

## ANALISI COMPARATIVA BASATA SU METODOLOGIA LCA FRA I DIVERSI SCENARI E SOLUZIONI DI LOGISTICA DISTRIBUTIVA

Edoardo Croci, Francesco Colelli, Matteo Donelli,  
Denis Grasso

RESEARCH REPORT  
N. 27  
SEPTEMBER 2017

Info Report text developed  
within the URBeLOG -  
"URBan Electronic  
LOGistics" project, funded  
by the Italian Ministry of  
Education and Research.





<b>TITOLO DOCUMENTO:</b>	<b>D.12.4.1 Documento conclusivo di analisi comparativa basata su metodologia LCA fra i diversi scenari e soluzioni di logistica distributiva</b>
--------------------------	---

<b>CODICE DOCUMENTO:</b>	D.12.4.1
<b>EMESSO DA:</b>	BOCCONI
<b>DATA EMISSIONE:</b>	30/09/2017
<b>N° ALLEGATI:</b>	0
<b>STATO:</b>	DEFINITIVO
<b>TIPO:</b>	CONTRATTUALE
<b>VERSIONE:</b>	1

<b>AUTORE:</b>	Edoardo Croci, Matteo Donelli, Francesco Colelli, Denis Grasso.
<b>CO-AUTORI</b>	FIT Consulting srl
	Iveco
	Politecnico di Torino
<b>DISTRIBUZIONE:</b>	Team del progetto URBeLOG

## INDICE DEGLI ARGOMENTI

<b>1 OBIETTIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>2 LA METODOLOGIA LCA .....</b>	<b>4</b>
2.1 INTRODUZIONE .....	5
2.2 FASE 1 - DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE .....	7
2.2.1 Definizione dell'obiettivo.....	7
2.2.2 Definizione del campo di applicazione .....	7
2.3 FASE 2 - ANALISI DI INVENTARIO.....	10
2.3.1 Raccolta e controllo dei dati .....	10
2.3.2 Procedure di calcolo e allocazione dei dati .....	10
2.4 FASE 3 - VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI.....	11
2.4.1 Selezione delle categorie di impatto.....	11
2.4.2 Classificazione.....	14
2.4.3 Caratterizzazione.....	14
2.4.4 Elementi opzionali .....	14
2.5 FASE 4 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	15
2.5.1 Identificazione degli aspetti significativi.....	15
2.5.2 Valutazione.....	16
2.5.3 Conclusioni.....	16
<b>3 LA METODOLOGIA LCA APPLICATA.....</b>	<b>17</b>
3.1 IL MODELLO LCA: ANALISI CONSEGNE IN AREE METROPOLITANE.....	17
3.1.1 Descrizione generale.....	17
3.1.2 Descrizione del software LCA utilizzato .....	18
3.1.3 Modellazione dei singoli mezzi di trasporto.....	18
3.2 IL MODELLO LCA: DESCRIZIONE DEGLI SCENARI ANALIZZATI.....	22
3.2.1 Descrizione generale.....	22
3.2.2 Modellazione degli scenari di singolo operatore per l'area di Milano.....	23
3.2.3 Modellazione degli scenari di tutti gli operatori per l'area C di Milano .....	26
3.2.4 Modellazione degli scenari per l'area di Torino (privi di mobile depot) .....	27
3.2.5 Modellazione degli scenari per l'area di Torino (con mobile depot).....	28



3.3 IL MODELLO LCA: RISULTATI SCENARI CONSEGNE IN AREE METROPOLITANE .....	29
3.3.1 Risultati scenari per l'area di Milano: singolo operatore.....	30
3.3.2 Risultati scenari per l'area C di Milano: tutti gli operatori .....	45
3.3.2.1 Risultati scenari per l'area C di Milano: valori assoluti e confronto conto terzi/conto proprio.....	48
3.3.3 Risultati scenari per l'area di Torino: confronto complessivo .....	51
<b>4 ACRONIMI/DEFINIZIONI .....</b>	<b>55</b>
<b>ALLEGATO 1 .....</b>	<b>56</b>

## 1 OBIETTIVO

Il presente Deliverable si pone l'obiettivo di valutare la misura in cui diverse modalità di logistica last mile incidono sull'impronta ambientale, ed in particolare sulla carbon footprint, del servizio distributivo delle merci attraverso l'applicazione della metodologia LCA.

## 2 LA METODOLOGIA LCA

Il presente capitolo descrive la metodologia di analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment - LCA) che verrà utilizzata nell'ambito del progetto per le valutazioni del carico ambientale dei diversi sistemi di trasporto e consegna analizzati nello studio.

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.

Il presente capitolo, partendo da una introduzione generale, descrive i principali step metodologici della LCA.



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 ([www.environdec.com](http://www.environdec.com)). 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.

## 2.1 INTRODUZIONE

Il presente capitolo, partendo da una introduzione generale, descrive i principali step metodologici della LCA.

La Life Cycle Assessment, o Analisi del Ciclo di Vita, è un metodo di valutazione dei carichi ambientali correlati ad un prodotto, un processo o un'attività, consistente nell'identificazione e nella quantificazione dell'energia, dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, e comprende l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale.

Questo metodo trae le sue origini dagli studi energetici condotti alla fine degli anni sessanta e nei primi anni settanta.

La prima definizione di LCA trae origine dagli anni novanta ed è la seguente:

"una LCA è un processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali, connesso con un prodotto (...), attraverso l'identificazione e quantificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente, per valutare l'impatto di questi usi di energia e di materiali e dei rilasci nell'ambiente e per valutare e realizzare le opportunità di miglioramento ambientale. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto (...), comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale" (SETAC,1993).

La LCA studia gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali durante l'intero ciclo vita del prodotto (cioè "dalla culla alla tomba"). Dal contenuto della definizione infatti si può facilmente dedurre la ragione per cui il metodo viene anche comunemente definito "cradle-to-grave assessment", proprio per sottolineare che la valutazione dell'impatto è eseguita dalla nascita del prodotto (nella culla) alla sua morte (nella tomba). E' uno strumento sviluppato e standardizzato a livello internazionale, tramite la norma UNI EN ISO 14040, che esprime il LCA come una: "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto".

La Life Cycle Assessment è stata concepita e progettata per fornire informazioni scientifiche e quantitative a sostegno delle procedure decisionali, incrementando la consapevolezza della responsabilità dell'impresa rispetto all'intero ciclo di vita dei prodotti o servizi forniti.

La LCA, in quanto tecnica che si avvale prevalentemente di un approccio quantitativo (presente nei vari passaggi della LCA) permette di individuare fattori d'ingresso (materie prime, uso di risorse, energia, ecc.) e di uscita (consumi energetici, emissioni inquinanti produzione di rifiuti) necessari per valutare gli impatti ambientali derivanti dal ciclo di vita di uno o più prodotti. Come tale costituisce uno strumento di supporto per la gestione ambientale, contribuendo a definire le azioni da intraprendere per migliorarne le prestazioni.

Si possono tuttavia individuare ulteriori applicazioni:



- confronto tra sistemi alternativi di prodotto e produzione che abbiano la medesima funzione (processi produttivi che impiegano fasi diverse con materie prime diverse);
- analisi degli impatti ambientali di un prodotto con uno standard di riferimento;
- identificazione degli stadi del ciclo di vita di un prodotto che presentano maggiore impatto ambientale;
- riduzione dei costi tramite l'individuazione d'aree dove realizzare economie o livelli maggiori d'ottimizzazione;
- comunicazione d'informazioni ambientali che possono essere usate per pubblicizzare prodotti compatibili dal punto di vista ambientale, ottenimento dell'etichettatura ecologica (ECOLABEL), dichiarazioni ambientali inerenti il prodotto;
- identificazione delle opportunità di migliorare gli aspetti ambientali dei prodotti in vari punti del loro ciclo di vita;
- design e scelta delle tecnologie di prodotto: valutazione comparativa di prodotti della concorrenza ed opportunità di identificare possibili miglioramenti del prodotto in fasi diverse del suo ciclo di vita;
- strategie tecnologiche ed impiantistiche: possibilità di scegliere opzioni tecnologiche caratterizzate da un minor consumo di energia e materiali;
- costo delle esternalità: opportunità di valutare i costi finanziari legati alle prospettive di introduzione di legislazioni che estendano l'ambito di responsabilità del produttore alle esternalità ambientali;
- valido strumento nella definizione nella gestione ottimale dei servizi (sistemi di trasporto, gestione di rifiuti); confronto tra sistemi alternativi per la gestione di rifiuti. I suoi risultati e dati sono input per LCA di rifiuti;
- selezione degli indicatori rilevanti di performance ambientali;
- formazione e divulgazione.

Lo studio di LCA si sviluppa attraverso una serie di passaggi che si articolano nella definizione dell'obiettivo, delle caratteristiche del sistema in esame e dei requisiti dello studio (goal and scope definition), nella compilazione dell'inventario dei flussi che interessano il sistema di prodotto (life cycle inventory, LCI), nella valutazione degli impatti ambientali sulla base dei dati d'inventario (life cycle impact assessment, LCIA) e nell'interpretazione conclusiva dei risultati (life cycle interpretation) finalizzata ad identificare possibili azioni di miglioramento.

La metodologia proposta dalle norme della serie ISO 14040 si basa su quattro fasi tra loro interconnesse, rappresentate in figura 1:

- definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione;
- analisi dell'inventario;
- valutazione degli impatti;
- interpretazione dei risultati delle fasi precedenti.

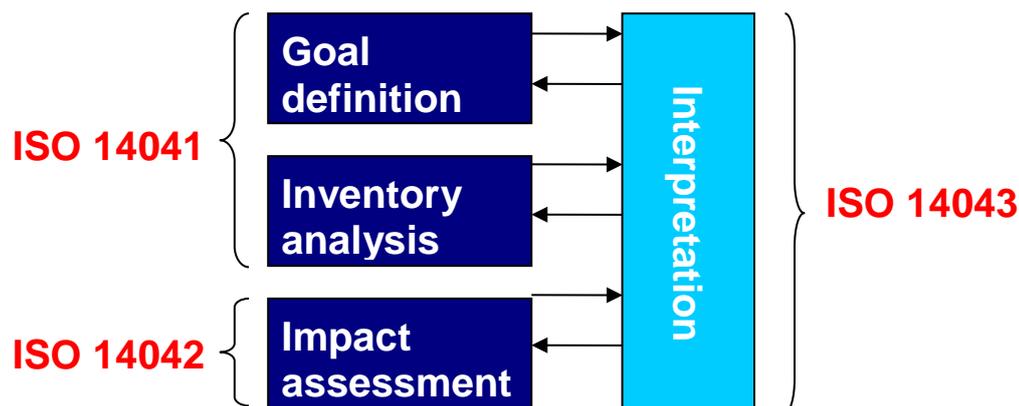


Figura 1: fasi di uno studio di LCA e relative norme ISO

Come esplicitato in figura 1, ogni fase risponde ai requisiti previsti da una specifica norma ISO. Nei seguenti paragrafi verranno illustrate le singole fasi della metodologia di analisi.

## 2.2 FASE 1 - DEFINIZIONE DELL'OBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE

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.

### 2.2.1 Definizione dell'obiettivo

È la fase preliminare di uno studio LCA, in cui si determina quali sono gli obiettivi di business da cui emerge l'esigenza di condurre lo studio, si definisce il contesto generale dello studio, così da garantire che gli scopi delle analisi, i metodi, i risultati e le applicazioni previste siano allineati in maniera ottimale e che esista una visione condivisa che possa guidare i partecipanti allo 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.

### 2.2.2 Definizione del campo di applicazione

Coerentemente con gli obiettivi fissati, lo studio può essere condotto conformemente agli schemi ISO 14044 e altri riferimenti normativi in materia di impronta ambientale.

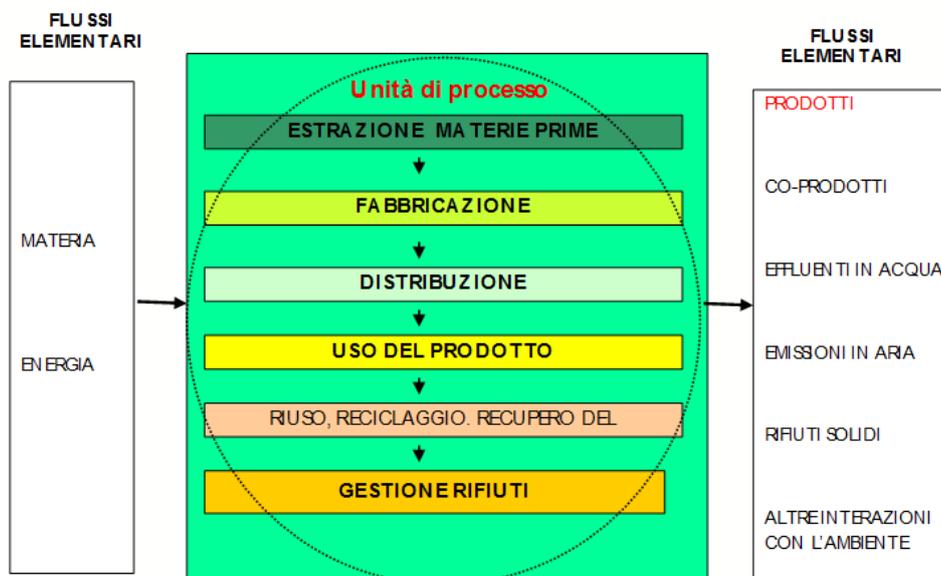
La definizione dell'ambito di studio comprende:

- l'unità funzionale che definisce qualitativamente e quantitativamente la funzione e la durata del prodotto. Deve essere definita secondo i seguenti aspetti:
  - La funzione/servizio fornito: "cosa";



- La durata della funzione o servizio: “quanto”;
  - Il livello di qualità atteso: “quale livello di qualità”;
  - La durata/vita utile del prodotto: “per quanto tempo”;
  - Il codice NACE e/o numero CAS di identificazione;
- 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 della 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.

### CONFINI DEL SISTEMA



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, output di emissioni in atmosfera, etc...

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.).

## 2.3 FASE 2 - ANALISI DI INVENTARIO

Un sistema di prodotto può essere modellizzato come una sequenza complessa di operazioni unitarie interconnesse tra loro e con l'ambiente. L'analisi di inventario permette di costruire un modello analogico della realtà in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra le singole operazioni unitarie del sistema.

L'analisi dell'inventario comprende la raccolta e la classificazione dei dati e la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita del sistema prodotto. I flussi comprendono l'uso di risorse e le emissioni in aria, acqua e suolo associate al sistema. I dati raccolti sono la base per la successiva valutazione degli impatti.

Durante la raccolta dei dati aumenta la conoscenza del sistema e possono emergere delle limitazioni nella raccolta o la necessità di estendere la stessa e questo può portare alla revisione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio.

### 2.3.1 Raccolta e controllo dei dati

Al fine di realizzare un completo inventario è necessario raccogliere i dati per ogni unità di processo interna ai confini del sistema, descrivendo ogni unità di processo con i propri input e output, nonché dove il processo inizia e termina. L'origine dei dati può essere di due tipi:

- fonti primarie: quando i dati sono ricavati direttamente nei siti di produzione e associati alle relative unità di processo;
- fonti secondarie: quando i dati provengono da database, dalla letteratura, da stime. In questo caso deve essere riportata la fonte (pubblicazione, manuali, studi precedenti, ecc.).

Indipendentemente dall'origine del dato, è di fondamentale importanza che i dati siano quanto più possibile rappresentativi del modello analizzato, ossia specifici.

Il controllo della validità dei dati deve essere condotto già durante il processo di raccolta, mediante bilanci di massa, di energia e analisi comparative sui fattori di emissione. Nel caso si verificano anomalie nei dati devono essere cercati valori alternativi che confermino i requisiti di qualità stabiliti nella fase di definizione degli obiettivi e del campo di applicazione allo studio.

Tendenzialmente, il calcolo delle performance ambientali deve essere condotto utilizzando principalmente dati primari di produzione riferiti all'anno di riferimento dello studio e specifici della realtà produttiva. In mancanza di dati primari di produzione è possibile fare riferimento a dati medi di produzione o a dati di letteratura.

### 2.3.2 Procedure di calcolo e allocazione dei dati

La raccolta dei dati è seguita dalle procedure di calcolo che servono a ottenere i risultati dell'inventario per ogni unità di processo e a riferirli all'unità funzionale del sistema di prodotto. Per la realizzazione di un completo inventario è necessario il ricorso a software specializzati che consentono agevolmente di collegare e di sommare le voci di input e di output della stessa natura.

Molti processi associati all'unità funzionale sono caratterizzati da più input e output e sono definiti processi multipli. Un elemento chiave dell'analisi infatti è rappresentato dalla identificazione



dell'esistenza di prodotti in qualche modo "secondari", considerati come sotto-prodotti o come co-prodotti.

In questi casi si deve suddividere il processo multiplo in più processi singoli e i flussi di prodotto, come gli impatti ambientali, vanno distribuiti tra i singoli processi. Questa procedura è nota come allocazione e va applicata anche ai co-prodotti, all'energia utilizzata, ai trasporti, al trattamento dei rifiuti e al riciclaggio.

I criteri da seguire per procedere all'allocazione possono essere:

- le proprietà fisiche: consumi e impatti di più prodotti di uno stesso processo possono essere ripartiti in base al quantitativo in peso dei prodotti stessi;
- il valore economico: consumi e impatti possono essere ripartiti in base al valore economico dei prodotti di un medesimo processo.

## 2.4 FASE 3 - VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

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.

### 2.4.1 Selezione delle categorie di impatto

Nella scelta delle categorie di impatto e degli indicatori di categoria è necessario tenere conto dei seguenti punti:

- le categorie di impatto e gli indicatori di categoria devono essere in accordo con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio.
- il modello per ciascun indicatore deve essere scientificamente e tecnologicamente valido.
- gli indicatori devono essere rilevanti da un punto di vista ambientale.
- le categorie di impatto e gli indicatori di categoria devono essere accettati a livello internazionale.

A titolo di esempio, la recente metodologia PEF (Product Environmental Footprint) promossa dalla Commissione Europea, propone 15 categorie di impatto differenziate, ognuna delle quali viene rappresentata da uno specifico indicatore quantitativo.

La tabella successiva elenca le 15 categorie di impatto PEF, con una sintetica descrizione ed il relativo indicatore.

Categorie di impatto	Indicatore	Descrizione
<b>Cambiamenti climatici (GWP 100)</b>	kg CO2 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 CO2-equivalenti e in uno specifico arco temporale: 100 anni).
<b>Riduzione dello strato di ozono</b>	kg CFC-11 eq <sup>1</sup>	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).
<b>Tossicità per gli esseri umani - effetti cancerogeni</b>	CTUh <sup>2</sup> (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.
<b>Tossicità per gli esseri umani - effetti non cancerogeni</b>	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.
<b>Particolato/smog provocato dalle emissioni di sostanze inorganiche</b>	kg PM2.5 eq	Effetti avversi sulla salute umana causati dalle emissioni di particolato (PM) e dai suoi precursori (NOx, SOx, NH3).
<b>Radiazione ionizzante – effetti sulla salute umana</b>	kg U235 eq	Effetti negativi sulla salute umana causati da emissioni radioattive.

<sup>1</sup> CFC-11 = triclorofluorometano, noto anche come freon-11 o R-11, è un clorofluorocarburo.

<sup>2</sup> CTUh fornisce una stima dell'aumento della morbilità 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 una mancanza di informazioni più precise sull'argomento

Categorie di impatto	Indicatore	Descrizione
<b>Formazione di ozono fotochimico</b>	kg NMVOC eq <sup>3</sup>	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 (NOx) e luce solare. Alte concentrazioni di ozono troposferico a livello del suolo sono dannose per la vegetazione, le vie respiratorie dell'uomo e i materiali artificiali attraverso la reazione con materiali organici.
<b>Acidificazione</b>	molc H+ eq	Ripercussioni delle sostanze acidificanti sull'ambiente. Le emissioni di NOx, NH3 e SOx 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.
<b>Eutrofizzazione – terrestre</b>	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.
<b>Eutrofizzazione – acquatica</b>	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.
<b>Eutrofizzazione – marina</b>	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.
<b>Ecotossicità – ambiente acquatico acqua dolce</b>	CTUe <sup>4</sup> (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.
<b>Trasformazione del terreno</b>	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

3 NMVOC = composti organici volatili non metanici

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

Categorie di impatto	Indicatore	Descrizione
		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).
<b>Impoverimento delle risorse – acqua</b>	m3 water eq	Uso di m3 di acqua connesso alla scarsità locale di acqua
<b>Impoverimento delle risorse – minerali, fossili</b>	kg Sb eq	kg di antimonio (Sb) equivalente

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.

### 2.4.2 Classificazione

La classificazione è la fase nella quale i dati 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.

Nella classificazione si inizia dividendo gli impatti nelle aree generali di protezione: della salute umana, della salute ambientale e delle risorse. I risultati possono poi essere riportati in una tabella che evidenzia la relazione tra le specifiche categorie di impatto e le aree generali di protezione.

La classificazione avviene mediante l'utilizzo di specifiche tabelle fornite dalla letteratura scientifica che evidenziano quali sostanze contribuiscono a specifiche categorie di impatto ambientale di interesse per lo studio in oggetto. Tali tabelle contengono anche i cosiddetti fattori di caratterizzazione, descritti nel paragrafo seguente.

### 2.4.3 Caratterizzazione

Nella fase di caratterizzazione è analizzato e quantificato l'impatto ambientale dei dati, ottenuti nella fase dell'inventario e aggregati nelle categorie di impatto, mediante modelli di calcolo.

Le tabelle fornite dalla letteratura scientifica contengono dei fattori che consentono di convertire il potenziale di ogni sostanza che contribuisce ad una specifica categoria di impatto nell'equivalente potenziale rappresentato dall'indicatore di categoria.

Il risultato complessivo di tali calcoli è dunque un indicatore numerico detto, appunto, indicatore di categoria. L'utilità degli indicatori è funzione dell'accuratezza, della validità e delle caratteristiche dei modelli e dei fattori di caratterizzazione.

### 2.4.4 Elementi opzionali

Gli elementi non obbligatori nello studio di LCA sono i seguenti:

a) Normalizzazione: normalizzare i risultati degli indicatori consiste nell'attribuire un peso ai vari dati all'interno della stessa categoria di impatto, al fine di evidenziare la rilevanza di ciascun risultato dell'indicatore relativo ad un determinato flusso di riferimento. In pratica la procedura trasforma il risultato dell'indicatore dividendolo per un valore di riferimento selezionato. Tramite la normalizzazione gli impatti ambientali del sistema oggetto dell'analisi sono normalizzati alla quantità



annuale di quell'impatto che si verifica in una determinata zona (Europa) in un determinato periodo di tempo (un anno), riferiti al singolo individuo. Il valore di riferimento per la normalizzazione è dunque "l'impatto potenziale per persona per anno". Dividendo i valori d'impatto del sistema oggetto dell'analisi per il corrispondente fattore di normalizzazione, si ottengono gli impatti normalizzati, la cui unità di misura è "persone equivalenti". In questo modo tutti gli impatti sono espressi nella stessa unità di misura e si può dunque avere un'idea delle categorie d'impatto più significative per il sistema oggetto dell'analisi, in relazione al contributo che questo apporta agli impatti complessivi cui è soggetta la realtà in cui opera.

b) Ponderazione: è il processo che converte i risultati degli indicatori utilizzando fattori numerici basati su una scelta di valori, pesando i vari dati tra diverse categorie di impatto. In tal modo è possibile convertire i risultati degli indicatori o i risultati normalizzati con dei fattori di ponderazione selezionati. Il processo prevede la moltiplicazione dei risultati normalizzati per dei fattori di pesatura che riflettono la relativa importanza percepita delle categorie d'impatto considerare. I risultati dell'impronta ambientale pesati posso essere confrontati per valutare la relativa importanza. Possono anche essere aggregati in tutte le categorie d'impatto per ottenere diversi valori aggregati o un singolo indicatore di impatto complessivo.

Tutti i metodi di ponderazione e le operazioni eseguite devono essere documentate in modo trasparente.

## 2.5 FASE 4 - INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

L'interpretazione del ciclo di vita è la fase finale della LCA, in cui si sintetizzano e si discutono i risultati della fase di inventario e di valutazione degli impatti. Lo scopo è di trarre conclusioni e raccomandazioni al fine di poter prendere decisioni in accordo con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio. Le principali caratteristiche di questa fase sono:

- l'utilizzo di una procedura sistematica che identifichi, qualifichi, verifichi, valuti e presenti le conclusioni basate sui risultati dello studio d'inventario e di valutazione, in modo da far emergere le richieste dell'applicazione come descritto nella fase dell'obiettivo e del campo di applicazione
- l'utilizzo di una procedura iterativa sia all'interno della fase dell'interpretazione sia con le altre fasi del LCA
- la messa in luce delle relazioni tra il LCA e altre tecniche per la gestione ambientale, evidenziando la validità e i limiti di uno studio di LCA in relazione alla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

La fase di interpretazione comprende l'identificazione degli aspetti significativi basati sui risultati della fase dell'inventario e della valutazione dell'impatto del LCA; la valutazione che consideri verifiche di completezza, sensibilità e consistenza, nonché le conclusioni.

Al fine di rafforzare le interpretazioni finali è opportuno effettuare vere e proprie analisi di sensibilità e di incertezza. Tali attività possono essere necessarie per migliorare la conoscenza del significato, dell'incertezza e della sensibilità dei risultati della valutazione dell'impatto del ciclo di vita, in modo da aiutare a distinguere se sono presenti o meno delle differenze significative, eliminare risultati trascurabili, guidare a un processo iterativo della valutazione dell'impatto.

### 2.5.1 Identificazione degli aspetti significativi



Una volta accertato che i risultati delle fasi di inventario e di valutazione dell'impatto soddisfano le richieste dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio, si deve determinare il significato dei risultati. Allo scopo si utilizzano sia i risultati della fase di inventario sia quelli della valutazione dell'impatto. Aspetti significativi possono essere:

- i parametri d'inventario come l'utilizzo di energia, le emissioni, i rifiuti, ecc.;
- gli indicatori delle categorie di impatto come utilizzo di risorse, aumento potenziale della temperatura (GWP), ecc.
- i risultati dell'inventario o della valutazione dell'impatto, sia come singole unità di processo o gruppi di processo, sia come trasporto e produzione di energia.

La determinazione di un aspetto significativo può essere semplice o complessa e si deve basare su un'approfondita indagine.

### 2.5.2 Valutazione

La valutazione deve essere intrapresa in accordo con la fase dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio e deve prendere in considerazione il prefissato utilizzo finale dei risultati dello studio. Nel corso della valutazione è opportuno verificare i seguenti aspetti:

a) verifica di completezza: lo scopo di tale verifica è di assicurare che tutte le informazioni rilevanti e i dati necessari per l'interpretazione siano disponibili e completi. Se un'informazione rilevante è assente o incompleta, si deve considerare la necessità di questa informazione al fine di soddisfare l'obiettivo e il campo di applicazione. Se si considera superflua questa informazione, se ne espongono e documentano le ragioni, dopo di che sarà possibile procedere nella valutazione. Se qualche informazione mancante è considerata necessaria per determinare le questioni significative, le fasi precedenti, l'inventario e la valutazione dell'impatto, devono essere o riviste, o alternativamente, obiettivo e campo di applicazione devono essere adattati.

b) verifica di sensibilità: lo scopo di tale verifica è valutare l'affidabilità dei risultati, stimando quanto l'incertezza degli aspetti significativi si rifletta sulle conclusioni. Questa valutazione può includere i risultati delle analisi di sensibilità e incertezza, effettuate nelle fasi precedenti e può indicare la necessità di ulteriori analisi di sensibilità. In questa verifica è necessario prendere in considerazione:

- gli aspetti predeterminati dall'obiettivo e dal campo di applicazione del LCA.
- i risultati delle altre fasi della LCA.
- giudizi esperti ed esperienze precedenti.

L'incapacità di una verifica di sensibilità di valutare le differenze tra studi alternativi non deve automaticamente condurre alla conclusione che queste differenze non esistano. Le differenze potrebbero non essere identificate o quantificate a causa di incertezze relative ai dati e ai metodi usati.

c) verifica di consistenza: lo scopo di quest'ultima fase è di determinare quanto le assunzioni, i metodi e i dati siano coerenti con l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio.

### 2.5.3 Conclusioni

Lo scopo di questa terza fase dell'interpretazione del ciclo di vita è di riassumere i principali aspetti evidenziati nel corso dello studio e di fornire delle raccomandazioni al pubblico destinatario dello studio. Si tratta di un processo da condurre in modo iterativo con gli altri elementi della fase di interpretazione.

## **3 LA METODOLOGIA LCA APPLICATA**

### **3.1 IL MODELLO LCA: ANALISI CONSEGNE IN AREE METROPOLITANE**

#### **3.1.1 Descrizione generale**

Al fine di raggiungere gli obiettivi indicati nella proposta progettuale (Attività A12.4 - Valutazione del contributo della fase di trasporto “last-mile” alla carbon-footprint del servizio distributivo delle merci), con riferimento alla consegna di colli nelle aree metropolitane di Milano e Torino, si è proceduto ad analizzare gli attuali scenari distributivi nelle due aree indicate mediante le tecniche di LCA.

In coerenza con quanto descritto nei capitoli precedenti, si è proceduto a realizzare un modello analogico della realtà, mediante l'analisi dello scenario di consegna attuale in una giornata media, sia per la città di Milano che per la città di Torino.

Tale modello prende in considerazione i seguenti parametri:

- kg di colli consegnati alla clientela in 1 giorno tipo, rappresentativo della media annuale (totale)
- 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 (con indicazione della classe di emissione)
- kg di colli consegnati alla clientela in 1 giorno dai singoli mezzi
- km percorsi da ogni singolo mezzo in 1 giorno
- km complessivamente percorsi da tutti i mezzi in 1 giorno

Tali dati sono stati richiesti e forniti dall'azienda che attualmente fornisce il servizio di consegna nelle aree metropolitane indicate. Ottenuti tali dati primari è stato quindi 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**

Date le finalità del progetto, 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. minori distanze percorse, variazioni nella capacità di carico effettivamente utilizzata, variazioni nelle tipologie di alimentazione dei mezzi).

Ogni scenario analizzato, sia quello base che quelli alternativi, è alimentato con dati e informazioni elencati nel presente paragrafo.

Nel paragrafo successivo vengono dettagliate le informazioni relative alla modellazione delle diverse tipologie di mezzi di trasporto.

### **3.1.2 Descrizione del software LCA utilizzato**

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:

- banca dati ELCD - European Life Cycle Database (<http://lca.jrc.ec.europa.eu>);
- banca dati Ecoinvent (<http://www.ecoinvent.ch>);
- banca dati Agrifootprint ([www.agri-footprint.com](http://www.agri-footprint.com)).

### **3.1.3 Modellazione dei singoli mezzi di trasporto**

Al fine di costruire il modello in maniera corretta è necessario, ovviamente, modellare i singoli mezzi di trasporto (tipologia) presenti nei diversi scenari analizzati.

Di seguito vengono indicate le informazioni minime che sono state richieste per ogni tipologia di mezzo.

#### **Veicoli diesel**

Per i mezzi a gasolio sono state richieste le seguenti informazioni:

- capacità di carico massima
- 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 nelle tabelle seguenti:

Poiché tutti i veicoli diesel utilizzati per le consegne nella zona metropolitana di Milano e Torino sono riconducibili alla tipologia più piccola disponibile nel database, è stata scelta la seguente classe di processi:

- Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO"X"

I dati richiamati dal database si riferiscono quindi all'impatto relativo all'utilizzo di un mezzo di capacità di carico massima compreso fra 3.5 e 7.5 t.

Ogni mezzo è stato modellato in coerenza con la relativa classe di emissione EUR.

I dati contenuti nel database sono quelli che meglio rispecchiano il modello da studiare, in quanto hanno il vantaggio di:

- essere aggiornati (fonte dati 2013)
- essere riferiti all'effettiva classe di emissione del mezzo
- consentire l'identificazione degli impatti connessi con la costruzione e manutenzione del mezzo.

I dati relativi ai processi del database Ecoinvent sono riportati nella tabella successiva:

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

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 dei pneumatici.

Gli analoghi dati relativi ad alcuni mezzi effettivamente utilizzati a Milano e Torino sono riportati nella tabella successiva:

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

Il dato relativo alla portata effettiva è stimato sulla base delle informazioni primarie fornite dall'azienda di gestione del servizio di consegna, mentre i dati relativi ai consumi sono stimati.

Le tabelle successive indicano l'abbinamento utilizzato nel modello, rispettivamente, per i mezzi di Milano e di Torino

#### Elenco mezzi – Area di Milano – Processi SimaPro

MEZZO	STANDARD EMISSIONE	PROCESSO SIMAPRO
Veicolo 1	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 2	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 3	EUR4	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4

Veicolo 4	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 5	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 6	EUR4	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4
Veicolo 7	EUR4	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4
Veicolo 8	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 9	EUR4	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4
Veicolo 10	EUR4	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4
Veicolo 11	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 12	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 13	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 14	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5

### Elenco mezzi – Area di Torino – Processi SimaPro

MEZZO	STANDARD EMISSIONE	PROCESSO SIMAPRO
Veicolo 1	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5
Veicolo 2	EUR5	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5

I dati del database ECOINVENT 3 relativi ai mezzi a gasolio includono la costruzione del mezzo e la manutenzione periodica.

### Furgoni elettrici

Per i furgoni elettrici (con ricarica) sono state reperite le seguenti informazioni:

- carico effettivamente trasportato
- km percorsi
- 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 i seguenti mezzi:

- furgone elettrico leggero
- 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.

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 (in configurazione con 3 batterie)

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.

### **Biciclette elettriche**

Per le biciclette elettriche (con ricarica) sono state reperite le seguenti informazioni:

- carico effettivamente trasportato
- km percorsi
- kwh consumati per km percorso

Tali informazioni consentono di utilizzare direttamente gli ecoprofili contenuti nei database del software SimaPro.

Le informazioni primarie relative all'elenco dei mezzi elettrici, effettivamente utilizzati in alcuni scenari analizzati, fornite dall'azienda che gestisce i servizi di consegna sono di seguito riassunte:

- 5 biciclette elettriche per l'area di Torino

Al fine di modellare correttamente l'impatto dell'utilizzo delle biciclette elettriche (ricariche e manutenzione), sulla base dei dataset inclusi nel database Ecoinvent 3, è stato creato un processo che include i consumi di energia necessaria per le ricariche riferiti al trasporto di un kg per 1 km.

I dati di partenza, provenienti dal database Ecoinvent, sono i seguenti e si riferiscono agli impatti associati al trasporto di una persona per un km:

- 0,01 kwh/km



In assenza di altre informazioni, si è provveduto a stimare un incremento dell'energia necessaria per il trasporto di 100 kg di colli, oltre alla persona già considerata nel database, pari al doppio di quella dei dati di partenza.

Sulla base di tale ipotesi precauzionale, i kwh necessari a trasportare 1 kg di colli per 1 km risultano essere:

- 0,02 kwh/km/100 kg = 0,0002 kwh/kgkm.

I dati del database ECOINVENT 3 relativi alle biciclette elettriche, a differenza dei veicoli a gasolio e dei furgoni elettrici, non includono la costruzione del mezzo e la manutenzione periodica.

## 3.2 IL MODELLO LCA: DESCRIZIONE DEGLI SCENARI ANALIZZATI

### 3.2.1 Descrizione generale

Lo studio LCA ha preso in considerazione gli scenari elencati di seguito e descritti nei paragrafi seguenti:

#### ➤ Scenari per l'area di Milano

##### 1) Singolo operatore

- ✓ Scenario "as is": lo scenario si riferisce ad una giornata tipo di un singolo operatore di settore e prevede l'utilizzo esclusivo di mezzi alimentati a gasolio;
- ✓ Scenario "ZEV": lo scenario, alternativo allo scenario "as is", sostituisce i mezzi alimentati a gasolio con una tipologia di furgone elettrico (leggero);
- ✓ Scenari "ottimizzati": gli scenari, alternativi allo scenario "as is", riducono, a parità di kg complessivamente trasportati, la distanza percorsa dai mezzi alimentati a gasolio, di una percentuale fissata rispettivamente in 1%, 5%, 10% , grazie ad interventi di ottimizzazione logistica.

##### 2) Area C: tutti gli operatori (privati e conto terzi)

- Scenario "business as usual – tutti gli operatori": lo scenario si riferisce ad una giornata tipo che include tutti gli operatori attivi nell'area e prevede l'utilizzo esclusivo di mezzi alimentati a gasolio;
- Scenario "ZEV – tutti gli operatori": lo scenario, alternativo allo scenario "business as usual", sostituisce i mezzi alimentati a gasolio con due tipologie di furgone elettrico (leggero e pesante);



- Scenari “ottimizzati – tutti gli operatori”: gli scenari, alternativi allo scenario “business as usual”, riducono, a parità di kg complessivamente trasportati, la distanza percorsa dai mezzi alimentati a gasolio, di una percentuale fissata rispettivamente in 1%, 5%, 10% , grazie ad interventi di ottimizzazione logistica.

#### ➤ Scenari per l’area di Torino

##### 1) Senza ausilio di mobile depot

- Scenario “as is”: lo scenario si riferisce ad una giornata tipo di un singolo operatore di settore e prevede l’utilizzo esclusivo di mezzi alimentati a gasolio;
- Scenario “ZEV”: lo scenario, alternativo allo scenario “as is”, sostituisce i mezzi alimentati a gasolio con due tipologie di furgone elettrico (leggero e pesante);
- Scenari “ottimizzati”: gli scenari, alternativi allo scenario “as is”, riducono, a parità di kg complessivamente trasportati, la distanza percorsa dai mezzi alimentati a gasolio, di una percentuale fissata rispettivamente in 1%, 5%, 10% , grazie ad interventi di ottimizzazione logistica.

##### 2) Con ausilio di mobile depot

- Scenario “mobile depot - weekly”: lo scenario si riferisce ad una giornata tipo, differente da quella utilizzata per gli scenari precedenti, e prevede l’utilizzo di mezzi alimentati a gasolio, di biciclette elettriche e di un deposito mobile che viene portato nel luogo designato ogni lunedì mattina e lasciato sostare nella piazzola destinata per l’intera settimana lavorativa, fino al venerdì sera;
- Scenario “mobile depot - daily”: lo scenario, alternativo allo scenario “mobile depot – weekly”, differisce dal precedente solamente per il fatto il deposito mobile viene spostato quotidianamente nella piazzola destinata.

Le informazioni di dettaglio di tutti gli scenari sono riportate nei paragrafi successivi.

## 3.2.2 Modellazione degli scenari di singolo operatore per l’area di Milano

### Scenario “as is”

I dati primari forniti da un operatore che gestisce i servizi di consegna nell'area metropolitana di Milano sono stati elaborati al fine di poter evidenziare le seguenti informazioni di dettaglio riferite ad una singola giornata tipo:

- Singolo mezzo utilizzato (modello e classe di emissione per i veicoli a gasolio)
- km percorsi da ogni singolo mezzo utilizzato
- kg trasportati da ogni singolo mezzo utilizzato.

Estrapolate tali informazioni, si è proceduto a calcolare:

1. i kgkm relativi ad ogni mezzo utilizzato
2. la somma totale giornaliera di kgkm di tutti i mezzi utilizzati.

Gli scenari “as is” considerano solamente consegne effettuate con furgoni a gasolio.

Per la città di **Milano**, la tabella successiva riepiloga tutti i dati dello scenario “as is”.

MEZZO	Km percorsi nella giornata tipo	Kg trasportati nella giornata tipo	kgkm
VEICOLO 1	64	1017	65.708
VEICOLO 2	61	1325	82.076
VEICOLO 3	51	172	8.954
VEICOLO 4	102	666	68.398
VEICOLO 5	82	963	79.701
VEICOLO 6	54	1017	55.610
VEICOLO 7	70	1087	76.529
VEICOLO 8	74	701	51.912
VEICOLO 9	59	1734	103.028
VEICOLO 10	58	1533	90.350
VEICOLO 11	52	1406	73.831
VEICOLO 12	90	777	70.419
VEICOLO 13	45	62	2.868
VEICOLO 14	59	1232	73.458
<b>TOTALE SCENARIO</b>	<b>929</b>	<b>13.696</b>	<b>902.849</b>

**N.B.** i dati si riferiscono ad 1 giornata di lavoro

### **Scenario “ZEV”**

Sulla base del precedente scenario “as is”, si è proceduto a sostituire i mezzi a gasolio con una tipologia di mezzo elettrico, mantenendo invariati i kg di carico complessivamente consegnati, come riportato nella tabella seguente:

<b>MEZZO</b>	<b>Km percorsi nella giornata tipo</b>	<b>Kg trasportati nella giornata tipo</b>	<b>kgkm</b>
Veicolo elettrico leggero	64	1.017	65.709
	62	1.325	82.077
	52	172	8.955
	103	666	68.398
	83	963	79.702
	55	1.017	55.610
	70	1.087	76.530
	74	701	51.913
	59	1.734	103.029
	59	1.534	90.351
	53	1.406	73.832
	91	778	70.420
	46	63	2.868
	60	1.232	73.458
<b>TOTALE SCENARIO</b>	930	13.697	
			<b>902.850</b>

Tale scenario viene confrontato con lo scenario di partenza “as is”.

### **Scenari “ottimizzati”**

Infine, sulla base dello scenario “as is”, si è ipotizzato che una serie di interventi atti ad ottimizzare la logistica consentano, a parità di kg di carico consegnato, di ridurre i km percorsi da ogni mezzo a gasolio, di una percentuale, rispettivamente del:

- 1%
- 5%
- 10%

Tali scenari sono confrontati con lo scenario di partenza “as is”.

### 3.2.3 Modellazione degli scenari di tutti gli operatori per l'area C di Milano

#### Scenario "business as usual – tutti gli operatori"

Sulla base di informazioni fornite da AMAT, si è proceduto ad analizzare alcuni scenari relativi all'intera movimentazione di merci, da parte di operatori in conto proprio o per conto terzi, all'interno dell'area C di Milano.

I dati forniti sono riportati nella tabella successiva.

Tipologia	Media giornaliera veicoli (area C)	N° medio consegne veicolo/giorno	Peso medio consegna (kg)	Km medi veicolo/giorno	Kg tot	km tot	kg km tot
Conto proprio	367	1.85	68	28	46.168	10276	474.428.53
Conto terzi	184	77	13	66	184.184	12144	2.236.730.496
Totale					<b>230.352</b>		<b>2.711.159.029</b>

Il mix di mezzi a gasolio utilizzati per lo scenario in oggetto si basa sui mezzi effettivamente circolanti (dati AMAT) in media nell'area di Milano, suddivisi per tipologia di classe di emissione, come indicato nella tabella seguente:

Tipologia	EURO0	EUR1	EUR2	EUR3	EUR4	EUR5	EUR6
Conto proprio	0,04%	0,20%	1,34%	1,60%	35,07%	56,75%	5,01%
<b>Conto terzi</b>	0,03%	0,03%	0,14%	0,73%	13,88%	80,22%	4,97%

I processi inseriti nel modello, relativi ad ogni mezzo (per classe di emissione), provengono dal database Ecoinvent 3 ("Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, da EURO 3 a EURO 6).

#### Scenario "ZEV – tutti gli operatori"

Sulla base del precedente scenario "business as usual", per la sola frazione di veicoli conto terzi, si è proceduto a sostituire i mezzi a gasolio con due tipologie di mezzi elettrico, mantenendo invariati i kg di carico complessivamente consegnati, con la seguente ripartizione:

- 85% veicolo elettrico leggero per le consegne con peso <20kg;
- 15% veicolo elettrico pesante per le consegne con peso a partire da 20 kg.

La quota di veicoli conto proprio resta invariata rispetto allo scenario "business as usual".

### **Scenari “ottimizzati – tutti gli operatori”**

Gli scenari “ottimizzati”, alternativi allo scenario “business as usual”, riducono, a parità di kg complessivamente trasportati, la distanza percorsa dai mezzi alimentati a gasolio, di una percentuale fissata rispettivamente in 1%, 5%, 10% , grazie ad interventi di ottimizzazione logistica.

## **3.2.4 Modellazione degli scenari per l’area di Torino (privi di mobile depot)**

### **Scenario “as is”**

I dati primari forniti da un operatore che gestisce i servizi di consegna nell’area metropolitana di Torino sono stati elaborati al fine di poter evidenziare le seguenti informazioni di dettaglio riferite ad una singola giornata tipo:

- Singolo mezzo utilizzato (modello e classe di emissione per i veicoli a gasolio)
- km percorsi da ogni singolo mezzo utilizzato
- kg trasportati da ogni singolo mezzo utilizzato.

Estrapolate tali informazioni, si è proceduto a calcolare:

1. i kgkm relativi ad ogni mezzo utilizzato
2. la somma totale giornaliera di kgkm di tutti i mezzi utilizzati.

Gli scenari “as is” considerano solamente consegne effettuate con furgoni a gasolio.

Per la città di **Torino**, la tabella successiva riepiloga tutti i dati dello scenario “as is”.

<b>MEZZO</b>	<b>Km percorsi nella giornata tipo</b>	<b>Kg trasportati nella giornata tipo</b>	<b>kgkm</b>
VEICOLO 1	108	783	84.150
VEICOLO 2	61	1.063	64.867
VEICOLO 3	92	3.289	301.918
VEICOLO 4	68	469	31.680
<b>TOTALE SCENARIO</b>	<b>328</b>	<b>5.604</b>	<b>482.615</b>

**N.B.** i dati si riferiscono ad 1 giornata di lavoro

### **Scenario “ZEV”**

Sulla base del precedente scenario “as is”, si è proceduto a sostituire i mezzi a gasolio con due tipologie di mezzi elettrici, mantenendo invariati i kg di carico complessivamente consegnati, come riportato nella tabella seguente:

<b>MEZZO</b>	<b>Km percorsi nella giornata tipo</b>	<b>Kg trasportati nella giornata tipo</b>	<b>kgkm</b>
Veicolo leggero 1	108	783	84.150
Veicolo leggero 2	61	1.063	64.867
Veicolo leggero 3	68	469	31.680
Veicolo pesante	92	3.289	301.918
<b>TOTALE SCENARIO</b>	<b>328</b>	<b>5.604</b>	<b>482.615</b>

### **Scenari “ottimizzati”**

Infine, sulla base dello scenario “as is”, si è ipotizzato che una serie di interventi atti ad ottimizzare la logistica consentano, a parità di kg di carico consegnato, di ridurre i km percorsi da ogni mezzo a gasolio, di una percentuale, rispettivamente del:

- 1%
- 5%
- 10%

Tali scenari sono confrontati con lo scenario di partenza “as is”.

### **3.2.5 Modellazione degli scenari per l’area di Torino (con mobile depot)**

Al fine di poter analizzare l’impatto dell’introduzione di un deposito mobile (mobile depot) nell’area metropolitana di Torino, attualmente in fase di sperimentazione, si è proceduto alla creazione di scenari supplementari. Tale deposito, collocabile in zone predeterminate della città, consente una ottimizzazione della logistica e degli spostamenti dei mezzi che devono caricare le merci per l’effettuazione delle consegne.

I 2 scenari supplementari analizzati nel confronto riguardano:

1. Scenario “mobile depot - weekly”: lo scenario si riferisce ad una giornata tipo, differente da quella utilizzata per gli scenari precedenti, e prevede l’utilizzo di mezzi alimentati a gasolio, di biciclette elettriche e di un deposito mobile che viene portato nel luogo designato ogni lunedì mattina e lasciato sostare nella piazzola destinata per l’intera settimana lavorativa, fino al venerdì sera;

2. Scenario “mobile depot - daily”: lo scenario, alternativo allo scenario “mobile depot – weekly”, differisce dal precedente solamente per il fatto il deposito mobile viene spostato quotidianamente nella piazzola destinata.

La distanza relativa ad un singolo spostamento è pari a 11 km. Considerando che nello scenario “weekly” gli spostamenti sono 4 a settimana (due andate e due ritorni della motrice) e che nello scenario “daily” gli spostamenti sono 20 a settimana (quattro viaggi giornalieri per cinque giorni), i km/giorno per i due scenari sono, rispettivamente:

- 8.8 per lo scenario weekly;
- 44 per lo scenario daily.

La tabella successiva riepiloga tutti i dati dei 2 scenari sopra elencati.

**Scenario consegne con soli furgoni e bici elettriche con l’ausilio del mobile depot**

MEZZO	Km percorsi nella giornata tipo	Kg trasportati nella giornata tipo	kgkm	% kgkm sul totale
BIKES	1.369	1.665	77.434	3,28%
NON SPECIFICATO – EUR5	91	1.833	167.321	7,09%
Furgonato	1.011	24.848	2.114.118	89,62%
MOTRICE PER MOBILE DEPOT	8.8 (per daily)	-	-	-
TOTALE SCENARIO	44 (per weekly)			100%
	<b>2.471</b>	<b>28.346</b>	<b>2.358.873</b>	

N.B. i dati si riferiscono a 6 giornate di lavoro complessive

### 3.3 IL MODELLO LCA: RISULTATI SCENARI CONSEGNE IN AREE METROPOLITANE

I risultati ottenuti mediante le elaborazioni SimaPro relativi agli scenari as is sono di seguito riportati. I risultati dell’analisi vengono 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 (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, 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<sub>x</sub> , SO<sub>x</sub> , NH<sub>3</sub>).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 (NOx) e ossidi di zolfo (SOx), con conseguenze dannose sugli organismi viventi (es. "piogge acide").

Il metodo di caratterizzazione utilizzato è quello previsto dalla metodologia PEF (Product Environmental Footprint) promossa dalla Commissione Europea: ILCD 2011 Midpoint<sup>5</sup>.

### 3.3.1 Risultati scenari per l'area di Milano: singolo operatore

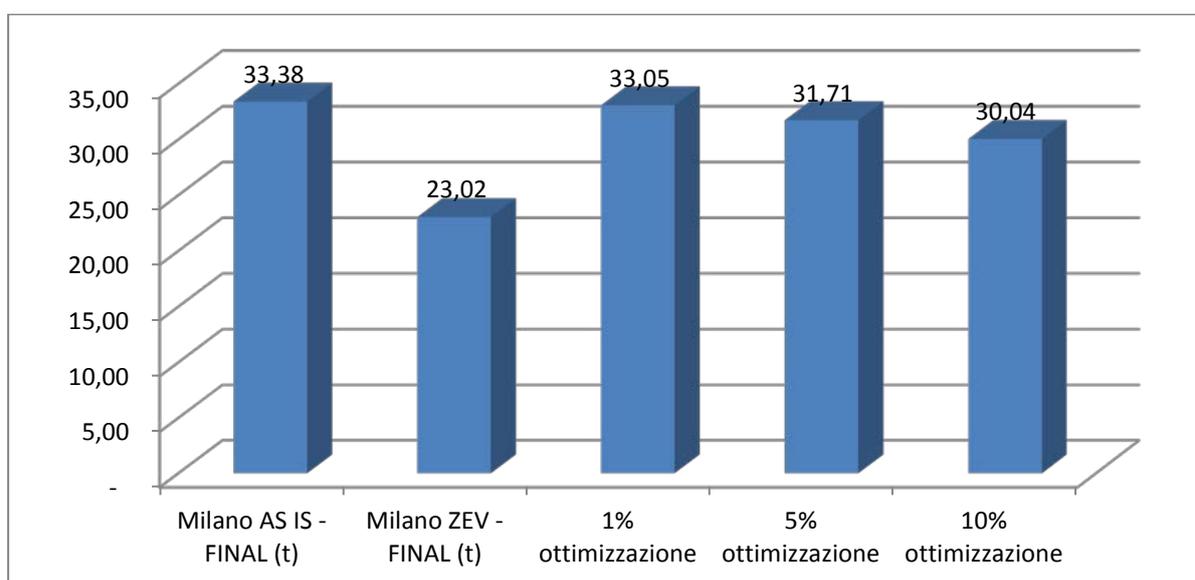
Le tabelle e i grafici seguenti riportano i risultati degli scenari di singolo operatore per l'area metropolitana di Milano, riferiti all'unità funzionale di 1 t di colli trasportati in 1 giorno.

---

<sup>5</sup> European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. February 2012. EUR 25167. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2012.

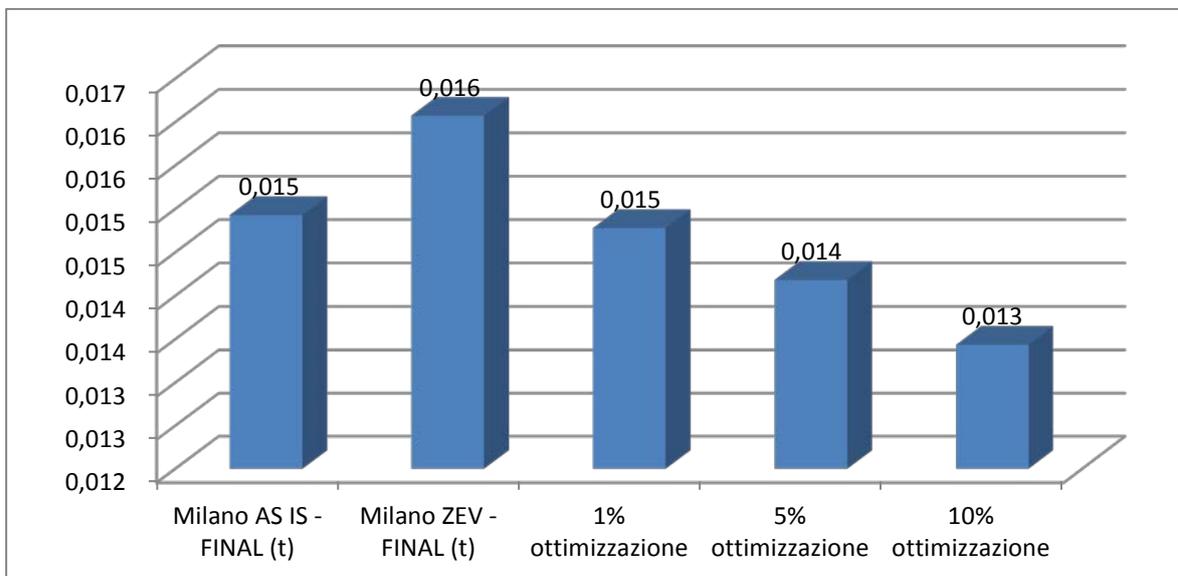
Categoria di impatto	Indicatore	As is	ZEV	Scenario ottimizzato (-1%)	Scenario ottimizzato (-5%)	Scenario ottimizzato (-10%)
Climate change	kg CO2 eq	33,38	23,02	33,05	31,71	30,04
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,0149	0,0161	0,0148	0,0142	0,0134
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1306	0,0696	0,1293	0,1240	0,1175
Acidification	molc H+ eq	0,1462	0,1323	0,1447	0,1389	0,1316

Milano – Confronto scenari singolo operatore – Climate change (kg CO<sub>2</sub> eq.)

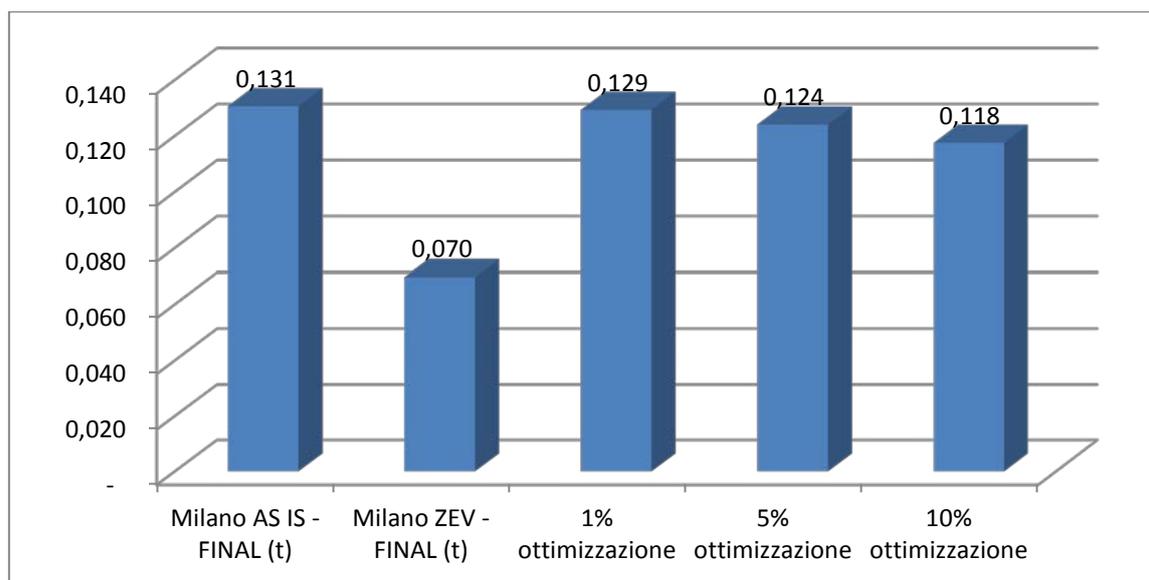




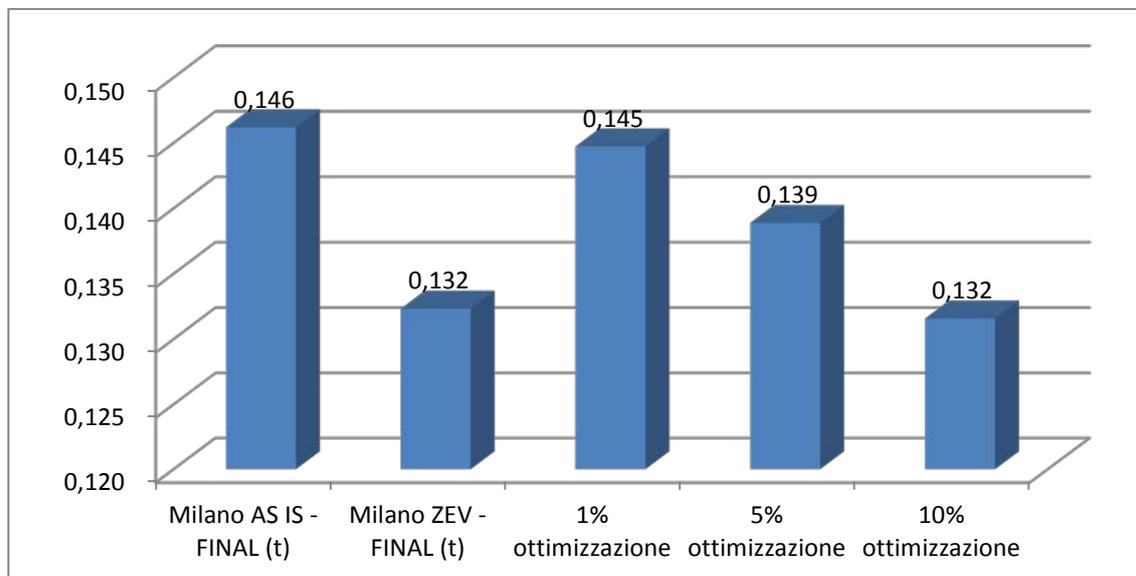
### Milano – Confronto scenari singolo operatore – Particulate matter (kg PM2.5 eq.)



### Milano – Confronto scenari singolo operatore – Photochemical ozone formation (kg NMVOC eq.)



### Milano – Confronto scenari singolo operatore – Acidification (molc H+ eq.)



La tabella successiva mostra le variazioni percentuali di ogni scenario rispetto a quello base:

Categoria di impatto	Indicatore	ZEV	Scenario ottimizzato (-1%)	Scenario ottimizzato (-5%)	Scenario ottimizzato (-10%)
Climate change	kg CO2 eq	-31%	-1%	-5%	-10%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	8%	-1%	-5%	-10%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	-47%	-1%	-5%	-10%
Acidification	molc H+ eq	-9%	-1%	-5%	-10%

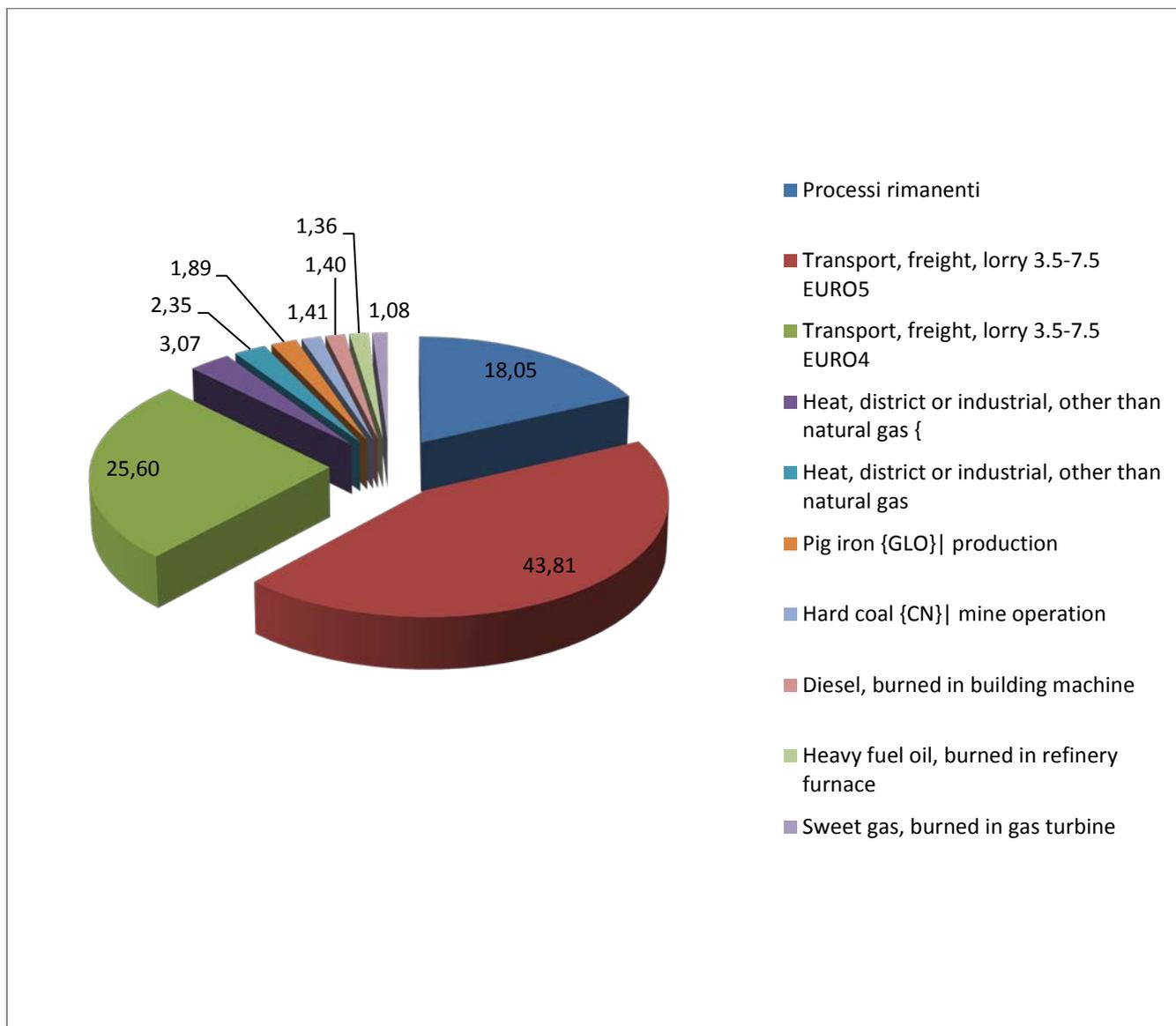
Da un primo confronto appare evidente che:

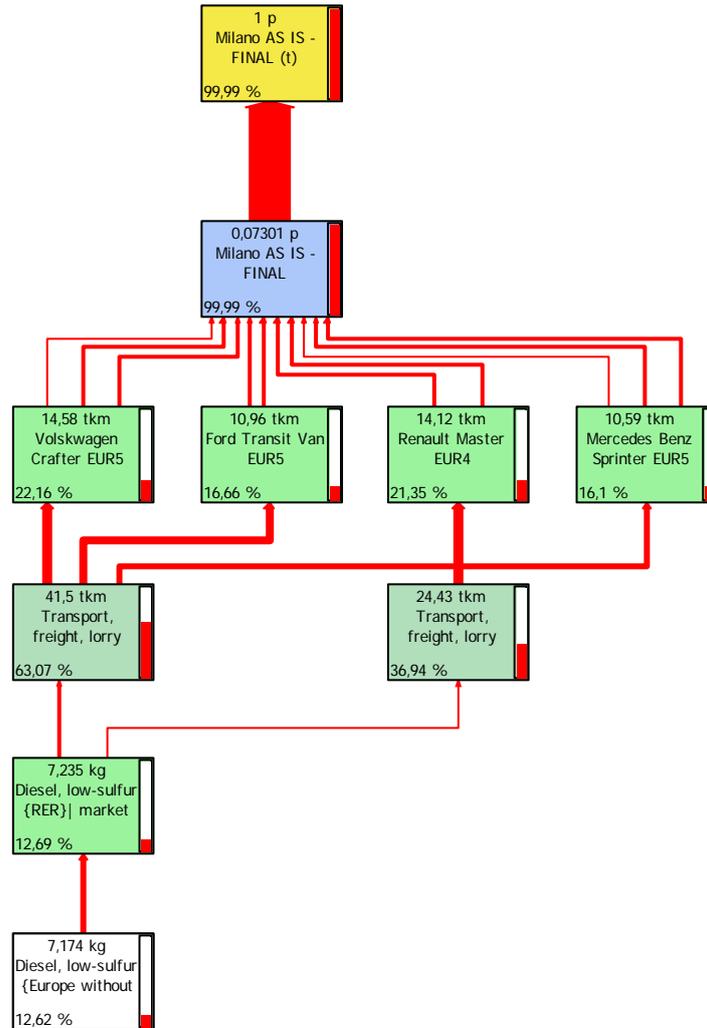
- lo scenario ZEV è sempre vincente rispetto allo scenario base, ad eccezione della categoria “particulate matter”, dove risulta essere il più impattante;
- gli scenari ottimizzati, ovviamente meno impattanti dello scenario “as is” non superano le performance dello scenario ZEV, sempre ad eccezione della categoria “particulate matter” e acidification, ma solamente con il massimo livello di ottimizzazione.

Al fine di poter correttamente interpretare tali risultati, è necessario analizzare il contributo dei singoli processi alle categorie di impatto.

I grafici successivi evidenziano i contributi dei singoli processi alle categorie di impatto per gli scenari "as is" e ZEV.

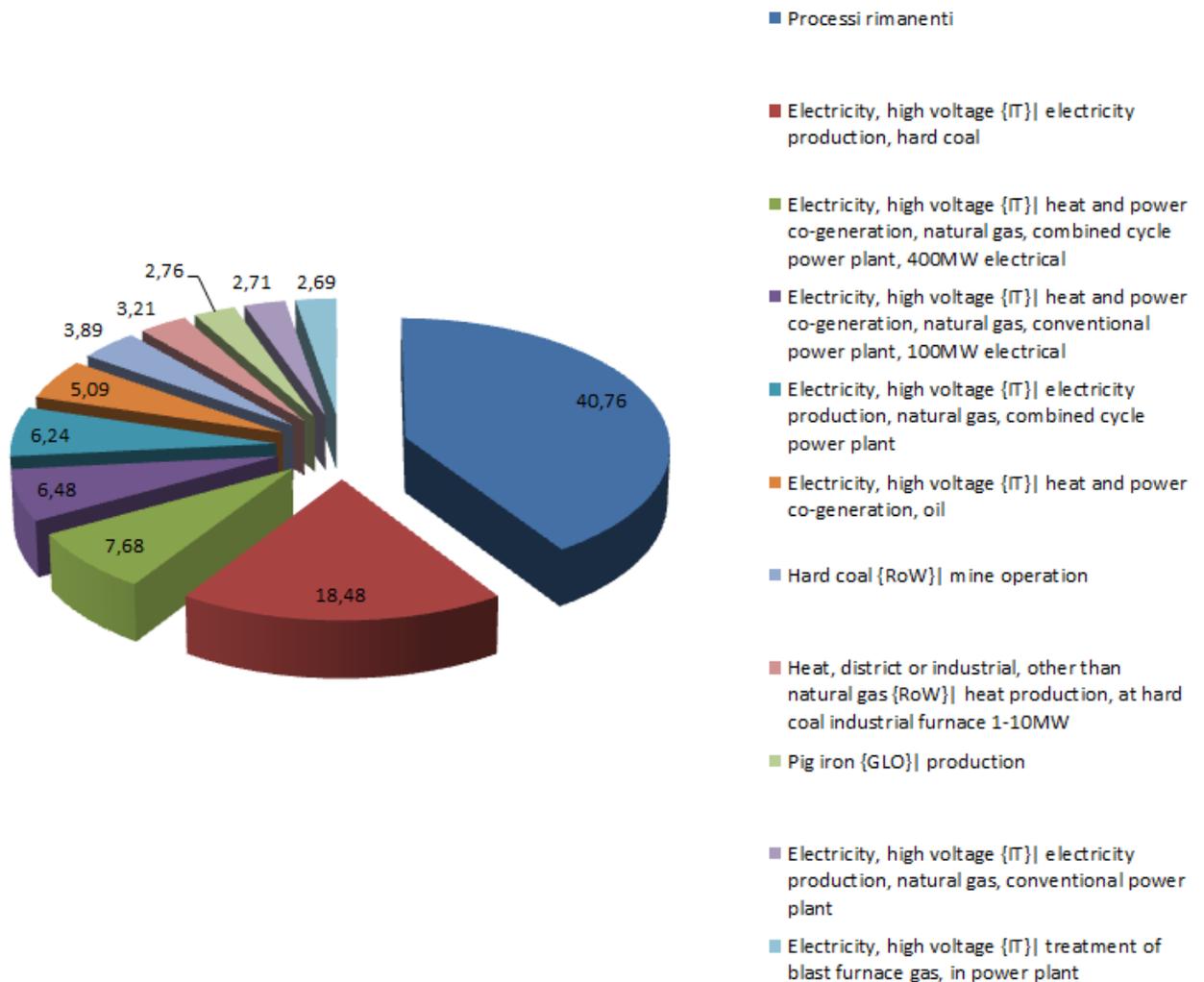
**Milano – Scenario "as is" – Climate change – dettaglio processi (% sul totale) e diagramma ad albero**

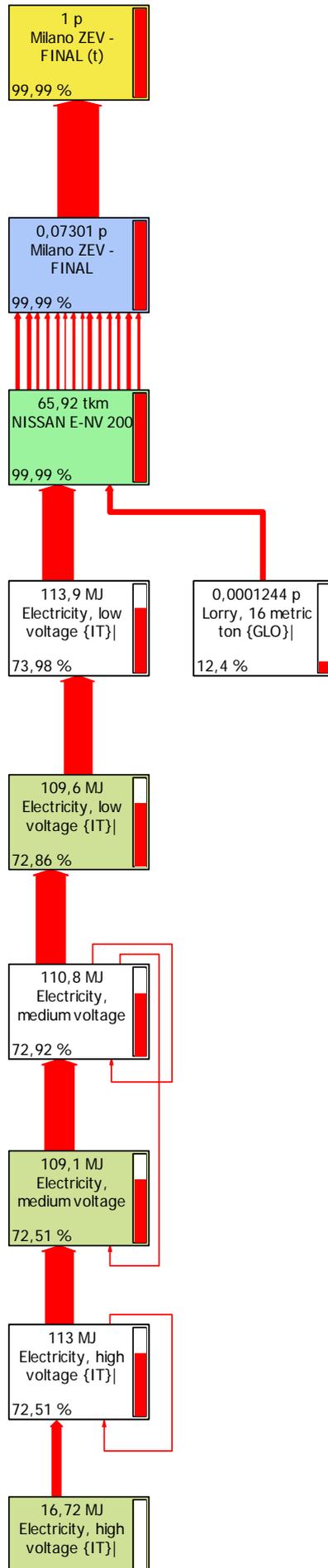






**Milano – Scenario “ZEV” – Climate change – dettaglio processi (% sul totale) e diagramma ad albero**





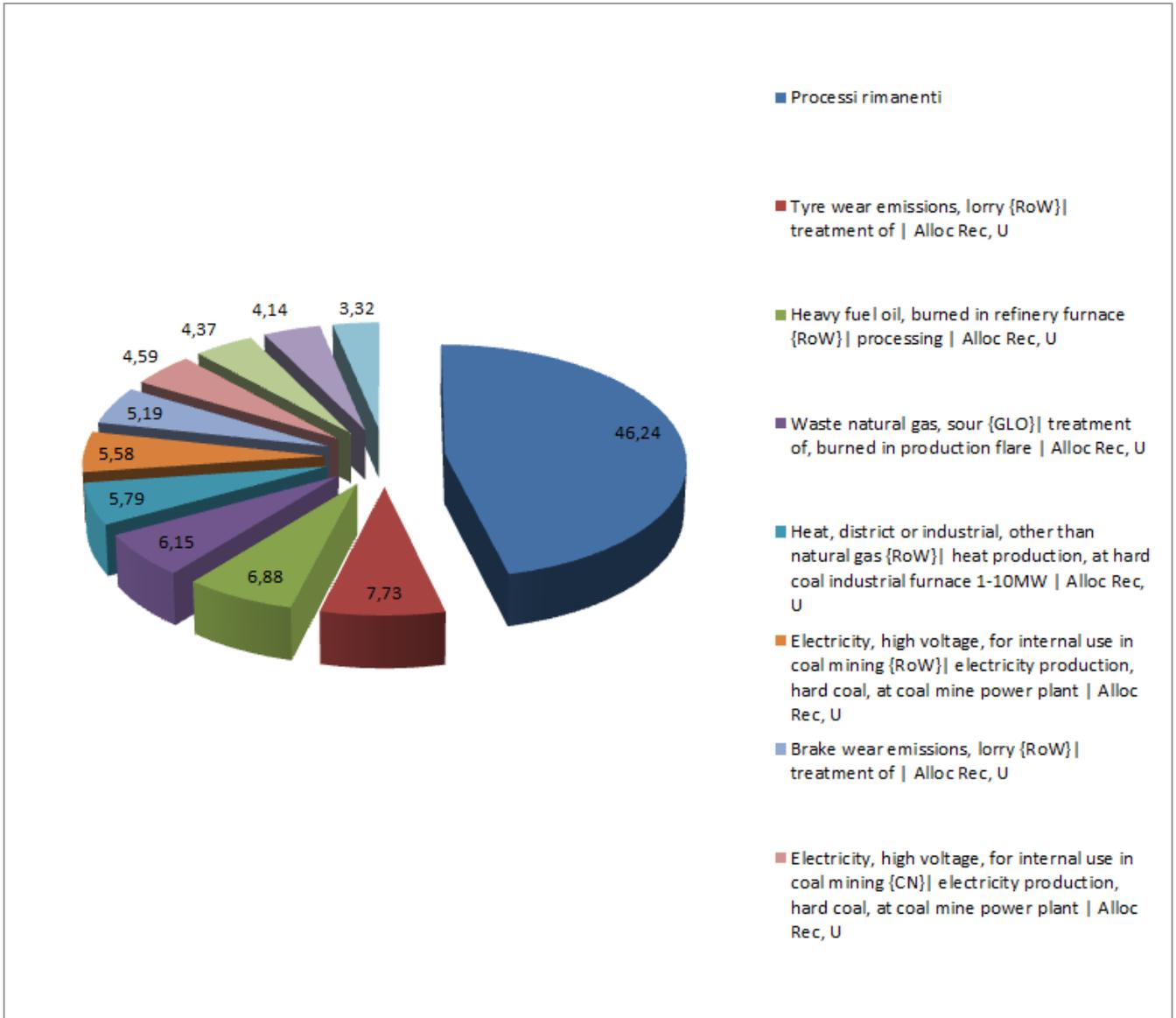


Confrontando in dettaglio il contributo dei singoli processi all'effetto serra per gli scenari "as is" e ZEV si nota come per lo scenario "as is" le emissioni dirette generate dai veicoli diesel (euro5 ed euro4) rappresentino quasi il 70% del totale, con un ulteriore contributo di oltre il 12% associato alla produzione del gasolio (si veda grafico ad albero precedente) mentre per lo scenario "ZEV" i contributi principali derivano da tutte le fonti non rinnovabili di produzione di energia elettrica.

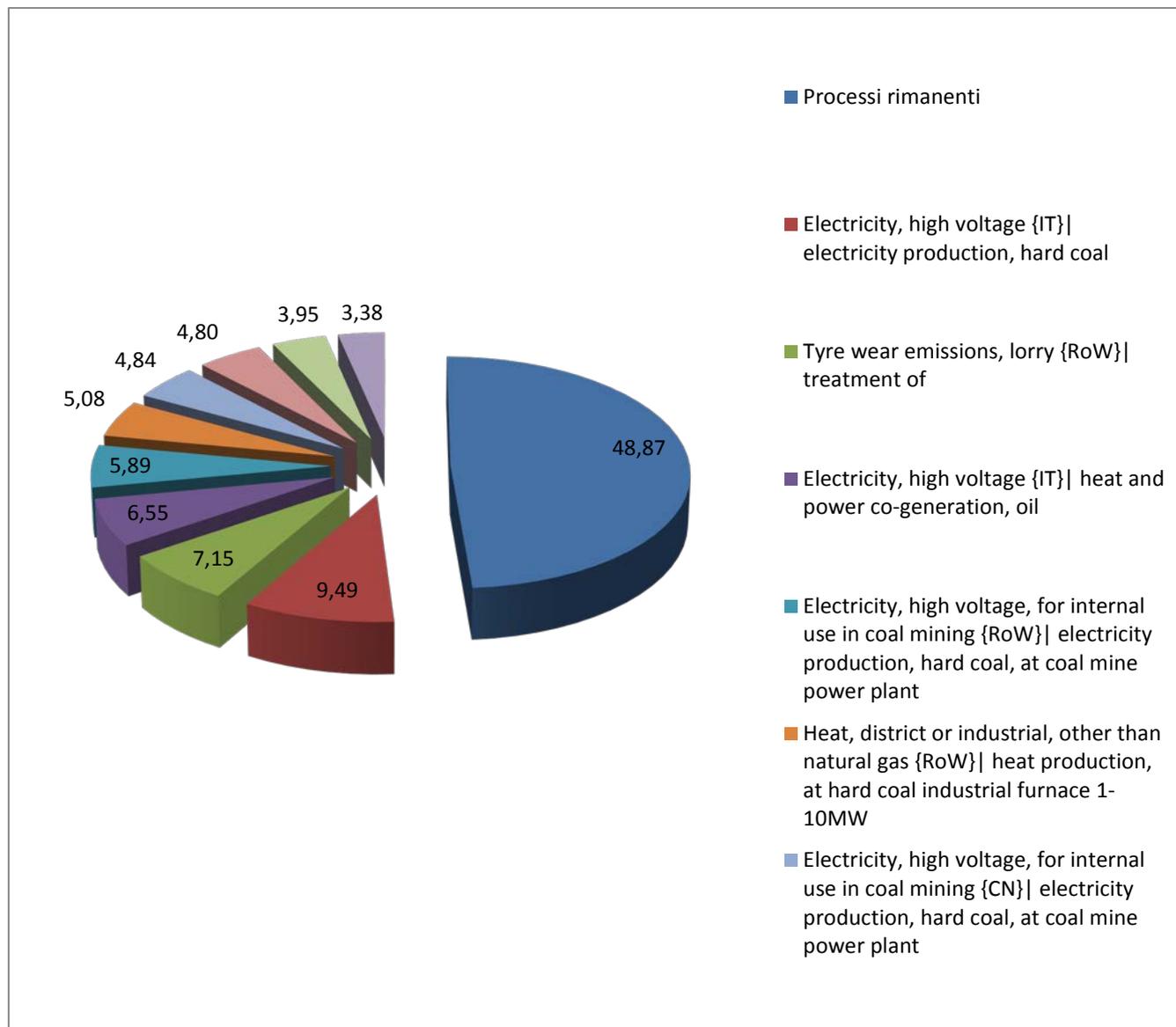
Il contributo dell'intera costruzione dei mezzi utilizzati contribuisce per circa il 12,5% nello scenario ZEV e per circa 8,5% per lo scenario base "as is". Considerando questi ultimi dati, quindi, il dato mancante relativo all'impatto associato alla costruzione delle batterie dei furgoni elettrici, può ritenersi non particolarmente significativo ai fini dei confronti degli scenari.



### Milano – Scenario “as is” – Particulate matter – dettaglio processi (% sul totale)



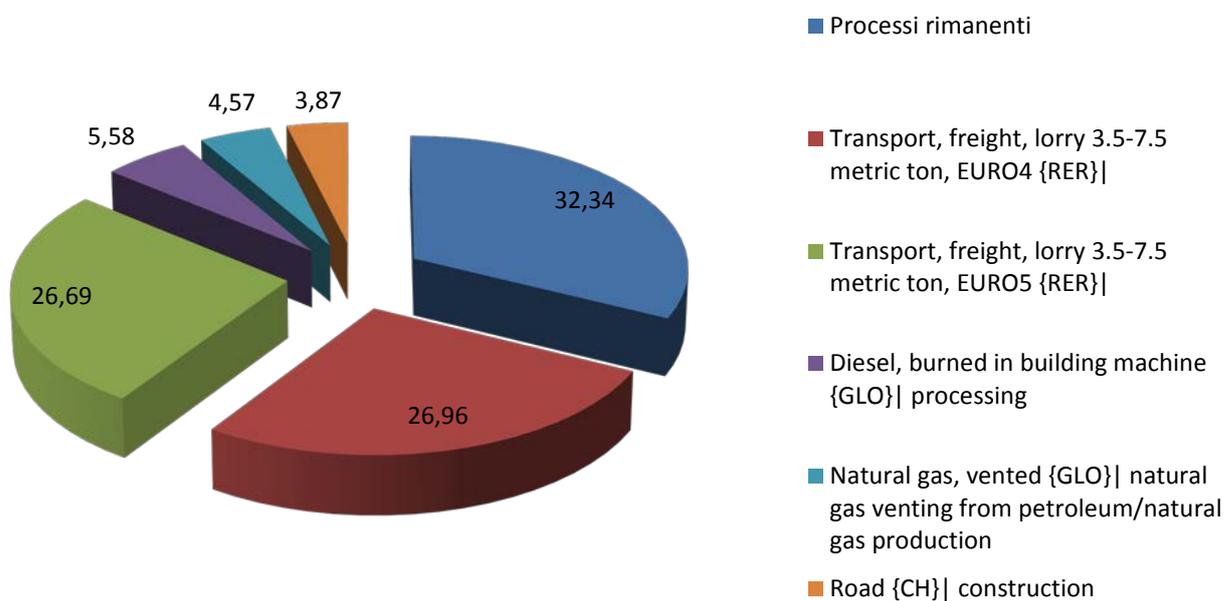
**Milano – Scenario “ZEV” – Particulate matter – dettaglio processi (% sul totale)**



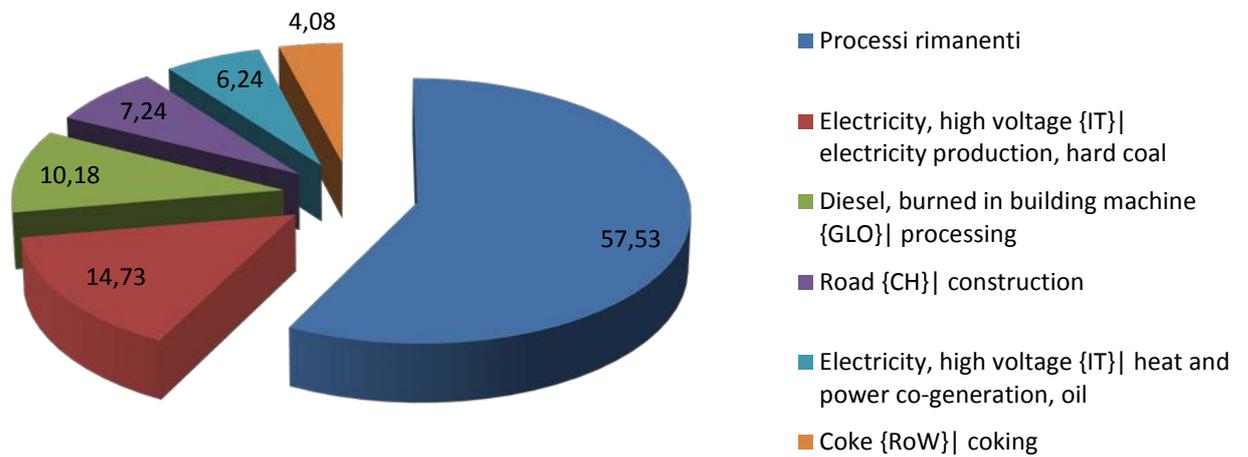
L'analisi del contributo dei singoli processi all'indicatore della categoria “particulate matter” mostra come la causa del maggiore impatto dello scenario “ZEV” rispetto allo scenario “as is” sia imputabile alle emissioni generate nella produzione di energia elettrica, in particolar modo per la quota proveniente da carbone e prodotti petroliferi, tuttora utilizzati nel mix energetico nazionale. Equivalente in valore assoluto per entrambi gli scenari, e comunque significativo, è il contributo dell'usura delle gomme dei mezzi utilizzati.

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.

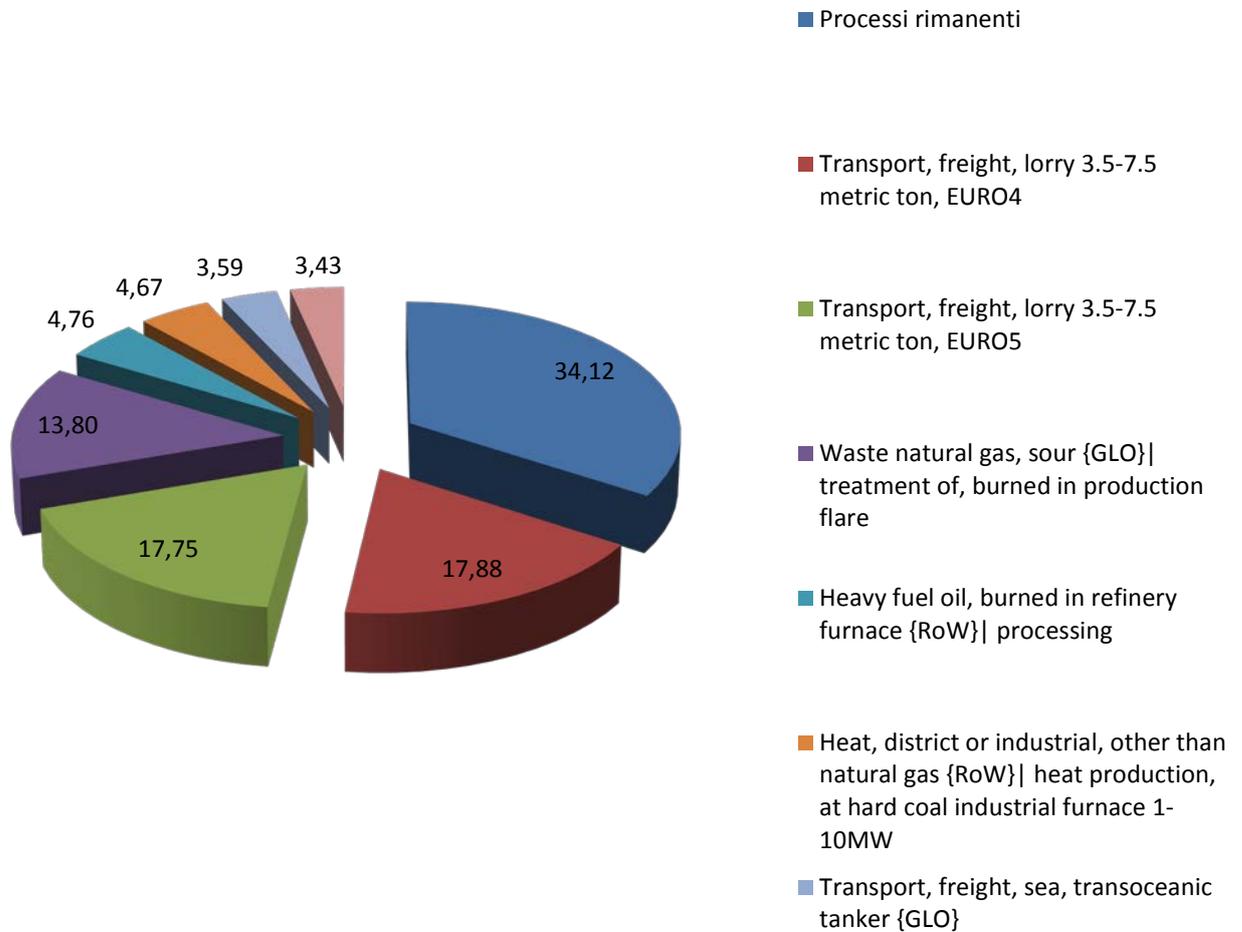
**Milano – Scenario “as is” – Photochemical ozone formation” – dettaglio processi (% sul totale)**



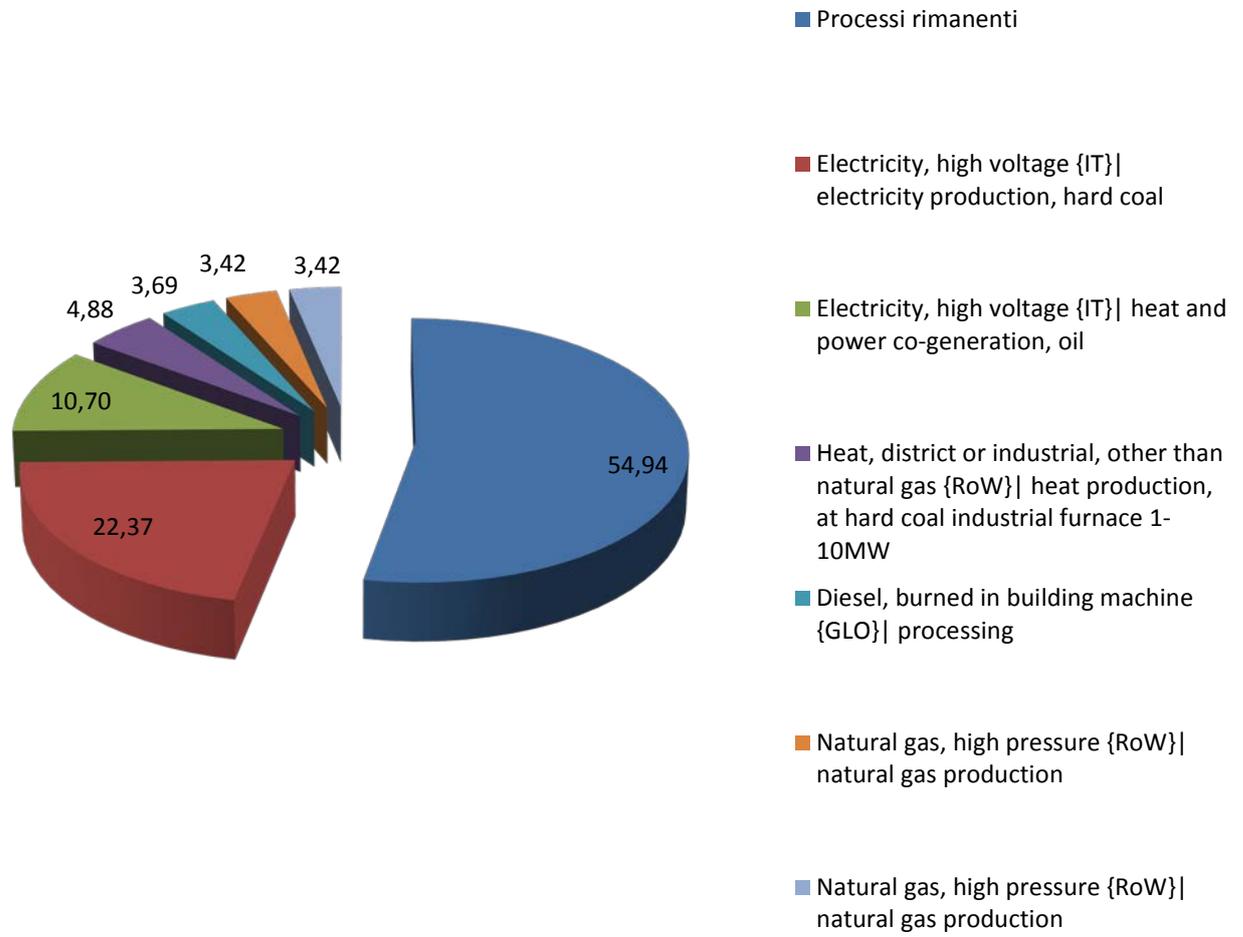
Milano – Scenario “ZEV” – Photochemical ozone formation” – dettaglio processi (% sul totale)



Milano – Scenario “as is” – Acidification” – dettaglio processi (% sul totale)



**Milano – Scenario “as is” – ZEV” – dettaglio processi (% sul totale)**



Si può notare, infine, come sia per l'indicatore "Photochemical ozone formation" sia per "Acidification" 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.

### 3.3.2 Risultati scenari per l'area C di Milano: tutti gli operatori

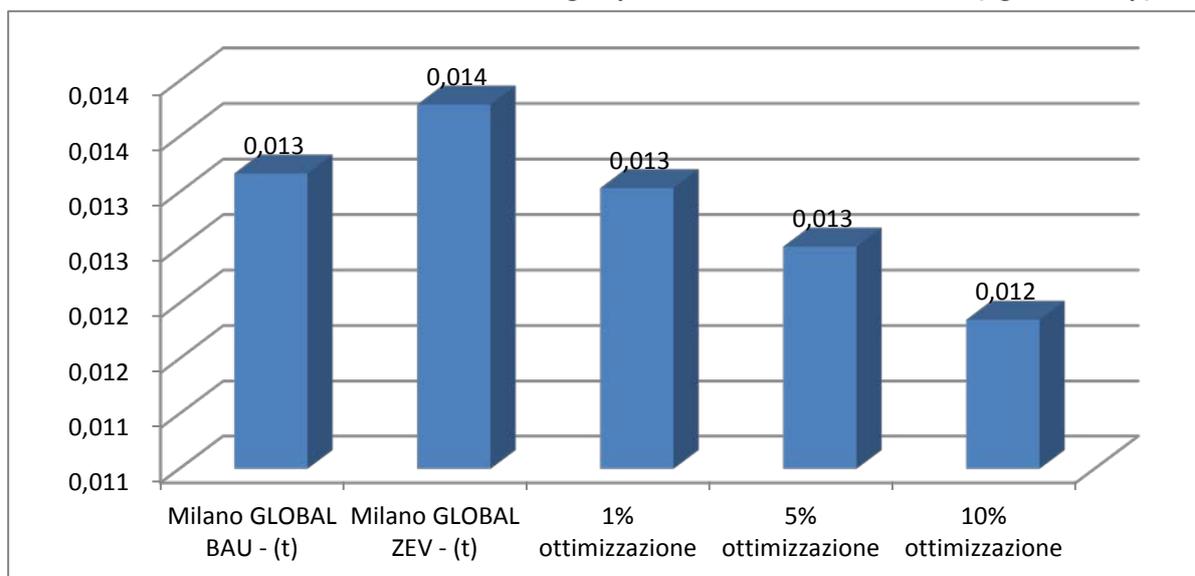
Le tabelle e i grafici seguenti riportano i risultati degli scenari relativi a tutti gli operatori per l'area metropolitana di Milano, riferiti all'unità funzionale di 1 t di colli trasportati in 1 giorno.

Categoria di impatto	Indicatore	As is	ZEV	Scenario ottimizzato (-1%)	Scenario ottimizzato (-5%)	Scenario ottimizzato (-10%)
Climate change	kg CO2 eq	29,60	20,32	29,30	28,12	26,64
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,0132	0,0138	0,0130	0,0125	0,0119
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1074	0,0649	0,1063	0,1020	0,0966
Acidification	molc H+ eq	0,1233	0,1135	0,1221	0,1171	0,1110

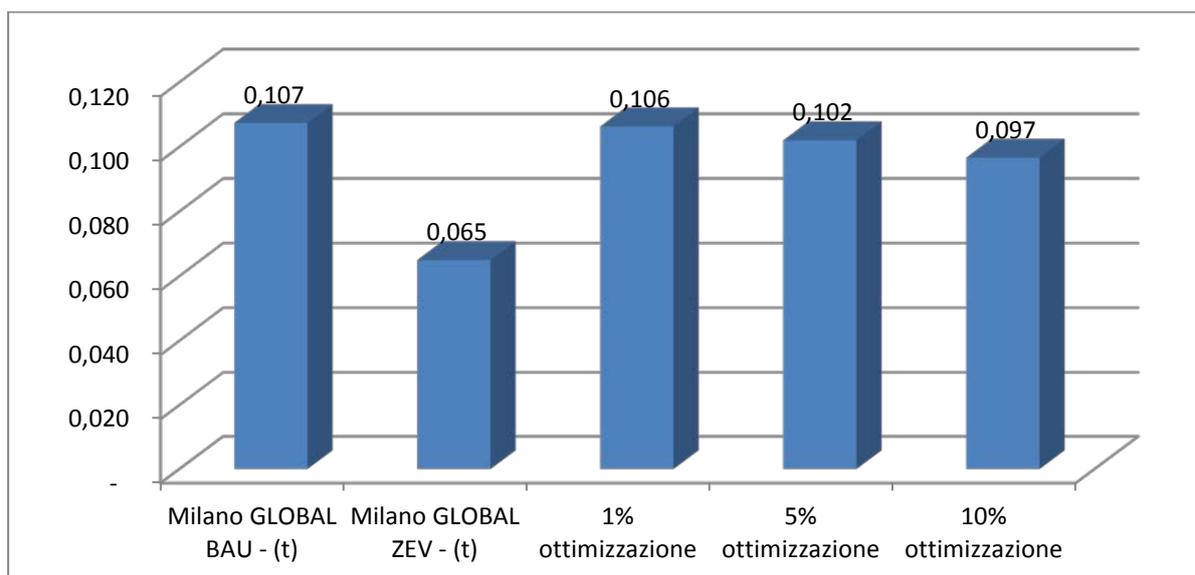
**Milano – Area C - Confronto scenari tutti gli operatori – Climate change (kg CO<sub>2</sub> eq.)**



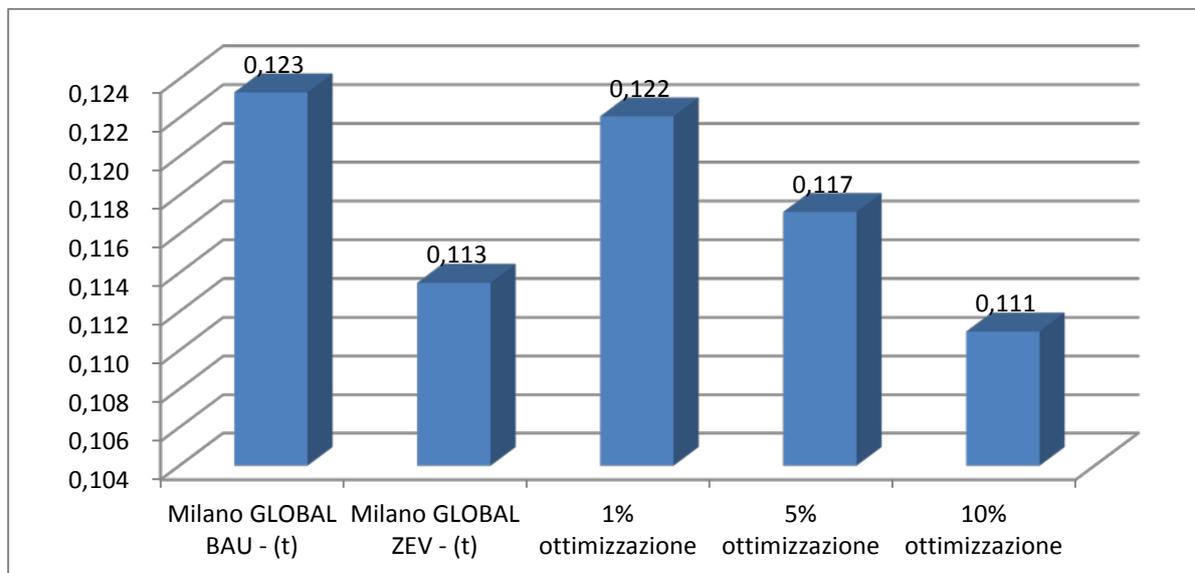
**Milano – Area C - Confronto scenari tutti gli operatori – Particulate matter (kg PM2.5 eq.)**



**Milano – Area C – Confronto scenari tutti gli operatori – Photochemical ozone formation (kg NMVOC eq.)**



### Milano – Area C – Confronto scenari tutti gli operatori – Acidification (molc H+ eq.)



La tabella successiva mostra le variazioni percentuali di ogni scenario rispetto a quello base:

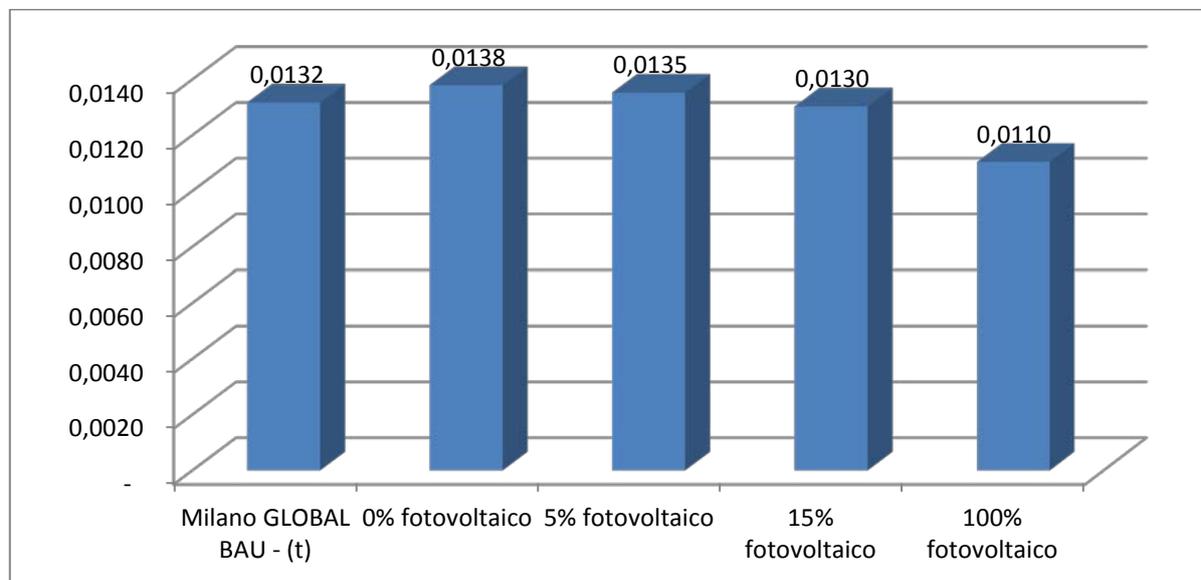
Categoria impatto	di	Indicatore	ZEV	Scenario ottimizzato (-1%)	Scenario ottimizzato (-5%)	Scenario ottimizzato (-10%)
Climate change		kg CO2 eq	-31%	-1%	-5%	-10%
Particulate matter		kg PM2.5 eq	5%	-1%	-5%	-10%
Photochemical ozone formation		kg NMVOC eq	-40%	-1%	-5%	-10%
Acidification		molc H+ eq	-8%	-1%	-5%	-10%

Il confronto fra gli scenari relativi a tutti gli operatori replica, sostanzialmente, le considerazioni espresse nell'analisi degli scenari di singolo operatore:

- lo scenario ZEV è sempre vincente rispetto allo scenario base, ad eccezione della categoria "particulate matter", dove risulta essere il più impattante;
- gli scenari ottimizzati, ovviamente meno impattanti dello scenario "as is" non superano le performance dello scenario ZEV, sempre ad eccezione della categoria "particulate matter" e acidification, ma solamente con il massimo livello di ottimizzazione.

Le motivazioni del maggior impatto dello scenario ZEV per quanto concerne la categoria "particulate matter", nuovamente, 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 (rispettivamente 5%,15% e, all'estremo, 100%) dei mezzi elettrici con colonnine fotovoltaiche dedicate, i risultati per l'indicatore "particulate matter" nello scenario ZEV sarebbero i seguenti:

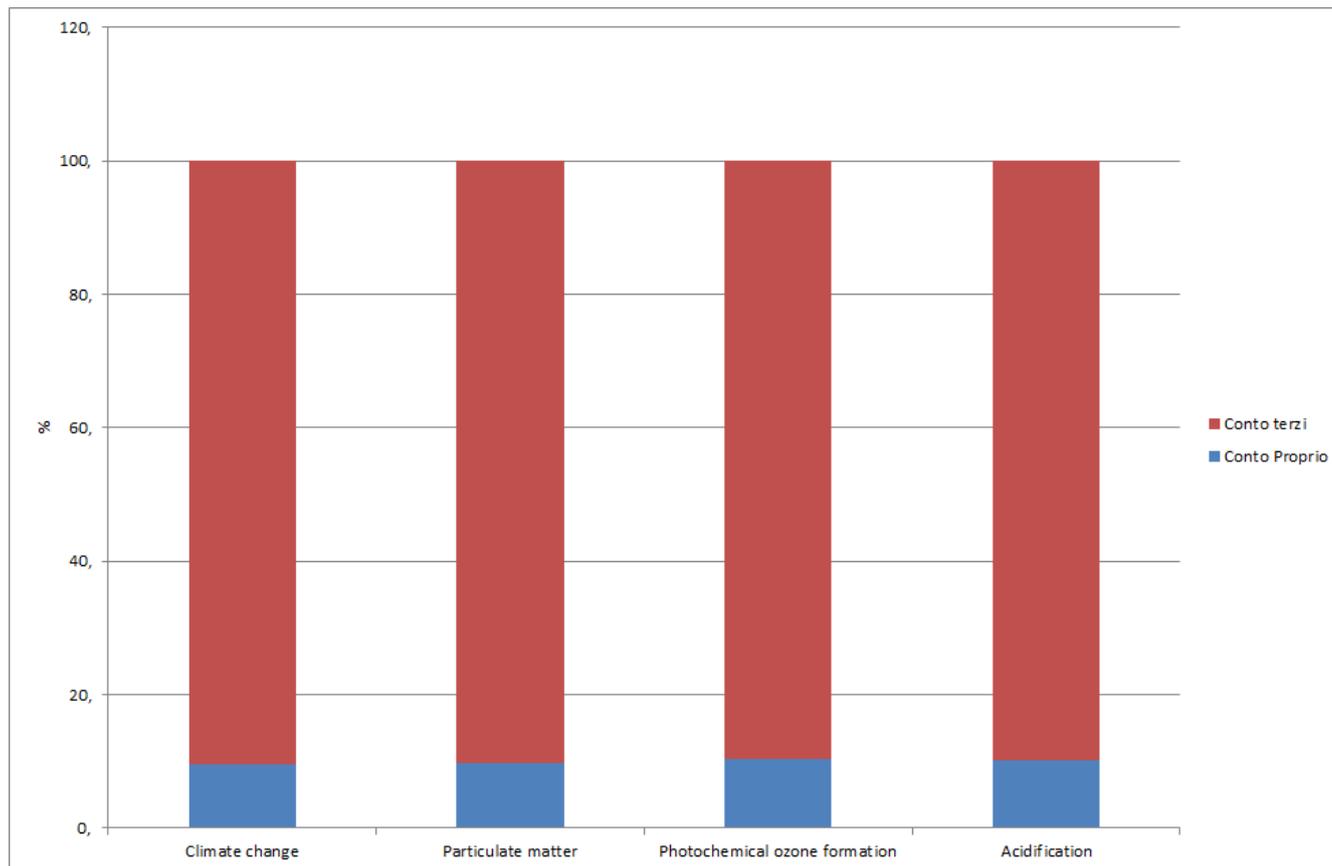


Appare evidente come con il 15% di energia elettrica prodotta da fonte solare lo scenario ZEV sarebbe vincente rispetto allo scenario "as is" anche per l'indicatore "particulate matter".

### 3.3.2.1 Risultati scenari per l'area C di Milano: valori assoluti e confronto conto terzi/conto proprio

Un'ulteriore elaborazione ha riguardato, in termini di impatto assoluto di scenario (non rapportato alla t trasportata, ma ai totali tkm di scenario), il confronto fra operatori in conto proprio e operatori conto terzi. Di seguito vengono presentati i risultati relativi al contributo complessivo fornito da tali operatori al totale scenario.

Categoria di impatto	Indicatore	Milano AREA C - FINAL (t)	Milano AREA C - FINAL (t) - Conto proprio	Milano AREA C - FINAL (t) - Conto terzi
Climate change	kg CO2 eq	29,60	2,84	26,76
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,0132	0,0013	0,0119
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1074	0,0112	0,0962
Acidification	molc H+ eq	0,1233	0,0125	0,1108



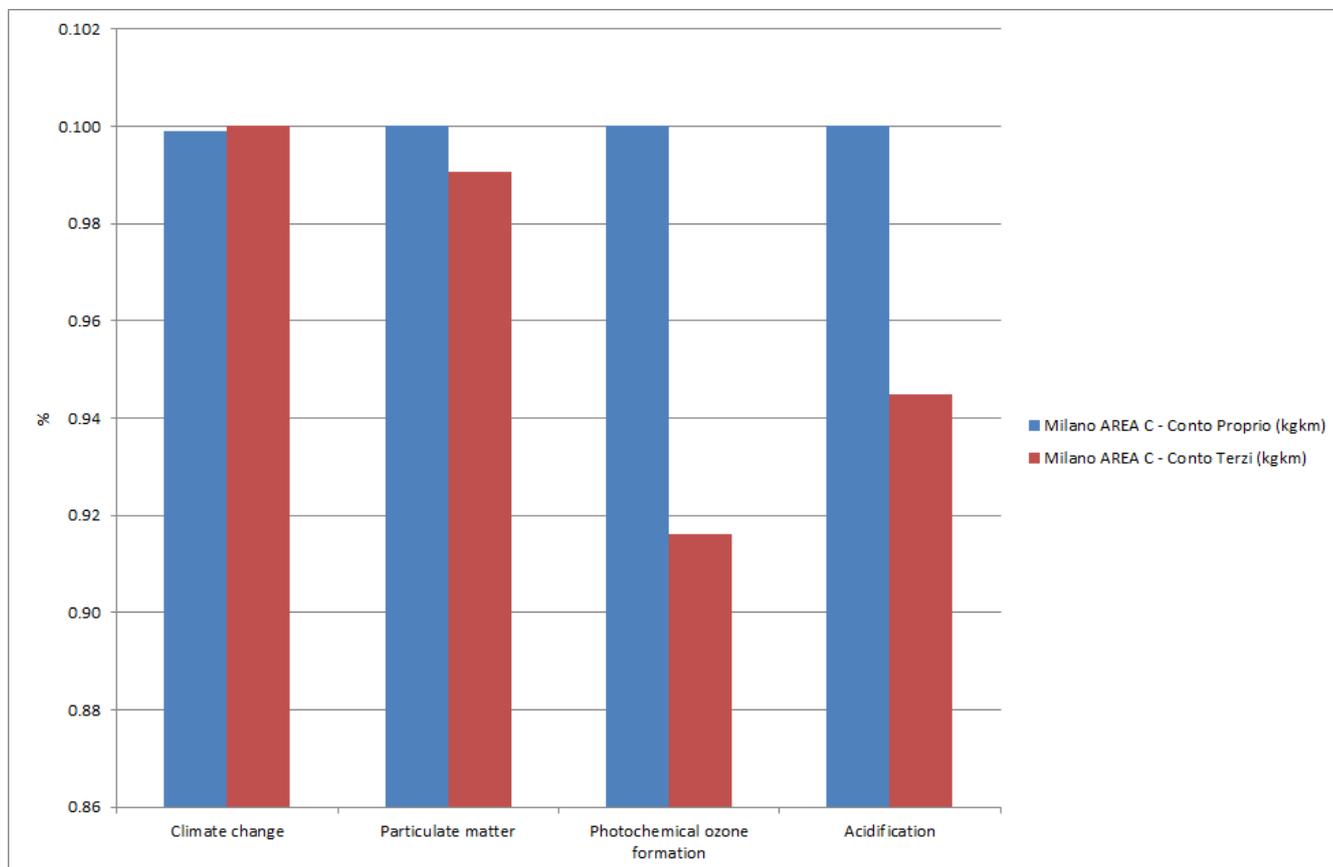
Come prevedibile, si nota che il contributo maggiore all'impatto complessivo di scenario è attribuibile nel complesso ai mezzi conto terzi che, seppure inferiori nel numero, veicolano più colli e per distanze maggiori, come indicato nella tabella successiva.

Tipologia di mezzi	km medi giornalieri (per veicolo)	t medie giornaliere (totali)
Conto proprio	28	46.168,60
Conto terzi	66	184.184,00

Proseguendo nel dettaglio, è possibile confrontare, per singola tkm, l'impatto dei mezzi conto proprio rispetto a quelli conto terzi, come mostrano tabella e grafico seguente:

Categoria di impatto	Indicatore	Milano AREA C - FINAL (t) - Conto proprio	Milano AREA C - FINAL (t) - Conto terzi
Climate change	kg CO2 eq	0,506553	0,507019
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,000227	0,000225
Photochemical formation ozone	kg NMVOC eq	0,001990	0,001823

Acidification	molc H+ eq	0,002223	0,002100
---------------	------------	----------	----------



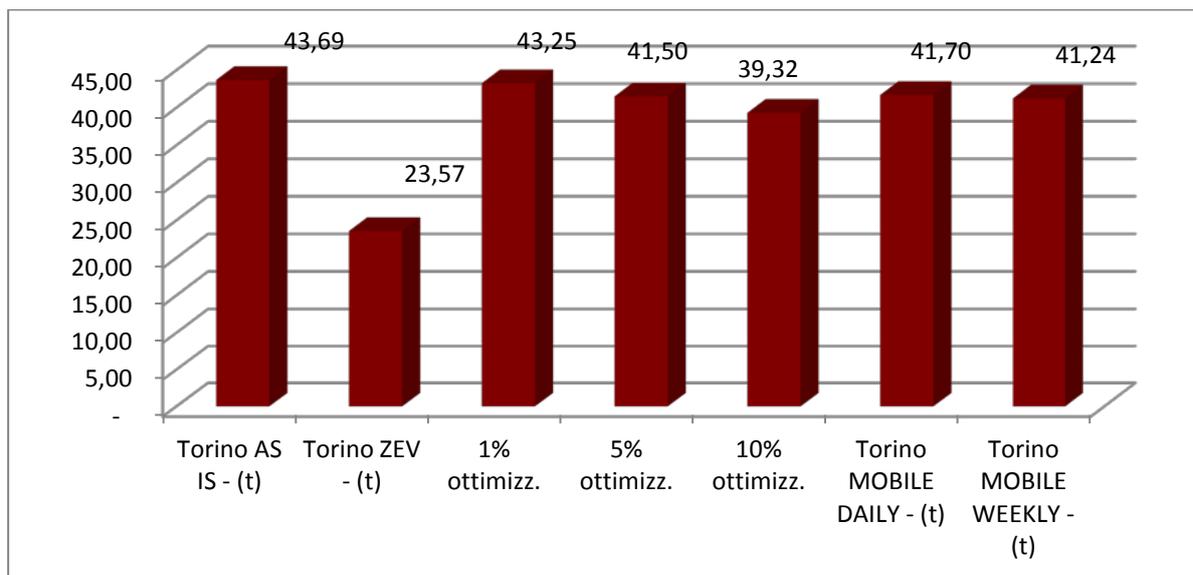
Si nota come la prevalenza di mezzi EURO5 nel parco mezzi conto terzi, rispetto al conto proprio (80.22% vs 56.75%), mostra vantaggi nelle categorie di impatto legate alle emissioni oggetto di limiti più restrittivi (particulate matter, photochemical ozone formation e acidification), con una sostanziale invarianza nelle emissioni ad effetto serra.

### 3.3.3 Risultati scenari per l'area di Torino: confronto complessivo

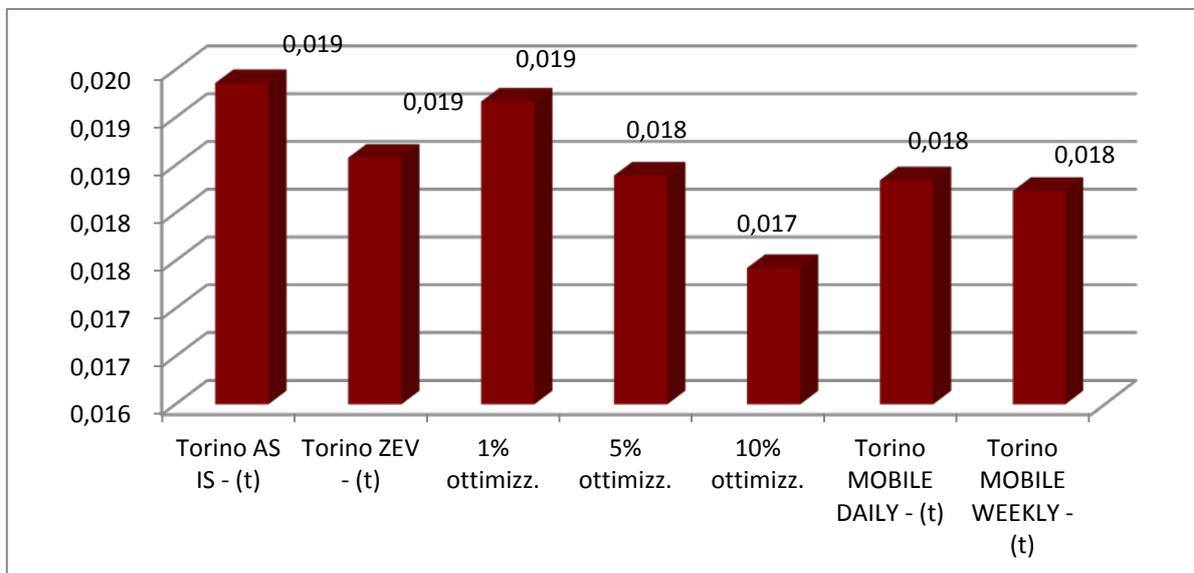
Le tabelle e i grafici seguenti riportano i risultati di tutti gli scenari analizzati per l'area metropolitana di Torino, riferiti all'unità funzionale di 1 t di colli trasportati in 1 giorno.

Categoria d'impatto	Unità	Torino AS IS - (t)	Torino ZEV - (t)	1% ottimizz.	5% ottimizz.	10% ottimizz.	Torino MOBILE DAILY - (t)	Torino MOBILE WEEKLY - (t)
Climate change	kg CO2 eq	43,69	23,57	43,25	41,50	39,32	41,70	41,24
Particulate matter	kg PM2.5 eq	0,0194	0,0186	0,0192	0,0184	0,0174	0,0183	0,0182
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	0,1514	0,0777	0,1499	0,1438	0,1362	0,1442	0,1425
Acidification	molc H+ eq	0,1767	0,1394	0,1750	0,1679	0,1591	0,1686	0,1671

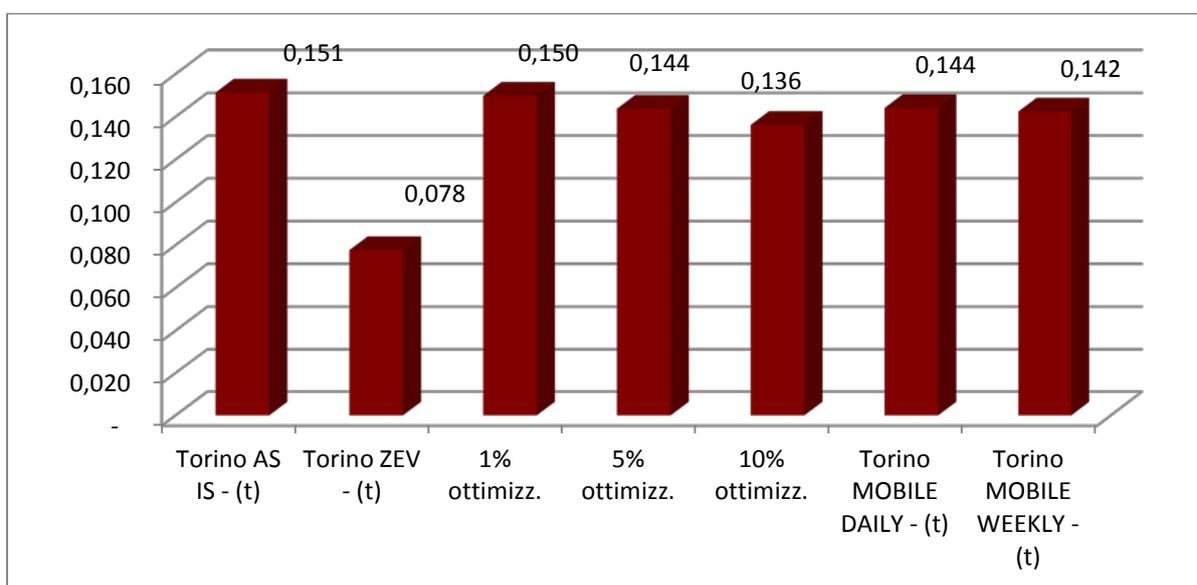
**Torino – Confronto scenari – Climate change (kg CO<sub>2</sub> eq.)**



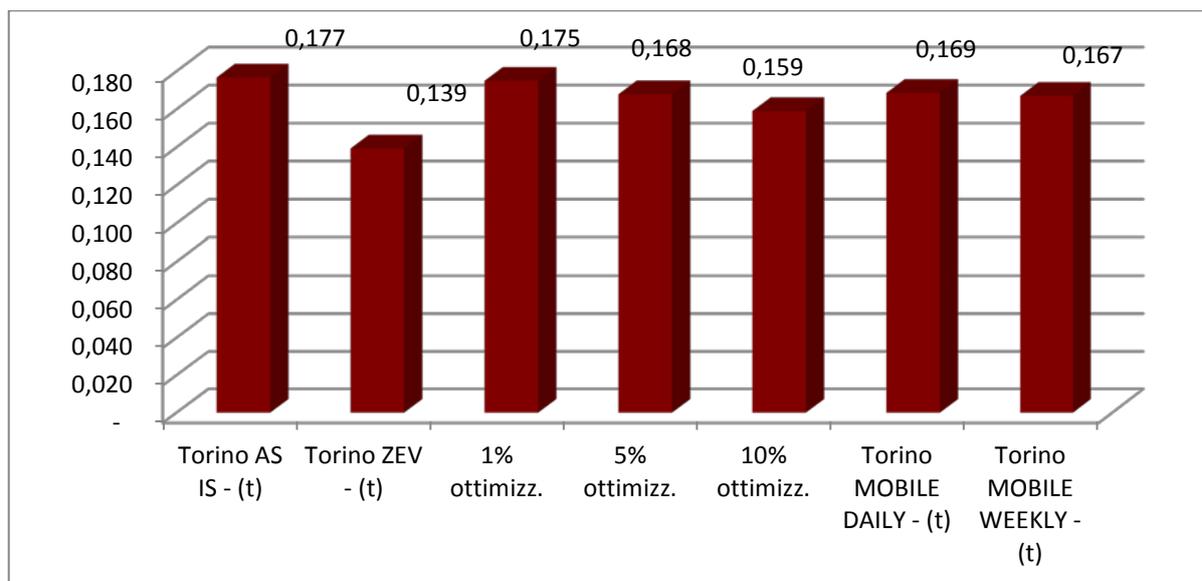
**Torino – Confronto scenari – Particulate matter (kg PM2.5 eq.)**



**Torino – Confronto scenari – Photochemical ozone formation (kg NMVOC eq.)**



**Torino – Confronto scenari – Acidification (molc H+ eq.)**



La tabella successiva mostra le variazioni percentuali di ogni scenario rispetto a quello base (“as is”):

Categoria d'impatto	Unità	Torino ZEV - (t)	1% ottimizz.	5% ottimizz.	10% ottimizz.	Torino MOBILE DAILY - (t)	Torino MOBILE WEEKLY - (t)
Climate change	kg CO2 eq	<b>-46,1%</b>	-1,0%	-5,0%	-10,0%	-4,6%	-5,6%
Particulate matter	kg PM2.5 eq	-4,0%	-1,0%	-5,0%	<b>-10,0%</b>	-5,3%	-5,8%
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	<b>-48,7%</b>	-1,0%	-5,0%	-10,0%	-4,8%	-5,9%
Acidification	molc H+ eq	<b>-21,1%</b>	-1,0%	-5,0%	-10,0%	-4,6%	-5,5%

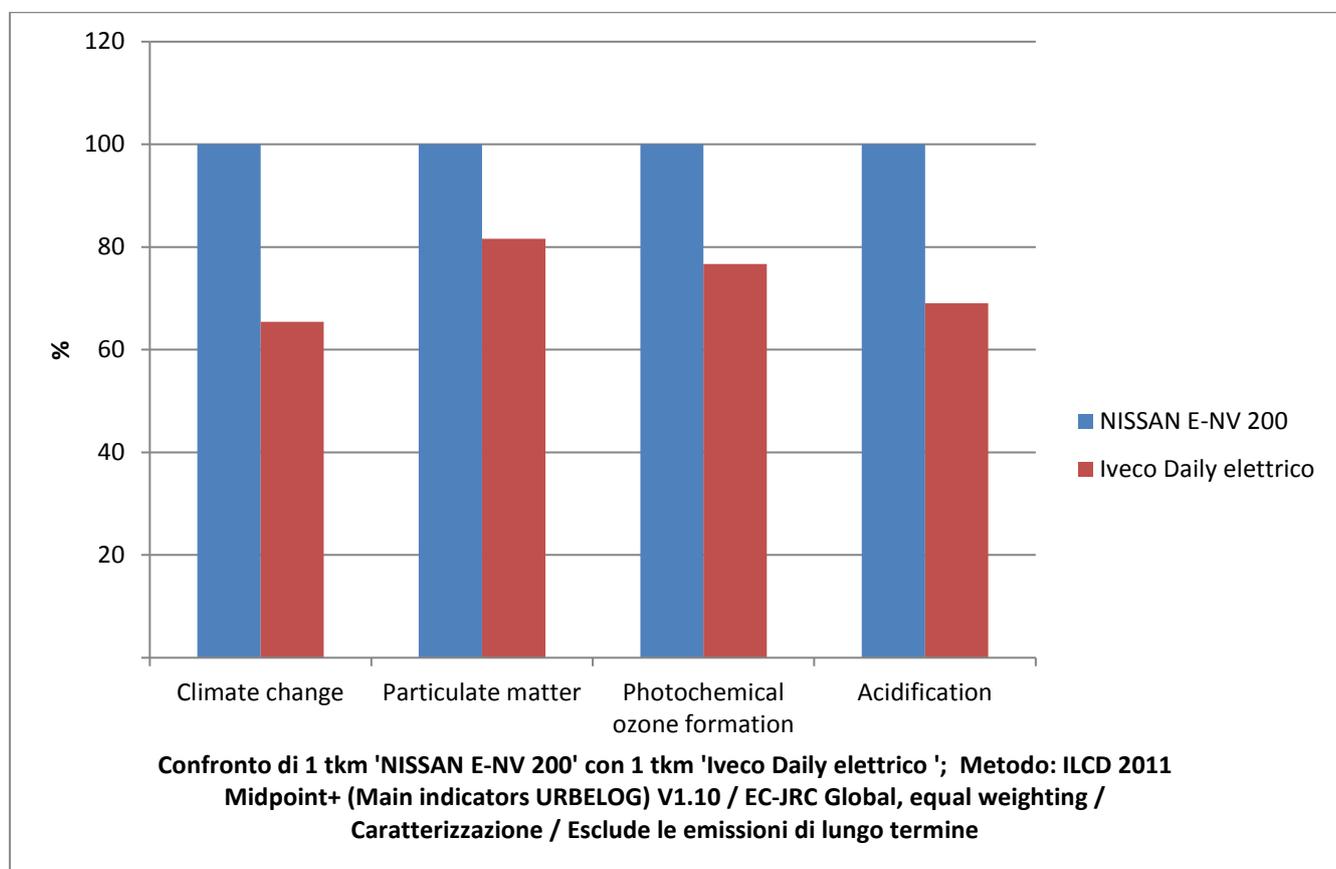
Le principali evidenze derivanti dall'analisi dei risultati di tutti gli scenari afferenti all'ara di Torino sono le seguenti:

- lo scenario “ZEV” appare vincente per tutte le categorie di impatto, ad eccezione della categoria “particulate matter”, dove, seppur migliore dello scenario di base, è superato dallo scenario con più elevata percentuale di ottimizzazione logistica e dagli scenari che includono l'utilizzo del mobile depot;
- gli scenari con utilizzo di mobile depot (e biciclette elettriche) mostrano, rispetto allo scenario base, vantaggi comparabili con quelli dello scenario ottimizzato al 5%. Per rigore metodologico è altresì da tenere in considerazione che lo scenario mobile depot non

considera l'impatto della costruzione e manutenzione delle biciclette. Tuttavia tale impatto mancante, data l'esigua frazione di biciclette elettriche sul totale dei carichi trasportati nell'intero scenario (pari al 3,28% del totale kgkm), può considerarsi non significativo;

- l'impatto aggiuntivo associato ai maggiori spostamenti del mobile depot nello scenario "daily" comportano, per tutti gli indicatori considerati, un minor vantaggio compreso fra lo 0.5% e il punto percentuale rispetto allo scenario di base.

L'analisi del contributo dei singoli processi alle categorie di impatto di ogni scenario replica le considerazioni già riportate con riferimento all'area di Milano. L'unico elemento rilevante può essere individuato nell'analisi della categoria "particulate matter" dove lo scenario ZEV appare comunque 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 successivo evidenzia, con riferimento alle categorie di impatto analizzate, il diverso profilo di impatto dei due mezzi elettrici (leggero e pesante):





## **4 ACRONIMI/DEFINIZIONI**

Nel paragrafo si inserisce il significato degli acronimi utilizzati nel testo del documento e eventuali definizioni che possano facilitare la comprensione del testo stesso.

LCA - Life Cycle Assessment

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry



## **ALLEGATO 1**

Negli Allegati si riportano:

- l'interpretazione dei simboli utilizzati;
- gli eventuali facsimile di modulistica;
- gli esempi e gli schemi a supporto

This paper can be downloaded at  
[www.iefef.unibocconi.it](http://www.iefef.unibocconi.it)  
The opinions expressed herein  
do not necessarily reflect the position of IEFEE-Bocconi.

**IEFE**  
Centre for Research on Energy and Environmental Economics and Policy  
via Röntgen 1  
20136 Milano - Italia  
Tel +39 02 5836.3820 Fax 02 +39 5836.3890

[www.iefef.unibocconi.it](http://www.iefef.unibocconi.it)

© Università Commerciale Luigi Bocconi – September 2017