

ANALISI COMPARATIVA DI SCENARI E SOLUZIONI DI LOGISTICA DISTRIBUTIVA
LAST MILE CON METODOLOGIA LCA

Edoardo Croci¹; Matteo Donelli²; Francesco Colelli³.

SOMMARIO

Il paper valuta l'impronta ambientale delle operazioni di logistica distributiva last-mile attraverso l'applicazione della metodologia di analisi del ciclo di vita (LCA). A tal fine sono stati quantificati gli impatti ambientali delle attività di consegna effettuate nelle aree ZTL delle città di Milano e Torino da parte di un operatore logistico privato di grandi dimensioni. Attraverso un'analisi di scenario sono valutate le pratiche di consegna attuali e una soluzione operativa alternativa, consistente nella sostituzione del parco veicolare alimentato a gasolio con veicoli elettrici. I dati relativi alle performance operative dei veicoli utilizzati in tali scenari sono stati raccolti nell'ambito del progetto di ricerca URBeLog - URBan Electronic LOGistics, che ha previsto una sperimentazione su due siti pilota nelle aree ZTL delle città di Milano e Torino. Sono state considerate le seguenti categorie d'impatto ambientale: Potenziale di Riscaldamento Globale; Particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche; Potenziale di formazione di smog fotochimico; Acidificazione. Il modello di calcolo LCA utilizzato (SIMA-PRO 8.4) ha consentito di studiare l'impatto delle singole fasi del ciclo di vita, raggruppate in quattro macro-fasi: produzione e manutenzione dei veicoli, produzione del gasolio utilizzato dai veicoli, produzione di elettricità utilizzata dai veicoli, operazioni di consegna. I principali risultati sono i seguenti: sia nel caso di Milano che di Torino, lo scenario di gestione attuale ("as is"), che ipotizza la gestione delle consegne unicamente attraverso furgoni a gasolio, risulta nettamente più impattante dello scenario ZEV, che a parità di numero di veicoli e km percorsi ipotizza l'adozione di una flotta di veicoli elettrici. In particolare, l'adozione di veicoli elettrici risulta meno impattante in tre categorie su quattro rispetto allo scenario "as is" a Milano e in tutte le categorie nel caso della città di Torino. Rispetto alle modalità di consegna attuali, grazie all'adozione di veicoli elettrici si osservano riduzioni del 30-50% per le categorie Potenziale di Riscaldamento Globale e Potenziale di formazione di smog fotochimico e del 9% - 20% per l'Acidificazione, a seconda della città analizzata. Nello scenario "as is" le emissioni dirette generate nelle operazioni di consegna dai veicoli diesel (euro5 ed euro4) rappresentano sempre il fattore maggiormente rilevante, eccetto nel caso delle emissioni di "Particolato/smog" in cui il contributo dei processi di produzione dei veicoli è di poco superiore al contributo delle operazioni di consegna. Nello scenario "ZEV" invece, il maggiore contributo è dovuto alla fase di generazione di energia elettrica prelevata dalla rete per alimentare i mezzi elettrici in tutte le quattro categorie di impatto identificate.

¹ Università Commerciale L. Bocconi, Centro di Ricerca in Economia e Politica dell'Energia e dell'Ambiente – IEFE. Via Roentgen 1, 20136 Milano (Italy). Edoardo.croci@unibocconi.it

² Università Commerciale L. Bocconi. Via Roentgen 1, 20136 Milano (Italy). matteo.donelli@unibocconi.it

³ Università Commerciale L. Bocconi, Centro di Ricerca in Economia e Politica dell'Energia e dell'Ambiente – IEFE. Via Roentgen 1, 20136 Milano (Italy). Francesco.colelli@unibocconi.it

La crescita del trasporto merci su strada e l'aggravarsi dei problemi di congestione a livello urbano hanno fatto crescere l'esigenza di ridurre le inefficienze del sistema logistico e di quantificare con maggiore precisione le esternalità generate dal settore. La riduzione delle esternalità negative generate dal settore dei trasporti è una delle priorità delle politiche di sostenibilità adottate a livello europeo: la Commissione Europea ha più volte ribadito la necessità di definire politiche e strumenti atti a quantificare ed internalizzare i costi esterni generati dai trasporti (Commissione Europea, 2011). Un sistema di distribuzione delle merci efficiente è necessario sia in quanto svolge un ruolo significativo nella competitività di un'area urbana sia in quanto influisce sul benessere dei cittadini. Questo secondo aspetto risulta cruciale poiché il rapido aumento dei veicoli di trasporto merci nelle aree urbane e metropolitane contribuisce alla congestione del traffico, all'inquinamento atmosferico, al rumore e all'aumento del rischio di incidenti (Ce Delft, 2011). Come dimostrato dal Libro Verde sulla Mobilità Urbana dell'Unione Europea, il traffico congestionato è infatti localizzato all'interno e intorno ai centri urbani e pesa per l'1% del PIL europeo, circa 100 miliardi di Euro all'anno (EU Commission, 2007). La mobilità urbana rappresenta inoltre il 40% delle emissioni di CO₂ e il 70% degli altri inquinanti derivanti dai trasporti (Commissione Europea, 2007).

La logistica urbana è stata definita come quell'insieme di movimenti di merci influenzati da particolarità legate al traffico urbano e alla morfologia della città (DETR, 1999). Questi fattori sono fondamentalmente causati dallo scontro di interessi tra vettori di trasporto merci urbano e gli altri soggetti generatori di traffico, come gli automobilisti, gli autisti dei servizi di trasporto, i residenti, i pedoni (Robusté, 2000). Le esigenze contrastanti di spostamenti fluidi, posti auto, condizioni ambientali, e la usuale coincidenza delle ore di punta, costituiscono una fonte permanente di inefficienze e la necessità di pianificazione a breve, medio e lungo termine (Crocì, Grasso D, 2014). Il settore della logistica delle merci ha inoltre bassi tassi di efficienza interni in tutto il mondo. Secondo quanto riportato dall'OECD, il coefficiente medio di riempimento dei veicoli commerciali è complessivamente inferiore al 25% per il 30% dei veicoli e inferiore al 50% per il 50% dei veicoli (OECD, 2002). Studi condotti in Italia su alcune aree urbane confermano l'esistenza di questi elevati livelli di inefficienza anche nel nostro paese. A Milano ad esempio, uno studio condotto nel 2002 (Comune di Milano, Politecnico di Milano, 2002) ha rilevato un tasso di carico medio dei veicoli commerciali pari al 40% e un numero di spostamenti a vuoto che si aggirava attorno al 20-30%. La letteratura è concorde nell'associare le maggiori inefficienze del settore alla logistica in conto proprio rispetto a quella in conto terzi, capace invece di raggiungere maggiori livelli di efficienza grazie alle economie di scala che si generano. Questo dato è particolarmente significativo per l'Italia visto che, secondo quanto riportato dal Centro Studi Confetra (2008), nel 2006 il 77,8% degli spostamenti merci a livello urbano è avvenuto con mezzi in conto proprio e solo il 22,2% con mezzi in conto terzi. Le percentuali cambiano se si prende in considerazione invece la scala nazionale. Qui infatti la ripartizione è 51,9% in conto proprio e 48,1% in conto terzi. Le inefficienze del sistema logistico urbano oltre che sul conto terzi si concentrano sugli operatori che effettuano le movimentazioni merci di ultimo miglio (last-mile). Le ragioni di tali inefficienze nel comparto last-mile sono imputabili a diversi fattori, tra cui la piccola dimensione societaria della maggior parte dei soggetti industriali che effettuano le consegne last-mile, il cosiddetto fenomeno dei padroncini, la difficoltà nell'ottimizzazione dei carichi connesse con la necessità di effettuare consegne singole e la bassa incidenza sul prezzo finale di vendita del prodotto dei servizi logistici last-mile, che incidono complessivamente per non più dell'1-2% (Commissione Europea, 1998, Centro Studi Confetra, 2008).

Sul lato della domanda di servizi logistici, le priorità d'intervento sono la riduzione della quantità di merci circolanti (raggruppando ad esempio gli ordini o diminuendo la frequenza delle richieste di consegne, ecc.), la riconversione della domanda dal conto proprio al conto terzi e la creazione di spazi dedicati in cui stoccare le merci. Sul lato dell'offerta invece, le priorità d'intervento sono la razionalizzazione dei flussi delle merci, l'innovazione dei modelli logistici e il ricorso a mezzi meno inquinanti. Per una più dettagliata review degli strumenti attraverso i quali le Pubbliche Amministrazioni possono attuare le diverse misure di razionalizzazione della logistica urbana si veda (DG Move, 2012).

2 Ambito di analisi

Alla luce del contesto illustrato, il paper valuta la misura in cui diverse soluzioni operative di logistica urbana incidono sull'impronta ambientale del servizio distributivo delle merci, attraverso l'applicazione della metodologia di analisi del ciclo di vita (LCA). La letteratura scientifica relativa alla stima degli impatti ambientali generate dai trasporti è molto vasta. Questa proliferazione di studi e ricerche è legata, oltre che alla naturale esigenza di sviluppare studi specifici per ciascun Paese, all'esistenza di varie metodologie di stima talvolta anche molto diverse tra loro. Nonostante il settore del trasporto merci (comprese le consegne di prodotti a negozi e attività di servizio) sia spesso visto come una delle principali cause della congestione e del traffico nelle aree urbane, si comprende ancora poco delle conseguenze a livello ambientale di questa fase della catena di fornitura. Per una review degli studi che hanno valutato nello specifico l'efficacia ambientale di soluzioni di logistica urbana si veda ad esempio Stathopoulos et al, (2012) e Baglieri e Fiorillo, (2013). Da tali studi emerge come, solitamente, gli impatti ambientali vengono valutati utilizzando un numero ridotto di indicatori chiave. Gli indicatori più frequentemente adottati sono infatti le emissioni di CO₂ e dei principali gas inquinanti, tra cui NO_x, VOCs, e CO (Mészáros, 2000, Litman, 2007, Schoemaker et al., 2006, Perry and Gee, 1995). Indipendentemente dal set di indicatori utilizzato, la letteratura generalmente si concentra sulla quantificazione degli impatti ambientali derivanti dalle operazioni di consegna, e pertanto principalmente sugli impatti dell'uso dei veicoli. Le metodologie solitamente utilizzate prevedono l'adozione di modelli disaggregati che consentono di ottenere i valori delle emissioni per ogni categoria veicolare. Le quantità complessive di sostanze emesse in atmosfera dai mezzi di trasporto su strada dipendono sia dalle emissioni specifiche dei singoli veicoli (fattori di emissione), che dalla numerosità delle diverse flotte (veicoli a benzina, diesel, GPL, veicoli catalizzati e non, ecc.) e dalle relative percorrenze.

A differenza degli studi identificati da Stathopoulos et al, (2012) e Baglieri e Fiorillo, (2013) nel presente paper si è scelto di valutare la misura in cui diverse modalità di logistica last-mile incidono sull'impronta ambientale del servizio distributivo delle merci attraverso l'applicazione della metodologia di analisi del ciclo di vita, descritta nel dettaglio nel paragrafo seguente. Grazie all'adozione della metodologia di calcolo LCA il presente lavoro mira ad identificare gli impatti connessi non solo all'uso ma anche alla costruzione e manutenzione dei mezzi utilizzati nelle operazioni di logistica urbana, in modo da fornire una valutazione di sistema e più ampia dei reali impatti ambientali delle operazioni effettuate in tale settore.

Attraverso un'analisi di scenario inoltre sono valutate diverse soluzioni operative alternative alle pratiche di consegna attuali. I dati relativi alle performance operative dei veicoli modellizzati in tali scenari sono stati raccolti nell'ambito del progetto di ricerca URBeLog - URBan Electronic LOGistics. Il progetto URBeLOG ha previsto una sperimentazione su due siti pilota nelle aree ZTL delle città di Milano e Torino. Nel corso del progetto è stata sviluppata e sperimentata una piattaforma telematica e informatica dinamica e partecipata per servizi e applicazioni riguardanti la distribuzione urbana delle merci, in grado di aggregare gli stakeholder e di gestire in tempo reale i processi distributivi dalla produzione alla consegna. In particolare, il progetto ha permesso di sperimentare nelle due aree metropolitane: l'ottimizzazione dinamica del routing dei mezzi; il consolidamento dei carichi mediante piattaforme di smistamento e consolidamento; l'utilizzo di veicoli elettrici e biciclette elettriche. Una descrizione dettagliata degli obiettivi e delle attività svolte durante la sperimentazione è riportata in Urbelog (2018). I dati raccolti nel corso delle sperimentazioni sono stati utilizzati nel presente studio al fine di ricostruire degli scenari semplificati ipotizzanti la sostituzione del parco veicolare attuale con furgoni elettrici.

3 Metodologia

3.1 Elementi generali della metodologia LCA

La valutazione del ciclo di vita (LCA – Life Cycle Assessment) è una tecnica per valutare il carico energetico e ambientale ed i potenziali impatti sull'ambiente associati ad un prodotto o ad un servizio, regolata dalle norme ISO 14040-14044. La metodologia LCA prevede:

- la definizione di un'unità funzionale e dei confini del sistema analizzato;
- la compilazione di un inventario degli elementi in ingresso e in uscita relativi alle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto;
- la valutazione dei potenziali impatti ambientali associati, attraverso specifici indicatori;
- l'interpretazione dei risultati riguardanti le fasi di analisi dell'inventario e di stima degli impatti in relazione agli obiettivi dello studio: i risultati sono riepilogati e discussi, in conformità con la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione, come base per conclusioni, raccomandazioni e decisioni finalizzate al miglioramento ambientale.

Il ciclo di vita è analizzato ripercorrendo gli impatti connessi col prodotto in ogni sua fase ovvero dalla progettazione passando per l'acquisizione delle materie prime, la fabbricazione, l'utilizzazione ed infine lo smaltimento, includendo in ognuna di queste fasi gli impatti ambientali derivanti dal trasporto. Le principali categorie di impatto ambientale da tenere in considerazione riguardano l'utilizzo di risorse, la salute dell'uomo ed i potenziali impatti ambientali. La LCA si basa sull'analisi dell'inventario del ciclo di vita, cioè la raccolta e l'analisi dei dati in ingresso ed in uscita, volta a stabilire un riferimento di base delle prestazioni di un dato sistema di prodotti, quantificando l'utilizzo di flussi di energia e materie prime e le emissioni in aria, acqua e nel suolo associati a quel sistema, tanto per l'intero quanto per i singoli processi. Ciò consente l'identificazione delle unità di processo all'interno del sistema di prodotti che generano i maggiori impatti. La metodologia LCA è la base su cui sono state sviluppate etichette ecologiche ISO 14025 di tipo I, quali l'Ecolabel europeo e di tipo III, le cosiddette Dichiarazioni Ambientali di Prodotto, quali le EPD® Environmental Product Declarations (Envirodec, 2018). Nel 2013 la Commissione Europea ha pubblicato la Raccomandazione 2013/179 che ha istituito la PEF – Product Environmental Footprint e le relative guide metodologiche attualmente in fase di sperimentazione su diversi settori pilota. Anche la PEF si fonda sulla metodologia LCA (Commissione Europea, Raccomandazione 2013/179/UE).

La prima fase di uno studio di LCA prevede la definizione delle finalità dello studio, dell'unità funzionale, dei confini del sistema, dei requisiti di qualità dei dati, delle assunzioni e dei limiti dello studio. La definizione degli obiettivi per uno studio LCA deve comprendere:

- i prodotti e i progetti di sviluppo a cui si applica lo studio;
- i motivi per cui si effettua lo studio e il contesto della decisione;
- i destinatari;
- confronti o dichiarazioni comparative che devono essere resi pubblici;
- eventuali tempi e modalità di revisione.

Coerentemente con gli obiettivi fissati, lo studio può essere condotto conformemente agli schemi ISO 14044 e altri riferimenti normativi in materia di impronta ambientale. La definizione dell'ambito di studio comprende:

- l'unità funzionale che definisce qualitativamente e quantitativamente la funzione e la durata del prodotto.
- il flusso di riferimento che indica la quantità di prodotto necessaria per ottenere la funzione definita. Tutti i flussi di input e output dell'analisi fanno riferimento al flusso di riferimento;
- i confini del sistema che definiscono quali parti del ciclo di vita del prodotto e quali processi ad esse associati sono ricompresi nel sistema analizzato (ovvero quali parti sono necessarie perché il prodotto possa svolgere la sua funzione così come definita dall'unità di analisi). I confini del sistema dovrebbero essere definiti secondo una logica di supply-chain, ovvero includendo tutti le fasi significative dal punto di vista ambientale, dall'estrazione delle materie prime alla produzione, distribuzione, fase d'uso e fine vita del prodotto o servizio. Il diagramma di seguito riportato mostra una schematizzazione di unità di processo e loro interrelazioni;
- le categorie di impatto che devono essere in grado di coprire tutti gli aspetti ambientali rilevanti legati al ciclo di vita del prodotto. La selezione delle categorie di impatto è essenziale in quanto l'obiettivo della valutazione dell'impronta ambientale è quello di raggruppare e aggregare i dati di inventario secondo i

rispettivi contributi ad ogni categoria d'impatto. Questo fornisce le basi necessarie per l'interpretazione dei risultati dell'analisi di impronta ambientale prodotta rispetto agli obiettivi definiti;

- ipotesi/limitazioni che possono presentarsi allo svolgimento dell'analisi e che richiedono che vengano fatte assunzioni.

Più in particolare, gli elementi da considerare, identificare e descrivere in questa fase sono i seguenti:

a) Funzione e unità funzionale: la funzione del sistema è l'attività che viene studiata; l'unità funzionale è generalmente la quantità di prodotto che viene usata come unità di riferimento per i calcoli dei flussi (in uscita e in entrata) di materiale e energia nel sistema e alla quale vengono riferiti i risultati finali. Più precisamente, l'unità funzionale rappresenta una misura delle prestazioni del flusso in uscita funzionale del prodotto.

b) Il sistema prodotto: è l'insieme elementare di unità di processo connesse tra loro da flussi di materia, energia e rifiuti. Il sistema prodotto è collegato con l'ambiente da flussi elementari ovvero materia e energia che entrano e escono dal sistema senza alcuna preventiva trasformazione operata dall'uomo. L'ambiente è tutto ciò che sta al di fuori dei confini del sistema ed è la fonte di tutti i flussi in ingresso e il punto di raccolta di tutti i flussi in uscita. Le unità di processo, incluse nel sistema prodotto, seguono le leggi di conservazione di massa e energia.

c) Confini del sistema: i confini del sistema prodotto determinano le unità di processo da includere nell'analisi e sono determinati in base allo scopo dello studio, alle ipotesi assunte, alle fonti dei dati disponibili per lo studio e ai costi sostenibili. Tipiche sono le analisi 'dalla culla alla tomba' (from cradle to grave) e 'dalla culla al cancello dello stabilimento' (from cradle to gate). Dalla scelta dei confini del sistema scaturiscono automaticamente le categorie di dati necessari, ad esempio input di energia, di materie prime o output di emissioni in atmosfera.

d) Requisiti di qualità dei dati: i requisiti della qualità dei dati devono essere definiti per dare credibilità allo studio di LCA e in pratica caratterizzano quantitativamente e qualitativamente i metodi usati per raccogliere i dati. Tra i requisiti dovrebbero essere fissati:

- la copertura temporale, cioè l'età dei dati e il periodo della loro raccolta
- la copertura geografica, cioè l'area in cui i dati vengono raccolti;
- le tecnologie di riferimento.

Inoltre deve essere specificata la fonte dei dati al fine di poter favorire eventuali revisioni esterne da parte di verificatori. Nel caso di misurazione diretta, è opportuno indicare gli strumenti e i metodi impiegati (es, se calcolati con quali algoritmi; se stimati con quali metodi statistici, ecc.).

3.2 La valutazione degli impatti ambientali attraverso la metodologia LCA

La valutazione degli impatti in uno studio di LCA è la fase in cui si valuta la rilevanza degli impatti ambientali, associando i dati di inventario a specifici impatti e approfondendone lo studio. Le informazioni fornite dall'inventario, infatti, non sono sufficienti per esprimere un giudizio sul danno che potenzialmente può essere arrecato all'ambiente dall'utilizzo di determinate risorse (input) o dal rilascio di determinate emissioni (output). La valutazione degli impatti, quindi, prendendo avvio dall'inventario, consente di calcolare in maniera quantitativa, mediante specifici indicatori di categoria, i potenziali impatti ambientali. Il livello di dettaglio, gli impatti scelti e le metodologie impiegate, dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio, anche se la natura iterativa della LCA può portare in questa fase a modificare obiettivi e campo di applicazione stessi.

La valutazione è generalmente composta di tre fasi:

- selezione delle categorie di impatto, in cui vengono considerati gli effetti ambientali da valutare e gli indicatori idonei a rappresentarli.
- classificazione, in cui i dati di inventario sono attribuiti alle singole categorie di impatto;
- caratterizzazione, in cui si procede a una pesatura dei dati all'interno di ogni categoria.

Accanto a tali elementi obbligatori dell'analisi, ci sono degli elementi opzionali: normalizzazione, aggregazione e ponderazione degli indicatori e tecniche di analisi della qualità dei dati.

Nella fase di valutazione delle performance ambientali di prodotto (Life Cycle Impact Assessment – LCIA), i consumi di materie e di energia così come i composti che formano le emissioni in aria, acqua e suolo (dati di input/output) vengono aggregati in funzione degli effetti che possono procurare sull'ambiente (riscaldamento globale, tossicità per l'uomo, acidificazione, impoverimento abiotico, ecc.) e in funzione della rilevanza di ciascuno. La valutazione di impatto dell'impronta ambientale ha lo scopo di evidenziare l'entità dei potenziali impatti ambientali generati a seguito delle emissioni nei diversi comparti ambientali e dei consumi di risorse ed energia. A titolo di esempio, la recente metodologia PEF (Product Environmental Footprint) promossa dalla Commissione Europea (ILCD 2011, JRC, 2012) propone 15 categorie di impatto differenziate, ognuna delle quali viene rappresentata da uno specifico indicatore quantitativo (Tabella 2).

Tabella 2

Categorie di impatto	Indicatore	Descrizione
Cambiamenti climatici (GWP 100)	kg CO ₂ eq	Capacità di un gas a effetto serra di influenzare i cambiamenti della temperatura media globale dell'aria a livello del suolo e alle successive variazioni di diversi parametri climatici e dei loro effetti (espresso in unità di CO ₂ -equivalenti e in uno specifico arco temporale: 100 anni).
Riduzione dello strato di ozono	kg CFC-11 eq ⁴	Degradazione dell'ozono stratosferico dovuta alle emissioni di sostanze lesive dell'ozono, quali gas contenenti cloro e bromo di lunga durata (per esempio CFC, HCFC, halon).
Tossicità per gli esseri umani - effetti cancerogeni	CTUh ⁵ (unità tossica comparativa per gli esseri umani)	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze cancerogene.
Tossicità per gli esseri umani - effetti non cancerogeni	CTUh (unità tossica comparativa per gli esseri umani)	Effetti negativi sulla salute degli esseri umani causati dall'assunzione di sostanze tossiche per inalazione di aria, ingestione di cibo/acqua, penetrazione cutanea, nella misura in cui si tratta di sostanze non cancerogene non causate da particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche o da radiazioni ionizzanti.
Particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche	kg PM _{2.5} eq	Effetti avversi sulla salute umana causati dalle emissioni di particolato (PM) e dai suoi precursori (NO _x , SO _x , NH ₃).
Radiazione ionizzante – effetti sulla salute umana	kg U ₂₃₅ eq	Effetti negativi sulla salute umana causati da emissioni radioattive.
Formazione di ozono fotochimico	kg NMVOC eq ⁶	Formazione di ozono al livello del suolo della troposfera causata da ossidazione fotochimica di composti organici volatili (VOC) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (NO _x) e luce solare. Alte concentrazioni di ozono troposferico a livello del suolo sono dannose per la

4 CFC-11 = triclorofluorometano, noto anche come freon-11 o R-11, è un clorofluorocarburo.

5 CTUh fornisce una stima dell'aumento della morbidità nella popolazione umana totale per massa unitaria di una sostanza chimica emessa (casi per chilogrammo), presupponendo una ponderazione uguale tra gli effetti cancerogeni e gli effetti non cancerogeni dovuta a mancanza di informazioni più precise sull'argomento

6 NMVOC = composti organici volatili non metanici

		vegetazione, le vie respiratorie dell'uomo e i materiali artificiali attraverso la reazione con materiali organici.
Acidificazione	molc H ⁺ eq	Ripercussioni delle sostanze acidificanti sull'ambiente. Le emissioni di NO _x , NH ₃ e SO _x comportano il rilascio di ioni idrogeno quando i gas sono mineralizzati. I protoni favoriscono l'acidificazione dei suoli e delle acque, se rilasciati in superfici dove la capacità tampone è bassa, con conseguente deterioramento delle foreste e acidificazione dei laghi.
Eutrofizzazione – terrestre	mol N eq	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di vegetazione. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso.
Eutrofizzazione – acquatica	kg P eq	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di alghe e altra vegetazione nelle acque. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso e, in alcuni casi, moria ittica.
Eutrofizzazione – marina	kg N eq	I nutrienti (principalmente azoto e fosforo) di scarichi fognari e terreni agricoli fertilizzati accelerano la crescita di alghe e altra vegetazione nelle acque. Il deterioramento di materiale organico consuma ossigeno provocando così carenza dello stesso e, in alcuni casi, moria ittica.
Ecotossicità – ambiente acquatico acqua dolce	CTUe ⁷ (unità tossica comparativa per gli ecosistemi)	Impatti tossici su un ecosistema, che danneggiano le singole specie e modificano la struttura e la funzione dell'ecosistema.
Trasformazione del terreno	kg C deficit	Utilizzo e trasformazione del territorio con attività quali agricoltura, costruzione di strade, case, miniere, ecc. L'occupazione del suolo considera gli effetti della destinazione del suolo, la superficie del territorio interessato e la durata della sua occupazione (variazioni della qualità moltiplicate per superficie e durata). La trasformazione del suolo considera l'entità delle variazioni delle proprietà del suolo e la superficie interessata (variazioni della qualità moltiplicate per la superficie).
Impoverimento delle risorse – acqua	m ³ water eq	Uso di m ³ di acqua connesso alla scarsità locale di acqua
Impoverimento delle risorse – minerali, fossili	kg Sb eq	kg di antimonio (Sb) equivalente

Fonte: JRC, 2012.

Nella selezione delle categorie di impatto è opportuno valutare anche la scala geografica locale, regionale o globale degli impatti, in coerenza con gli obiettivi dello studio. La classificazione è la fase nella quale i dati

⁷ CTUe fornisce una stima della frazione di specie potenzialmente interessata integrata nel tempo e del volume per massa unitaria di una sostanza chimica emessa

dell'inventario sono distribuiti nelle varie categorie di impatto. Ogni input e output può essere incluso in più di una categoria di impatto e la scelta dipende dall'obiettivo dello studio. I risultati dell'analisi condotta sono stati riportati alle seguenti categorie d'impatto:

- Potenziale di Riscaldamento Globale (*Global Warming Potential - GWP100*), ovvero l'effetto di riscaldamento integrato nei prossimi 100 anni dovuto all'emissione in atmosfera di gas ad effetto serra (CO₂, CH₄, N₂O, ecc.)
- Particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche, ossia gli effetti avversi sulla salute umana causati dalle emissioni di particolato (PM) e dai suoi precursori (NO_x , SO_x , NH₃).l'aumento della concentrazione delle sostanze nutritive in ambienti acquatici, essenzialmente composti a base di fosforo e di azoto. La crescita degli organismi acquatici è naturalmente limitata dall'apporto di tali composti. Un rilascio di nutrienti a base di fosforo e azoto riduce questa limitazione con un conseguente abbassamento della concentrazione di ossigeno ed effetti negativi sull'intero ecosistema;
- Potenziale di formazione di smog fotochimico, inteso come la produzione di sostanze organiche volatili che, per azione della luce, sono in grado di promuovere una reazione di ossidazione che porta alla produzione di ozono nella troposfera;
- Acidificazione, ovvero l'abbassamento del pH di suoli, laghi, foreste, a causa dell'immissione in atmosfera di sostanze acide, quali ossidi di azoto (NO_x) e ossidi di zolfo (SO_x), con conseguenze dannose sugli organismi viventi (es. "piogge acide").

Il modello di calcolo utilizzato per l'elaborazione dei dati raccolti è il SIMA-PRO 8.4 che opera secondo una metodologia caratterizzata dall'impostazione di processi singoli concatenati tra di loro in modo da riprodurre la filiera del sistema produttivo in esame. Le singole operazioni, in tal modo, costituiscono dei sottosistemi il cui impatto può essere studiato separatamente da quello dell'intero sistema. Tale flessibilità permette le simulazioni necessarie per gli studi di sensitività e per ipotizzare miglioramenti dei rendimenti del sistema in esame. La banca dati del Software SIMA-PRO 8.4 include a sua volta la banca dati ELCD - European Life Cycle Database, la banca dati Ecoinvent e la banca dati Agrifootprint.

3.3 Definizione del modello di valutazione dei processi di logistica

Per effettuare le analisi di LCA attraverso il software selezionato è stato necessario modellare i singoli mezzi di trasporto presenti nei diversi scenari analizzati. Di seguito vengono indicate le informazioni minime che sono state richieste per ogni tipologia di mezzo. Per i mezzi a gasolio sono state richieste le informazioni relative alla capacità di carico massima e alla classe di emissioni (EUR1-EUR6). Tali informazioni consentono di utilizzare direttamente gli ecoprofili contenuti nei database del software SimaPro. Il vantaggio derivante dall'utilizzo dei database del software è la completezza delle informazioni. Per i veicoli diesel il database utilizzato è Ecoinvent 3.3. Tale database consente di scegliere veicoli con diverse classi di emissioni (EUR). Le informazioni primarie relative all'elenco dei mezzi diesel effettivamente utilizzati in una giornata tipo fornite dall'azienda che gestisce i servizi di consegna sono riassunte nella tabella presentata in appendice. I dati relativi ai processi del database Ecoinvent sono riportati nella tabella successiva:

Tabella 3

Mezzo	Capacità di carico massima	Capacità di carico effettivamente utilizzata	Consumo gasolio (kg/tkm)
lorry 3.5-7.5 metric ton	3.5-7.5 t	0.98 t	0,1093

Fonte: nostre elaborazioni su dati provenienti dal database Ecoinvent 3.3

Si precisa che i dataset relativi ai processi di trasporto Ecoinvent sopra indicati includono l'intero ciclo di vita del mezzo utilizzato, incluse le emissioni connesse con l'usura degli pneumatici. Gli analoghi dati relativi ad alcuni mezzi effettivamente utilizzati a Milano e Torino sono riportati nella tabella successiva (fonte dati: Urbelog, 2018):

Tabella 4

Mezzo	Capacità di carico massima	Capacità di carico effettivamente utilizzata (50%)	Consumo (kg/km)	Consumo gasolio (kg/tkm)
Veicolo tipo 1	1,25 t	0,625 t	0,1389	0,2222
Veicolo tipo 2	1 t	0,5 t	0,125	0,25

Fonte: nostre elaborazioni su dati provenienti dal database Ecoinvent 3.3

I dati del database ECOINVENT 3 relativi ai mezzi a gasolio includono la costruzione del mezzo e la manutenzione periodica. Per i furgoni elettrici (con ricarica) sono state reperite le seguenti informazioni: carico effettivamente trasportato, km percorsi e kwh consumati per km percorso. Tali informazioni consentono di utilizzare direttamente gli ecoprofili contenuti nei database del software SimaPro. Con riferimento agli scenari alternativi oggetto di studio, sia per la città di Milano che per Torino si è proceduto a modellare sia il mezzo furgone elettrico “leggero” che il furgone elettrico “pesante”. Le caratteristiche tecniche delle due tipologie di veicoli riportate nella tabella seguente sono indicative e rappresentano la media dei valori riportati dalle case costruttrici per i modelli di cui è stato possibile raccogliere informazioni attraverso i listini di vendita.

Tabella 5

Mezzo	Capacità di carico massima	Capacità max batteria (kwh)	Autonomia max (km)
Leggero	730 kg	24	170
Pesante	2000 kg	28 (da 1 a 3 batterie)	280 (3 batterie)

Fonte: nostre elaborazioni su dati provenienti dal database Ecoinvent 3.3

Sulla base di tali caratteristiche tecniche, per il furgone leggero si è stimato che una carica integrale della batteria (24 kwh) consenta di trasportare 500 kg per 100 km, per un consumo kwh/tkm pari a 0.48, mentre per il furgone pesante si è stimato che una carica integrale delle batterie consenta di trasportare 1250 kg per 200 km, per un consumo kwh/tkm pari a 0,2556. I dati utilizzati si riferiscono al processo incluso nel database ECOINVENT 3 denominato “Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO”X”, ossia lo stesso utilizzato per i mezzi a gasolio, con la sostituzione dei consumi di gasolio con quelli elettrici e l'eliminazione di tutte le emissioni associate al motore a gasolio. I dati del database ECOINVENT 3 relativi ai furgoni elettrici includono gli stessi impatti associati alla costruzione e manutenzione periodica dei mezzi diesel, non considerando quindi la costruzione delle batterie ricaricabili.

4 Descrizione degli scenari di logistica distributiva last-mile

Il modello LCA è stato utilizzato per valutare diversi scenari relativi alle operazioni di consegna di un operatore privato di grandi dimensioni. I dati relativi alle performance operative dei veicoli utilizzati dall'operatore logistico e modellizzati in tali scenari sono stati raccolti nell'ambito del progetto di ricerca URBeLog - URBan Electronic LOGistics, che ha previsto una sperimentazione su due siti pilota nelle aree ZTL delle città di Milano e Torino. Nel corso del progetto è stata sviluppata e sperimentata una piattaforma telematica e informatica dinamica e partecipata per servizi e applicazioni riguardanti la distribuzione urbana delle merci,

in grado di aggregare gli stakeholder e di gestire in tempo reale i processi distributivi dalla produzione alla consegna. Oltre all'ottimizzazione dinamica del routing dei mezzi, il progetto ha permesso di sperimentare nelle due aree metropolitane l'utilizzo di veicoli elettrici per le operazioni di consegna svolte dall'operatore privato partner del progetto. Una descrizione dettagliata degli obiettivi e delle attività svolte durante la sperimentazione è riportata in Urbelog (2018) e Croci et. al (2017).

È stato scelto di limitare l'analisi alle aree ZTL delle due città perché esse rappresentano una dimensione di notevole interesse per diverse ragioni. Da un lato, dal punto di vista della pianificazione comunale, tali aree sono state adottate al fine di ridurre il traffico, le emissioni di sostanze inquinanti ed il rumore provocati dai veicoli nel centro delle aree urbane, attraverso la limitazione del transito in alcuni orari e ai veicoli sotto una specifica classe di emissioni, data di omologazione o classe di peso. Inoltre, le ZTL rivestono un'importante ambito di analisi delle attività di consegna da parte degli operatori di logistica, le cui scelte di gestione operativa sono influenzate dalle regole in vigore nelle aree soggette a tali limitazioni. Per quanto riguarda la città di Milano, le attività analizzate sono relative al servizio di consegna effettuato nella ZTL identificata dal provvedimento di "congestion charge" (Area C), che copre l'intera Cerchia dei Bastioni e si estende per un'area di 8,2 km quadrati. Milano è caratterizzata dalla presenza di più zone a traffico limitato protette con telecamere (Area C, Navigli, Arco della Pace, Corso Garibaldi e Via Paolo Sarpi). L'Area C di Milano è l'unica area nella quale sono state analizzate le attività dell'operatore privato. L'attività analizzata negli scenari di Torino si riferisce al servizio di consegna effettuato nella ZTL "Centrale", delimitata da Corso della Regina Margherita, Corso San Maurizio, Corso Vittorio Emanuele II e Corso Palestro e caratterizzata da un'estensione totale di 2,58 km quadrati. L'Area ZTL di Torino è pertanto di estensione minore rispetto all'Area C di Milano.

Il periodo di osservazione dei percorsi effettuati con i veicoli va dal 03/07/2017 al 30/09/2017 per la città di Milano e dal 21/04/2017 al 31/08/2017 per la città di Torino. Inoltre, per quanto riguarda Milano, i percorsi di consegna effettuati dai veicoli partono dal centro di distribuzione dell'operatore logistico, situato nell'area di Peschiera Borromeo, distante 14 km dal centro di Milano. A Torino invece, i percorsi di consegna effettuati dai veicoli partono dal centro di distribuzione situato nell'area di Torino Pescarito, distante 8 km dal centro della città. I tragitti effettuati dai veicoli, da e per il centro di Peschiera ed il centro di Torino Pescarito ad inizio e fine giornata, sono stati inclusi nel calcolo delle percorrenze effettuate. I dati raccolti sia a Milano che a Torino sono i seguenti:

- tipologie di mezzi di consegna utilizzati (elenco con indicazione della classe di emissione e capacità di carico massima)
- numero di mezzi utilizzati per singola tipologia
- kg di colli consegnati alla clientela da ogni singolo mezzo in un giorno
- km percorsi da ogni singolo mezzo in un giorno

Sono stati calcolati i valori medi dei parametri del servizio di consegna effettuato a partire dai dati delle singole giornate. Tali valori sono considerati rappresentativi della media annuale. Ottenuti i dati primari è stato possibile costruire un modello LCA (scenario base) in grado di rapportare i risultati (indicatori di impatto) ad una unità funzionale di riferimento, definita in 1 kg di colli trasportati in 1 giorno, o nel suo multiplo (1 t di colli trasportati in 1 giorno). Tale unità funzionale consente di confrontare l'attuale mix di mezzi utilizzati con scenari alternativi, riuscendo a cogliere l'impatto di un incremento di efficienza nei consumi e nelle emissioni (es. variazioni nelle tipologie di alimentazione dei mezzi). Sono stati presi in considerazione due scenari per l'area ZTL di Milano e Torino: "as is" e "ZEV".

Scenario "as is"

Lo scenario si riferisce ad una giornata tipo di un singolo operatore privato di grandi dimensioni e prevede l'utilizzo esclusivo di mezzi alimentati a gasolio. I dati del servizio di consegna realmente effettuato nelle città sono stati raccolti nell'ambito del progetto URBeLOG (Croci et. al, 2017). Mediamente, l'attività di consegna nell'area identificata è portata a termine a Milano per mezzo di 14 veicoli e a Torino per mezzo di 4 veicoli.

In totale, i veicoli in esame percorrono quotidianamente 929 km nel primo caso e 328 km nel secondo. La tabella riepiloga i dati dei veicoli operativi nello scenario “as is”.

Tabella 6: Veicoli e percorrenze nello scenario “as is”

Milano			
MEZZO	Standard di emissione	Km percorsi nella giornata tipo	Kg trasportati nella giornata tipo
VEICOLO 1	EUR5	64	1017
VEICOLO 2	EUR5	61	1325
VEICOLO 3	EUR4	51	172
VEICOLO 4	EUR5	102	666
VEICOLO 5	EUR5	82	963
VEICOLO 6	EUR4	54	1017
VEICOLO 7	EUR4	70	1087
VEICOLO 8	EUR5	74	701
VEICOLO 9	EUR4	59	1734
VEICOLO 10	EUR4	58	1533
VEICOLO 11	EUR5	52	1406
VEICOLO 12	EUR5	90	777
VEICOLO 13	EUR5	45	62
VEICOLO 14	EUR5	59	1232
TOTALE SCENARIO		929	13.696
Torino			
MEZZO		Km percorsi nella giornata tipo	Kg trasportati nella giornata tipo
VEICOLO 1	EUR5	108	783
VEICOLO 2	EUR5	61	1.063
VEICOLO 3	EUR5	92	3.289
VEICOLO 4	EUR5	68	469
TOTALE SCENARIO		328	5.604

Fonte: nostre elaborazioni sulla base di dati Croci et al. (2017)

Scenario “ZEV”

Lo scenario valuta la sostituzione dei mezzi alimentati a gasolio utilizzati dall’operatore in una giornata lavorativa tipo con furgoni elettrici (ZEV). Tale scenario corrisponde ad una delle sperimentazioni pilota effettuate nel corso del progetto URBeLOG. Grazie alla sperimentazione condotta è stato possibile verificare come le caratteristiche dei veicoli (capacità volumetrica e autonomia chilometrica) non incidano sull’attività di consegna rispetto alla giornata tipo descritta nello scenario “as is”. Per tale ragione, l’area di interesse del servizio di consegna, il numero di chilometri percorsi e dei kg trasportati nello scenario “ZEV” non varia rispetto allo scenario base “as is”. Tale ipotesi, oltre ad essere stata verificata operativamente nel corso del

progetto, consente di isolare l'effetto sugli impatti ambientali della sola variazione nella tipologia di veicoli utilizzati.

5 Risultati dell'analisi LCA

5.1 Impatti ambientali negli scenari di consegna a Milano

La tabella seguente riporta i risultati degli scenari relativi all'area ZTL di Milano riferiti all'unità funzionale di 1 t di colli trasportati.

Tabella 7

Categoria di impatto	Indicatore	As is	ZEV
Climate change	kg CO2 eq	33,38	23,02
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,0149	0,0161
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1306	0,0696
Acidification	molc H+ eq	0,1462	0,1323

Fonte: nostre elaborazioni

Gli impatti ambientali sono calcolati per quanto riguarda la categoria di impatto "climate change" attraverso i kg di CO2 equivalente emessa. Tale valore risulta pari a 33.38 kg per ogni tonnellata di colli trasportata nello scenario "as is", in cui il parco veicolare è composto da furgoni a gasolio, pari a 23 kg nello scenario "ZEV" che ipotizza l'adozione di veicoli elettrici. Gli impatti della categoria "particulate matter" sono misurati attraverso le emissioni equivalenti di PM2.5. Nello scenario "as is" queste sono pari a 0.0149 kg, mentre nello scenario "ZEV" risultano pari a 0.0161 kg. Gli impatti della categoria "Photochemical ozone formation" sono misurati attraverso le emissioni equivalenti di NMVOC (Non-methane volatile organic compound). Nello scenario "as is" queste sono pari a 0.1306 kg, mentre nello scenario "ZEV" risultano pari a 0.0696 kg. Infine, nella categoria di impatto "acidification" lo scenario "as is" comporta emissioni pari a 0,1462 molc H+ eq (misura del rilascio di ioni idrogeno) e lo scenario "ZEV" pari a 0,1323 molc H+ eq. La tabella successiva mostra le variazioni percentuali dello scenario "ZEV" rispetto a quello base ("as is").

Tabella 8

Categoria di impatto	Indicatore	ZEV
Climate change	kg CO2 eq	-31%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	8%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	-47%
Acidification	molc H+ eq	-9%

Fonte: nostre elaborazioni

Dalle tabelle si evince come lo scenario ZEV sia sempre vincente rispetto allo scenario base, ad eccezione della categoria "particulate matter", dove risulta essere il più impattante. Lo scenario attuale "as is" risulta nettamente più impattante in tre categorie su quattro rispetto allo scenario "ZEV", che a parità di numero di veicoli e km percorsi ipotizza l'adozione di una flotta di veicoli elettrici. Le motivazioni del maggior impatto dello scenario ZEV per quanto concerne la categoria "particulate matter" sono da ricercare nel processo produttivo dell'energia elettrica prelevata dalla rete per alimentare i mezzi elettrici. A riprova di tali motivazioni, ipotizzando di alimentare una frazione (5%, 15% e, all'estremo, 100%) dei mezzi elettrici con colonnine fotovoltaiche dedicate, i risultati per l'indicatore "particulate matter" nello scenario ZEV vengono ridotti del 2%, 6% e 20% rispettivamente. Appare evidente come con quote di poco superiori al 15% di energia

elettrica prodotta da fonte solare lo scenario ZEV sarebbe vincente rispetto allo scenario “as is” anche per l’indicatore “particulate matter”.

5.2 Impatti ambientali negli scenari di consegna a Torino

La tabella seguente riporta i risultati degli scenari analizzati per l’area ZTL di Torino, riferiti all’unità funzionale di 1 t di colli trasportati.

Tabella 9

Categoria d'impatto	Unità	AS IS - (t)	ZEV - (t)
Climate change	kg CO2 eq	43,69	23,57
Particulate matter	Kg PM2.5 eq	0,0194	0,0186
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1514	0,0777
Acidification	molc H+ eq	0,1767	0,1394

Fonte: nostre elaborazioni

Gli impatti ambientali sono calcolati per quanto riguarda la categoria di impatto “climate change” attraverso i kg di CO2 equivalente emessa. Tale valore risulta pari a 43.69 kg per ogni tonnellata di colli trasportata nello scenario “as is”, in cui il parco veicolare è composto da furgoni a gasolio, pari a 23 kg nello scenario “ZEV” che ipotizza l’adozione di veicoli elettrici. Gli impatti della categoria “particulate matter” sono misurati attraverso le emissioni equivalenti di PM2.5. Nello scenario “as is” queste sono pari a 0.0194 kg, mentre nello scenario “ZEV” risultano pari a 0.0186 kg. Gli impatti della categoria “Photochemical ozone formation” sono misurati attraverso le emissioni equivalenti di NMVOC (Non-methane volatile organic compound). Nello scenario “as is” queste sono pari a 0.1514 kg, mentre nello scenario “ZEV” risultano pari a 0.0777 kg. Infine, nella categoria di impatto “acidification” lo scenario “as is” comporta emissioni pari a 0,1767 molc H+ eq e lo scenario “ZEV” pari a 0,1394 molc H+ eq. È importante sottolineare che il valore delle emissioni calcolate nelle due città differisca per via della diversità dei percorsi che i veicoli effettuano nelle due aree ZTL per portare a termine una stessa quantità di consegne. Dal momento che l’unità funzionale è il peso dei colli trasportati (1 tonnellata), e poiché le consegne nella città di Torino richiedono un numero medio di km per collo consegnato maggiore che nella città di Milano, l’impatto della consegna di una tonnellata di colli è più alto per Torino rispetto che per Milano.

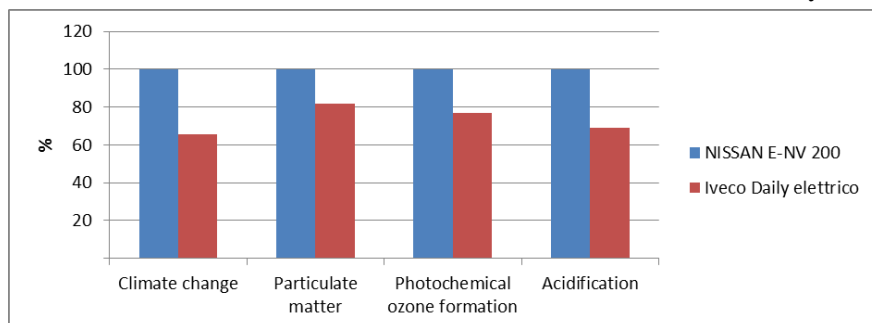
Tabella 10

Categoria d'impatto	Unità	ZEV - (t)
Climate change	kg CO2 eq	-46,1%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	-4,0%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	-48,7%
Acidification	molc H+ eq	-21,1%

Fonte: nostre elaborazioni

L’unico elemento rilevante di distinzione tra i due casi può essere individuato nell’analisi della categoria “particolato” dove lo scenario ZEV appare essere meno impattante dello scenario base, al contrario di quanto emerso per l’area di Milano. Le ragioni di tale differenza sono da ricercare nella diversa composizione di veicoli elettrici che per l’area di Torino includono anche l’utilizzo del mezzo ZEV pesante, che presenta minori consumi specifici per kg di merce trasportata. Il grafico riportato nella Figura 3 evidenzia, con riferimento alle categorie di impatto analizzate, il diverso profilo di impatto dei due mezzi elettrici, uno “leggero” (NISSAN E-NV 200) ed uno “pesante” (Iveco Daily elettrico), come mostrato nella Figura 1.

Figura 1: Confronto di 1 tkm 'NISSAN E-NV 200' con 1 tkm 'Iveco Daily elettrico'



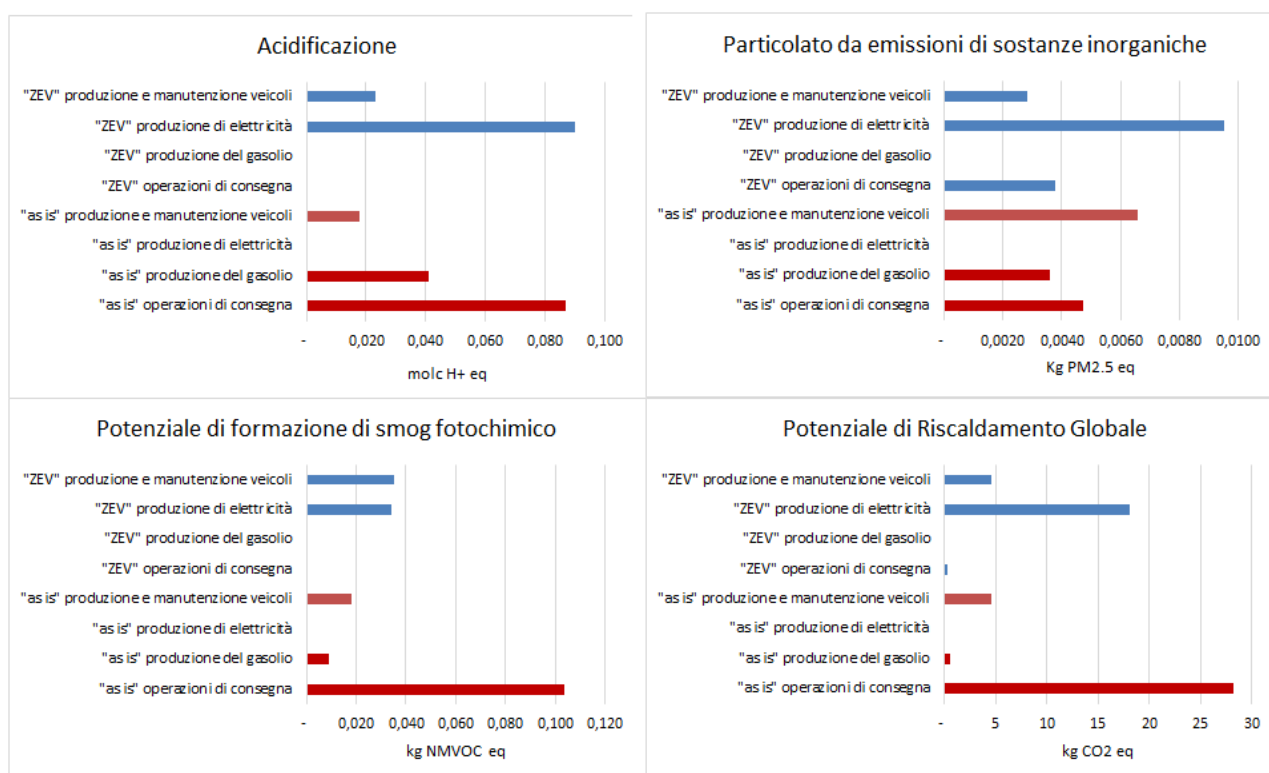
Fonte: nostre elaborazioni

5.3 Analisi del contributo dei singoli processi del ciclo di vita

Al fine di poter correttamente interpretare i risultati sopra riportati, è necessario analizzare il contributo dei singoli processi alle categorie di impatto. Il modello di calcolo LCA SIMA-PRO 8.4 ha consentito di studiare l'impatto delle singole fasi del ciclo di vita. Complessivamente, sono stati identificati 104 processi nel ciclo di vita in grado di determinare delle emissioni in almeno una delle quattro categorie d'impatto. I singoli processi sono stati successivamente raggruppati in quattro macro-fasi: produzione e manutenzione dei veicoli, produzione del gasolio utilizzato dai veicoli, produzione di elettricità utilizzata dai veicoli, operazioni di consegna. La tabella 14 in allegato riporta l'attribuzione dei diversi processi a ciascuna macro-fase. I grafici riportati (Figura 1 e 2) evidenziano i contributi delle diverse macro-fasi alle categorie di impatto per gli scenari "as is" e "ZEV" a Milano e Torino. Confrontando in dettaglio il contributo dei singoli processi all'effetto serra per gli scenari "as is" e ZEV a Milano si nota come per lo scenario "as is" le emissioni dirette generate dai veicoli diesel (euro5 ed euro4) siano pari a 28 kg CO₂ eq (85% del totale), mentre per lo scenario "ZEV" i contributi principali, pari a 18 kg CO₂ eq (78% del totale), derivano da tutte le fonti non rinnovabili di produzione di energia elettrica. I valori sono relativi all'unità funzionale selezionata, ovvero una tonnellata di colli consegnata dai veicoli. Il contributo dell'intera costruzione dei mezzi utilizzati contribuisce per circa 5 kg CO₂ eq sia nello scenario ZEV (20% del totale) sia nello scenario "as is" (14% del totale)⁸. L'analisi del contributo dei singoli processi all'indicatore della categoria "particolato" mostra come la causa del maggiore impatto dello scenario "ZEV" rispetto allo scenario "as is" a Milano sia imputabile alle emissioni generate nella produzione di energia elettrica, a cui corrispondono emissioni pari a 0,0095 Kg PM_{2.5} eq, in particolar modo per la quota proveniente da carbone e prodotti petroliferi tuttora utilizzati nel mix energetico nazionale (Figure 2 e 3). Si noti che l'indicatore non misura le concentrazioni locali di particolato, ma rappresenta il potenziale danno associato alle emissioni di particolato a livello globale, indipendentemente dalla collocazione geografica del punto di emissione. L'analisi del contributo dei singoli processi alle categorie "potenziale di formazione di smog fotochimico" e "acidificazione" nello scenario "as is" a Milano mostra come il fattore più rilevante siano le operazioni di consegna, con emissioni pari a 0,104 kg NMVOC eq e 0,087 molc H⁺ eq rispettivamente. Nello scenario "ZEV" a Milano il contributo maggiore nella categoria "acidificazione" è dato dalla produzione di energia elettrica, con emissioni pari a 0,090 molc H⁺ eq. Nello stesso scenario, le emissioni nella categoria "potenziale di formazione di smog fotochimico" dovute alla produzione di elettricità elettrica e alla produzione e manutenzione veicoli si equivalgono, essendo rispettivamente pari a circa 0,035 NMVOC eq. Si può notare pertanto come sia per l'indicatore "potenziale di formazione di smog fotochimico" sia per "acidificazione" il maggiore impatto dello scenario "as is" rispetto allo scenario ZEV sia imputabile principalmente alle emissioni dirette generate dai veicoli a gasolio e ai relativi processi di raffinazione (Figure 2 e 3). Le considerazioni rispetto al contributo dei singoli processi alle categorie di impatto sono comuni per gli scenari ipotizzati nelle due città.

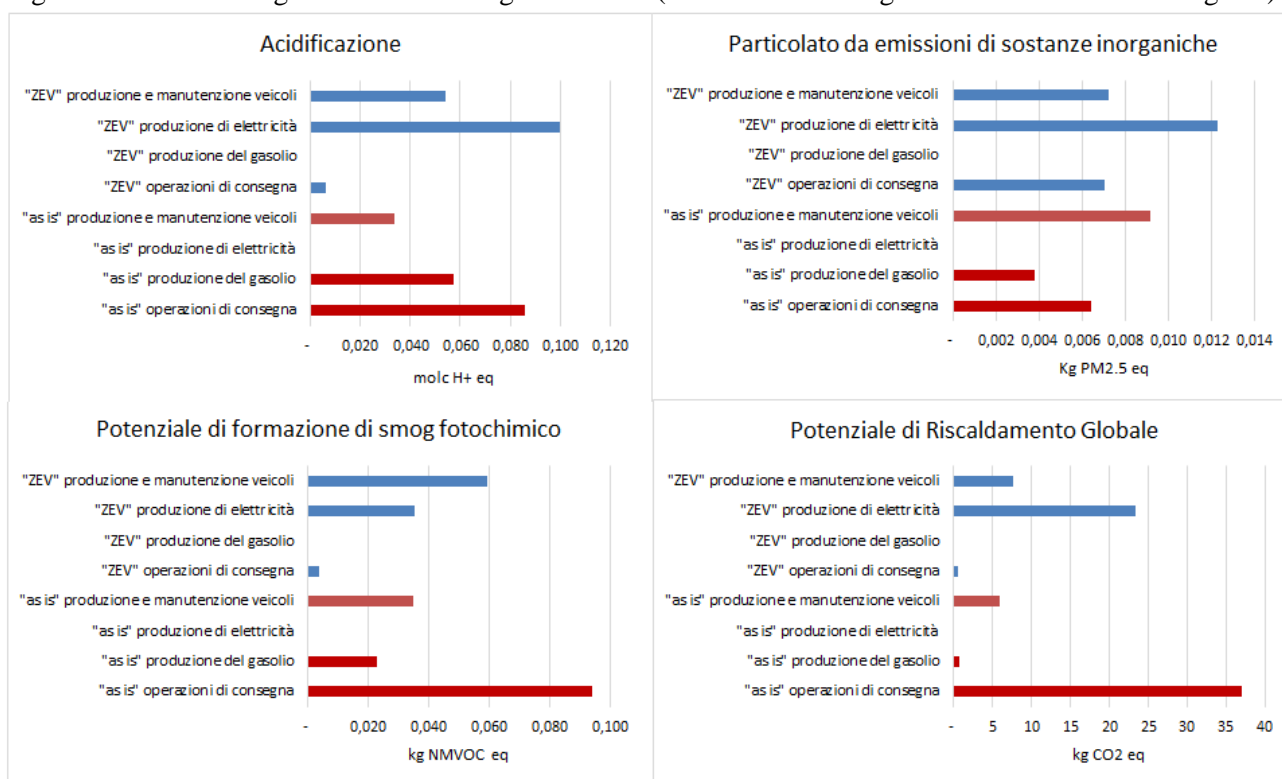
⁸ Considerando questi ultimi dati, quindi, il dato mancante relativo all'impatto associato alla costruzione delle batterie dei furgoni elettrici può ritenersi non particolarmente significativo ai fini dei confronti degli scenari.

Figura 2: Emissioni negli scenari di consegna a Milano (sostanze emesse ogni tonnellata di colli consegnata)



Fonte: nostre elaborazioni

Figura 3: Emissioni negli scenari di consegna a Torino (sostanze emesse ogni tonnellata di colli consegnata)



Fonte: nostre elaborazioni

6 Conclusioni

Attraverso l'applicazione della metodologia di analisi del ciclo di vita (LCA), il paper mostra come diverse modalità di logistica last-mile incidono sull'impronta ambientale del servizio. Il modello di calcolo LCA utilizzato (SIMA-PRO 8.4), ha consentito di riprodurre la filiera del sistema produttivo in esame e di studiare l'impatto delle singole operazioni separatamente rispetto all'intero sistema. Sono state considerate le seguenti categorie d'impatto: Potenziale di Riscaldamento Globale; Particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche; Potenziale di formazione di smog fotochimico; Acidificazione. I dati relativi alle soluzioni di logistica distributiva sono stati raccolti nell'ambito del progetto di ricerca URBeLog, che ha permesso di raccogliere i dati relativi alle operazioni di consegna attualmente effettuate nelle città oltre che di sperimentate nelle aree ZTL di Milano e Torino l'utilizzo di veicoli elettrici in alternativa ai veicoli a gasolio. Le emissioni di gas climalteranti per ogni tonnellata di colli trasportata nello scenario di consegna attuale "as is" ammontano a 33.38 kg di CO₂ equivalente nel caso di Milano e 43.69 kg di CO₂ equivalente nel caso di Torino. Le emissioni di particolato nello stesso scenario sono pari a 0.0149 kg equivalenti di PM_{2.5} nel caso di Milano e 0.0194 kg nel caso di Torino. Le emissioni che determinano la formazione di ozono fotochimico sono pari a 0.1306 kg di NMVOC (Non-methane volatile organic compound) nel caso di Milano e 0.1514 kg nel caso di Torino. Infine, il grado di acidificazione, misurato dal grado di rilascio di ioni idrogeno, è pari a 0,1462 molc H⁺ eq nel caso di Milano e a 0,1767 molc H⁺ eq nel caso di Torino. Le differenze nei valori riscontrati per unità di riferimento tra gli scenari di Milano e Torino derivano dalle diverse caratteristiche dei giri di consegne effettuati nelle due città. A Milano, lo scenario "as is", che ipotizza la gestione delle consegne unicamente attraverso furgoni a gasolio, risulta nettamente più impattante in tre categorie su quattro rispetto allo scenario "ZEV", che a parità di numero di veicoli e km percorsi ipotizza l'adozione di una flotta di veicoli elettrici. Lo scenario ZEV risulta più impattante solo per quanto concerne le emissioni di particolato, a causa delle emissioni legate al processo produttivo dell'energia elettrica prelevata dalla rete per alimentare i mezzi elettrici. Nel caso di Torino, lo scenario "ZEV" è sempre preferibile rispetto alla gestione attuale delle consegne, anche nel caso delle emissioni di particolato, per via di una maggiore efficienza nelle operazioni di consegna dei mezzi elettrici inclusi nello scenario, di dimensioni maggiori rispetto ai mezzi inclusi nello scenario di Milano. Rispetto alle modalità di consegna attuali si osservano riduzioni del 30-50% per le categorie Potenziale di Riscaldamento Globale e Potenziale di formazione di smog fotochimico e del 9% - 20% per l'Acidificazione con l'adozione di veicoli elettrici. L'adozione della metodologia LCA permette di identificare i contributi principali agli impatti ambientali identificati: in entrambe le città, nello scenario "as is" le emissioni dirette generate dai veicoli diesel (euro5 ed euro4) rappresentano l'85% del totale, con un ulteriore contributo di oltre il 14% associato alla produzione e manutenzione dei veicoli. Per lo scenario "ZEV" i contributi principali derivano da tutte le fonti non rinnovabili di produzione di energia elettrica. Le emissioni di particolato derivano nello scenario "as is" delle due città per circa il 30% dalle operazioni di trasporto, per circa il 25% dalla produzione di gasolio e per il 45% dalla produzione e manutenzione dei veicoli. Nello scenario "ZEV" invece il maggiore contributo deriva dalla produzione di elettricità. In entrambe le città infine, il fattore più rilevante nel contributo alle categorie "potenziale di formazione di smog fotochimico" e "acidificazione" sono le operazioni di trasporto su strada per quanto riguarda lo scenario "as is" e la produzione di energia elettrica nello scenario "ZEV".

7 Bibliografia e sitografia

AMAT (2015), Studi sulla logistica urbana delle merci finalizzati alla redazione del piano urbano della mobilità sostenibile. Rapporto sull'aggiornamento della base dati informativa relativa al trasporto merci in Milano.

Baglieri E., Fiorillo V., (2013). Modelli Di City Logistics e Key Performance Indicators, Sda Bocconi School Of Management 2013.

Ce Delft (2011), External Costs of Transport in Europe. Update study for 2008

Centro Studi Confetra, (2008). La fattura Italia dei servizi logistici E Del Trasporto Merci – Anno 2006 Confederazione Generale Italiana Dei Trasporti E Della Logistica Quaderno N. 2 – Aprile 2008.

Commissione Europea, Direzione Generale Trasporti (1998), Cost 231. Urban goods transport, Office for official publication of the European Communities, Bruxelles

Commissione Europea, (2011). Libro Bianco dei Trasporti. Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti. Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile, COM (2011) 144.

Commissione Europea, (2007). Libro Verde sulla Mobilità Urbana dell'Unione Europea

Comune di Milano e Politecnico di Milano, (2002). Indagine sulla mobilità merci nell'area milanese, Quaderni di studio e progetto AMAT.

Croci E., Grasso D., (2014). Il mercato del trasporto urbano delle merci, in Marciani M., a cura di (2014), Nuovi modelli di governance. Dalla distribuzione urbana alla Smart Logistics. Giordano Editore.

Croci E., Grasso D., Colelli F., (2017). Risultati della valutazione dei costi e benefici sociali ed ambientali connessi alle soluzioni di progetto e di policy locali. IEFER Research Report n. 29

DETR, (1999). Sustainable Distribution: a strategy. London, Department of the Environment, Transport and the Regions.

JCR (2012), Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. EUR 25167 EN – 2012. Publications Office of the European Union; 2012.

Litman, T., (2007). Smart Transportation Emission Reduction Strategies, VTPI

Mészáros, P. (2000) "Towards Sustainable Mobility - Conflicts, Impacts, Principles, Conditions, Aspects Of Ceec\MakeLowercases", Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 28(1-2), pp. 65-75. doi: <https://doi.org/N/A>.

OECD, (2002). Transport Outlook - International Transport Forum.

Perry, R. & Gee, I.L. (1995). Vehicle emissions in relation to fuel composition. Science of the Total Environment 169, 149 – 156.

Robusté, F. et al., (2000). Passenger transport costs in Barcelona Metropolitan Region, Metropolitan Transport Authority of Barcelona. ISBN: 84-7653-744-1 (in Catalan).

Schoemaker, J., Allen, J., Huscheback, M. & Monigl, J., (2006). Quantification of Urban FreightTransport Effects I. Rijswijk, Netherlands.

Stathopoulos et al., 2012. Stathopoulos, A., Valeri, E., and Marcucci, E., (2012). Stakeholder reactions to urban freight policy innovation. *Journal of Transport Geography*, 22, 34-45.

Agrifootprint, www.agri-footprint.com.

Urbelog, <http://www.urbelog.it/urbelog-stt/Project.html>

Ecoinvent, <http://www.ecoinvent.ch>.

ELCD - European Life Cycle Database, <http://lca.jrc.ec.europa.eu>.

Envirodec, <https://www.environdec.com/>

Tabella 11

Processo identificato attraverso SIMA-PRO 8.4	Macro-fase
Blasting {RER} processing Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Blasting {RoW} processing Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Brake wear emissions, lorry {RER} treatment of Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Brake wear emissions, lorry {RoW} treatment of	operazioni di trasporto su strada
Brake wear emissions, lorry {RoW} treatment of Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Carbon black {GLO} production Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Coal gas {RoW} coking Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Coke {RoW} coking	produzione e manutenzione veicoli
Coke {RoW} coking Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Copper {RAS} production, primary Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Diesel {Europe without Switzerland} petroleum refinery operation Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Diesel, burned in building machine	produzione e manutenzione veicoli
Diesel, burned in building machine {GLO} processing	produzione e manutenzione veicoli
Diesel, burned in building machine {GLO} processing	produzione e manutenzione veicoli
Diesel, burned in building machine {GLO} processing Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Diesel, burned in diesel-electric generating set, 10MW {GLO} diesel, burned in diesel-electric generating set, 10MW Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage {ID} electricity production, lignite Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage {IN} electricity production, hard coal Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IN} electricity production, lignite	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage {IN} electricity production, lignite	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IN} electricity production, lignite Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage {IT} electricity production, hard coal	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, hard coal	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, hard coal Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, lignite Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, natural gas, combined cycle power plant	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, natural gas, combined cycle power plant Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, natural gas, conventional power plant	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, natural gas, conventional power plant Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} electricity production, oil Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, biogas, gas engine Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical	produzione di elettricità

Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, oil	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, oil	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, oil Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} treatment of blast furnace gas, in power plant	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {IT} treatment of blast furnace gas, in power plant Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {RU} heat and power co-generation, lignite Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {RU} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {SI} heat and power co-generation, lignite Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage {ZA} electricity production, hard coal Alloc Rec, U	produzione di elettricità
Electricity, high voltage, for internal use in coal mining {CN} electricity production, hard coal, at coal mine power plant	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage, for internal use in coal mining {CN} electricity production, hard coal, at coal mine power plant Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage, for internal use in coal mining {RoW} electricity production, hard coal, at coal mine power plant	produzione e manutenzione veicoli
Electricity, high voltage, for internal use in coal mining {RoW} electricity production, hard coal, at coal mine power plant Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Hard coal {CN} mine operation	produzione e manutenzione veicoli
Hard coal {CN} mine operation Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Hard coal {RoW} mine operation	produzione e manutenzione veicoli
Hard coal {RoW} mine operation Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas {	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas {Europe without Switzerland} refinery gas, burned in furnace Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW	produzione e manutenzione veicoli
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace	produzione del gasolio
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace {Europe without Switzerland} processing Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace {RoW} processing	produzione del gasolio
Heavy fuel oil, burned in refinery furnace {RoW} processing Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Lorry, 16 metric ton {RoW} production Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Lubricating oil {RoW} production Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production	produzione del gasolio
Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production	produzione del gasolio
Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Natural gas, high pressure {US} natural gas production Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Natural gas, vented {GLO} natural gas venting from petroleum/natural gas production	produzione del gasolio

Natural gas, vented {GLO} natural gas venting from petroleum/natural gas production Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Petroleum {RoW} petroleum and gas production, off-shore Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Pig iron {GLO} production	produzione e manutenzione veicoli
Pig iron {GLO} production Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Road {CH} construction	produzione e manutenzione veicoli
Road {CH} construction	produzione e manutenzione veicoli
Road {CH} construction Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Road wear emissions, lorry {RER} treatment of Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Road wear emissions, lorry {RoW} treatment of Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Sinter, iron {GLO} production Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Sour gas, burned in gas turbine {RoW} processing Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Sweet gas, burned in gas turbine	produzione e manutenzione veicoli
Sweet gas, burned in gas turbine {RoW} processing Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Sweetening, natural gas {RoW} processing Alloc Rec, U	produzione e manutenzione veicoli
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 EURO4	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 EURO5	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 {RER}	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER}	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 {RER} transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO5 Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} processing Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, sea, transoceanic tanker {GLO}	operazioni di trasporto su strada
Transport, freight, sea, transoceanic tanker {GLO} processing Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Transport, pipeline, long distance, natural gas {RU} processing Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Tyre wear emissions, lorry {RER} treatment of Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Tyre wear emissions, lorry {RoW} treatment of	operazioni di trasporto su strada
Tyre wear emissions, lorry {RoW} treatment of Alloc Rec, U	operazioni di trasporto su strada
Waste natural gas, sour {GLO} treatment of, burned in production flare	produzione del gasolio
Waste natural gas, sour {GLO} treatment of, burned in production flare	produzione del gasolio
Waste natural gas, sour {GLO} treatment of, burned in production flare Alloc Rec, U	produzione del gasolio
Waste natural gas, sweet {GLO} treatment of, burned in production flare Alloc Rec, U	produzione del gasolio