalmente dal dataset di tracce GPS. Per questa fase sono utilizzate tecniche statistiche e di apprendimento automatico (machine learning) allo scopo di individuare correlazioni e pattern rilevanti sui comportamenti e le abitudini di spostamento funzionali alla ricostruzione dettagliata della mobilità veicolare privata sull'intera area di applicazione e nell'arco temporale di una settimana.

In sintesi l'approccio proposto si compone di tre fasi: il riconoscimento delle attività attraverso le caratteristiche delle soste; l'interpretazione dei viaggi giornalieri come sequenze di attività di classi di utenti coerenti; il disegno di una rete neurale ricorrente ed il suo addestramento tramite le predette sequenze allo scopo di modellare le richieste di mobilità urbana.

Questo flusso logico è graficamente mostrato in Figura 16. Per maggiori dettagli consultare il rapporto tecnico “Specifiche funzionali e struttura del modello Car Travel Chain”

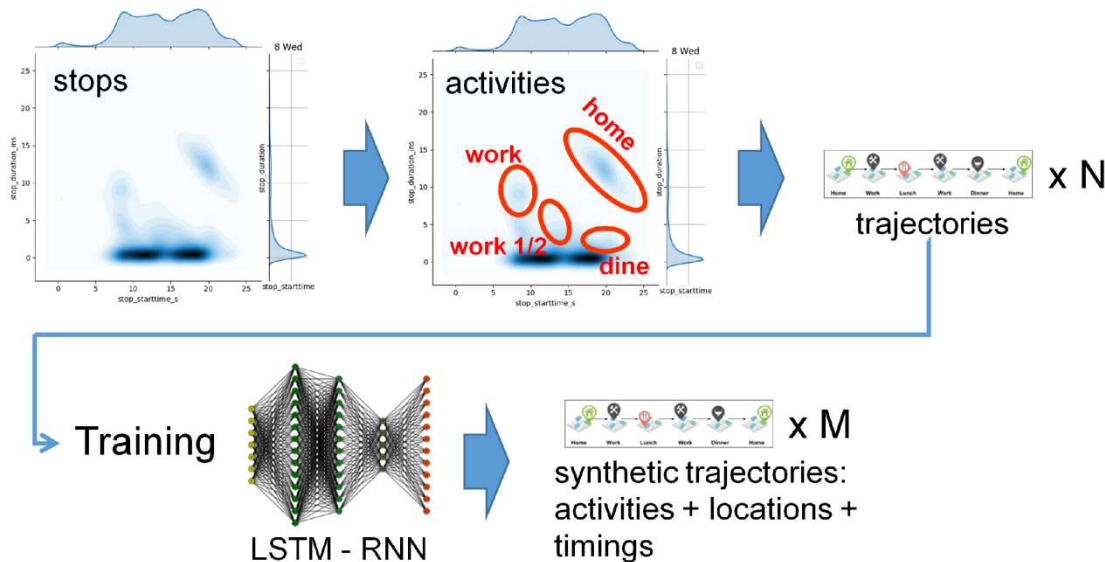


Figura 16 Schema logico dell’approccio metodologico del modello “Car Travel Chain”

Nelle sezioni che seguono sono descritti gli approcci metodologici dei restanti modelli della suite, proposti per la programmazione dei giri di consegna merci e per il calcolo dei consumi energetici e delle emissioni di gas climalteranti.

Per questi ultimi modelli il calcolo viene impostato considerando l’intero ciclo di vita del vettore energetico (benzina, gasolio, CNG, GPL ed energia elettrica), dalla materia prima alle ruote (detto Well-to-Wheel WTW).

Questo approccio ha il vantaggio di rendere confrontabili tra loro diverse tecnologie propulsive e carburanti, sia dal punto di vista dell’efficienza del mezzo di trasporto, sia del rendimento della tecnologia che permette di ottenere il combustibile ed il vettore energetico usato per trasportarlo e/o immagazzinarlo.

Per il calcolo WTW sono quindi considerate 2 distinte fasi:

1. PTT (Production To Tank), che si riferisce alle emissioni inquinanti indirette immesse nell’atmosfera derivanti dalla produzione e distribuzione del vettore energetico;
2. TTW (Tank to Wheel), che riguarda le emissioni dirette derivanti dalla fase d’uso, cioè dal combustibile consumato direttamente dal veicolo, dal serbatoio alla ruota.

4.1 Il modello di programmazione dei giri di consegna merci

La transizione della distribuzione urbana delle merci verso i veicoli elettrici richiede lo sviluppo di nuove tecniche di pianificazione del percorso che tengano conto delle caratteristiche specifiche di tali veicoli elettrici.

Sebbene l’autonomia dei furgoni elettrici sia in continua crescita, si deve considerare che essa può essere significativamente ridotta dalle condizioni climatiche e di traffico, dalle caratteristiche della rete stradale e degli specifici percorsi di consegna che devono essere realizzati, dal carico.

Spesso i centri di consolidamento sono ubicati nelle zone periferiche delle aree urbane e, quando queste sono molto estese, ciò comporta l’aumento delle percorrenze necessarie per effettuare il servizio.

A ciò si aggiunga che l'esigenza di autonomia mal si concilia con quella di disporre di un'adeguata capacità di carico; sebbene sia vero che attualmente l'utilizzazione media della capacità di carico dei veicoli utilizzati per la distribuzione delle merci in città sia piuttosto bassa è anche vero che in una prospettiva di ottimizzazione delle risorse bisogna tendere ad utilizzare la capacità al massimo.

In base a quanto detto, all'interno dei giri di consegna effettuati mediante veicoli elettrici è necessario prevedere delle soste per effettuare la ricarica, anche parziale, delle batterie.

Tali soste devono essere esplicitamente prese in considerazione nella pianificazione del percorso per evitare lunghe deviazioni, in funzione del numero e della localizzazione delle stazioni di ricarica abilitate per la tipologia di veicoli interni alla flotta.

Le tecniche di routing possono svolgere un ruolo importante per incoraggiare l'uso di veicoli elettrici. La letteratura scientifica ha già affrontato queste tematiche di ricerca operativa, dimostrando che le strategie di routing contribuiscono a ridurre i tempi di percorso e di accodamento per effettuare la ricarica. Il problema di ottimizzazione può utilmente essere affrontato con l'obiettivo di ridurre le emissioni nocive in atmosfera.

La seguente tabella riassume le principali variabili decisionali, vincoli ed obiettivi correlati al routing di veicoli elettrici

Tabella 6: Specificità del routing di veicoli elettrici

Variabili decisionali	Vincoli	Obiettivi
1. N° di visite alle stazioni di ricarica	5. Posizione geografica delle stazioni di ricarica	8. Minimizzazione dei costi operativi dei veicoli
2. Tempi di ricarica	6. Capacità delle stazioni di ricarica	9. Minimizzazione dei tempi di operatività dei veicoli
3. Allocazione dei dispositivi di ricarica per i veicoli all'interno delle stazioni di rifornimento	7. Tempi di ricarica/swapping	10. Minimizzazione dei costi di ricarica/swapping
4. Selezione della modalità di ricarica (lenta, rapida, swapping, ecc.)		11. Minimizzazione dei costi delle esternalità negative

Fonte: Elaborazione da [1]

In sostanza, nel caso di flotte elettriche, il routing richiede la gestione di dati aggiuntivi rispetto al routing veicoli a combustione interna, nei quali non si pone il problema del rifornimento energetico di tipo "opportunità" (nel corso del servizio).

Nel precedente capitolo sono stati sinteticamente illustrati i dati di input dell'algoritmo di EVR-2TW che sarà integrato nel DSS urbano. Di seguito si riporta invece la struttura dei risultati di tale procedura informatica.

Scheduled Tours: Vengono generati dall'algoritmo di vehicle routing in corrispondenza di ciascun gruppo di istanze, sulla base di una strategia predefinita di aggiornamento del sistema (tipicamente, nel caso di un centro di distribuzione urbano per veicoli elettrici, quotidianamente).

Nome variabile	Descrizione
ID_veh	Targa del veicolo che effettua il giro
ID_Tour	Identificativo del giro di consegna
Data	Giorno calendario di effettuazione del giro
Ora_p_0	Orario di partenza del giro dal centro di consolidamento
Id_delivery_1	Id della prima consegna del giro. "Null" se operazione di ricarica

Id_point_1	Id del primo punto di consegna/ricarica del giro
Ora_a_1	Orario di arrivo al primo punto di consegna/ricarica del giro.
Ora_p_1	Orario di partenza dal primo punto di consegna/ricarica del giro.
Ora_D1	Orario previsto per la prima consegna del giro. "Null" se operazione di ricarica
Delay_TW_D1	Eventuale ritardo o anticipo previsto rispetto alle Time Windows indicate dal cliente. "Null" se operazione di ricarica
SOC_a_1	Stato di carica della batteria nell'istante di arrivo nel primo punto di consegna
SOC_p_1	Stato di carica della batteria nell'istante di partenza dall'ultimo punto di consegna
.....	
Id_delivery_n	Id dell'ultima consegna del giro. "Null" se operazione di ricarica
Id_point_n	Id dell'ultimo punto di consegna/ricarica del giro
Ora_a_n	Orario di arrivo all'ultimo punto di consegna/ricarica del giro.
Ora_p_n	Orario di partenza dall'ultimo punto di consegna/ricarica del giro
Ora_Dn	Orario previsto per l'ultima consegna del giro. "Null" se operazione di ricarica
Delay_TW_Dn	Eventuale ritardo o anticipo previsto rispetto alle Time Windows indicate dal cliente. "Null" se operazione di ricarica
SOC_a_n	Stato di carica della batteria nell'istante di arrivo nell'ultimo punto di consegna
SOC_p_n	Stato di carica della batteria nell'istante di partenza dall'ultimo punto di consegna
Tour_Cost	Costo operativo del giro
Tour_duration	Durata complessiva del giro, da Ora iniziale a rientro al centro di consolidamento
Delays_TW	Somma degli scostamenti previsti dalle Time Windows di preferenza dei clienti
Energy	Consumo energetico stimato per l'effettuazione del giro

Scheduled occupancy of the recharge stations: ulteriore risultato della procedura di programmazione, è la ricostruzione dello stato di occupazione delle varie stazioni di ricarica nell'arco della giornata, che è opportuno restituire in forma grafica.

Inoltre, a valle del processo di pianificazione è possibile risalire, tramite tecniche di ricostruzione dei percorsi su grafo, ai flussi veicolari generati dalle flotte di distribuzione merci, come componente del traffico urbano nelle diverse fasce orarie della giornata.

4.2 *Il modello di calcolo del consumo e delle emissioni climalteranti Tank-To-Wheel*

E' un modello di tipo disaggregato che stima il consumo finale di energia e le emissioni di gas serra per ogni veicolo in base alla categoria del veicolo stesso e ai dati di ogni singola tratta del viaggio (distanza percorsa, velocità media e pendenza) registrati dai veicoli sonda o programmati secondo il formato GTFS per i mezzi del trasporto pubblico su gomma.

Il calcolo può essere effettuato utilizzando come dati di ingresso le singole catene di spostamenti generate dal modello Car Travel Chain su base giornaliera e settimanale.

L'approccio metodologico utilizzato per questo calcolo è quella implementata nel software COPERT sviluppato dalla società EMISIA sotto il coordinamento dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA). COPERT rappresenta lo standard dell'Unione Europea per il calcolo delle emissioni di inquinanti e dei consumi del parco veicolare. E' utilizzato da molti paesi europei, incluso l'Italia, per realizzare i repository ufficiali di emissione di inquinanti per il settore trasporti. Documentazione dettagliata può essere trovata sul sito dell'EMISIA [11] [12].

Vengono considerati tutti i più importanti inquinanti, gas serra e specie tossiche, tra cui precursori dell'ozono, anidride carbonica, metano, protossido di azoto, sostanze acide, particolato (sia black carbon che organic carbon). Sono inoltre considerate sostanze cancerogene, diossine e metalli pesanti. La metodologia utilizzata è coerente con le linee guida IPCC per il calcolo dei gas serra ed è parte delle metodologie incluse nelle raccomandazioni EMEP/EEA per il calcolo delle emissioni di inquinanti in atmosfera.

COPERT prevede anche il calcolo dei consumi energetici per i veicoli considerati, in particolare finalizzato alla valutazioni di alcune emissioni, tra cui, ad esempio l'Anidride Carbonica (CO₂).

4.2.1 *Calcolo dei consumi di carburante*

Le case produttrici forniscono il valore di consumo nominale relativo ai mezzi messi in commercio. Questi valori sono riferiti a condizioni standard del veicolo a cui si aggiunge la massa del guidatore e 20 kg di carburante.

I consumi reali differiscono a volte in modo sensibile rispetto ai consumi dichiarati per cui in COPERT viene eseguita una correzione per ricavare il consumo reale FC_{real} :

$$FC_{real} = a + b \cdot CC + c \cdot m + d \cdot FC_{TA} + Y_{RC} \quad (1)$$

dove a, b, c, d sono coefficienti che dipendono dal tipo di carburante, CC è la cilindrata, m è la massa dichiarata del veicolo, FC_{TA} è il consumo nominale e Y_{RC} è un coefficiente di regressione dipendente dall'anno considerato [12].

Utilizzando questo metodo è quindi possibile ricavare una funzione generale per il consumo di carburante in funzione della velocità v , con parametri che dipendono dalla tecnologia k e, per alcune tipologie di veicoli, tra cui gli autobus, dalla pendenza del percorso p (espressa in classi: < 0.2%, tra 0.2 e 0.4%, tra 0.4 e 0.6% e >0.6%) e dal carico m (0%, 50%, 100%).

Nelle ultime versioni di COPERT tutte le funzioni utilizzate per il calcolo delle emissioni e dei consumi sono state unificate in un'unica funzione generale, di volta in volta semplificata ponendo gli opportuni coefficienti pari a zero [12] [13] [14].

A partire dalla formula generale:

$$E_{k,p,m} = \frac{\alpha_{k,p,m} \cdot v^2 + \beta_{k,p,m} \cdot v + \gamma_{k,p,m} + \frac{\delta_{k,p,m}}{v}}{\varepsilon_{k,p,m} \cdot v^2 + \epsilon_{k,p,m} \cdot v + \eta_{k,p,m}} (1 - Rf_{k,p,m}) \quad (2)$$

si ottiene per il calcolo dei consumi, considerando che il fattore di riduzione $Rf_{k,p,m}$ è sempre pari a 0:

$$E_{k,p,m} \left[\frac{MJ}{km} \right] = \frac{\alpha_{k,p,m} \cdot v^2 + \beta_{k,p,m} \cdot v + \gamma_{k,p,m} + \frac{\delta_{k,p,m}}{v}}{\varepsilon_{k,p,m} \cdot v^2 + \epsilon_{k,p,m} \cdot v + \eta_{k,p,m}} \quad (3)$$

con ulteriori semplificazioni al variare di k , p e m .

4.2.2 Emissioni di Anidride Carbonica (CO₂)

Le emissioni totali di Anidride Carbonica sono date da tre contributi differenti: la combustione di carburante, la combustione dei lubrificanti e l'aggiunta di additivi contenenti carbonio negli scarichi.

CO₂ da combustione di carburante:

La massa di CO₂ emessa dalla combustione di carburante m dalla tecnologia k è associata alla composizione chimica del combustibile e in generale può essere espressa come:

$$E_{CO_2; k, m} = 44.011 \cdot \frac{FC_{k, m}}{12.011 + 1.008 \cdot r_{H:C, m} + 16.0000 \cdot r_{O:C, m}} \quad (4)$$

dove $FC_{k, m}$ è il consumo di carburante e $r_{H:C}$ e $r_{O:C}$ sono rispettivamente i rapporti fra idrogeno e carbonio e ossigeno e carbonio per il combustibile considerato, che possono variare sensibilmente anche a causa della presenza di biocombustibili o del metodo di preparazione del combustibile.

Come già accennato, seguendo le linee guida IPCC, le emissioni di CO₂ da biocombustibile non devono essere considerate, in quanto già tenute in conto nei *repository* associati all'utilizzo del suolo. E' necessaria quindi una correzione all'equazione precedente:

$$\hat{E}_{CO_2; k, m} = E_{CO_2; k, m} \cdot \frac{FC_m^{fossil}}{FC_{k, m}} \quad (5)$$

CO₂ da lubrificanti:

Veicoli nuovi e con una buona manutenzione consumano una quantità limitata di lubrificante, rappresentato dalla sottile pellicola lungo le pareti interne dei cilindri che viene bruciata insieme al carburante. Con l'aumentare dell'età del veicolo è attesa una minore ottimizzazione dell'utilizzo dei lubrificanti e quindi un aumento della loro combustione. Una quantità maggiore di lubrificante è in generale consumata dai motori a due tempi, in quanto l'olio è iniettato o direttamente mescolato al combustibile. Il contributo di emissioni di CO₂ in generale è molto minore rispetto al contributo del combustibile ma deve essere considerato. In generale per il calcolo può essere applicata la stessa metodologia usata per i combustibili, sostituendo al consumo di carburante il consumo di lubrificante.

CO₂ da additivi dello scarico: Nei dispositivi recenti di catalizzazione finalizzati alla riduzione di emissioni di tipo NO_x vengono utilizzate soluzioni a base di urea che producono anche molecole di anidride carbonica che vengono rilasciate in atmosfera. Conoscendo quindi le vendite totali di soluzione a base di urea si può calcolare il contributo degli scarichi alle emissioni di anidride

carbonica. In generale tuttavia questo dato non è conosciuto e viene quindi fornito come una frazione dei consumi di carburante, dipendente dal tipo di tecnologia.

4.2.3 Gli effetti del gradiente nel caso degli autobus

A seconda della disponibilità di dati statistici e di metodologie per calcolare i coefficienti, in COPERT viene scelta per ogni inquinante e per ogni tecnologia la metodologia più accurata applicabile. Per gli autobus le emissioni sono in prevalenza calcolate a partire da coefficienti associati a dati di percorrenza divisi per urbano, extraurbano e autostrade, ma non sono calcolate le emissioni aggiuntive associate alla fase iniziale di riscaldamento del motore.

Fattori di emissione per gli autobus sono ricavati in COPERT a partire dai dati HBEFA [15] [16], disponibili per tutte le categorie EURO 1, ..., 6 e precedenti, e per le due sottocategorie EGR/SCR in EURO 5

Autobus alimentati a gas naturale (sia CNG – Compressed Natural Gas, sia LNG – Liquid Natural Gas) possono essere realizzati con tecnologie differenti e per questo motivo devono sottostare a limiti normativi per le emissioni (EURO II, EURO III ...). Per i veicoli CNG, caratterizzati da basse emissioni di NO_x e PM rispetto al diesel è attualmente in vigore lo standard Enhanced Environmental Vehicles (EEV), rispettato dagli autobus di ultima generazione. In COPERT sono considerati solamente gli autobus alimentati a CNG, per le categorie urbano, extraurbano e autostrade, senza divisione in classi di pendenza o di carico.

A partire dalla formula generale per il calcolo del consumo di energia in [Tabella 7](#) a titolo di esempio sono riportati i parametri relativi ai veicoli diesel Euro 6 con peso tra 15 e 18 Tonnellate per le diverse classi di pendenza e le tre classi di carico:

$$E_{k,p,m} \left[\frac{MJ}{km} \right] = \frac{\alpha_{k,p,m} \cdot v^2 + \beta_{k,p,m} \cdot v + \gamma_{k,p,m} + \frac{\delta_{k,p,m}}{v}}{\epsilon_{k,p,m} \cdot v^2 + \zeta_{k,p,m} \cdot v + \eta_{k,p,m}} \quad (6)$$

Tabella 7 - Coefficienti COPERT per diverse configurazioni della pendenza e del carico per gli autobus urbani con massa tra 15 e 18 Tonnellate.

Pendenza	Carico	Vmin	Vmax	α	β	γ	δ	ϵ	ζ	η
-0.06	0.00	5.0	85.0	-0.003	0.230	-0.971	1.94	0.002	-0.007	0.02
-0.06	0.50	5.0	85.0	-0.003	0.239	-1.075	2.26	0.002	-0.010	0.03
-0.06	1.00	5.0	85.0	-0.003	0.306	-1.501	3.17	0.003	-0.016	0.05
-0.04	0.00	5.0	85.0	-0.007	0.846	-1.822	2.75	0.005	0.014	0.00
-0.04	0.50	5.0	85.0	-0.005	0.541	-1.461	2.01	0.003	0.006	0.00
-0.04	1.00	5.0	85.0	-0.005	0.495	-1.428	1.84	0.003	0.004	0.00
-0.02	0.00	5.0	85.0	0.000	-0.041	2.795	2.65	0.000	0.007	0.15
-0.02	0.50	5.0	85.0	-0.001	1.150	-2.564	3.60	0.005	0.019	0.00
-0.02	1.00	5.0	85.0	0.000	-0.047	3.530	0.63	0.000	0.009	0.13
0.00	0.00	5.0	85.0	0.000	-0.014	2.658	3.26	0.000	0.005	0.13
0.00	0.50	5.0	85.0	0.000	-0.015	5.339	4.33	0.000	0.010	0.21
0.00	1.00	5.0	85.0	0.040	1.904	-3.764	5.30	0.007	0.027	0.00
0.02	0.00	5.0	85.0	0.000	0.043	3.745	5.81	0.000	0.008	0.15
0.02	0.50	5.0	85.0	-0.001	0.095	5.152	6.43	0.000	0.011	0.17
0.02	1.00	5.0	85.0	0.264	3.359	-6.546	8.94	0.017	0.024	0.00
0.04	0.00	5.0	85.0	0.001	0.060	4.381	8.71	0.000	0.006	0.17
0.04	0.50	5.0	85.0	0.009	0.120	8.588	14.86	0.000	0.007	0.29
0.04	1.00	5.0	70.0	0.011	1.541	15.608	11.37	0.000	0.059	0.30

0.06	0.00	5.0	80.0	0.008	0.030	7.109	14.84	0.000	0.003	0.25
0.06	0.50	5.0	65.0	0.246	2.877	-3.054	-11.04	0.009	0.060	-0.19
0.06	1.00	5.0	55.0	-0.007	2.730	17.933	11.82	0.000	0.078	0.27

I parametri sono elencati in [Tabella 7](#) mentre le curve di consumo ottenute sono mostrate in [Figura 17](#).

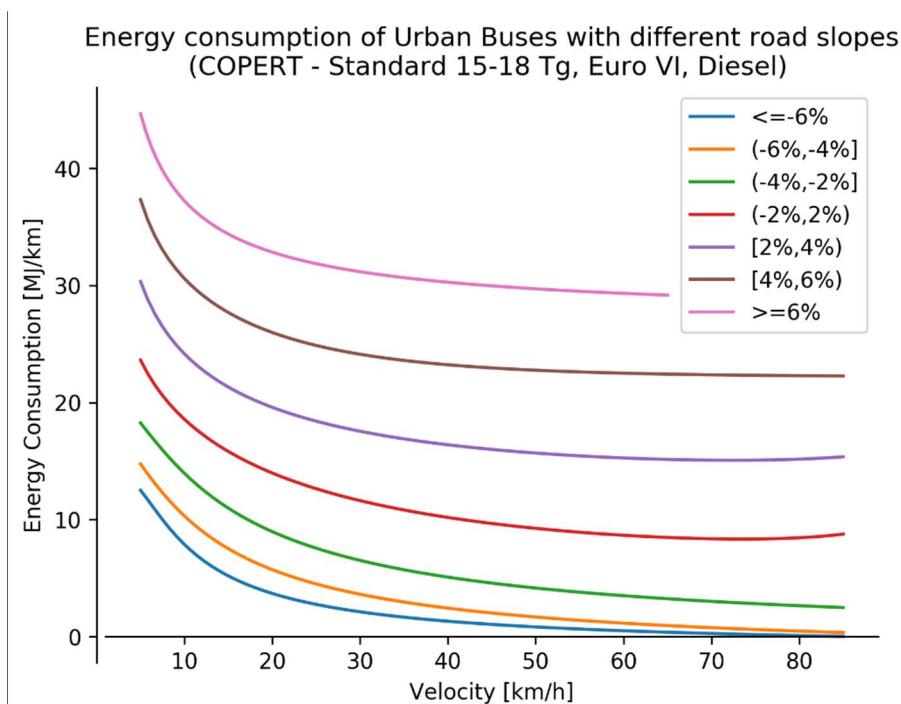


Figura 17 - Curve di consumo espresse in energia (MJ/km) per il range di velocità considerato da COPERT, per gli autobus urbani standard con massa tra 15 e 18 Tonnellate. Ogni curva rappresenta il consumo relativo alla strada caratterizzata dalla pendenza mostrata nella legenda. Tutte le curve sono riferite alla classe di carico del 50%.

Come già accennato, per quanto riguarda gli autobus a gas naturale compresso (CNG) in COPERT non sono considerate tutte le classi di pendenza e di carico, ma viene fornito un unico valore dei coefficienti per tutte le configurazioni.

4.3 Il modello di calcolo del consumo e delle emissioni climalteranti Well-To-Tank

Per avere un quadro completo dal punto di vista energetico e di impatto globale, è importante valutare consumi ed emissioni nelle fasi di estrazione delle materie prime, trasformazione, trasporto fino al serbatoio (dal pozzo al serbatoio – Well To Tank) di tutti i vettori energetici.

Questi consumi ed emissioni di gas climalteranti vengono stimati a partire dai consumi su strada, attraverso fattori di emissione calcolati sulla base di dati internazionali e nazionali.

Di seguito i fattori di emissione e consumo WTT per i diversi vettori energetici, e la descrizione della metodologia utilizzata.

Tabella 8: fattori WTT di emissioni di GHG e di consumo di fonti fossili per vettore energetico

vettore energetico	CO ₂ eq t/tep	EC fossil tep/tep
benzina	0,14	0,047
gasolio	0,21	0,070
biodiesel	0,34	0,140
GPL	0,29	0,097
GNC	0,54	0,170

biometano da FORSU	0,62	0,240
biometano da matrice agricola	-2,31	0,249
E.E.	4,30	0,977

Carburanti tradizionali:

Benzina, Gasolio, Gas Naturale Compresso (GNC) e GPL sono ricavati da petrolio e gas naturale, che quasi sempre vengono trovati insieme, essendosi formati dallo stesso processo di decadimento del materiale organico nel sottosuolo, in giacimenti che possono essere sulla terra o nei fondali marini. Le attività richieste per la loro produzione sono varie: perforazioni, separazione tra petrolio, gas e acqua, riduzione e controllo della pressione, stabilizzazione del greggio e trattamento del gas, stoccaggio presso le piattaforme. Tutte queste operazioni richiedono energia e hanno emissioni fugitive di metano, potente gas serra. Il metano viene emesso anche durante il processo di venting e flaring dei giacimenti nella fase di riduzione della pressione per motivi di sicurezza.

Il trasporto del petrolio viene fatto attraverso condotte o navi petroliere, il gas in genere viene immesso in gasdotti o liquefatto a basse temperature e trasportato con navi gasiere a doppia chiglia per l'isolamento termico. Queste fasi richiedono consumi energetici, e per il GNC comportano emissioni di metano da perdite lungo la rete del gas e nelle stazioni di pompaggio.

I fattori di consumo ed emissione di GHG di queste fasi (dal pozzo alla trasformazione – WTP) vengono stimati da dati del Report JRC-CONCAWE WTT [17] e la sua Appendice 2 [18], sulla base delle percentuali di importazioni italiane da vari paesi, secondo quanto pubblicato dall'Unione Petrolifera [19].

Il petrolio deve poi essere trasformato in benzina e gasolio: i fattori di consumo di energia e di emissione di GHG vengono calcolati a partire dall'Inventario delle Emissioni di GHG di ISPRA [20], sulla base dei dati di produzione contenuti nel Bilancio Energetico Nazionale, pubblicato annualmente dal Ministero dello Sviluppo Economico [21].

I carburanti vengono trasportati dalle raffinerie fino ai depositi, e poi ai distributori per la vendita, sia attraverso condotte che attraverso veicoli stradali. Per consumi e emissioni di GHG di questa fase vengono assunti i coefficienti del JRC che valuta il mix di modi di trasporto, comprendendo anche l'energia elettrica delle stazioni di servizio. Questi fattori sono pubblicati nell'Appendice 2 del Rapporto JRC.

Il gas, invece, non deve subire ulteriori trasformazioni: viene importato in Italia (il 93% del totale consumato) attraverso 4 gasdotti internazionali. I consumi e le emissioni sono legate alle operazioni di pompaggio nella rete e di compressione nelle stazioni di servizio. I dati per questa fase sono mutuati dai rapporti ISPRA.

Infine, il GPL consumato in Italia può essere considerato per metà di importazione, sulla base del BEN, per cui i fattori di emissioni e consumo sono stati mediati tra quelli del JRC per la quota internazionale e quelli di ISPRA per la parte di produzione nazionale.

Biocarburanti:

I biocarburanti possono essere prodotti da una molteplicità di materie prime e attraverso diversi processi di trasformazione, con emissioni e consumi diversi, per i quali valgono, in generale, i dati del JRC, anche se non sono recenti. Dove possibile vengono usate pubblicazioni più aggiornate.

I fattori per questi carburanti sono, quindi, stimati in prima battuta sui dati JRC, sulla base dei consumi finali pubblicati dal Gestore dei Servizi Elettrici (GSE) [22]. Il GSE, infatti, ha l'incarico, per obblighi comunitari, di pubblicare annualmente i consumi da fonti rinnovabili nei trasporti, contabilizzando le importazioni, e nel caso di produzione nazionale, le materie prime utilizzate e il paese d'origine.

Nel caso italiano, il problema di valutare gli impatti WTT non è particolarmente gravoso, perché ad oggi viene usato quasi esclusivamente biodiesel.

Il biodiesel - FAME (Fatty Acid Methyl Ester - Metilestere di Acidi Grassi) - è un combustibile composto da una miscela di esteri alchilici di acidi grassi, ottenuta attraverso un processo di transesterificazione di oli in esteri, rimuovendo gli acidi grassi liberi. Gli oli utilizzati per la sua produzione possono essere oli vegetali vergini (olio di colza, soia, canapa, senape, olio di palma e alghe), olio vegetale di scarto, o grassi animali.

In generale, in Italia, il biodiesel utilizzato è prodotto per più della metà da derivati della lavorazione di oli vegetali - principalmente derivati dalla lavorazione di olio di palma e per circa il 30% da oli e grassi animali. Solo l'8% è prodotto da oli alimentari esausti.

Il biogas per autotrazione, detto più semplicemente biometano, può essere prodotto attraverso vari processi e da differenti matrici biologiche, e deve poi essere sottoposto a più fasi di purificazione per poter essere immesso in rete ed utilizzato come carburante.

Secondo il rapporto del GSE, il consumo di biometano in Italia è trascurabile, ma sono previsti target e politiche di incentivazione nel Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, e esistono già decreti per stimolarne la produzione e l'immissione in rete. Ci sono grandi potenzialità nel nostro Paese, soprattutto per la produzione di biometano da impianti di digestione delle deiezioni animali. Questo biocarburante ha emissioni di GHG negative, per cui è particolarmente vantaggioso in termini di cambiamenti climatici. Attualmente, però, gli impianti di produzione esistenti vengono utilizzati per produrre energia elettrica per autoconsumo, come si può evincere anche dalle statistiche del BEN, mentre il poco biometano prodotto in Italia è da rifiuti urbani (FORSU), molto meno vantaggioso in termini di GHG.

Per completezza, vengono dati i valori per entrambe le tipologie di produzione, da FORSU e da matrice agricola, stimati sulla base dei fattori del JRC, ribadendo che nulla è stato ancora usato nel settore dei trasporti secondo le statistiche nazionali.

Energia elettrica;

L'energia elettrica consumata in Italia è prodotta per il 57% da fonti tradizionali, per il 31% da fonti rinnovabili, mentre il restante 11% è il saldo tra import-export con l'estero, come riportano le statistiche di TERNA e del MiSE.

Le fonti energetiche primarie utilizzate nelle centrali termoelettriche sono il gas naturale, usato per quasi il 70% della produzione termoelettrica, il carbone e in minima parte rifiuti non riciclabili, essenzialmente urbani, e prodotti petroliferi.

L'energia elettrica importata, pari all'11% dei consumi totali, è per quasi il 90% proveniente da Francia e Svizzera, prodotta prevalentemente da centrali nucleari.

Per i consumi ed emissioni della fase di produzione di queste materie prime (estrazione gas e carbone etc.), sono stati usati i fattori di emissione del JRC, pesati sulle percentuali di elettricità immessa in rete, secondo i dati TERNA [23].

Per i consumi e i GHG della fase di produzione dell'energia elettrica, valgono i dati di efficienza della produzione termoelettrica e dei fattori di emissioni di GHG del rapporto ISPRA su produzione e consumo di energia elettrica in Italia [24], e la quota dell'energia prodotta da fonti rinnovabili (FER) – principalmente da centrali idroelettriche (35%) e impianti fotovoltaici (23%) – e immessa in rete, secondo le statistiche TERNA.

Deve essere poi considerata una quota percentuale di consumo ed emissione dovuta a perdite di rete – dato TERNA – e di perdite in fase di ricarica delle batterie.

5 Conclusioni

Per far fronte all'aggravarsi dei fenomeni urbani di congestione, inquinamento e spreco energetico non basta la semplice sostituzione dell'attuale flotta di veicoli a combustione interna, con veicoli elettrici di pari dimensioni e caratteristiche.

L'equilibrio sostenibile tra domanda e offerta di trasporto nelle città va ricercato attraverso l'adozione di un pacchetto di misure che intervengano in maniera sinergica su diversi ambiti: dalle prestazioni dei veicoli, al riequilibrio modale verso forme più sostenibili, alla riduzione delle percorrenze attraverso, ad esempio, la pianificazione integrata trasporti-territorio e la gestione ottima delle flotte e dei viaggi.

In questa prospettiva, l'attività di ricerca svolta nel corso dell'annualità 2019 pone le basi per la costruzione di una moderna piattaforma di supporto decisioni per Amministratori ed Operatori del trasporto nelle città, volta a individuare mediante processi analitici politiche e interventi atti a favorire la transizione verso un modello di Smart Mobility energeticamente efficiente e a bassa intensità di carbonio.

La piattaforma è ideata per processare grandi quantità di tracce digitali di viaggi automobilisti, elaborare gli open data in formato GTFS che descrivono percorsi, fermate e orari dei servizi di trasporto pubblico locale e i dati di domanda ed offerta degli operatori della distribuzione urbana delle merci, simulare catene di spostamenti e percorsi su base settimanale, calcolare i consumi energetici disaggregati per vettore energetico e modo di trasporto e di stimare le emissioni di gas serra considerando l'intero ciclo di vita dei vettori energetici utilizzati.

In tal senso, può essere considerata uno strumento innovativo, allineato con le potenzialità di analisi e intervento, anche in tempo reale, dell'era BiG Data provenienti dai devices per le comunicazioni interpersonali e il collegamento M2M (IoT).

6 Appendice I: logistica e tecnologia per l'ultimo miglio delle merci

La cosiddetta "consegna dell'ultimo miglio" è l'ultimo anello della catena di approvvigionamento per la consegna delle merci al destinatario finale: un esercizio commerciale, un ufficio pubblico, un utente privato. Il servizio di consegna di ultimo miglio libera i clienti dalla necessità dello spostamento per il ritiro dei loro acquisti, alleviando così le aree del centro dalla congestione del traffico da auto private. Per contro tale servizio genera nuovo traffico di veicoli per trasporto merci. Rispetto al traffico privato, però, il servizio di consegna, che spesso fa capo ad operatori organizzati, ha maggiori margini per poter essere gestito ed ottimizzato.

L'ultima fase della consegna è una fase particolarmente complicata del processo, anche perché influenzata da una serie di fattori esterni: traffico stradale e buon esito della consegna del pacco presso il destinatario, solo per citare i principali. La consegna di ultimo miglio, oltre ad essere una delle principali preoccupazioni per gli amministratori locali in relazione alle ricadute negative su circolazione stradale e qualità dell'aria, rappresenta il fulcro di interesse per molte strategie aziendali, sia perché da essa dipende in buona parte la soddisfazione del cliente finale sia per il peso economico che questa fase ricopre sull'intero processo. In base ad alcune stime, infatti, la consegna di ultimo miglio rappresenterebbe tra il 20% [25] e il 28% [26] del costo totale della catena di approvvigionamento. Questa sproporzione è dovuta alla parcellizzazione di questa tipologia di consegna e al contesto urbano particolarmente complesso e poco prevedibile.

6.1 Soluzioni organizzative

Dati i vincoli economici cui le aziende devono far fronte, l'organizzazione delle consegne ha un'importanza cruciale e la scelta tra le opzioni logistiche e tecnologiche per primo/ultimo/unico miglio (F / L / O mile) renderà il processo di trasporto più efficiente. Nel settore della logistica, il luogo di raccolta delle merci ai fini del loro smistamento verso le destinazioni finali rappresenta il nodo di collegamento fra mittenti e destinatari. In prossimità dei luoghi di origine, le merci vengono raggruppate per poi essere assegnate alle diverse rotte di viaggio in relazione alla destinazione finale di ciascuna di esse. Quando tale destinazione si trova all'interno di un centro urbano, è possibile pensare di inserire una seconda fase di consolidamento/distribuzione in modo che il trasporto e la consegna in città sia effettuata con veicoli di minori dimensioni e secondo giri di consegna organizzati per zone, così da ridurre le percorrenze all'interno della viabilità cittadina. In sostanza, si applica alla distribuzione delle merci un'organizzazione del trasporto ben nota nel settore del trasporto aereo, che va sotto la denominazione di "hub&spokes" [27].

L'introduzione di un'ennesima fase di trasferimento e trasporto per l'ultimo miglio nelle aree urbane aggiunge un onere economico che deve essere attentamente ponderato. Il trasferimento della merce, infatti, specie se effettuato su veicoli più ecologici, ha sicuramente senso da un punto di vista sociale, ma spesso non è efficiente sotto il profilo dei costi.

La localizzazione delle piattaforme logistiche nelle quali trasbordare le merci su veicoli di minori dimensioni e più flessibili per circolare nei centri storici delle città, in combinazione con il dimensionamento delle flotte adibite alla distribuzione urbana, acquisisce una rilevanza strategica nel determinare l'efficienza del sistema di distribuzione, così come peraltro l'applicazione di soluzioni di tipo "drop-point", ossia l'istituzione di piccoli depositi, come armadietti, localizzati in punti di transito molto frequentati, come ad esempio le stazioni ferroviarie, o presso negozi di quartiere, che fungano da punti di consegna di prossimità. La diffusione di questi "micro-hub" consentirebbe all'operatore di ridurre il numero e la dispersione dei punti di recapito, nonché le evenienze di mancata consegna per assenza del destinatario o per mancato rispetto degli orari concordati, consentendo comunque la riduzione dell'onere individuale e sociale del trasporto urbano delle merci, essendo i drop-point sufficientemente diffusi da consentire il prelievo della merce da parte del destinatario senza dover ricorrere all'uso di veicoli motorizzati.

Le diverse soluzioni che si prospettano per ridurre l'onere della logistica urbana di ultimo miglio, vede, tra le possibili alternative, oltre ai già citati "drop-point", anche soluzioni collaborative e cooperative tra operatori del settore [26].

Solitamente, infatti, per l'ultimo miglio della distribuzione il corriere iniziale affida la merce ad un diverso soggetto logistico, pagando ad esso una commissione. La ridondanza di offerta di questa tipologia di servizio, comporta una estrema parcellizzazione delle operazioni di trasporto e recapito finale, determinando la moltiplicazione dei viaggi e la riduzione dei fattori di carico dei veicoli.

Si potrebbe ottenere una efficienza molto maggiore se si istituisse una collaborazione fra gli operatori delle consegne [25]. Operativamente, le merci destinate all'area urbana potrebbero essere raccolte in strutture "neutrali" (organizzate eventualmente dalle Amministrazioni locali) ed assegnate agli operatori dell'ultimo miglio in base, per esempio, ad spartizione del territorio per zone, anche tenendo delle potenzialità e delle specificità di ciascun operatore. Oppure, la stessa Amministrazione locale potrebbe dotare queste strutture "neutrali" di flotte particolarmente adatte alla circolazione in città, appaltando poi il servizio di distribuzione in base a procedure di gara. In questo modo invece di avere spedizioni e consegne separate, si avrebbero spedizioni aggregate e consegne combinate, che anche per il destinatario si traducono in un aumento della produttività. Le piattaforme di consegna che orchestrano i diversi attori della catena di fornitura potrebbero essere un elemento importante, principalmente nelle aree densamente popolate. In questo caso l'infrastruttura assume la denominazione di Urban Consolidation Centre (UCC).

La redditività economica di queste "facilities" è tutt'altro che garantita. La nota di Civitas sulla logistica urbana [28] giunge a una conclusione analoga, affermando che "storicamente, il tasso di successo di tali misure è inferiore alle aspettative". Anche il progetto Cicelogistica [29] afferma: "Secondo le amministrazioni cittadine nel progetto Cicelogistica, una piattaforma per lo shopping o la consegna a domicilio raramente può sopravvivere senza il sostegno della città". Sembra che cambiamenti di successo siano possibili solo nei mercati di nicchia; ad esempio il PostNL nella città di Amsterdam, in cui le merci sono distribuite con utilizzo di bici da carico, rappresenta una soluzione economica e flessibile per la consegna di piccoli pacchi nelle aree urbane dense. Tuttavia, è meno adatta a viaggi più lunghi e carichi pesanti o ingombranti a causa dello spazio di carico limitato e delle limitazioni sul peso. Una certa redditività economica risulta possibile in presenza di forti economie di scala, ossia quando si verifica un'alta concentrazione di punti di consegna in cui diversi corrieri effettuano molte piccole consegne; un esempio di successo in questo senso è dato dal centro commerciale di Göteborg.

Per incentivare la diffusione di soluzioni cooperative, le autorità pubbliche possono adottare sistemi di *pricing* per l'internalizzazione dei costi esterni in capo alle modalità meno performanti, imponendo tasse aggiuntive per trasporti che non utilizzano i servizi cooperativi di logistica urbana. Questo viene fatto, ad esempio, in Italia e nello specifico a Lucca. Diverse città europee hanno introdotto un sistema di pedaggio per l'accesso dei veicoli merci all'interno delle aree centrali, in genere per alleviare la congestione e il traffico, ma di fatto incentivando l'utilizzo degli UCC. Inoltre le autorità, per limitare gli impatti della distribuzione delle merci, possono imporre finestre temporali di accesso o norme sul traffico urbano relative al tipo di veicoli che possono entrare in determinate aree [26].

6.2 Innovazione tecnologica

Il trasporto delle merci, anche quello realizzato con i furgoni, utilizza in larghissima maggioranza veicoli a combustione, pesando per il 30% sulle emissioni nelle città [26]. Il rinnovo delle flotte con veicoli puliti o a basse emissioni rappresenta una formidabile opportunità verso la riduzione sostanziale dell'inquinamento urbano e i vantaggi saranno tanto maggiori quanto più crescerà la domanda di consegne di ultimo miglio, spinta dall'e-commerce. Con questa consapevolezza operatori e costruttori cominciano a considerare soluzioni di trasporto più sostenibili, come bici da carico e furgoni elettrici. Le prime, caratterizzate da costi modesti, sono fortemente limitate in termini di percorrenze e di pesi trasportabili; i furgoni elettrici per contro soffrono meno questi limiti ma hanno dei costi decisamente importanti in fase di acquisto.

Era appena il 2011, quando la commercializzazione della Nissan Leaf segnò l'inizio di una nuova era tecnologica per il trasporto stradale. Presto arrivarono versioni di veicoli elettrici commerciali come la Renault Kangoo Electric o la Nissan e NV200. Allora gli esperti dell'ultimo miglio o i gestori di flotte avevano poca dimestichezza con le tecnologie elettriche e il loro potenziale impiego. Solo negli anni successivi, con la commercializzazione di nuovi modelli e una crescente attenzione anche da parte delle Amministrazioni locali

e centrali all'alternativa elettrica come possibile soluzione per la mitigazione degli impatti energetici ed ambientali del trasporto urbano, è stato possibile allargare la prospettiva di utilizzo di questi veicoli e le opportunità ad essa collegate che si andavano prospettando per degli operatori del settore.

Dal punto di vista delle esternalità negative generate dai trasporti è evidente che in fase d'uso, i veicoli elettrici garantiscono il contenimento del rumore e delle emissioni nocive in atmosfera. Altri vantaggi ad essi correlabili sono individuati in minori costi di operatività, dato che sia la manutenzione sia il rifornimento costerebbero meno rispetto ad un veicolo tradizionale, a parità di condizioni operative ipotizzabili all'interno di una fascia urbana. I principali ostacoli al loro decollo, tuttavia sono rintracciabili nell'elevato costo di investimento iniziale quantificabile in circa il 50% in più rispetto ad un veicolo tradizionale, l'assenza di una adeguata rete di infrastrutture per la ricarica, la spesso immotivata percezione di una insufficiente autonomia delle batterie ed infine il basso appeal dei pochi modelli esistenti, talvolta anche limitati nello spazio utilizzabile per le consegne [30]. Per superare questi ostacoli le autorità possono mettere in campo sussidi in grado di compensare almeno in parte il maggior esborso iniziale, consentendo dall'altro lato di avviare la riduzione della spesa sanitaria grazie al miglioramento della qualità dell'aria, ciò almeno fino a quando il mercato avrà raggiunto un equilibrio tra i prezzi dei veicoli elettrici e quelli dei veicoli tradizionali. Importanti criticità legate alla fase produttiva e post-uso degli accumuli elettrochimici rimangono tuttavia ancora irrisolte. Le batterie disponibili sono, nonostante i miglioramenti tecnologici, pesanti e ingombranti quindi sottraggono portata e volume di carico. Inoltre, al momento, manca la soluzione tecnica per rendere i tempi di ricarica delle batterie confrontabili con quelli del rifornimento di un veicolo a combustione interna, così da ridurre i costi di esercizio e rendere i veicoli commerciali e industriali elettrici ancora più attraenti.

L'evoluzione tecnologica e di costo, soprattutto delle batterie, tendenzialmente renderà negli anni a venire, i veicoli elettrici commerciali e industriali più accessibili. L'impatto che questa trasformazione avrà sulla mobilità delle merci e sul sistema produttivo europeo dipenderà molto anche dalle politiche infrastrutturali e dalle scelte industriali dei costruttori. I paesi asiatici, e in particolare la Cina, stanno dimostrando una straordinaria vivacità e propensione verso l'elettrico, che potrebbe determinare nel medio-lungo termine un gap competitivo che l'Europa e gli Stati Uniti faranno fatica a colmare [31].

Non solo l'innovazione dei veicoli ma anche quella della telematica può avere una grande rilevanza nella riprogettazione dei sistemi logistici per la distribuzione dell'ultimo miglio, e del trasporto merci più in generale; man mano che cresce la connessione delle cose (Internet of Things – IoT), crescono le possibilità di gestire i processi in maniera più informata ed efficiente.

Le diverse parti di una flotta si potranno collegare in modo intelligente e i depositi saranno in grado di gestire i veicoli in entrata e in uscita in modo più efficace e ottimizzare i movimenti di pallet e carichi.

Clienti, conducenti e gestori della catena di approvvigionamento sono pronti a raccogliere i frutti dell'integrazione IoT, con flotte in grado di segnalare i problemi più rapidamente che mai, consegne sempre più tempestive e tracciabili, migliorando le relazioni tra le parti interessate. Saranno necessari meno viaggi e si ridurranno i costi operativi e le esternalità negative.

Dalle piattaforme di servizi delle case produttrici di veicoli ai sistemi gestionali sviluppati da aziende indipendenti, anche in collaborazione con gli operatori del mercato, la panoramica delle soluzioni telematiche rivolte ai servizi di ultimo miglio è già molto ampia, e mira a risolvere alcune questioni cruciali del settore come, ad esempio, la necessità di giungere in tempi ottimizzati sui diversi luoghi di consegna e di evitare punti critici di traffico, o la possibilità di pianificare in tempo reale percorsi alternativi, organizzare in anticipo le consegne cercando di concentrare quelle destinate ad una medesima zona. Tali strategie consentiranno di risparmiare energia, suddividere meglio il lavoro tra i vari trasportatori ed offrire un servizio di maggiore qualità, creando le premesse per l'economicità della consegna di ultimo miglio.

In attesa della commercializzazione dei veicoli a guida autonoma, i "connected Vehicles" sono già realtà: sistemi complessi costituiti da un insieme di Electronic Control Units (ECU) collegate tra di loro tramite una rete.

Le tecnologie alla base di questi sistemi sono protocolli che permettono diversi tipi di comunicazione: vehicle-to-vehicle (V2V); vehicle-to-infrastructure (V2I); vehicle-to-everything (V2X).

Le informazioni – che possono essere distinte in on-board data e on-road data – vengono trasmesse sotto forma di messaggi che, a seconda del contenuto o della circostanza in presenza della quale sono generati e inviati, prendono il nome di Cooperative Awareness Messages (CAM); oppure di Decentralised Environmental Notification Messages (DENM)[?].

I “veicoli connessi” elaborano, pertanto, molte informazioni: dai dati tecnici sullo stato del veicolo o relativi al suo uso (velocità, occupazione del sedile o stato di manutenzione), a quelli sulle condizioni del manto stradale e meteorologici, o sulla presenza di pedoni o di altri veicoli; oppure alle informazioni relative all’ubicazione, al proprietario o utilizzatore. Inoltre, ulteriori dati vengono immessi nel sistema dagli smart device degli utilizzatori dei veicoli. E ancora: talune funzionalità avanzate potrebbero consentire l’elaborazione di dati biometrici, sia per l’autenticazione del guidatore o utilizzatore del veicolo che per il monitoraggio di alcuni suoi parametri psicofisiologici.

In sostanza, un insieme di sensori installati a bordo invia continuamente ad un hub di raccolta dati informazioni riguardanti moltissimi aspetti del veicolo:

- livelli di funzionamento delle componenti cruciali del veicolo: motore, batteria, pneumatici, circuiti elettrici ed idraulici
- livelli di consumo energetico e delle emissioni nocive per l’ambiente
- posizione e velocità
- carico di merce

Dai “veicoli connessi” allo sviluppo di servizi ad essi dedicati il passo è breve ed obbligato.

L’IoT sta rivoluzionando le attività di gestione delle flotte e delle merci, dotando gli operatori di nuove funzionalità in grado di aumentare la loro efficienza operativa, convenienza, sicurezza e ridurre i costi complessivi. Utilizzando l’IoT, gli operatori di flotte veicolari possono:

- Ottimizzare le operazioni di manutenzione del veicolo e di logistica del trasporto
- Migliorare la sicurezza e le prestazioni ambientali dei veicoli
- Ridurre i consumi energetici attraverso un impiego adeguato del singolo veicolo e della flotta
- Monitorare il comportamento dei conducenti
- Semplificare le operazioni, migliorare la pianificazione, migliorare l’accuratezza della fatturazione, migliorare la gestione dei tempi e ridurre le pratiche burocratiche
- Aumentare la visibilità aziendale complessiva attraverso report e monitoraggio efficiente del veicolo
- Migliore soddisfazione del cliente attraverso consegne puntuali e una migliore qualità del servizio

Per ottenere il massimo ritorno dalle soluzioni di gestione della flotta abilitate attraverso l’IoT, gli operatori devono dotare i loro veicoli di tecnologie e sensori wireless mentre OEM e fornitori di servizi telematici coinvolti nello sviluppo delle soluzioni IoT devono garantire la compatibilità e la scalabilità degli standard, una connettività affidabile alle reti cellulari su varie reti come 2G, 3G e 4G / LTE e implementare e utilizzare i giusti protocolli e soluzioni di interoperabilità

La tecnologia dell’IoT coinvolge anche la gestione dei depositi di merci e delle piattaforme di consolidamento e distribuzione.

Gestori dei nodi della catena logistica che introducono soluzioni IoT ottengono miglioramenti significativi. Sebbene il tracciamento delle risorse non sia una nuova idea, le nuove tecnologie forniscono dati di tracciamento più precisi e accurati dei singoli articoli rispetto alla scansione periodica di codici a barre. In particolare, i tag RFID consentono di tracciare con precisione gli articoli in qualsiasi punto del viaggio di consegna.

I gestori di depositi possono utilizzare l'IoT per massimizzare la loro capacità di immagazzinamento analizzando le quantità di scorte in tempo reale e elaborando nuovi modi per massimizzare l'efficienza.

I requisiti normativi sono una parte importante delle prestazioni della catena di approvvigionamento; i dati IoT sono accessibili su richiesta ed eliminano gli errori umani, portando spesso a significative riduzioni dei costi e un sistema di magazzino più produttivo.

Inoltre, la connettività IoT è interamente scalabile, quindi il sistema cresce con l'Azienda stessa.

Mentre la tecnologia attuale si basa sul crunching manuale dei numeri per identificare le tendenze del business, l'utilizzo dell'IA incrementerà i profitti mettendo l'Azienda in grado di rispondere ai cambiamenti quasi all'istante. I depositi saranno anche in grado di reindirizzare flotte e singoli pacchetti verso rotte alternative per mantenere gli SLA, l'efficienza e la soddisfazione del cliente.

7 Appendice II: il mercato dei veicoli elettrici per l'ultimo miglio delle merci

7.1 Furgoni.....

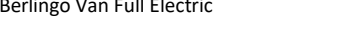
Le politiche industriali dei costruttori dei veicoli stradali sono attualmente influenzate da normative ambientali sempre più stringenti che li spingono a proporre modelli di veicoli elettrici, anche per quanto riguarda i veicoli commerciali leggeri. In ciò spinti dalla rivoluzione dell' e-commerce, che in pratica sta modificando il peso relativo della mobilità delle merci rispetto alla mobilità delle persone, facendola divenire una fetta di mercato da "aggredire" con decisione, proponendo oltre a nuovi modelli veicolari, anche nuovi servizi a valore aggiunto.

I modelli attualmente in commercio puntano su accumuli in grado di garantire percorrenze quotidiane tarate mediamente sui 100-200 km, che combaciano con quelle mediamente percorse da un trasportatore che si muova prevalentemente in area urbana, e la cui capacità energetica può essere ripristinata durante le ore notturne senza dover impegnare potenze troppo elevate. Le aree urbane si prestano ad essere il banco di prova ideale per i veicoli commerciali leggeri elettrici per vari motivi, ossia la loro limitata autonomia, l'attuale modesta estensione di una adeguata rete di ricarica e la facilitazione per l'accesso nelle ZTL e minore esposizione al rischio di blocchi alla circolazione. In generale ai veicoli elettrici viene associata una maggiore fluidità della guida, data dall'assenza del cambio e dal problema delle accensioni e spegnimenti continui durante le consegne ravvicinate, alleggerendo così lo stress per il guidatore, inoltre la meccanica essenziale consentirebbe di ridurre tempi e costi della manutenzione e dei tagliandi (circa il 30% meno oneroso). La garanzia delle batterie ormai non sono mai inferiori ai 5 anni o 100.000 km, che sono i termini entro i quali viene garantito il mantenimento di prestazioni ed efficienza, tale periodo coincide anche con la durata dei contratti di noleggio a lungo termine, solitamente non superiori ai 4 anni.

Nel 2019 sono arrivati quattro nuovi modelli di furgoni elettrici o plug-in: Mercedes-Benz e-Sprinter ed eVito, Renault Master Z.E. e Ford Transit Custom plug-in. Questi si aggiungono a un'ormai ampia offerta di veicoli a zero emissioni disponibili nel mercato europeo fra cui il recentissimo Volkswagen e-Crafter, e altri più conosciuti come Nissan eNV200, Renault Kangoo Z.E., Citroën Berlingo Van Full Electric e Peugeot Partner Full Electric, Piaggio Porter Electric Power, Twizy Cargo, Streetscooter Work, Work L e XL i furgoni elettrici compatti Alkè [32].

La tabella di seguito riporta alcune tipologie veicolari proposte recentemente al mercato. Quasi tutte le case costruttrici offrono adeguate garanzie per gli accumuli di bordo che vanno dai 4 ai 10 anni e almeno due equipaggiamenti per le batterie, che generalmente possono essere ricaricate sia con wallbox in corrente alternata, richiedendo svariate ore e quindi adatto per le ricariche durante le ore notturne sia con stazioni di ricarica più potenti in corrente continua che richiedono tempi più brevi.

Tabella 9: Panoramica di mercato per i furgoni elettrici

Veicoli	Capacità accumulo	Autonomia max WLTP	Ricarica	Capacità di carico	Costo al netto dell'IVA
e-Vito 	41 kWh	100-150 km	Slow Charge: 6h con Wallbox da 7 kW AC	1.073 - 1.048 kg	40.990 €
			Fast Charge: 80% della capacità in 45 min	6 - 6,6 m3	
e-Sprinter 	41-55 kWh	115-150 km	Slow Charge: 6h - 8h con Wallbox da 7 kW AC	1.040-900 kg	n.d.
Kangoo Z.E. 	33 kWh	230 km	Slow Charge: 6h con Wallbox da 7 kW AC	4,6 m3	24.000 € + batterie a noleggio
Master Z.E. 	33 kWh	185 km	Slow Charge: 6h con Wallbox da 7,4 kW AC	8-13 m3	58.400-60.600 €
e-Crafter 	36 kWh	160 km	Slow Charge: 7,5 h con Wallbox da 7,2 kW AC	10,7 m3 e 998 kg	53.900 €
			Fast Charge: 44 kW DC per ricaricare l'80% in 45 min		
e-NV200 	40 kWh	200 km	Fast Charge: 50 kW DC per ricaricare fino all'80% in 1 h	701 kg	42.990 €
Berlingo Van Full Electric 	45 kWh	170 km	Slow Charge: 8,5 h con Wallbox da 7 kW AC	4,1 m3	27.630 €

					
Alkè 	Varie soluzioni	150 km	Varie soluzioni	1.630 kg	Varie soluzioni
Work-L 	40 kWh	n.d.	Slow Charge: 5 h con Wallbox da 11 kW AC	4-7,7 m3	38.450 €
e-Expert 	50-75 kWh	200-300 km	n.d.	n.d.	n.d.
Ducato electric 	47-79 kWh	160 km	n.d.	10-17 m3 e fino a 1.950 kg	n.d.

Alcune aziende stanno proponendo anche veicoli alimentati ad idrogeno come il Master Z.E. Hydrogen e il Kangoo Z.E. Hydrogen del gruppo Renault, si tratta di veicoli dotati di celle a combustibile in grado di fornire fino a 10 kW di potenza elettrica e garantire fino a 350 km di autonomia e tempi ridotti per la ricarica dell'idrogeno, pari a circa 5-10 minuti. Per queste versioni il prezzo orientativo è di 48.300€ + IVA. Altri produttori puntano su veicoli elettrici a guida autonoma [33].

7.2 e non solo

Una forte spinta all'evoluzione della logistica urbana viene fornita dalla crescita dell'e-commerce, cui è attribuibile anche lo sdoganamento dell'uso di mezzi di trasporto merci di limitate dimensioni e capacità di carico, come biciclette e tricicli, droni e robot, per effettuare consegne di piccole dimensioni entro ambiti ristretti come quelli urbani. In uno scenario ancora più innovativo, anche la stampa 3D direttamente presso la sede dell'acquirente potrà diventare una modalità di consegna merci più diffusa, rendendo possibile la virtualizzazione del trasporto merci al pari di ciò che stanno facendo il telelavoro ed i teleservizi con la mobilità delle persone.

L'uso delle biciclette da trasporto può essere fatto risalire all'inizio del XX secolo, quando erano utilizzate dai commercianti per le consegne locali, ma le attuali bici da carico vantano una differenza sostanziale rispetto

alle loro antenate: infatti, le moderne bici o addirittura trike (tricipli) possono essere elettrificate e modulari. Ciò facilita lo svolgimento delle consegne e, considerando il numero di biciclette elettriche da carico che attualmente lavorano con le compagnie postali, si può dire che le due/tre ruote sono ritornate di nuovo in auge. L'Armadillo di Velove, ad esempio, è utilizzato da numerosi operatori delle consegne, tra cui DHL, DB Schenker, Deutsche Post, DPD, Hermes e Swiss Post. Centaur Cargo ha sviluppato una bici da carico modulare per la Royal PostNL e AN Post mentre Coolblue e Truck Trike collaborano con Urban Arrow ed una società con sede a Portland sta lavorando con UPS [34].

L'uso delle biciclette da carico potrebbe essere allargato ad altri numerosi servizi, oltre che alla distribuzione di piccoli colli, come, ad esempio, quello del Cyclo Plombier, società idraulica che gira per Parigi in bici da carico. Questa scelta consente agli operatori di trasportare tutti i loro strumenti eliminando i costi del carburante, del parcheggio, delle riparazioni e tutto lo stress a ciò associato.

A Groningen, trike non elettrici erano presenti già molto prima che le locuzioni "Mobility-As-A-Service" o "sharing economy" fossero coniate. Questi trike molto caratteristici sono diventati un'istituzione cittadina, disponibili per il noleggio a soli € 12 per mezza giornata. La richiesta più elevata per i trike cargo è in genere per esigenze di mobilità individuale, soprattutto di studenti universitari. In effetti, per la consegna di merci, i prezzi praticati dalle start-up di veicoli elettrici leggeri sono più elevati di quelli offerti da fornitori tradizionali che impiegano furgoni e camion, verso i quali rimangono maggiormente orientati tutti gli attuali processi della logistica. Quindi, anche se le bici da carico rappresentano un buon modo di esplorare soluzioni commerciali sostenibili, ci vorrà più lavoro e tempo per renderle una modalità di trasporto capace di offrire un servizio competitivo con quello di furgoni e camion.

Numerose aziende stanno sviluppando servizi di consegna con droni per piccoli carichi, tra cui Matternet (2 kg per 20 km), ZipLine (1,8 kg per 80 km), Flirtey. La filiale DPDgroup del gruppo francese La Poste ha recentemente aperto la sua seconda linea commerciale per consegnare pacchi a media altitudine nelle Alpi, utilizzando un drone in grado di trasportare 2 kg fino a 15 km. Le Poste Svizzere hanno collaborato con Matternet per fornire forniture mediche, anche se si sono fermate dopo due incidenti. Alphabet (la società madre di Google) e Amazon hanno ricevuto l'autorizzazione dalla Federal Aviation Administration degli Stati Uniti per gestire i loro droni e hanno iniziato a consegnare tramite le loro filiali, rispettivamente con PrimeAir (2,5 kg su 25 km) e Wing Aviation (2,5 kg su 25 km).

L'opzione che vedrebbe l'impiego dei droni per le consegne è al centro di diversi studi riassunti nel documento dell'Agenzia Europea per l'Energia EEA [26], hanno riscontrato effetti positivi per le emissioni di gas a effetto serra dei droni rispetto ai motocicli e anche rispetto ai furgoni ma condizione che le spedizioni siano piccole e vicine al centro di consolidamento. Se si tiene conto delle emissioni di materiali e fabbricazione dei droni, però, la situazione cambia. È necessario aggiungere che tutti gli studi citati vedono benefici ambientali solo per un segmento ristretto del mercato (ovvero consegna dell'ultimo miglio a un singolo o pochi destinatari con un basso carico utile).

Diversi player stanno anche valutando azioni pilota che vedono l'impiego di veicoli elettrici a guida autonoma per la consegna di ultimo miglio. Tra questi: Nuro ha in programma la costruzione di un apposito veicolo che per la prima volta può tenere una velocità di 40 km/h. La start-up ha già effettuato diverse migliaia di consegne di cibo. Altri due operatori con base anche nella Silicon Valley sono Gatik e Udelv, il primo intende specializzarsi sul "miglio medio" - consegna dai depositi ai negozi - e ha sperimentato la sua soluzione con Walmart, mentre il secondo ha effettuato consegne di prova presso negozi di generi alimentari con sede nella Silicon Valley. Anche Amazon punta alla guida autonoma con Aurora Innovation [35], a gennaio 2019, infatti, ha partecipato a un finanziamento da 530 milioni di dollari a favore dell'impresa fondata nel 2017 sita nella Silicon Valley. L'impresa sta sviluppando un pacchetto software completo, assieme anche a della componentistica hardware, per consentire l'autonomia di guida dei veicoli a livello 4. Più recentemente, Amazon ha anche collaborato con la startup di autotrasporti autonoma Embark per testare la guida autonoma negli Stati Uniti, nel tentativo di affrontare il "miglio medio".

In Cina, Alibaba sta testando robot di consegna senza conducente a bassa velocità (15 km/h). Sempre in Cina sono operativi Robot di consegna via marciapiede, si tratta di veicoli più piccoli con lo scopo di consentire consegne in aree in cui altre tipologie di veicoli, più tradizionali, sono vietati (ad es. strade pedonali, campus) e consegne brevi in centri urbani densi. Tale iniziativa è al centro delle attività di una serie di startup, tra cui Dispatch, Marble, Robby, Starship o Kiwi Campus. Questi piccoli robot sono anche parte integrante della strategia di consegna multimodale di Amazon. Il gigante dell'e-commerce ha acquisito la sede di Silicon Valley, Dispatch. La società ha anche sviluppato un proprio robot di consegna, un piccolo veicolo elettrico a sei ruote, e lo ha testato su un nuovo servizio chiamato Scout. Allo stesso modo, FedEx ha sviluppato Roxo, un robot a quattro ruote con la possibilità di salire alcune scale e mirare alla consegna nello stesso giorno, e PostMates è stata autorizzata a testare il proprio veicolo sui marciapiedi di San Francisco.

La soluzione Ez-Pro proposta da Renault è costituita da una flotta di capsule elettriche autonome, capaci di trasportare sino a 2 tonnellate di merci e coordinate da un veicolo leader, su cui viaggia il “fattorino del futuro”, un unico operatore la cui funzione non è più quella di guidare il veicolo, ma di supervisionare il percorso e la consegna delle merci.



Figura 18: Esempi di Cargo

8 Appendice III : sistemi gestionali di veicoli e flotte commerciali

Rispetto ai veicoli a combustione, i veicoli elettrici hanno diverse esigenze di esercizi, legate essenzialmente alla più limitata autonomia.

Questo “tallone d’Achille” dei veicoli a batteria, nonostante i progressi innegabili nella capacità di accumulo energetico delle batterie, rende necessaria una più attenta gestione dei consumi, un monitoraggio continuo dell’autonomia residua, la localizzazione precisa dei punti di rifornimento più vicini ed accessibili in relazione alle condizioni contingenti del traffico. Tali esigenze non sono certo sfuggite all’attenzione dei costruttori di furgoni a batteria.

Mercedes ad esempio, ha messo a punto una serie di servizi appositamente pensati per accompagnare il cliente nel passaggio all'alimentazione elettrica. Uno di questi è la app eVAN Ready [36], una semplice applicazione gratuita che si scarica su smartphone Apple o Android e consente di simulare la percorrenza di un tragitto per valutare l’adeguatezza a quel tragitto di uno specifico modello di e-Van prodotto dalla Daimler AG. La simulazione può essere effettuata per un eVito (41 kWh) scarico, carico con 250 kg e a pieno carico oppure per uno eSprinter (55 kWh) sempre con tre livelli di carico. La simulazione si avvale delle funzionalità dei dispositivi gps, in grado di tracciare i percorsi lavorativi che devono essere simulati, analizzando velocità media e percorrenza. L’applicazione valuta i pro e contro del passaggio all'elettrico fornendo informazioni sulla percentuale di energia consumata in base al tipo di veicolo scelto e, quindi, sulla sua autonomia residua, sulla lunghezza del tragitto e sul tempo medio di percorrenza tenendo conto anche di diverse variabili, come la temperatura esterna, stimando alla fine il grado di idoneità del percorso ad essere esercito con un veicolo elettrico. Un altro servizio offerto dalla casa produttrice tedesca per chi pensa di passare all'elettrico con l'intera flotta, è il servizio di consulenza ad hoc, al fine di individuare le soluzioni migliori per la ricarica e la gestione del parco mezzi.

Mercedes vanta anche l’offerta di una sofisticata piattaforma di bordo denominata MBUX per i veicoli commerciali leggeri, con un evoluto assistente vocale di bordo. Tramite MBUX si integrano i servizi dello specifico programma Connected Business, che permette di programmare i viaggi caricandoli da remoto nel sistema di navigazione, ma anche di ricevere avvisi sulle scadenze della manutenzione di ciascun mezzo e addirittura realizzare una sorta di diagnosi continua a distanza, arrivando a prevedere possibili guasti e rotture e individuare il più vicino centro Mercedes (con verifica della disponibilità dei ricambi necessari) per pianificare la riparazione minimizzando imprevisti e fermi macchina [37].

Allargando la visuale anche al mondo dei servizi di gestione delle flotte, sempre all’interno dell’offerta Mercedes-Benz Trucks della Daimler è attiva da circa 20 anni, Fleetboard, una piattaforma che offre programmi per l'analisi d'impiego che promettono di far risparmiare fino al 15% nei consumi di carburante, l'ottimizzazione dei tempi basata sul monitoraggio dei periodi di lavoro e riposo e persino una sezione dedicata ai rimorchi. Il servizio attraversa una fase di evoluzione, avviata a metà 2019 con l'acquisizione di Habb1, un'app logistica che permette di includere nel processo di acquisizione e condivisione dei dati anche clienti e sub-appaltatori, consentendo un monitoraggio ampliato dell'intera filiera. A seguito di questo periodo di transizione e del passaggio al nuovo sistema che si completerà nel 2021, Fleetboard cambierà nome in Fleetboard Logistics.

La connazionale MAN ha innovato il proprio sistema di connettività a partire dal 2017 con il passaggio da MAN Telematics al nuovo complesso MAN Digital Services: i programmi di gestione flotte sono realizzati con i partner di Rio e fruibili tramite il modulo RioBox installati su tutti i nuovi modelli. Sono offerti due livelli: MAN Essentials e MAN Advance [38]. Il primo è il servizio base gratuito: previa registrazione del mezzo su Rio Platform è possibile ricevere informazioni fondamentali come la posizione del veicolo monitorato ogni 15', lo storico dei movimenti, i dati degli ultimi 10 giorni, il livello medio delle prestazioni, identificazione dei conducenti ecc.. Advance, al costo di 29 centesimi al giorno, offre le stesse funzioni ma con maggiore quantità di dati dettagliati e un database storico più ampio che arriva a 25 mesi. Esiste poi il servizio MAN Bridge, che permette di avere le funzioni del piano Essentials anche su modelli con sistemi telematici precedente, al costo di 22 centesimi al giorno.

Il servizio Dynafleet di Volvo [39] si basa su una serie di applicazioni utilizzabili separatamente e organizzate per specifiche funzioni come monitoraggio dell'efficienza energetica dei mezzi e delle emissioni di CO₂, tempo di viaggio (scaricando istantaneamente i dati del tachigrafo e direttamente senza i vecchi intervalli di 20 minuti), monitoraggio della posizione e messaggistica diretta, scaricabili e consultabili via smartphone. Incrociando i dati, il programma è in grado di analizzare lo stato di efficienza generale della flotta e fornire indicazioni e suggerimenti sulle aree più bisognose di interventi.

Renault dal canto suo offre una serie di servizi per gli utenti dei veicoli elettrici come l'applicazione per la simulazione dell'autonomia con il navigatore Carminat Tom Tom Z.E. Live [40] che visualizza il raggio d'azione del veicolo e avverte se l'autonomia non è sufficiente per arrivare a destinazione. Inoltre, il Pack My Z.E. Connect, controlla in qualsiasi momento il livello di carica del veicolo dal computer o smartphone e con My Z.E. Services, disponibile su Apple Store, Google Play e Blackberry App World, si può monitorare a distanza tutte le informazioni relative alla carica del veicolo Z.E. Il Pack My Z.E. Inter@ctive [41] consente di localizzare sul navigatore le colonnine di ricarica e trovare quelle che rispondono alle proprie esigenze e attraverso l'applicazione My Z.E. Services, si può agire a distanza sul veicolo attraverso un PC o da uno smartphone o un tablet per avviare la ricarica a distanza quando il veicolo è collegato ad un punto di ricarica, per lanciare o programmare il preconditionamento, per programmare un piano di ricarica settimanale, ottimizzando il calendario in funzione del costo dell'elettricità (funzione accessibile solo tramite PC).

Per la gestione delle flotte, la proposta dalla casa francese si chiama Optifleet ed è organizzata per aree funzionali come localizzazione e monitoraggio percorsi (MAP), situazione conducente (Drive) e stato veicolo (Check), anche in questo caso scaricabili su smartphone e dotate di una messaggistica dedicata per comunicare direttamente con ciascun autista. La Renault promette che attraverso l'utilizzo di questo sistema si possono ottenere risparmi operativi tali da permettere di recuperare l'investimento iniziale nel giro di appena tre mesi.

Rimanendo sulle offerte d'oltralpe, anche nel caso di Citroën Berlingo Van Full Electric vi è la possibilità del pre-condizionamento termico, un'innovazione intelligente che permette di interagire con il veicolo da uno smartphone o da un computer connesso a internet per riscaldare o raffreddare in anticipo l'abitacolo. Questa funzionalità è accessibile tramite l'applicazione MyCitroën [42], che consente di conoscere anche lo stato di carica della batteria.

Il colosso nostrano Iveco ha iniziato a integrare i servizi di gestione flotte per il nuovo Daily grazie all'accordo con Verizon che propone un piano in tre differenti livelli: la base, Fleet Essential, nelle varianti con o senza tachigrafo connesso, e Fleet Enhanced in grado anche di consentire lo scaricamento da remoto dei dati. Il tutto è anche implementabile con il programma Workforce Essential che consente l'analisi e l'ottimizzazione dell'efficienza delle flotte [43]. Su Daily è offerto anche il servizio BusinessUp, con una serie di app dedicate all'ottimizzazione della guida, alla navigazione intelligente, al controllo dell'infotainment di bordo e all'assistenza Iveco, che rappresenta una sorta di accesso molto easy al concetto di gestione intelligente del singolo mezzo [44].

Alke' su richiesta fornisce anche un sistema di monitoraggio remoto ideale nel caso di gestione di una flotta di veicoli come può essere il caso dei servizi di logistica.

Fra le offerte di connettività, l'app NissanConnect EV [45] dell'omonima casa giapponese permette di gestire il veicolo consentendo all'utente di attivare la ricarica, preimpostare il climatizzatore, pianificare l'itinerario a distanza e pianificare il percorso tenendo in considerazione i punti di ricarica lungo la strada. E' possibile anche controllare alcune funzioni direttamente dallo smartphone, come il livello della carica, e l'accensione e lo spegnimento del climatizzatore.

La Casa dell'Ovale Ford offre invece due distinti servizi, uno per grandi flotte e uno per piccoli clienti business: il primo sfrutta la piattaforma Ford Telematics [46] tramite un desktop che raccoglie e organizza le informazioni in tempo reale in un apposito Transportation Mobility Cloud, al quale il sistema Telematics accede per fornire i dati su stato, efficienza, produttività e sicurezza di ogni singolo mezzo, con possibilità di

segnalare il bisogno di interventi tecnici. L'invio dei dati può essere personalizzato tramite un altro servizio in cloud, chiamato Data Services. Per le piccole flotte, Ford propone invece FordPass Pro, accessibile tramite App, che permette di controllare fino a 5 veicoli e fornisce informazioni e strumenti per gestirne sicurezza, diagnostica, posizione e stato del rifornimento di carburante. Inoltre, il nuovo modem FordPass Connect è disponibile su diversi modelli dalla Fiesta Van fino alle varie versioni del Transit consente anche ai van di accedere al programma di manutenzione predittiva basato sui dati relativi all'effettivo stato del veicolo.

A supportare le case automobilistiche nella realizzazione di servizi ICT subentrano i grandi colossi dell'informatica e delle telecomunicazioni.

Ericsson e Microsoft hanno annunciato la loro collaborazione per la prossima generazione di veicoli connessi. Ericsson sta sviluppando il suo Connected Vehicle Cloud sulla piattaforma Microsoft Connected Vehicle [47] in esecuzione su Microsoft Azure [48]. La soluzione integrata consente alle case automobilistiche di implementare e ridimensionare i servizi globali dei veicoli come la gestione della flotta, gli aggiornamenti del software over-the-air e i servizi di sicurezza riducendo i costi.

Vodafone Business, leader globale nell'IoT con oltre 89 milioni di dispositivi connessi in tutto il mondo, e Geotab, una delle società esperte nel fleet management, hanno annunciato un accordo di collaborazione strategica [49]. La partnership si chiamerà Vodafone Business Fleet Analytics. Per la produzione dei dispositivi, Geotab si avvarrà anche del knowhow Vodafone Automotive. Come tutti i servizi di gestione flotte, Vodafone Business Fleet Analytics, consentirà di accedere ai dati del veicolo in mobilità e ottenere tutte le analisi utili per monitorare e migliorare in tempo reale la sicurezza e le performance del parco mezzi e degli autisti. Il servizio sarà presto disponibile in tutti i mercati europei in cui è presente Vodafone Automotive, a partire da Francia, Germania, Italia, Portogallo, Spagna e Regno Unito.

Take My Things [50] è un startup che ha sviluppato una piattaforma gratuita di Delivery Network per il trasporto condiviso di oggetti (dai pacchi, ai documenti, fino alle chiavi). La piattaforma mette in contatto domanda e offerta: ossia chi ha necessità di spedire con aziende e privati disponibili ad effettuare le consegne ad ogni ora della giornata tutti i giorni della settimana (h24/7), e trovare una soluzione nel più breve tempo possibile. Le aziende che decidono di utilizzarne i servizi, possono scegliere tra un network formato da una flotta di fattorini, poni express, aziende e privati che assicurano un servizio rapido, sicuro e al miglior prezzo sul mercato. Questo perché nel momento in cui viene inserito un ordine, i trasportatori che si trovano nella zona o addirittura sul tragitto, saranno i primi ad accettare la consegna ottimizzando quindi i tempi ed eventuali "viaggi a mezzo carico". Per usufruire del servizio basta inserire l'oggetto, l'indirizzo di presa e di consegna, la data e l'ora massima per la consegna, la cifra che si è disposti a pagare. Take My Things incrocia i dati, creando una rete in grado di soddisfare le esigenze di trasporto presentandosi come potenziale partner per tutti quegli e-commerce che puntano ad avere un sistema innovativo per le consegne dell'ultimo miglio. Questa piattaforma che si annuncia più veloce e meno costosa dei tradizionali servizi di spedizioni, è un'evoluzione della mobilità condivisa, una specie di BlablaCar per gli oggetti, che fa risparmiare tempo, denaro ed emissioni nocive.

Secondo uno **studio della R&M del 2017**, il mercato delle piattaforme di gestione delle flotte mediante IoT crescerà a un tasso annuo composto del 21,26% sino al 2021, per raggiungere una dimensione del mercato di 8,28 miliardi di dollari entro il quello stesso anno.

Il modello di implementazione del cloud ibrido guiderà il mercato grazie a vantaggi quali accessibilità, flessibilità e implementazione dei dati a costi inferiori. Il concetto di "Fog computing" è nella fase iniziale e avrà un impatto positivo sul mercato nei prossimi anni.

Le piattaforme centralizzate di amministrazione dei dispositivi periferici domineranno il mercato dei servizi di gestione delle flotte IoT, perché consentono l'autenticazione del dispositivo, l'accesso remoto, il monitoraggio e la risoluzione dei problemi e offrono funzionalità di sicurezza contro attacchi di hacking e malware. Anche la diffusione di dispositivi personali come smartphone e tablet rafforzerà il mercato delle piattaforme di amministrazione nei sistemi di gestione delle flotte.

Il segmento dei servizi offerti crescerà al tasso più elevato nel periodo dal 2016 al 2021. L'avvento dell'IoT ha portato un cambiamento di paradigma nel settore della gestione delle flotte, permettendo la gestione di più operazioni attraverso un'unica rete. Ciò alimenterà ulteriormente la domanda di servizi nel mercato della gestione della flotta IoT.

Nel segmento dei veicoli commerciali, i veicoli pesanti dovrebbero detenere la quota maggiore nel mercato delle piattaforme gestionali delle flotte durante il periodo in esame.

L'America dominerà il mercato della gestione della flotta, grazie all'elevato tasso di adozione di prodotti tecnologicamente avanzati, rigorose conformità alle normative e forte infrastruttura di rete (3G / 4G o prossima connettività 5G). L'IoT aiuterà le aziende a far fronte alle normative governative relative alle emissioni e alla sicurezza della flotta.

I fattori che limitano la crescita del mercato della gestione della flotta IoT includono la sensibilità ai costi delle società di piccole e medie dimensioni e la mancanza di infrastrutture IoT nelle economie in via di sviluppo. Inoltre, le conformità relative alla condivisione dei dati da parte di diversi governi regionali diventerebbero una sfida per i fornitori di soluzioni di gestione della flotta. Ciò avrebbe un impatto negativo sul mercato della gestione della flotta IoT.

Fra i principali attori del mercato dei sistemi di gestione delle flotte si ritrovano AT&T, Inc. (Stati Uniti), Cisco Systems, Inc. (Stati Uniti), Verizon Communications, Inc. (Stati Uniti), TomTom International BV (Paesi Bassi), Trimble, Inc. (Stati Uniti), IBM Corporation (Stati Uniti), Omnitrac (Stati Uniti), Sierra Wireless (Canada), Intel Corporation (Stati Uniti) e Telefonica SA (Spagna). AT&T, Inc. ha adottato nuove strategie di sviluppo e collaborazione per mantenere la propria posizione sul mercato. Cisco Systems, Inc. ha seguito le strategie di partnership e acquisizioni per emergere come attore di spicco nel mercato.

9 Appendice IV: distribuzione urbana innovativa - progetti in corso

Man mano che aumenta l'attenzione verso il contenimento dei consumi energetici, corrieri globali e giganti del commercio al dettaglio si rivolgono ai veicoli elettrici per l'ultima tratta del viaggio di consegna.

IKEA, ad esempio, punta ad avere il 25 per cento delle consegne dell'ultimo miglio percorso da veicoli elettrici entro il 2025.

Il gigante dell'e-commerce Amazon ha recentemente innovato i propri centri di evasione ordini, massimizzando l'automazione al fine di favorire l'efficienza e la produttività, nonché l'aumento di consegne in giornata. La compagnia sta inoltre progressivamente rafforzando le proprie capacità di spedizione, perseguendo in modo aggressivo partnership commerciali e tecnologiche per affrontare la consegna dell'ultimo miglio, concentrandosi nei settori più innovativi della mobilità, in particolare l'elettrificazione, la guida autonoma e le nuove modalità di trasporto. Amazon ha presentato il suo piano contro i cambiamenti climatici che segna, tra le altre cose, anche la transizione all'elettrico della flotta per una logistica dell'ultimo miglio green. Con il suo The Climate Pledge [51], il colosso americano ha annunciato di voler utilizzare energia rinnovabile entro il 2030, con l'obiettivo di diventare un'azienda carbon neutral entro il 2040 e di inserire i primi prototipi di propri furgoni elettrici già dal 2020 che raggiungeranno già le 100.000 unità partire dal 2021. Il produttore dei furgoni a zero emissioni sarà Rivian, startup statunitense specializzata sui veicoli elettrici, nella quale il colosso dell'eCommerce aveva già investito oltre 700 milioni di dollari che si aggiungono ai 400 investiti di Ford. Poiché le città limiteranno sempre più l'accesso ai veicoli non elettrici, Amazon si arma per aumentare in modo massiccio la parte dei veicoli elettrici garantendosi la capacità di operare in futuro nelle aree urbane.

In Germania, Deutsche Post ha un accordo con il produttore di veicoli elettrici Streetscooters, mentre la società di corriere DPD punta a rendere elettrica l'intera flotta di Amburgo in breve tempo. DPD ha recentemente aperto il suo terzo deposito completamente elettrico nel centro di Londra per la consegna dell'ultimo miglio. La Royal Mail, nel frattempo, ha testato i trike elettrici a tre ruote sulle consegne in tre delle città più piccole del Regno Unito durante l'estate del 2019. La ricarica dei veicoli è una degli elementi chiave, e spesso si necessita anche di sottostazioni elettriche che devono trovare spazio nell'area a disposizione. gli ambiziosi obiettivi di responsabilità sociale delle imprese stanno ponendo maggiormente l'accento sulle grandi imprese per raggiungere obiettivi a basse emissioni ed è auspicabile che l'esempio dei corrieri globali venga seguito anche dalle aziende di consegna più piccole ma ovviamente ciò è possibile solo se sussiste un ritorno in termini di economicità.

Anche i proprietari dei magazzini possono avere un ruolo importante nel guidare la transizione, ad esempio a Parigi, lo sviluppatore francese Sogaris, che è in parte di proprietà delle autorità locali della regione di Parigi, ha incentivato l'inquilino Chronopost a utilizzare più veicoli elettrici per le consegne in fase di accordo per il contratto di locazione.

Di seguito una panoramica non esaustiva di progetti in corso per la riorganizzazione e l'efficientamento del processo di distribuzione merci in città.

Clean Last mile transport and logistics management for smart and Efficient local Governments in Europe (C-LIEGE)

Il progetto [52] ha l'obiettivo di definire politiche e misure condivise per una gestione e una pianificazione della domanda di trasporto merci urbano (UFT) efficiente, attraverso un approccio cooperativo tra le parti interessate pubbliche e private indirizzate alla riduzione degli impatti energetici e ambientali del trasporto merci in città e regioni dell'UE. Per raggiungere questo obiettivo, C-LIEGE vuole promuovere movimenti di merci efficienti e più puliti nelle aree urbane e definire una nuova serie di soluzioni integrate e misure "push-and-pull" orientate alla domanda. C-LIEGE è concepita come un'iniziativa di punta per supportare l'efficienza energetica nel trasporto merci urbano e per promuovere l'uso di fonti di energia rinnovabile nella consegna delle merci. Il progetto svilupperà, testerà e trasferirà misure e strumenti software di successo per

raggiungere il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di CO₂. L'importanza europea dell'approccio C-LIEGE è assicurata da esperimenti pilota in 6 paesi dell'UE: Bulgaria, Italia, Polonia, Regno Unito, Germania e Malta. Il progetto sarà indirizzato ai decisori e ai professionisti delle amministrazioni, nonché al settore delle forniture per la mobilità delle merci.

Il progetto eVan – sharing



Le concessionarie Nissan hanno messo a disposizione della Capitale un servizio on line per il noleggio di un veicolo commerciale 100% elettrico in condivisione per la consegna di merci o per il trasporto di carichi ingombranti nel centro storico della città. Grazie a queste peculiarità le consegne possono avvenire senza vincoli tariffari, limiti di orario e soprattutto in totale assenza di inquinamento atmosferico e acustico. L'iniziativa [53], che prende il nome di e-Van Sharing, è stata lanciata da Nissan Italia in collaborazione con la propria rete delle concessionarie nell'area romana (inizialmente Mirauto, Numero Sette, Roscini Veicoli Industriali). Il servizio è rivolto a piccoli imprenditori, liberi professionisti e cittadini e potrà essere usufruito previa registrazione ad un apposito sito e poi utilizzando l'app denominata Glide per prenotare il veicolo e pagare al termine dell'utilizzo. Inoltre, il van Nissan e-NV200 100% elettrico già noto a Roma in quanto dal 2018 fa parte dell'autoparco comunale attraverso un avviso pubblico per la fornitura di veicoli elettrici in comodato d'uso gratuito. E' stata inoltre recentemente realizzata in Campidoglio, in collaborazione con SCAME, la prima WallBox per la ricarica plug-in dei veicoli a disposizione dell'amministrazione capitolina.

Progetto ZED&L

Il progetto ZED&L (Zero Emissions Distribution & Logistics) [54] vuole proporre un modello logistico-distributivo innovativo per il trasporto merci in ambito urbano, finalizzato alla riduzione delle emissioni nocive, del rumore acustico e dei costi legati alla distribuzione fisica delle merci. L'obiettivo è quello di arrivare a gestire fino a 1.000 spedizioni al giorno nelle zone ZTL, utilizzando un magazzino di prossimità e fino a 20 veicoli elettrici che avranno a pieno carico un'autonomia oscillante tra i 110-140 km e potranno caricare fino a 2,2 t e superare fino al 21% di pendenza. La possibilità di pre-determinare il flusso delle merci consente di valutare in anticipo anche i reali fabbisogni energetici della flotta di mezzi elettrica. ZED&L verrà sperimentato ed realizzato nei 4,2 km quadrati della Zona a Traffico Limitato di Roma, che rappresenta una tra le più ampie e complesse ZTL al mondo. Il modello logistico-distributivo di ZED&L funzionerà integrando tra loro sistemi e tecnologie ecosostenibili, in particolare attraverso un magazzino centrale, ubicato a circa 12 km dal centro della città (zona Tiburtina) e da cui partiranno gli automezzi elettrici sarà coperto con 400 mq di pannelli fotovoltaici (FV) di ultima generazione che alimenteranno le stazioni di ricarica degli iniziali 3-7 veicoli elettrici adibiti alla distribuzione fisica delle merci, supportati da sistemi di accumulo stazionari che

stoccheranno l'energia generata dai pannelli FV. L'energia elettrica sarà gestita in modo da avere in tempo reale i livelli di potenza e la quantità di energia richiesti dalla piattaforma di gestione. L'approvvigionamento di energia elettrica dalla rete elettrica di distribuzione principale sarà attivato solo in particolari condizioni operative (nuvoloso, modifiche improvvise e non previste nel piano di distribuzione merci, ecc..), oppure per quei punti di ricarica non rifornibili dall'impianto fotovoltaico. In tal caso, il sistema preleva energia elettrica in bassa potenza dalla rete preferibilmente nei momenti in cui il costo per kWh è più economico e stoccarla nell'accumulo stazionario che alimenterà l'infrastruttura di ricarica soddisfacendo la richiesta in termini di maggiore potenza. L'accumulo stazionario potrà essere costituito anche da batterie usate (second life), con un notevole risparmio dei costi e un ulteriore abbattimento dell'impatto ambientale dell'intera filiera di distribuzione ultimo miglio proposta. La stessa infrastruttura è predisposta per attivare la modalità "vehicle to grid". Completano il sistema ZED&L la sensoristica di bordo per la valutazione dei reali consumi energetici della flotta di veicoli e software di controllo e gestione per la definizione del percorso ottimizzato delle merci, dei mezzi e dei carichi.

MILANO, iniziative di green logistics

Milano ha recentemente sperimentato il primo servizio di logistica e consegna a domicilio interamente realizzato con mezzi green [55]. Nove i furgoni totalmente elettrici, oltre a due bici cargo a pedalata assistita si occuperanno della logistica dell'ultimo miglio su una area di circa venti chilometri quadrati e serviranno circa 2.000 clienti per un totale di circa 50.000 consegne annue nell'area compresa tra Porta Romana e Vettabbia, zone già inserite nel progetto europeo "Sharing cities". Il progetto che rientra nella più ampia strategia del Comune di fare di questa zona il primo quartiere cittadino a basso consumo energetico. La distribuzione a domicilio degli ordini, effettuati online o direttamente presso i punti vendita, sarà particolarmente attento alle esigenze delle persone anziane e di quelle con disabilità. L'autonomia dei veicoli è di circa 70 ore di viaggio.



Il servizio di logistica è stato sviluppato da For-services, aggiudicataria del bando indetto dal Consorzio Poliedra – Politecnico di Milano. Si tratta di una realtà imprenditoriale che, oltre all'esperienza maturata nella logistica, vanta una capacità di digitalizzazione in grado di personalizzare i suoi applicativi rispetto ad alle varie esigenze dei potenziali clienti ed è il primo operatore di logistica a fornire i dati al Comune di Milano in tempo reale, attraverso l'integrazione dei propri sistemi informativi con la Piattaforma di interoperabilità tramite API aperte, in coerenza con gli obiettivi del progetto Sharing Cities e con la più ampia strategia del Comune sull'acquisizione di dati utili alla migliore gestione e pianificazione della Città di Milano.

InCo Flagship su sistemi integrati e multimodali di trasporto merci e logistica

Questa Research and Innovation Action di Horizon 2020 mira a raccogliere, attraverso una spinta cooperazione internazionale tra partner commerciali, proposte che dovrebbero riguardare diversi aspetti, tra cui: la comprensione del modo i nuovi concetti della logistica impattano sul trasporto globale di merci e sulle relative emissioni di gas a effetto serra; far fronte a nuove opportunità e/o problematiche emergenti relativamente alle nuove rotte commerciali da e verso l'Europa, come la rotta del Mare del Nord ed altro. Le aree di trasferimento modale dal lungo raggio all'ultimo miglio (scali ferroviari, porti e aeroporti) devono essere analizzate meglio al fine di trovare misure adeguate e garantire un trasporto porta a porta senza

soluzione di continuità, sfruttando in pieno il potenziale della modularità e altri concetti innovativi della logistica.

Il progetto INTERREG "Electric Last Mile" (eGLM)

Il progetto [56] si focalizza sulla distribuzione pesante, in viaggi brevi (massimo 150 km) nella regione degli hotspot logistici europei Venlo (Paesi Bassi) e Duisburg (Germania). Nel corso del 2019, gli e-truck verranno consegnati e messi in servizio. Durante l'intero progetto i camion elettrici, utilizzati principalmente per il trasporto regionale e opereranno nella regione di Venlo-Duisburg e l'infrastruttura di ricarica ultraveloci, posizionate in modo strategico, saranno testati e monitorati. Ciò avverrà in termini di tecnologia, ma anche per quanto riguarda la distribuzione. Questo viene fatto in collaborazione con Hogeschool Fontys e FH Aachen. I risultati saranno condivisi per aiutare ad accelerare la sostenibilità del settore dei trasporti.

10 Bibliografia

- C. F. G. Valenti, «Simulatore di scenari urbani di mobilità veicolare elettrica: specifiche interfaccia utente, verifica del sistema integrato di modelli e valutazione di scenari di elettrificazione della mobilità veicolare,» RdS/PAR2017/241, 2018.
- «OpenStreetMap,» [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/#map=5/42.088/12.564>.
- «ISTAT,» [Online]. Available: <https://www.istat.it/it/archivio/231732>.
- G. S. Overview, <https://developers.google.com/transit/gtfs>.
- G. T. F. Specification, https://en.wikipedia.org/wiki/General_Transit_Feed_Specification?oldformat=true.
- M. GTFS, <https://transitfeeds.com/p/roma-servizi-per-la-mobilita/542>.
- R. Mobilità, <https://romamobilita.it/it/tecnologie/open-data>.
- M. Padgham, gtfsrouter, <https://cran.r-project.org/web/packages/gtfsrouter/vignettes/gtfsrouter.html>, 2019.
- «OctoTelematics,» [Online]. Available: <https://www.octotelematics.com/it/home-page-it/>.
- «VIASAT,» [Online]. Available: <https://www.viasatonline.it/>.
- Emisia, «Copert,» [Online]. Available: <https://www.emisia.com/utilities/copert/documentation/..>.
- L. Ntziachristos e Z. Samaras, «Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv,» EEA (European Environment Agency), 2018.
- G. Mellios e L. Ntziachristos, «Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv,» EEA (European Environment Agency), 2016.
- L. Ntziachristos e P. Boulter, «Methodology for the calculation of non-exhaust PM emissions – SNAP 070700-070800, NFR 1A3bvi-vii,» EEA (European Environment Agency), 2016.
- INFRAS, «The Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA),» 2004. [Online]. Available: <http://www.hbefa.net>.
- P. Boulter, P. McCrae, R. Jourmard, M. André, M. Keller, P. Sturm e S. Hausberger, «ARTEMIS: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems - Final Report, Deliverable 15,» European Commission, Crowthorne, UK, 2007.
- Joint Research Center, «WELL-TO-TANK Report Version 4.a,» 2014.
- Joint Research Center, «WELL TO TANK Appendix 2 – Summary of energy and GHG balance of individual pathways,» 2014.
- Unione Petrolifera, «RELAZIONE ANNUALE,» 2019.
- ISPRA, «National Inventory Report – Year 2018,» 2019.
- Ministero dello Sviluppo Economico, «Bilancio Energetico Nazionale,» 2018.
- Gestore Servizi Elettrici, «Energia nel settore Trasporti – anni 2005-2018,» 2019.
- TERN, «Dati Generali 2017-2018,» 2019.
- «[8] <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-la-produzione-ed-il-consumo-di-energia-elettrica-in-italia/view>,» [Online].
- H.-V. e. al., «State of the art and practice of urban freight management Part II: Financial approaches, logistics and demand management,» Novembre 2018.
- E. Report, «The first and last mile - the key to sustainable urban transport,» in *Transport and Environment Report*, 2019.
- <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/outlook/markets/last-mile-delivery-in-4-questions/>.
- C. W. Consortium, «Smart choices for citues - Making urban freight logistics more sustainable,» 2015.

- | W. G. W. S. Reiter K., «Potential to shift goods transport from cars to bicycles in European cities - D7.1 - A Set of updated IEE Common Performance Indicators including their baseline and assumptions for extrapolation,» 2017.
- | <https://cleantechnica.com/2019/06/28/why-are-evs-the-future-for-last-mile-delivery/>.
- | <https://www.notiziariovi.com/articoli/9731/secondo-fercam-il-futuro-della-mobilita-delle-merci-sara-in-parte-elettrico>.
- | <https://www.omnifurgone.it/news/286470/furgoni-elettrici-tutte-le-novita-del-2019/>.
- | <https://www.motorionline.com/2019/10/23/renault-master-e-kangoo-z-e-hydrogen-arrivano-i-veicoli-commericali-a-idrogeno/>.
- | <https://ec.europa.eu/eipp/desktop/it/projects/project-9545.html>.
- | <https://www.autoblog.it/post/968382/guida-autonoma-amazon-entra-nel-mercato-con-aurora>.
- | <https://www.omnifurgone.it/news/385026/mercedes-evito-prezzi-app-evan-ready/>.
- | <https://www.omnifurgone.it/reviews/393034/mercedes-benz-marco-polo-mbox-prova/>.
- | <https://www.man4you.it/man-truck-bus-ag-per-una-nuova-conneessione-nel-mondo-dei-trasporti/>.
- | <https://www.volvotrucks.it/it-it/services/optimized-business/fleet-management/dynafleet-positioning.html>.
- | <https://www.omnifurgone.it/news/270369/carminat-tomtom-su-tutti-i-lcv-renault/>.
- | <https://www.renault.it/guidare-veicoli-elettrici.html>.
- | <https://www.citroen.it/post-vendita/app-e-mappe/applicazione-my-citroen.html>.
- | https://www.logisticamanagement.it/it/articles/20190430/verizon_e_iveco_insieme_nella_gestione_flotte.
- | <https://www.iveco.com/italy/prodotti/pages/nuovo-iveco-daily-hi-matic-connettivita-e-servizi.aspx#connettivita>.
- | <https://www.nissan.it/servizi/sistema-infotainment-nissan/sistema-infotainment-navigazione.html>.
- | <https://www.commercialsolutions.ford.com/>.
- | <https://www.microsoft.com/it-it/industry/automotive/connected-vehicles?activetab=pivot%3aprimary12>.
- | <https://www.omnifurgone.it/news/272253/daimler-e-azure-assieme-per-la-logistica-connessa/>.
- | <https://www.ilsole24ore.com/art/vodafone-e-geotab-insieme-la-gestione-digitale-flotte-aziendali-ACT13eLB>.
- | <https://www.takemythings.com/>.
- | <https://blog.aboutamazon.com/sustainability/the-climate-pledge>.
- | <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/c-liege>.
- | <https://www.trasporti-italia.com/ecosostenibili/roma-parte-il-progetto-e-van-sharing-nissan-italia-per-consegnare-le-merci-con-veicoli-elettrici-e-condivisi/36515>.
- | <https://www.bip-bestideasprojects.it/progetti/zedl-zero-emissions-distribution-logistics/>.
- | <https://www.logisticanews.it/milano-la-logistica-ultimo-miglio-diventa-green/>.
- | <https://www.eglm.eu/en/>.
- | M. GTFS. [Online]. Available: <https://transitfeeds.com/p/roma-servizi-per-la-mobilita/542>.
- | R. Mobilità. [Online]. Available: <https://romamobilita.it/it/tecnologie/open-data>.
- | G. T. F. Specification, «https://en.wikipedia.org/wiki/General_Transit_Feed_Specification?oldformat=true».
- | G. S. O. (Google), «<https://developers.google.com/transit/gtfs>».
- | M. GTFS, «<https://transitfeeds.com/p/roma-servizi-per-la-mobilita/542>».

