

"Economia dell'Energia e dell'Ambiente."
a.a. 2019/20

Lezione 10

***Dal Life Cycle Assessment
alla vision della "circularità"***

Roberto.Fazioli@unife.it
Dipartimento di Economia e Management,
Università di Ferrara

LCA è l'acronimo di **Life Cycle Assessment** (in italiano: Valutazione del Ciclo di Vita): è uno **strumento** utilizzato per analizzare l'impatto ambientale di un prodotto, di un'attività o di un processo lungo tutte le fasi del ciclo di vita, attraverso la quantificazione dell'utilizzo delle risorse (gli "input" come energia, materie prime, acqua) e delle emissioni nell'ambiente ("immissioni" nell'aria, nell'acqua e nel suolo) associate al sistema oggetto di valutazione.

Quando si decide di effettuare l'analisi LCA di un prodotto, bisogna innanzitutto identificare i processi coinvolti nel ciclo di vita di ciascun componente del prodotto e del suo packaging. Generalmente, l'analisi considera:

- Estrazione e fornitura materie prime
- Produzione
- Imballaggio
- Trasporto dal sito di produzione al punto vendita
- Utilizzo
- Smaltimento del prodotto e del packaging

Oggi, il metodo LCA è diventato una **procedura standardizzata** che permette di registrare, quantificare e valutare i danni ambientali connessi con un prodotto, una procedura o un servizio, all'interno di un contesto ben preciso, che deve essere definito a priori. Questo studio può essere inteso come "integrale", in quanto considera anche tutti i passaggi precedenti e seguenti la procedura in esame. La struttura di LCA, dopo anni di dibattiti, dal 1997 è stata normata con un protocollo molto dettagliato e largamente riconosciuto (ISO/EN/DIN 14040, 1997), poi è stato raggiunto un ampio consenso circa la definizione precisa delle parti individuali del metodo (ad esempio: la definizione dell'obiettivo e dell'estensione del bilancio, così come l'analisi dell'inventario) grazie a notevoli sforzi volti alla standardizzazione a livello internazionale (ISO/EN/DIN 14041, 1998). La LCA, sulla base della normativa DIN/ISO 14040 (e seguenti) e si svolge attraverso quattro fasi:

1. Definizione degli obiettivi e campo di applicazione: vengono definite gli obiettivi dello studio, l'unità funzionale (misura o quantità di prodotto presa come riferimento per l'analisi dell'impatto), i confini del sistema (ampiezza del sistema considerato).

2. Inventario: è la fase in cui vengono quantificati gli input e le relative emissioni, per ciascuna fase del ciclo di vita.

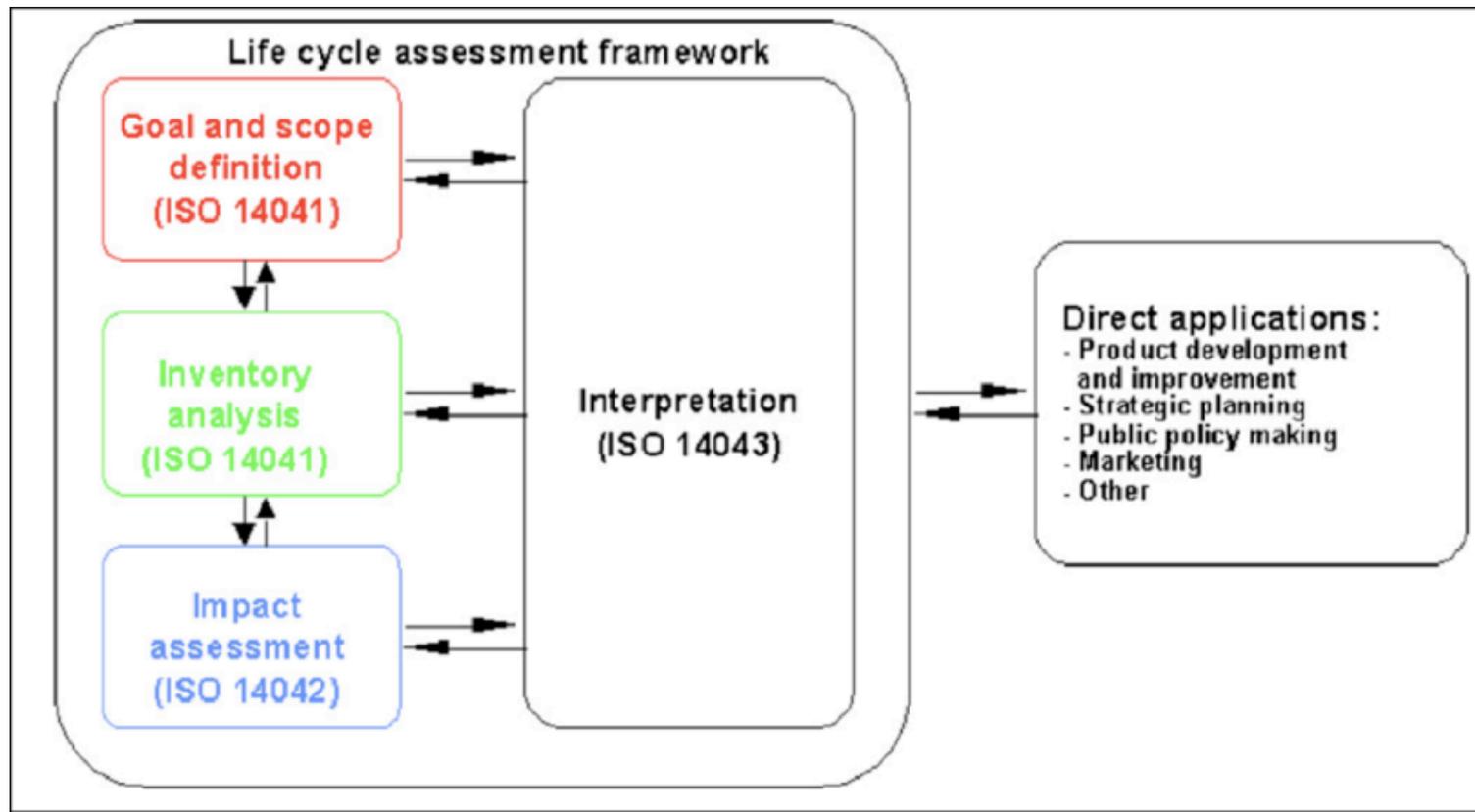
3. Valutazione degli impatti: le informazioni ottenute durante la fase di inventario vengono classificate ed aggregate nelle diverse categorie di impatto.

4. Interpretazione dei risultati: le informazioni e i risultati ottenuti vengono interpretati, per poi tradursi in raccomandazioni e interventi per la riduzione dell'impatto ambientale.

Studiando nel dettaglio ogni aspetto relativo a ciascun componente del prodotto, la LCA permette di **sviscerare la complessità dell'intero ciclo di vita**, permettendo così di individuare quali sono le **fasi maggiormente impattanti** e che necessitano di interventi. La LCA, quindi, può essere considerata una **guida per il miglioramento dei prodotti esistenti** e per la creazione di nuovi. Inoltre, i risultati della LCA possono essere utilizzati per confrontare prodotti simili oppure diversi ma con la stessa funzione, **per richiedere certificazioni ambientali** e per comunicare la prestazione ambientale del prodotto.

What is Life Cycle Analysis (LCA)

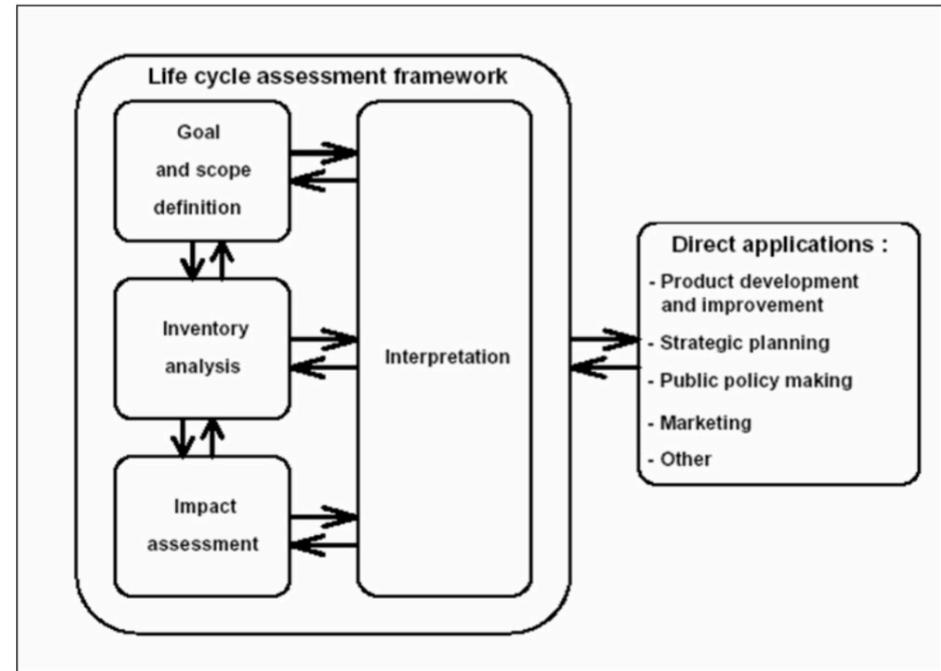
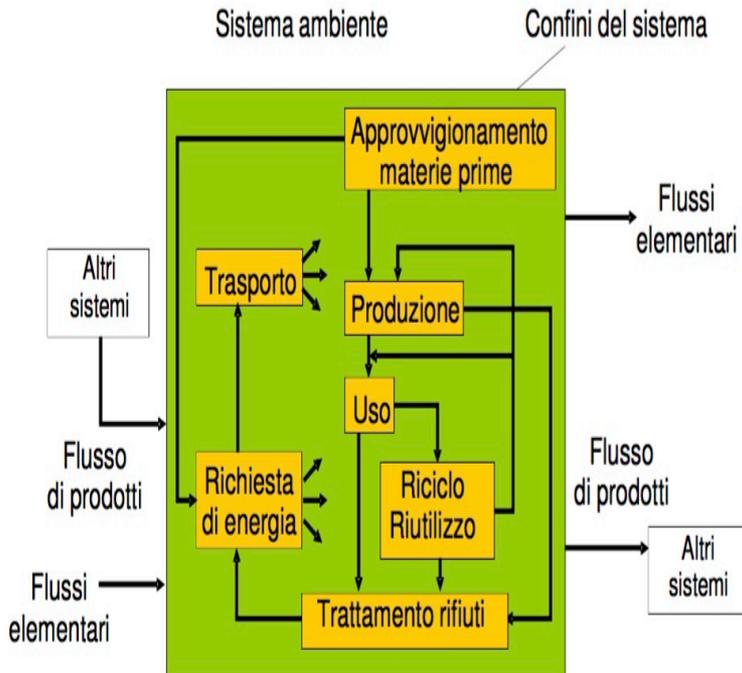
- United Nations Environment Programme - tool for the **systematic evaluation** of the **environmental aspects** of a product or service system through **all stages** of its life cycle
- often termed as “cradle to grave”- starts from raw material to final disposal of the product
- Looks into all the processes/stages & considering environmental aspects and potential impacts of the process/stages, considering all the **inputs** and **outputs**



1.1. Definizione di ambito ed obiettivo

La definizione di ambito ed obiettivo di uno studio LCA è un passaggio cruciale, in quanto è la fase in cui vengono prese le decisioni più importanti. In accordo con le intenzioni e gli interessi specifici, viene definito il contesto dell'indagine e vengono fissate le richieste per le fasi successive. Questo aspetto potrebbe riguardare il livello di approfondimento dello studio, la qualità dei dati richiesta, la selezione dei parametri per la realizzazione della stima dell'impatto ambientale e le possibili interpretazioni all'interno del contesto della valutazione; il risultato nasce dai processi iterativi di LCA. Tra le altre cose, bisogna decidere se (ed eventualmente come) una commissione di esperti debba stendere un resoconto esterno (un'indagine critica), come richiesto dalla normativa ISO 14040, utile per la realizzazione di studi comparativi aperti al pubblico.

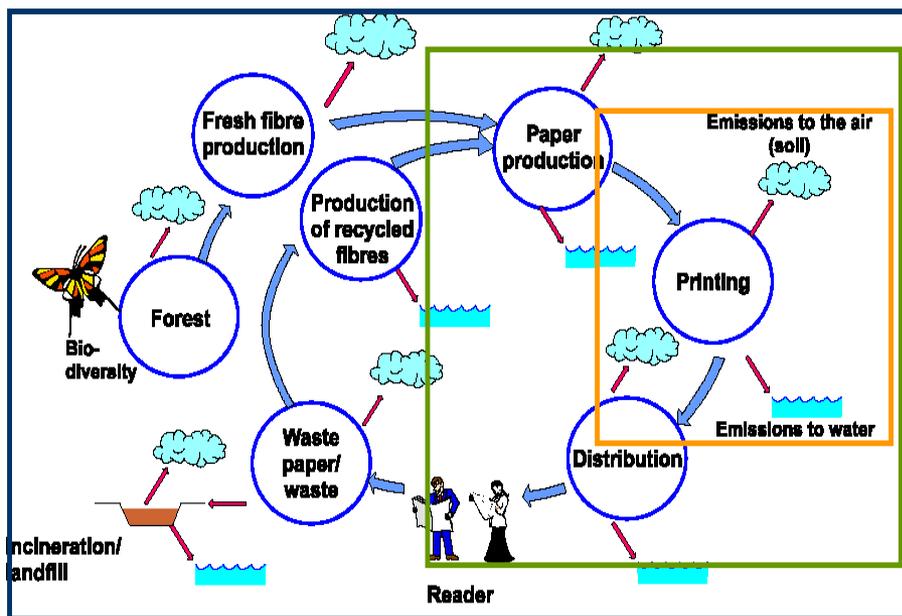
I fini concreti e gli interessi specifici di uno studio LCA devono essere fissati durante la fase di definizione dell'obiettivo; allo stesso modo, anche i gruppi a cui è indirizzata l'indagine devono essere indicati chiaramente. Se necessario, bisognerebbe sottolineare quale sia il ruolo di LCA all'atto di prendere una decisione ed, eventualmente, se questa indagine sia collegata o meno ad altre (ad esempio: di taglio economico, tecnologico o sociale). All'atto di rendere noti i risultati, inoltre, è molto importante sottolineare quali siano le domande per le quali LCA è adatto e quali non lo siano.



1.2. Definire i confini del sistema

I confini del sistema devono essere definiti in accordo con quelli che sono gli obiettivi di LCA. Innanzitutto, è necessario vagliare attentamente i mezzi utilizzabili, il contesto temporale e la disponibilità (o meno) di tutti i dati necessari; entrando più nel dettaglio, bisogna determinare tutti gli aspetti temporali, spaziali, pratici e tecnici (cioè la scala del bilancio) relativi allo studio. I confini del sistema costituiscono l'interfaccia con l'ambiente e con gli altri sistemi di prodotti; essi definiscono anche quali procedure vadano incluse e quali escluse dall'indagine. Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati, è necessario determinarne la scala, il tipo (specifico, medio) e la qualità.

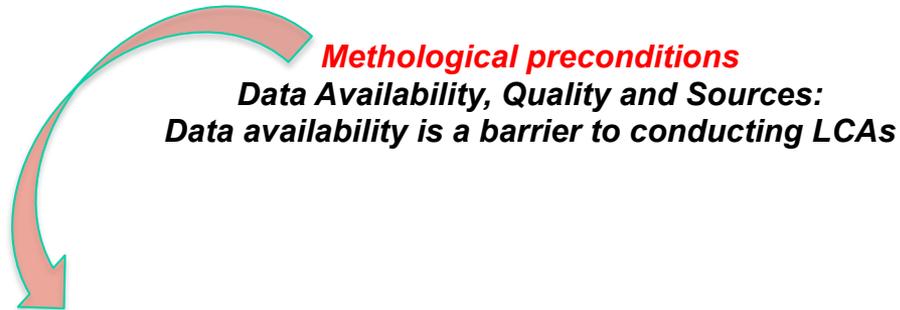
Life-cycle – Identify the boundaries



Emergono due problemi quando si stabilisce l'estensione del bilancio; per prima cosa, è necessario definire i criteri limite e le procedure di allocazione dei prodotti accoppiati (cioè coinvolti in più fasi dell'analisi) per ciascuno dei singoli processi considerati nel bilancio. Bisogna, inoltre, determinare le funzioni dei sistemi esaminati, nonché le loro unità funzionali: in relazione a questi aspetti, sono state documentate differenze e possibili restrizioni nel caso della comparazione di alcuni sistemi. Ad esempio, allo scopo di ridurre l'estensione e la complessità dell'indagine entro limiti ragionevoli, la portata del bilancio deve essere discussa e fissata sulla base di dati aderenti al problema. Con l'aiuto delle analisi di sensibilità e dei criteri di prestazione, inoltre, è possibile determinare se un flusso di materiale possa (o meno) essere limitato. Tra gli altri, possono essere considerati i seguenti criteri.

2. Analisi dell'inventario

Nell'analisi dell'inventario, i flussi di materiale ed energia vengono annotati minuziosamente, prendendo in considerazione l'intera vita del prodotto in esame. In un primo momento, vengono modellate le strutture del processo complessivo, così da avere un supporto per assemblare tutti i dati. I flussi di materiale ed energia vengono quindi determinati sulla base delle entrate e delle uscite di ciascun processo parziale, in relazione ai confini del sistema. Successivamente, connettendo tra loro i vari passaggi analizzati, si riesce a simulare la rete di connessioni che intercorrono tra i moduli e l'ambiente: in questo modo si possono tracciare i bilanci di massa e di energia, che diventano l'inventario vero e proprio del sistema complessivo. Per finire, tutti i flussi di materiale ed energia che passano i confini precedentemente fissati vengono annotati quantitativamente (come unità di misura si usano quelle normalmente impiegate in fisica), facendo sempre riferimento all'unità funzionale.



Chemical reaction releases

Impact Assessment Common Impact Categories

Impact Category	Indicator Measurement
<input type="checkbox"/> Resources	kg Scarce Resources
<input type="checkbox"/> Water	m ³ Water
<input type="checkbox"/> Global Warming	kg CO ₂ e equivalents
<input type="checkbox"/> Ozone Depletion	CFC-11 equivalents
<input type="checkbox"/> Acidification	kg SO ₂ equivalents
<input type="checkbox"/> Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ equivalents
<input type="checkbox"/> Smog Formation	kg Ethene equivalents
<input type="checkbox"/> Human Toxicity	HTx equivalents
<input type="checkbox"/> Eco Toxicity	ETx equivalents
<input type="checkbox"/> Waste	kg Waste
<input type="checkbox"/> Land Use	equivalent hectares
<input type="checkbox"/> Noise	equivalent decibels
<input type="checkbox"/> Odor	??



3. *Stima dell'Impatto Ambientale.*

L'obiettivo della **stima dell'impatto ambientale** è la valutazione (secondo precisi parametri ambientali) dei flussi di materiale e di energia calcolati durante l'analisi dell'inventario: tale stima, quindi, serve per riconoscere, riassumere e **quantificare i possibili effetti ambientali** dei sistemi esaminati, nonché per fornire informazioni essenziali intese alla loro valutazione. Diverse commissioni lavorano ancora oggi sullo sviluppo di questo metodo; un primo riconoscimento internazionale può essere trovato nella normativa ISO DIN 14042, in accoglimento delle raccomandazioni SETAC (1993). I singoli passaggi della valutazione dell'impatto (ad esempio: la definizione delle categorie di impatto, la classificazione e la caratterizzazione) sono riportati di seguito. Nel contesto della "**Classificazione**", i flussi di materiale ed energia, esaminati nell'analisi dell'inventario, vengono assegnati alle categorie ambientali (assimilabili a veri e propri effetti ambientali), che sono state fissate in precedenza. In LCA vengono normalmente impiegate le seguenti categorie di impatto:

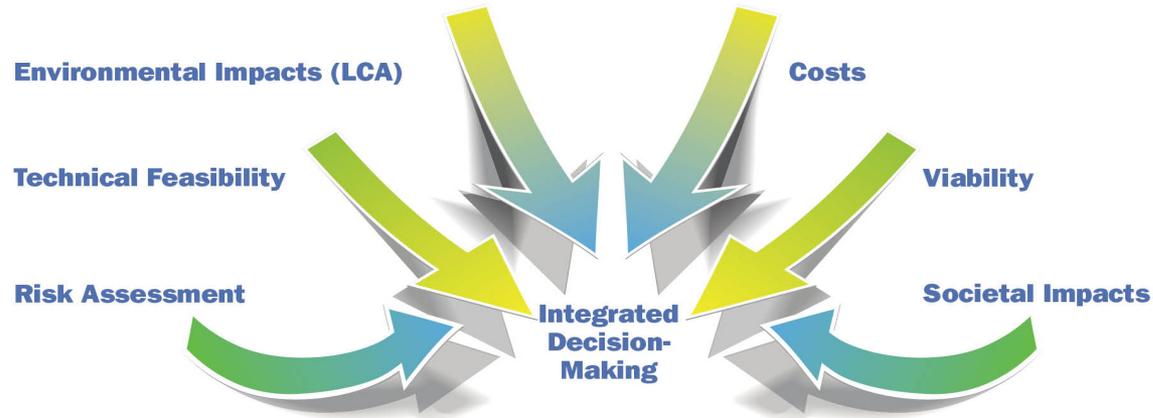
- Riscaldamento globale (GWP)
- Riduzione dell'ozono presente nella stratosfera (ODP)
- Formazione fotochimica dell'ozono nella troposfera (POCP)
- Eutrofizzazione (NP)
- Acidificazione (AP)
- Tossicità per l'uomo (HTP)
- Eco-tossicità (ETP)
- Utilizzo del territorio

Le categorie di impatto descrivono i potenziali effetti sull'uomo e sull'ambiente; tra le altre cose, esse differiscono in relazione alla loro **collocazione spaziale** (effetti globali, regionali e locali). In linea di principio, ciascun effetto ambientale potrebbe essere incluso all'interno di un'indagine, a patto che i dati necessari all'analisi e un modello adatto per la descrizione e parametrizzazione dell'effetto stesso siano disponibili. Per finire, occorre ricordare che un flusso di materiale può essere assegnato a diversi effetti ambientali.

Nella fase di "**Caratterizzazione**", vengono quantificate le porzioni precedentemente assegnate: con l'aiuto dei fattori di equivalenza, infatti, i differenti contributi dei materiali vengono **aggregati in un determinato effetto** ambientale e rapportati ad una sostanza (presa come riferimento). I flussi registrati nell'analisi dell'inventario vengono moltiplicati per i rispettivi fattori di equivalenza e sommati tra loro: il potenziale d'impatto così determinato rappresenta la misura di un possibile danno ambientale (NB: i valori dei differenti potenziali d'impatto non sono direttamente confrontabili tra loro).

Durante la "**Standardizzazione**", il potenziale d'impatto determinato viene messo in relazione con un valore di riferimento all'interno della stessa area. Non viene condotta alcuna aggregazione delle categorie d'impatto in uno (o più) indici riassuntivi; la valutazione dei singoli criteri può quindi essere condotta esclusivamente sulla base di parametri individuali (marginali), che spesso non possono essere tradotti in un linguaggio scientifico.

4. Interpretazione dei Risultati = un sistema di supporto alle decisioni strategiche integrate



Factors important for decision-making	Combustion based				Nuclear	Hydro	Wind	Solar
	Coal	Oil	Gas	Biomass				
Energy accessibility (related to the direct costs of energy)	F	M	M	M	F	F	D	D
Energy availability (related to the security/reliability dimension)	F	M	M	M	F	F	D	D
Energy acceptability (environmental externalities)	D	D	M	F	F	F	F	F

Relative rankings in the perspective of factors important for decision-making:

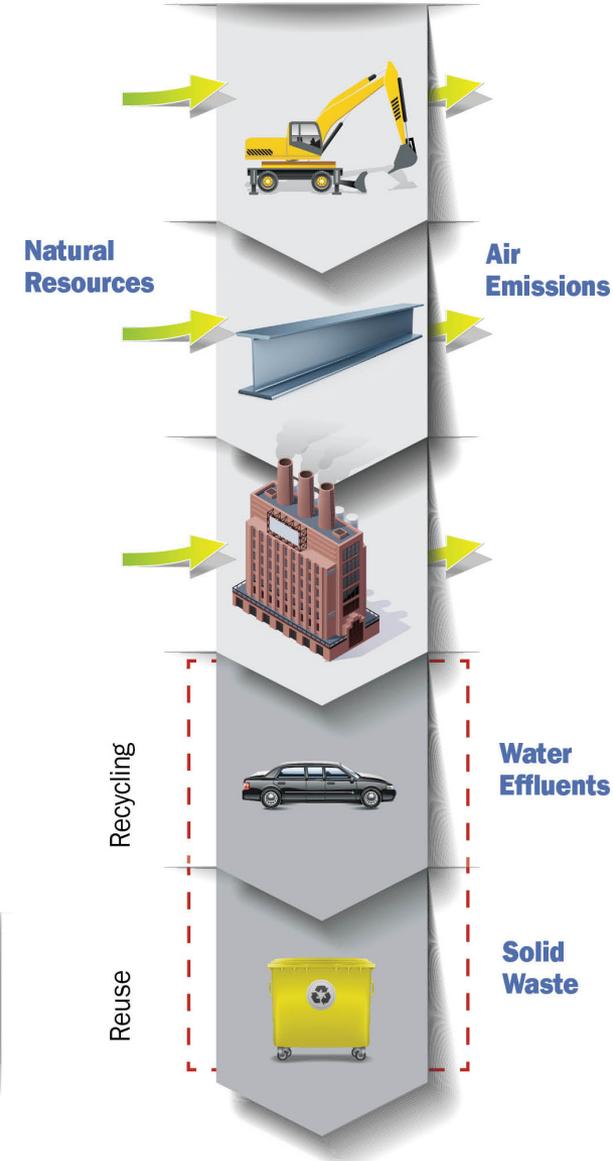
- F** = energy source in **favourable** position
- M** = energy source in **medium/neutral** position
- D** = energy source in **disfavoured** position

What Can LCA Do?

- Highlight value chain efficiency opportunities
- Promote understanding of product manufacture and delivery systems
- Identify areas in value chain that need improvement
- Ensure that changes do not “shift the burden”
- Highlights trade offs
- Compare two systems that deliver same service
- **Benchmark progress**
- Provide footprinting data
- Support environmental claims:
 - Apply a system-wide examination
 - Use a multi-media approach (air, water, solid waste)
 - Identify trade-offs among alternatives
 - Identify opportunities to improve systems
 - Support environmental decision making
 - Achieve sustainable development

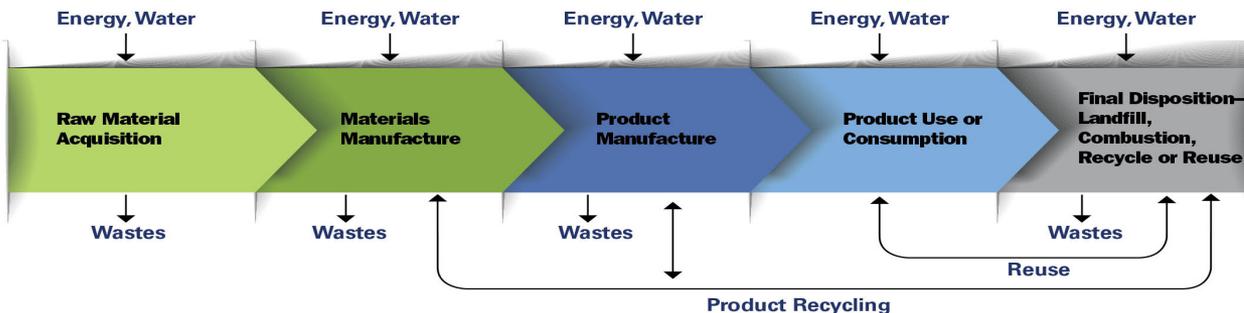
Environmental Claims and LCA

Claims Must Reflect the Stated Study Scope

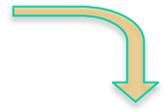


International/U.S. sources identified and defined key metrics, **addressing:**

- I. Energy Demand
- II. Global Warming
- III. Ozone Depletion
- IV. Water Footprint
- V. Eco and Human Toxicity Assessment
- VI. Land Use

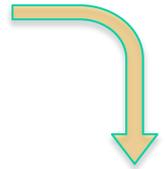


Sustainable Development requires balancing environmental, economic and social factors

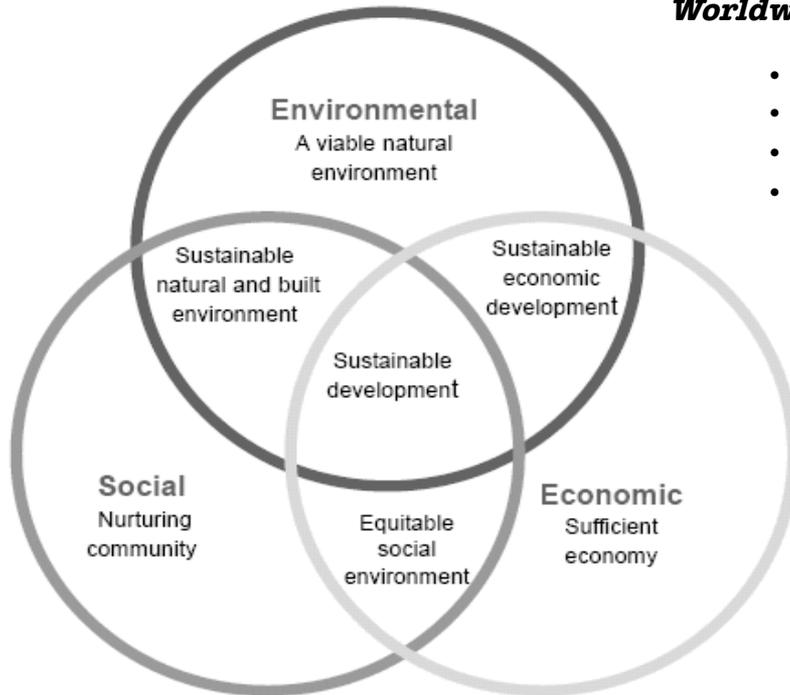


Worldwide growing interest in the life cycle concept is being ignited by

- Concerns about Global Climate Change (“An Inconvenient Truth”)
- Walmart Scorecard development
- Green/Sustainable buildings
- General interest by companies to be ‘green’



LCA provides analysts with a quantitative data to determine and analyses the environment impact of such product / system and enable changes to be made to justify in respect to the cost and environmental impacts of the product/process.



History of LCA

Life cycle thinking is being applied but often not called LCA. **For example: “Report Biofuels: Is the Cure Worse than the Disease?”, OECD, Sept 2007**

These studies reveal bigger picture issues of making (more) bioethanol, such as land availability, water use, soil and water quality, and food-for-fuel issues.

Developed in the late 1960s/early 1970s.

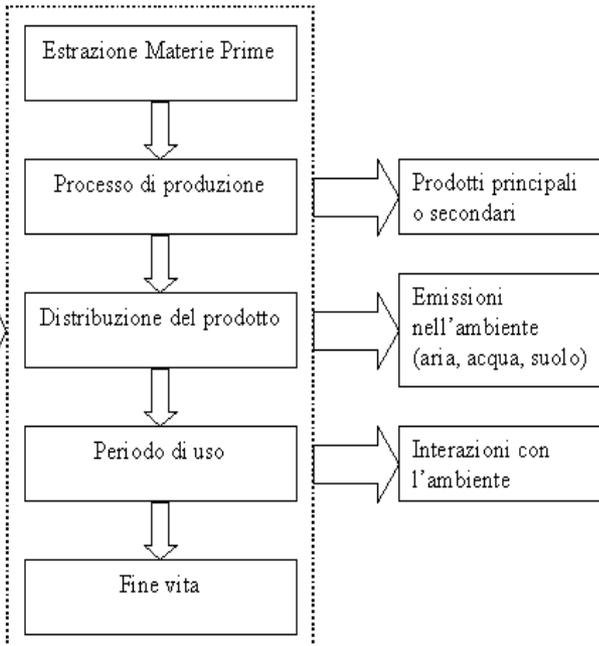
Evolved from “eco-profiles” to current 4 basic, interdependent stages of an LCA:

- Goal and Scope
- Inventory Analysis
- Impact Assessment

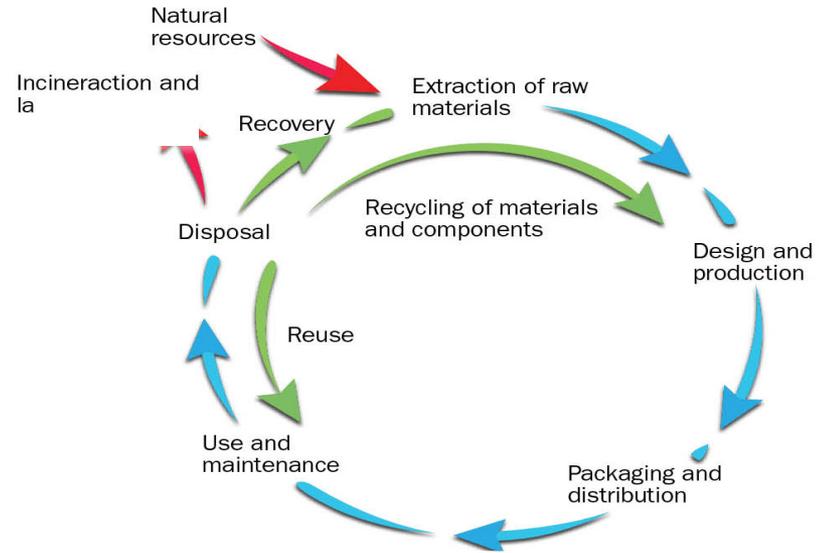


L.C.A. e Approccio della Circolarità

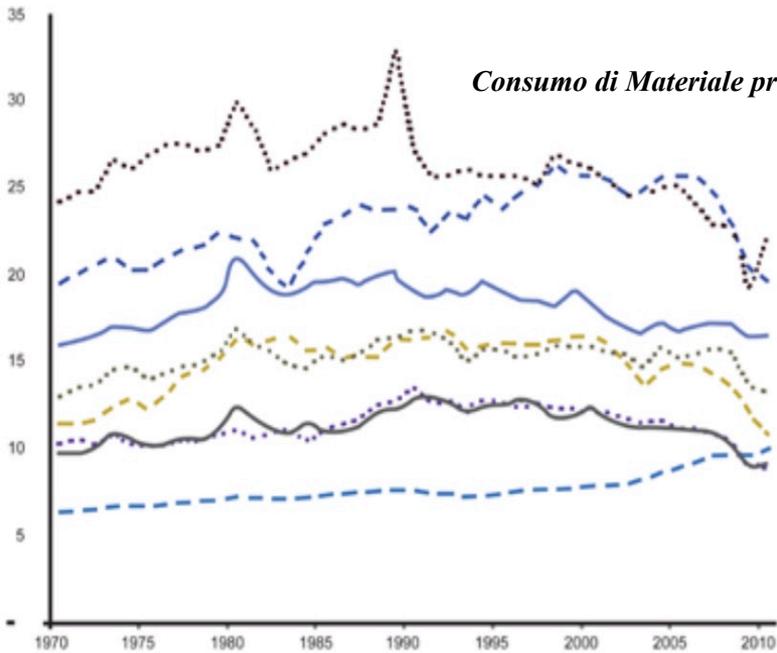
Life Cycle Thinking = Taking account of the environmental, social, economic impacts of a product over its entire life cycle



Life Cycle Assessment Iterative Process



Storicamente, l'abbondanza, il basso costo delle risorse naturali e l'inesistenza di alcun meccanismo di imputazione dei costi esterni e/o sociali sui costi privati (o rilevanti gli scambi) ha portato il sistema economico ad un modello lineare di produzione.



L'INQUINAMENTO ALTRO NON È CHE UN USO INEFFICIENTE DELLE RISORSE:

L'inquinamento è una forma di spreco economico, che implica l'utilizzo non necessario, inefficiente o incompleto di risorse. Spesso le emissioni sono un segnale di inefficienza, e impongono a un'organizzazione il compimento di attività che non generano valore, quali la gestione, lo stoccaggio e lo smaltimento dei rifiuti prodotti. Alla base di sforzi di riduzione degli sprechi e di massimizzazione del profitto vi sono alcuni principi comuni, quali l'uso efficiente degli input, la sostituzione dei materiali, e la minimizzazione delle attività non necessarie.



L'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Sostenibile e l'Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici, entrambi adottati nel 2015, rappresentano due fondamentali contributi per guidare la transizione verso un modello di sviluppo economico che abbia come obiettivo non solo redditività e profitto, ma anche progresso sociale e salvaguardia dell'ambiente. Questa esigenza è ormai riconosciuta da tutti ed è diventata imprescindibile per scongiurare un futuro che continui ad accrescere problematiche sociali e ambientali.

In questo contesto, un aspetto cruciale è quello della più razionale e sostenibile gestione delle risorse naturali, sempre più sotto pressione a causa della crescente popolazione, dell'aumento di domanda di materie prime e dell'aumento delle disuguaglianze anche nelle nazioni meno ricche.

Il tema è caratterizzato da una doppia dimensione. A monte (upstream), si tratta di gestire le risorse in modo più efficiente, ovvero aumentandone la produttività nei processi di produzione e consumo, riducendo gli sprechi, mantenendo il più possibile il valore dei prodotti e dei materiali. A valle (downstream), occorre evitare che tutto ciò che ancora intrinsecamente possiede una residua utilità non venga smaltito in discarica ma sia recuperato e reintrodotta nel sistema economico. Questi due aspetti costituiscono l'essenza dell'economia circolare, che mira attraverso l'innovazione tecnologica e una migliore gestione a rendere le attività economiche più efficienti e meno impattanti per l'ambiente. La transizione verso un'economia circolare che sappia gestire in modo più razionale ed efficiente le risorse materiali ed energetiche richiede un sistema coerente di strumenti regolatori ed economici e il coinvolgimento e la condivisione di tutti i componenti del sistema sociale (imprese, pubblica amministrazione, consumatori/cittadini, associazioni).

L'avvio di una transizione verso l'economia circolare rappresenta un *input* strategico di grande rilevanza con il passaggio da una **"necessità"** (l'efficienza nell'uso delle risorse, la gestione razionale dei rifiuti) ad una **"opportunità"** ovvero progettare i prodotti in modo tale da utilizzare ciò che adesso è destinato ad essere rifiuto come risorsa per un nuovo ciclo produttivo. L'Italia, Paese tecnologicamente avanzato e da sempre abituato a competere grazie ad innovazione e sostenibilità, deve necessariamente muoversi in una visione europea di transizione verso un'economia circolare, sfruttare le opportunità e farsi promotrice di iniziative concrete.

L'economia circolare comporta bene sia per l'ambiente e per la società. Dal punto di vista ambientale, la preservazione del capitale naturale – e dei connessi servizi ecosistemici – passa anche per la ridotta pressione sulle risorse e il minore utilizzo di territorio per lo smaltimento dei rifiuti in discarica. Questo è fondamentale in un Paese come l'Italia in cui il fattore naturale può costituire una delle principali leve di sviluppo economico come ci dimostra la crescente domanda di turismo sostenibile e culturale.

Figura 1 Modello di economia lineare e circolare

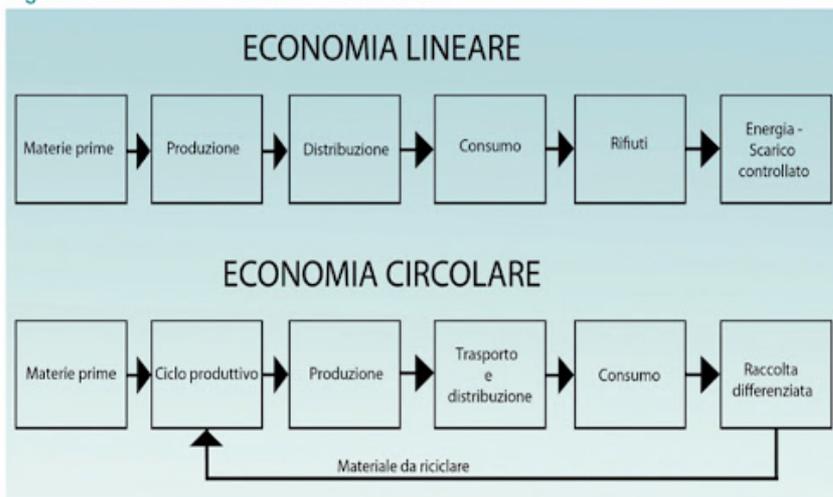


Figura 3 Ciclo produttivo dell'industria cartaria



Tabella 1

Tipologia di carta	Consumo di energia	Acqua	Materia prima
1 T. carta vergine	7,60 MWh e.e.	440 mc.	15 alberi
1 T. carta riciclata	2,70 MWh e.e.	18 mc.	-----

Tabella 2

TIPO DI CARTA	CONSUMO ENERGIA CALORE DI PROCESSO Kwh/T	CONSUMO ENERGIA ELETTRICA Kwh/T
Carta grafica	1.300 - 1.700	660 - 800
Tissue	1.800 - 2.100	900 - 1.100

Tabella 3

TIPO DI CARTA	CONSUMO ENERGIA CALORE PROCESSO Kwh/T	CONSUMO ENERGIA ELETTRICA Kwh/T
Carta riciclata ⁽⁰⁾	1.100 - 1.500	340 - 450
Carta riciclata ⁽¹⁾	1.200 - 1.600	400 - 500
Carta con disinchiostrazione ⁽²⁾	1.000 - 1.800	900 - 1.300
Carta con disinchiostrazione ⁽³⁾	1.000 - 1.100	450 - 550

⁽⁰⁾senza disinchiostrazione (carta per imballaggi)
⁽¹⁾senza disinchiostrazione (carta per stucchi patinato)
⁽²⁾con disinchiostrazione (carta grafica)
⁽³⁾carta per astucci

IL RICICLO DELLA CARTA



Quale tipologia di carta si può riciclare?

SÌ	NO
giornali e riviste	carta sporca
tabulati e fotocopie	carta oleata o plastificata
carta da pacchi	piatti e bicchieri da carta
imballaggi di carta e cartoncino	carta con residui di colla
sacchetti di carta	carta o cartone accoppiati ad altri materiali
scatole e scatoloni di cartone (anche ondulato)	carta chimica dei fax
cartone per bevande (quali latte, succhi di frutta, vino)	carta autocopiante
carta per usi grafici e disegno	sacchetti di plastica
libri, quaderni e opuscoli	polistirolo
	cellophane

Nel 2014 la Commissione Europea ha adottato la Comunicazione sulle Opportunità di migliorare l'efficienza delle risorse nell'edilizia (COM/2014/445 final) allo scopo di **ridurre l'impatto ambientale degli edifici** attraverso la complessiva efficienza delle risorse e di conseguenza incrementare la competitività del mercato delle costruzioni. Nell'ambito di queste indicazioni nasce il nuovo schema di reporting LEVEL(S), promosso dalla DG Ambiente, attualmente in fase di testing, che rappresenta l'approccio europeo sulla valutazione dell'impatto ambientale degli edifici nel loro ciclo di vita, ed è in grado di integrare i concetti di circolarità in edilizia e la metodologia LCA nell'ambito delle politiche quadro per la sostenibilità ambientale. In virtù dell'impegno di GBC Italia nella diffusione dello strumento LEVEL(S) e delle attività che l'associazione sta svolgendo con i propri Soci sul tema LCA, è nata l'esigenza di definire lo stato dell'arte sull'uso del LCA nel settore edile e di fare una fotografia in particolare dell'attuale contesto nazionale. (Parte 1) Il position paper identifica 11 azioni chiave (Parte 2) che sulla base delle criticità della situazione attuale, delineano necessari scenari di sviluppo e avanzano proposte di miglioramento.

A fronte del forte dinamismo normativo e del proliferare di standard di diversa natura e livello, più o meno riconosciuti e diffusi, il punto chiave per assicurare veridicità e affidabilità degli studi effettuati e per sensibilizzare i consumatori e gli operatori del settore su questi aspetti è quello di identificare metodologie, standard e riferimenti univoci.

A partire dal 2002, il Comitato Tecnico ISO/TC59 Building construction (oggi Sustainability in buildings and civil engineering works) e il sottocomitato SC17 Sustainability in Building construction hanno pubblicato otto norme tecniche che delineano il quadro di riferimento per analizzare la sostenibilità in edilizia, promuovendo la certificazione ambientale dei prodotti edili, tramite l'Environmental Product Declaration, EPD, come base dati utile e necessaria per poter sviluppare una valutazione LCA alla scala dell'edificio.



Life cycle assessment (LCA) is a means of **assessing the environmental impact** associated with all stages of a product's life. The stages relevant to BEVs have been used to structure this report. LCA is recognised as being the best framework for assessing the environmental impacts of products.

Increased understanding of upstream and downstream environmental impacts of products helps avoid shifting the burden from one stage to another in a product's life cycle, and it reduces the potential for this burden to move from one country to another. The LCA approach is predominantly used to inform policy development. In terms of coverage of impacts, **LCAs typically include a lot of categories**, including climate change, ozone depletion, ecotoxicity and resource depletion:

- 1) **climate change;**
- 2) **health impacts, particularly focused on:**
 - 'human toxicity';
 - **air quality impacts on health with a focus on nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM), e.g. in relation to;**
- 3) **cosystem impacts, including:**
 - **freshwater ecotoxicity.**

These themes reflect the key topics covered in the LCA literature on electric vehicles. Furthermore, detailed consideration of the climate change- and air quality-related health impacts was seen as pertinent, given the expectations that electric vehicles will help to address these challenges. The concept of a circular economy is complementary to key aspects as they relate to LCA, considering impacts and in turn solutions across the relevant system. The circular economy is an alternative to the traditional linear economy, which focuses on make, use and dispose.

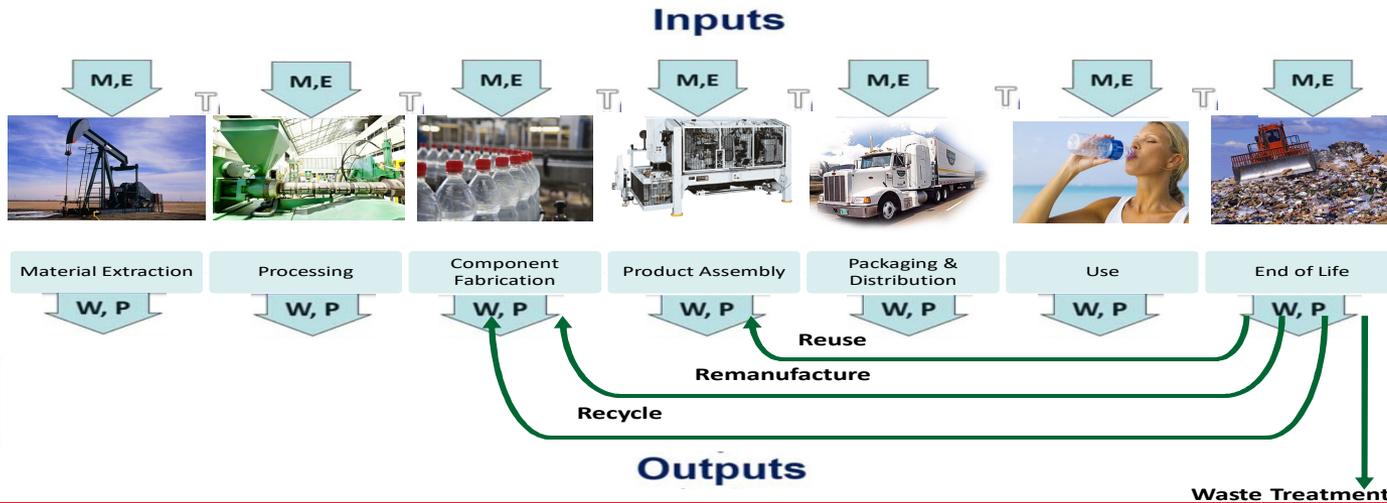
Central to the concept is that the value of materials and products is kept as high as possible for as long as possible'. This helps to reduce new material input and energy needs throughout a product's life cycle. The benefits are usually higher for what can be considered 'inner circle' approaches — reuse, repair, redistribution, refurbishment and remanufacturing — than for recycling and energy recovery (EEA, 2017b). This is due to losses during collection and processing and to degradation of material quality during recycling. **Relevant aspects of this 'closed loop system' include:**

- *products designed to reduce waste and pollution;*
- *keeping products and materials in use for as long as possible/feasible;*
- *remanufacturing and recycling of goods.*
- *regeneration of nature systems — providing a focus on natural capital;*
- *use of renewable energy;*
- *sustainable consumption, e.g. through shared ownership of goods.*

A **stronger circular economy** can result in decoupling rising prosperity (e.g. in terms of gross domestic product) from increases in resource consumption; this goes beyond incremental efficiency gains to deliver substantial change. As well as environmental advantages, this can also offer economic benefits, contributing to innovation, growth and job creation.

In **December 2015, the European Commission introduced the EU action plan for the circular economy, which addressed the whole product life cycle from design and production through consumption to waste management.** This action plan forms part of the circular economy package, which includes proposals to revise key elements of the EU waste acquis (accumulated legislation, legal acts and court decisions as they relate to EU law) including directives on end-of-life vehicles and batteries. In January 2018, the European Commission updated the circular economy package with a new set of measures including a Europe-wide strategy for plastics, a monitoring framework on progress towards a circular economy, and a report on critical raw materials and the circular economy.

L' LCA, acronimo di **Life Cycle Assessment**, è un sistema di valutazione dell'impatto che un prodotto ha sull'ambiente. Per definire l' LCA di un prodotto si prende in considerazione il suo intero ciclo di vita: dall'estrazione delle materie prime fino al suo smaltimento finale (ISO 14040:2006).



Plastica e LCA

Risultati analisi LCA



	Scenario 1	Scenario 2	Differenza % (2 vs 1)
RISORSE NON RINNOVABILI			
Risorse materiali (kg)	0,362	0,362	+0,00%
Risorse a fini energetici (kg)	1,671	1,584	-5,20%
RISORSE RINNOVABILI			
Risorse materiali (kg)	0,206	0,212	+2,80%
Risorse a fini energetici (MJ)	2,057	2,084	+1,31%
Consumo di acqua (m ³)	0,077	0,076	-1,04%
RIFIUTI TOTALI (kg)	3,94E-5	3,96E-5	+0,75%
Rifiuti Pericolosi (kg)	3,77E-5	3,80E-5	+0,80%
Rifiuti non Pericolosi (kg)	1,60E-6	1,67E-6	+4,05%
CATEGORIE DI IMPATTO			
Potenziale di Effetto Serra (kg CO ₂ eq.)	3,25	3,14	-3,37%
Potenziale di Acidificazione (kg SO ₂ eq.)	0,04	0,04	-0,75%
Potenziale di Formazione di Ossidanti Fotochimici (kg C ₂ H ₄ eq.)	0,001	0,001	-1,61%
Potenziale di Eutrofizzazione (kg PO ₄ ³⁻ eq.)	0,008	0,008	-0,43%

Sostituendo il PP vergine con un materiale composito costituito da PP riciclato/Farina di Legno da recupero/Polietilene vergine **non si ottengono significativi benefici ambientali**

Sostanzialmente le performance ambientali dei due scenari sono simili in quanto:

- i maggiori contributi di impatto ambientale sono associati al consumo di altre materie prime che costituiscono la presa multipla (ad esempio il rame il cui consumo risulta essere invariato per entrambi gli scenari);
- i vantaggi riscontrabili grazie alla sostituzione di PP vergine con PP riciclato e legno da recupero sono inficiati dall'utilizzo di PE vergine il cui impatto è maggiore rispetto all'impatto del PP vergine.

Plastica vs. Materia Prima da scarti in legno

La comparazione migliorerebbe a favore della Plastica, qualora si considerasse la riciclabilità della stessa.

LCA. Applicazione a diversi tipi di borse

Bag type	Picture example	Weight* [g]	Volume capacity* [litres]
Conventional HDPE bag		7.5 – 12.6	17.9 – 21.8
HDPE with prodegradant additive		5.9 – 8.2	16 – 19.6
Heavy duty LDPE bag ('bag for life')		27.5 – 42.5	19.1 – 23.9
Non-woven PP bag		107.6 - 124.1	17.7 – 21.8
Paper bag		55.2	20.1
Biopolymer bag		15.8	18.3
Cotton bag		78.7 – 229.1	17 – 33.4

* Some supermarkets have supplied data, others are based on measurements by the authors (see annex B).

Oggigiorno sulla Terra si trovano molti materiali artificiali. L'influenza di molti di loro sulla salute ambientale e umana è ancora sconosciuta. Come già accennato, la plastica appartiene a questa categoria. Le persone si concentrano principalmente sulle buone caratteristiche, come basso costo, grande capacità e varietà, alta resistenza, facilità d'uso, ecc. E dimenticano conseguenze e impatti dannosi a lungo termine. I sacchetti di plastica leggeri sono utilizzati da quasi tutti in tutto il mondo. Quando li buttiamo via, ci dimentichiamo della loro esistenza. Sfortunatamente, il degrado della plastica è un processo lungo, molto più lungo della vita di molti esseri viventi. Per gestire la plastica, diversi paesi hanno svolto ricerche e implementato strategie e strumenti diversi, come divieti, plasttax, campagne volontarie e molti altri. Gli scienziati hanno ampiamente utilizzato la valutazione del ciclo di vita come strumento per scegliere la migliore alternativa per le borse da trasporto e hanno ottenuto risultati abbastanza buoni.

1. polietilene convenzionale ad alta densità (HDPE);
2. polietilene ad alta densità (HDPE) con un additivo prodegradante;
3. miscela di amido-poliestere (biopolimero);
4. carta;
5. polietilene a bassa densità (LDPE);
6. polipropilene non tessuto (PP);
7. cotone.

Table 3.1 The assumed volume, weight, items per bag and required reference flow for each carrier bag (excluding primary reuse).

Bag type	Volume per bag (litres)	Weight per bag (g)	Items per bag	Refflow – No. bags
Conventional high-density polyethylene (HDPE) bag	19.1	8.12	5.88	82.14
High-density polyethylene (HDPE) bag with a prodegradant additive	19.1	8.27	5.88	82.14
Starch-polyester blend bag	19.1	16.49	5.88	82.14
Paper bag	20.1	55.20	7.43	64.98
Low-density polyethylene (LDPE) bag	21.52	34.94	7.96	60.68
Non-woven polypropylene (PP) bag	19.75	115.83	7.30	66.13
Cotton bag	28.65	183.11	10.59	45.59

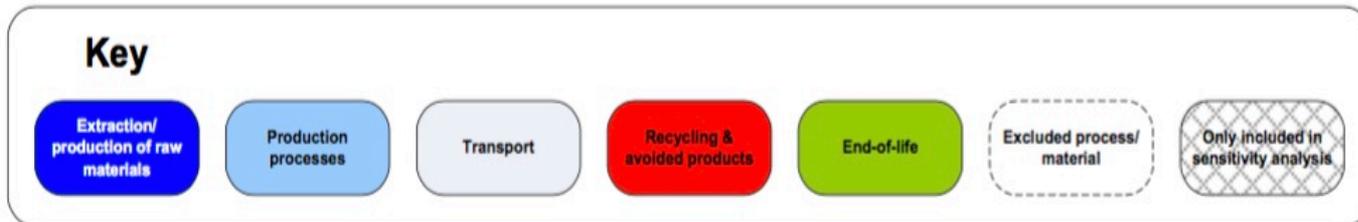
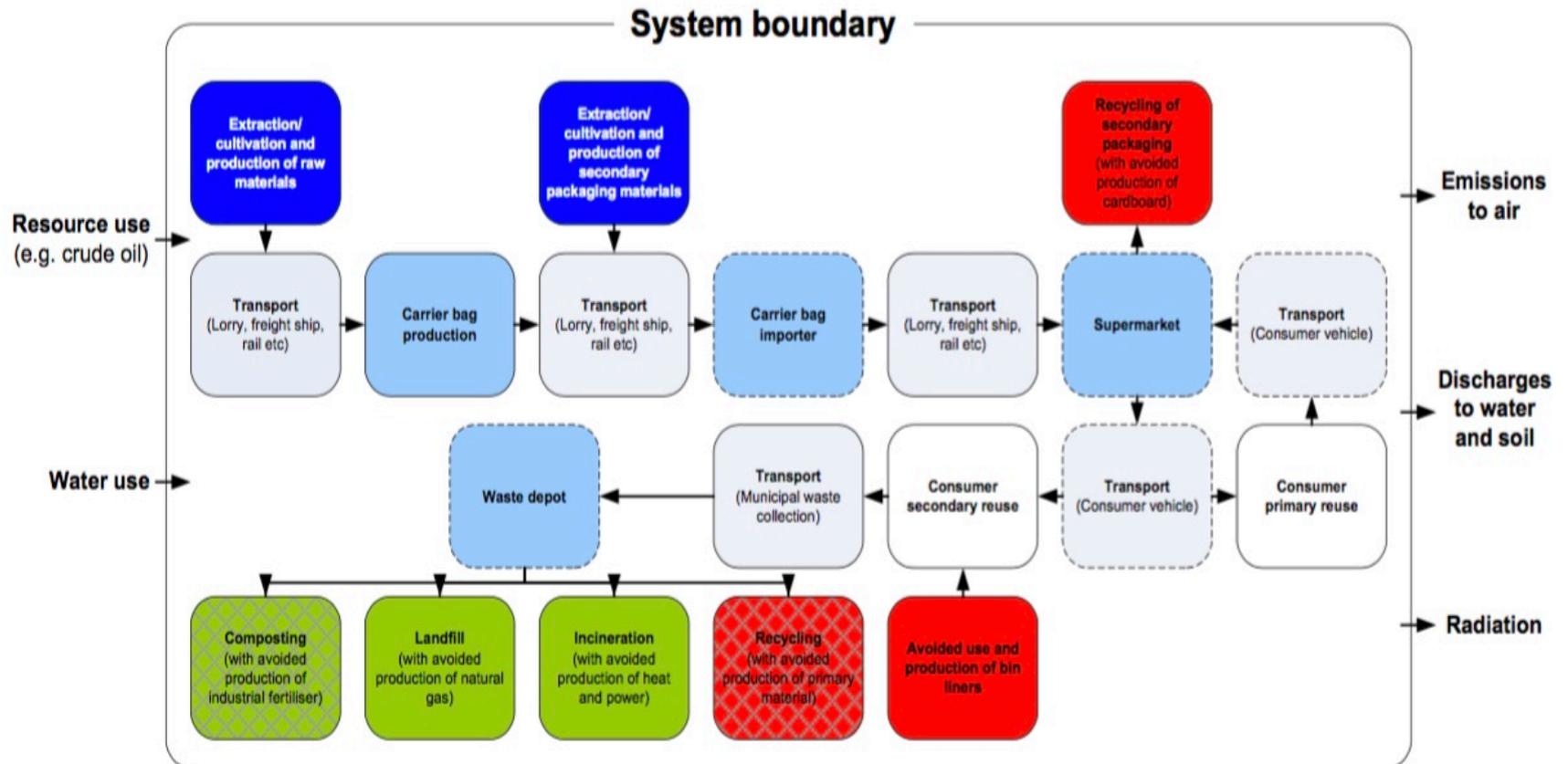


Table 1. Inventory data of traditional and biodegradable plastic bags production.

Resources / Emissions	Units	Traditional Bags	Biodegradable Bags
Resources			
Polyethylene, LDPE, granulate	kg	12.6	4.6
Polyethylene, HDPE, granulate	kg	10.7	6.3
Poly lactide, granulate	kg	0	11.7
Diesel	kg	0.0681	0.076
Dyes:			
Ethanol from ethylene	kg	2.1432	2.2816
Ethyl acetate	kg	0.453	0.485
1-propanol	kg	1.8753	1.996
Toluene E		0.643	0.643
Air Emissions			
Abietic acid	kg	0.00812	0.00791
Butyl acetate	kg	9.7005	9.7855
Toluene	kg	3.9917	4.1275
Ethanol	kg	1.9401	1.9575
Butanol, 2-methyl-1-	kg	3.9917	4.0275
Carbon monoxide	kg	0.0080683	0.000849
NMVOC (non-methane volatile organic compounds)	kg	0.0011	0.0011
Methane	kg	3.26197E-5	3.53243E-5
Nitrogen dioxide	kg	0.0041	0.0044
Soot	kg	0.0005	0.0006
Nitrogen monoxide	kg	1.56574E-5	1.69557E-5
Carbon dioxide	kg	0.409441992	0.4434
Benz(o)pyrene	kg	3.91436E-6	4.23891E-6
Sulfur dioxide	kg	0.0005	0.0006

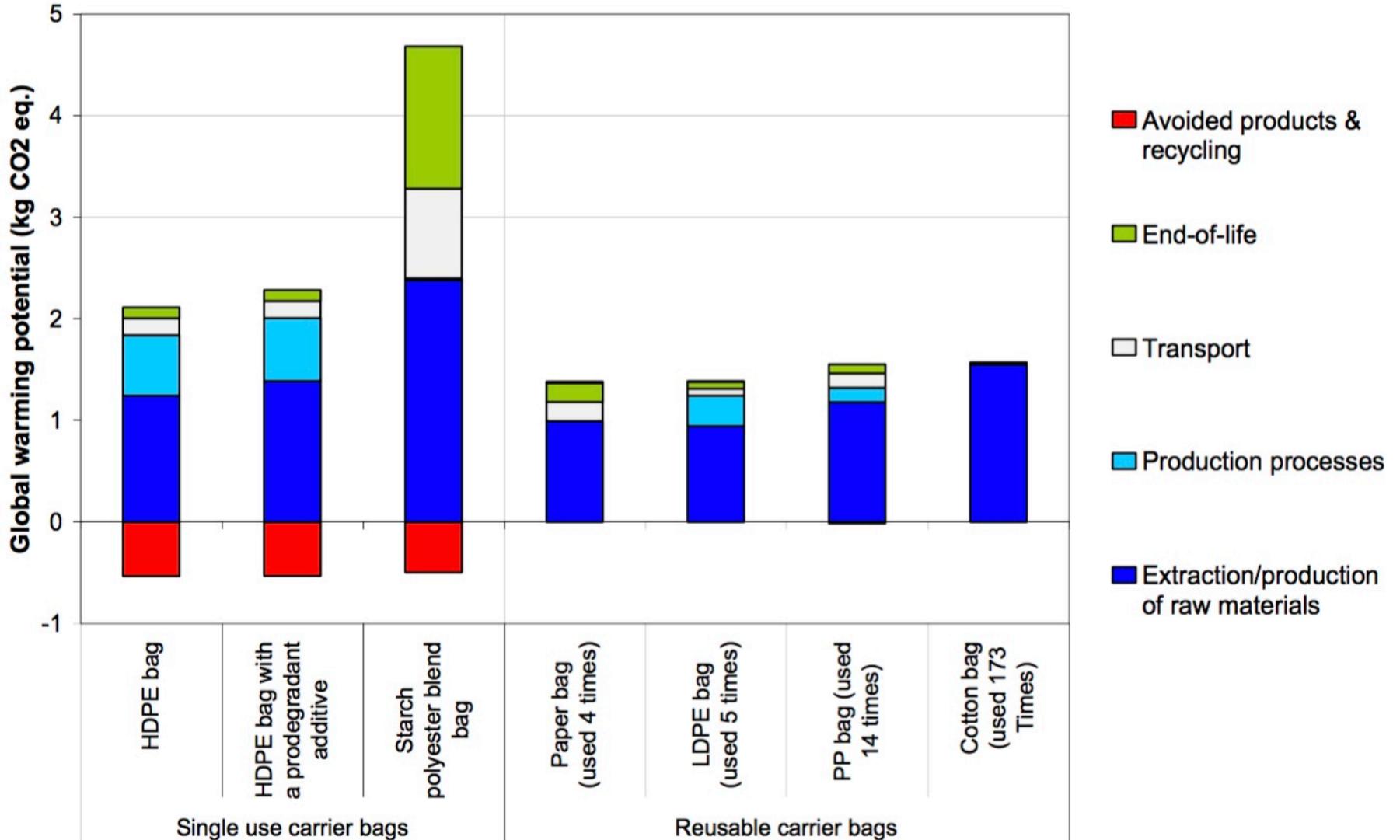
Sel	Impact category	Unit	biovest-bags	traditional vest-bag
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	3,14	5,29
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,121	0,247
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,0365	0,0295
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1,44E3	246
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	4,95E-6	1,33E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory organics	kg C2H4 eq	7,46	7,38
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	4,66E3	1,18E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	219	153
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	1,06	0,714
<input checked="" type="checkbox"/>	Land occupation	m2org.arable	13,7	0,0342
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,252	0,21
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,029	0,00527
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	64,5	53,8
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable energy	MJ primary	1,86E3	2,22E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral extraction	MJ surplus	0,514	0,146

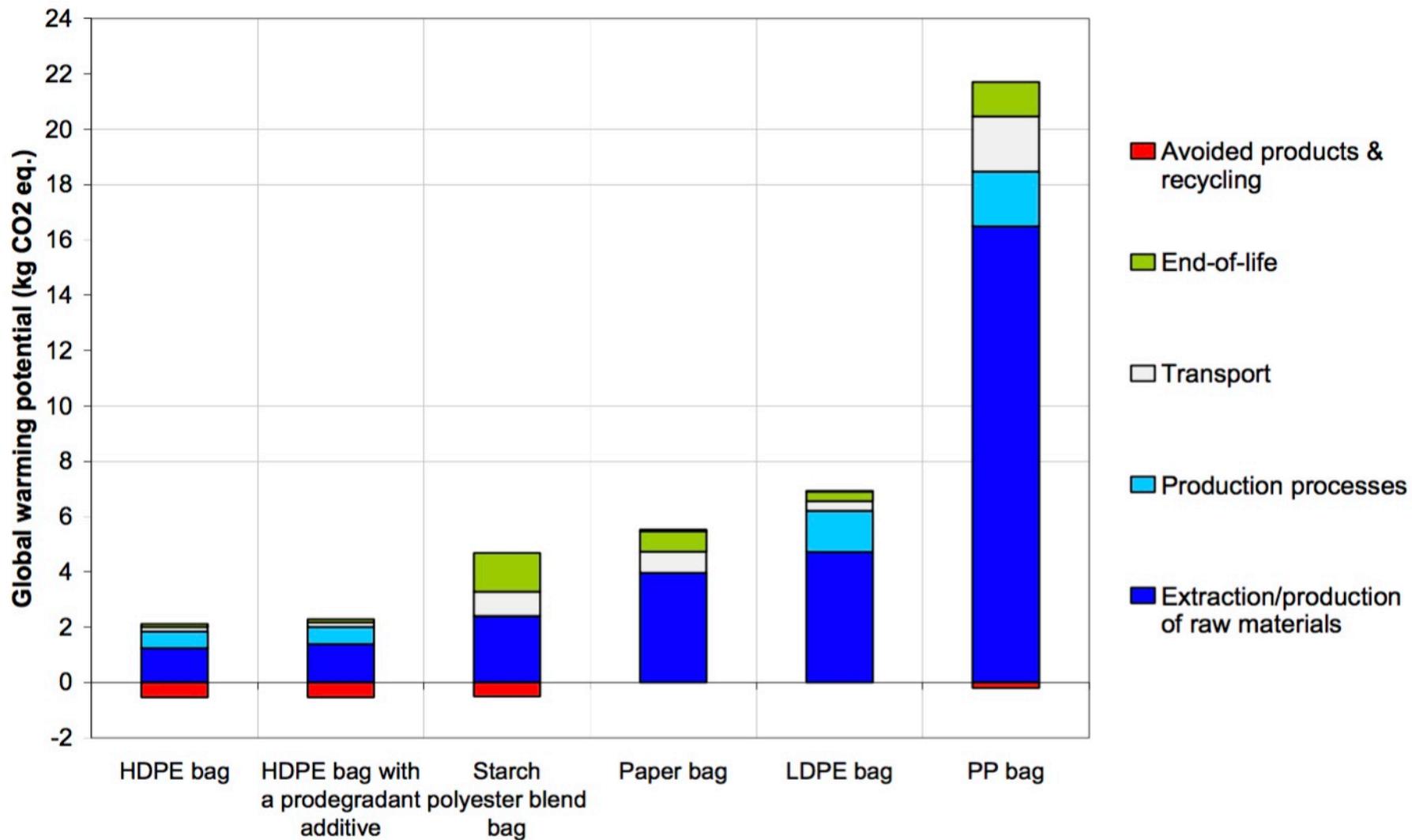
Bag type	Electricity	Heat (from natural gas)	Heat (from heavy fuel oil)	Waste
Conventional high-density polyethylene (HDPE) bag	6.151 kWh (22.144 MJ) (0.758 kWh/kg)			418.4 g
High-density polyethylene (HDPE) bag with a prodegradant additive	6.392 kWh (23.011 MJ) (0.773 kWh/kg)			426.1 g
Starch-polyester blend bag	17.24 kWh (62.064 MJ) (1.045 kWh/kg)			94.8 g
Low-density polyethylene (LDPE) bag	32.58 kWh (117.288 MJ) (0.932 kWh/kg)	13.953 kWh (50.23 MJ) (0.399 kWh/kg)		171.2 g*
Non-woven polypropylene (PP) bag			87.75 kWh (315.9 MJ) (0.758 kWh/kg)	5,850 g
Cotton bag	11 kWh (39.6 MJ) (0.06 kWh/kg) *			1,800 g*

	HDPE bag (No secondary reuse)	HDPE bag (40.3% reused as bin liners)	HDPE bag (100% reused as bin liners)	HDPE bag (Used 3 times)
Paper bag	3	4	7	9
LDPE bag	4	5	9	12
Non-woven PP bag	11	14	26	33
Cotton bag	131	173	327	393

Bag type	Sensitivity changes	IPCC 2007 Global warming potential (kg CO2 eq)
HDPE bag	No secondary use	2.082
	40.28% secondary use	1.578
	100% secondary use	0.830
HDPE prodegradant bag	No secondary use	2.254
	40.28% secondary use	1.750
	100% secondary use	1.003
Starch-polyester bag	No secondary use	4.691
	40.28% secondary use	4.184
	100% secondary use	3.433

1. polietilene convenzionale ad alta densità (HDPE);
2. polietilene ad alta densità (HDPE) con un additivo prodegradante;
3. miscela di amido-poliestere (biopolimero);
4. carta;
5. polietilene a bassa densità (LDPE);
6. polipropilene non tessuto (PP);
7. cotone.





1. polietilene convenzionale ad alta densità (HDPE);
2. polietilene ad alta densità (HDPE) con un additivo prodegradante;
3. miscela di amido-poliestere (biopolimero);
4. carta;
5. polietilene a bassa densità (LDPE);
6. polipropilene non tessuto (PP);
7. cotone.

1. polietilene convenzionale ad alta densità (HDPE);
2. polietilene ad alta densità (HDPE) con un additivo prodegradante;
3. miscela di amido-poliestere (biopolimero);
4. carta;
5. polietilene a bassa densità (LDPE);
6. polipropilene non tessuto (PP);
7. cotone.

Bag type	Sensitivity changes	IPCC 2007 Global warming potential (kg CO2 eq)
HDPE bag	Baseline	1.578
	Recycling	1.400
	Recycling (no reuse)	1.785
HDPE prodegradant bag	Baseline	1.750
Starch-polyester bag	Baseline	4.184
	Composting	2.895
	Composting (no reuse)	3.329
Paper bag (4 uses)	Baseline	1.381
	Recycling	1.090
	Composting	1.256
LDPE bag (5 uses)	Baseline	1.385
	100% Recycling	1.196
PP bag (14 uses)	Baseline	1.536
	100% Recycling	1.292
Cotton bag (172 uses)	Baseline	1.579

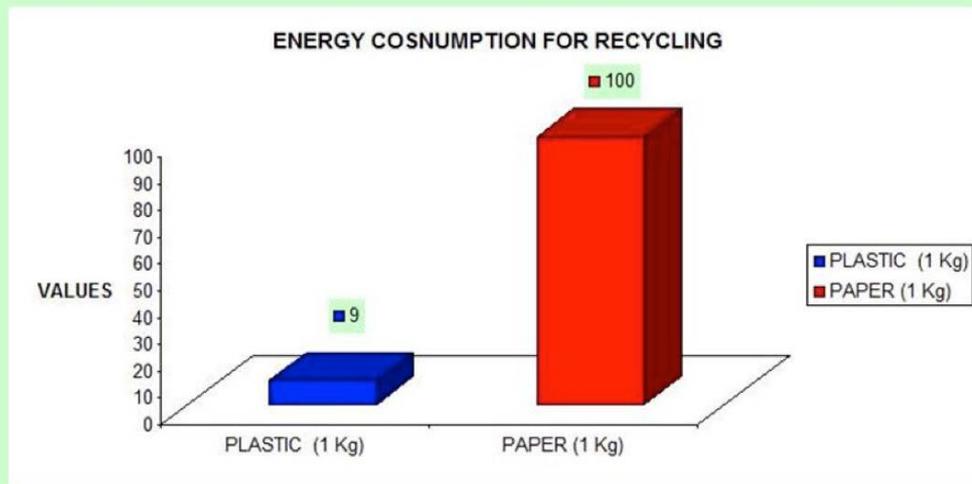
Example of LCA 1: Paper vs. Plastic Bag

Category	Paper Bag	Plastic Bag
Raw materials	Wood (renewable)	Oil / gas (non-renewable)
Energy to make	1.7 ml	1.5 ml
Solid waste	50 g	14 g
Total emissions to air	2.6 kg	1.1 kg
Global warming equivalents (CO2 equivalents)	0.23 kg	0.53 kg

Source: Institute for Lifecycle Energy Analysis
Comparison: paper bag with two plastic bags (similar carrying capacity)
Assumes current recycling rates

It depends!

PLASTIC & PAPER CARRY BAGS



Plastics and Paper both can be recycled. However it takes 91% less energy to recycle a kg of plastic than a kg of paper.

Source: ULS LCA Report, USA and other reports

This study indicates that polymer bottles have considerably lower environmental impacts than glass across all categories. Weight comparison of common bottle sizes indicated an average 78,7% reduction. The specific medical waste disposal scenario for a typical US site shows that approximately 406 EUR can be saved annually assuming 11 700 units of contrast media consumed.

Environmental Life Cycle Assessment

The polymer bottle significantly outperforms the glass bottle for all environmental impact categories considered (Fig. 3).

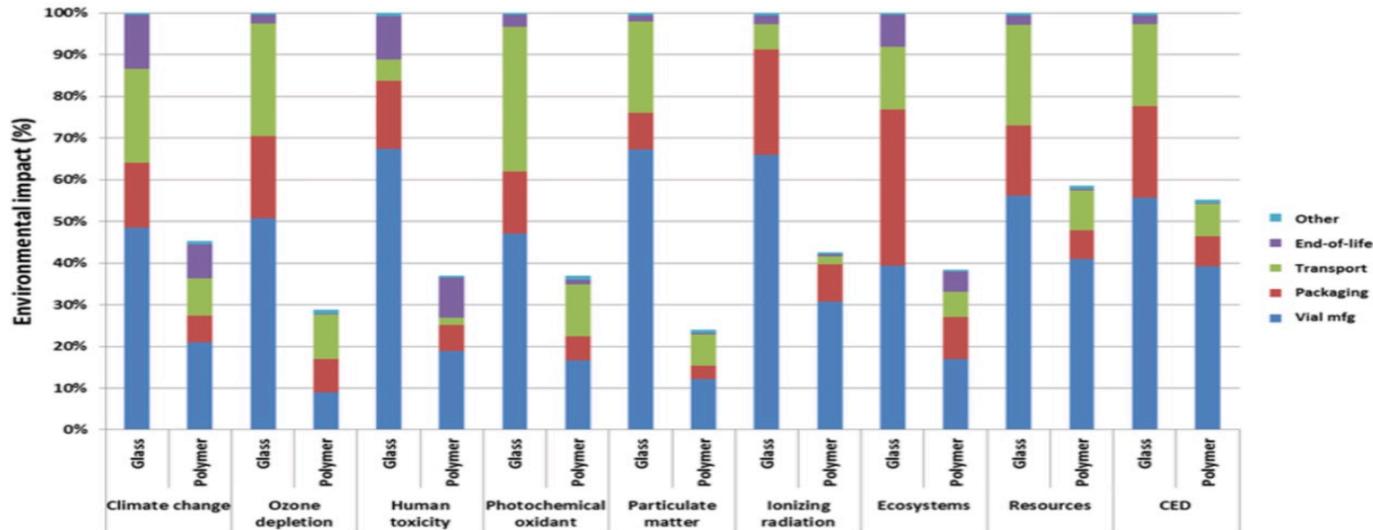


Fig. 3: Life cycle comparison of 100-mL polymer and glass bottles for contrast media. Vial manufacturing includes vial body, cap, stopper, crimp, depyrogenation, and autoclaving. Packaging includes secondary packaging and shipping container. Transport includes raw material transport and distribution transport. 'Other' includes QC reject, broken and frozen bottles, lost contrast media, and incubation.

References: Ecoassessment Center of Excellence, General Electric - Niskayuna/US

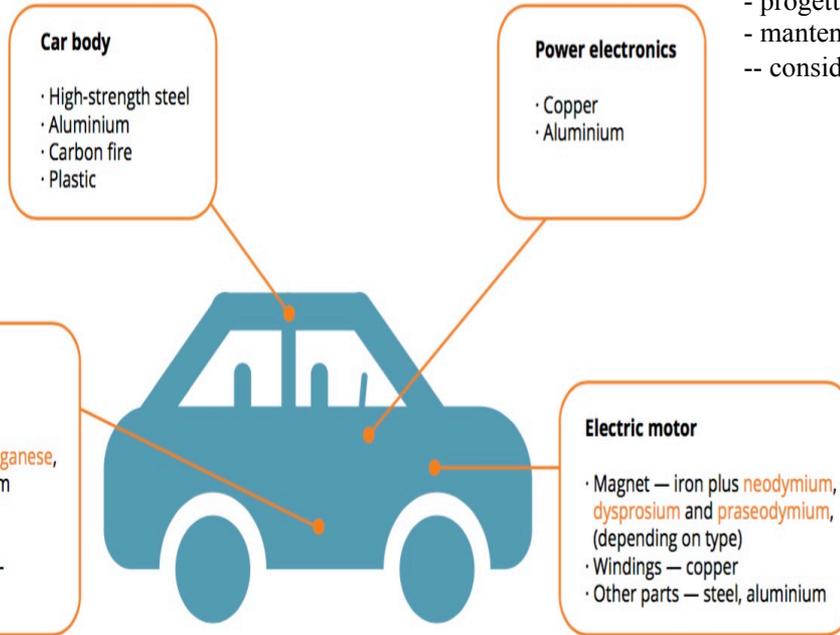
Compared to glass, the polymer bottle offers the following life cycle environmental benefits:

- significantly lower greenhouse gas emissions (46%)
- significantly less cumulative energy (55%)

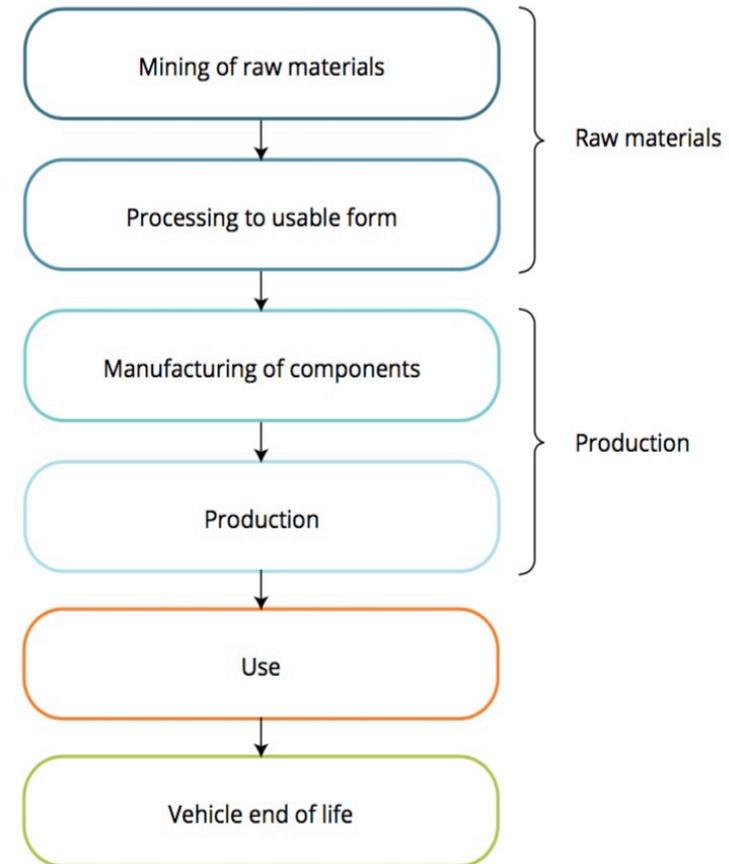
- I veicoli elettrici (in relazione alla batteria e al motore di trazione elettrico) utilizzano più rame e potenzialmente nichel, nonché materie prime e REE critici, rispetto ai veicoli convenzionali.
- La "leggerezza" dei veicoli (**ICEV** – internal combustion engine e **BEV** – battery electric vehicle) potrebbe comportare un aumento dell'utilizzo di composti di carbonio e alluminio in futuro, con un conseguente maggiore consumo di energia.
- I problemi relativi alle materie prime critiche (CRM) e REE includono potenziali vincoli di risorse future collegati alla loro offerta (tipicamente) ad alto rischio, ad es. a causa della disponibilità geografica limitata. Ciò potrebbe comportare impatti economici a causa della (vasta) crescente domanda di questi materiali rispetto alla loro offerta. Ciò può influenzare sostanzialmente il prezzo delle batterie e avere un impatto sull'attrattiva dei veicoli elettrici.
- L'LCA evidenzia l'elevato consumo di energia e le emissioni di GHG associate legate all'estrazione di materiali nonché gli impatti potenzialmente negativi sulla salute e sugli ecosistemi.
- Dal punto di vista dell'economia circolare, sono importanti i seguenti aspetti:

Key:

Critical raw materials
Other materials



- progettazione: attraverso, ad esempio, la sostituzione del materiale
- mantenere i prodotti in uso e garantirne l'uso più efficiente;
- considerando gli impatti dal punto di vista del capitale naturale.



L'estrazione e la lavorazione di materie prime per veicoli elettrici possono comportare impatti ambientali significativi e pertanto dobbiamo trovare soluzioni per affrontare questa sfida. Ad esempio, l'onere ambientale causato dalla fornitura di materie prime potrebbe essere ridotto migliorando la gestione dei rifiuti e utilizzando un mix energetico con una percentuale più elevata di fonti rinnovabili. Questa sezione esaminerà i modi in cui la produzione di materie prime potrebbe essere resa più sostenibile, ad es. dai consumatori che scelgono il veicolo più sostenibile per le loro esigenze e riducono la quantità di REE richiesti riducendo gli input e usando materiali alternativi.

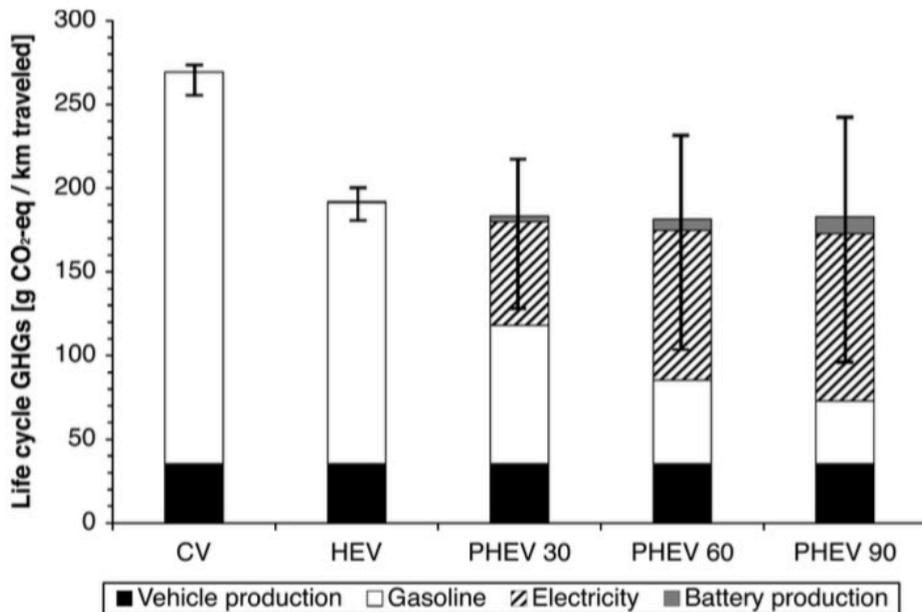


FIGURE 1. Life cycle GHG emissions (g CO₂-eq/km) of conventional vehicles (CVs), hybrid electric vehicles (HEVs), and plug-in hybrids (PHEVs) with all-electric ranges of 30, 60, or 90 km. Life cycle GHG intensity of electricity is 670 g CO₂-eq/kWh (186 g/MJ; U.S. average scenario). Uncertainty bars represent changes in total emissions under the carbon-intensive (950 g CO₂-eq/kWh) or low-carbon (200 g CO₂e/kWh) electricity scenarios.

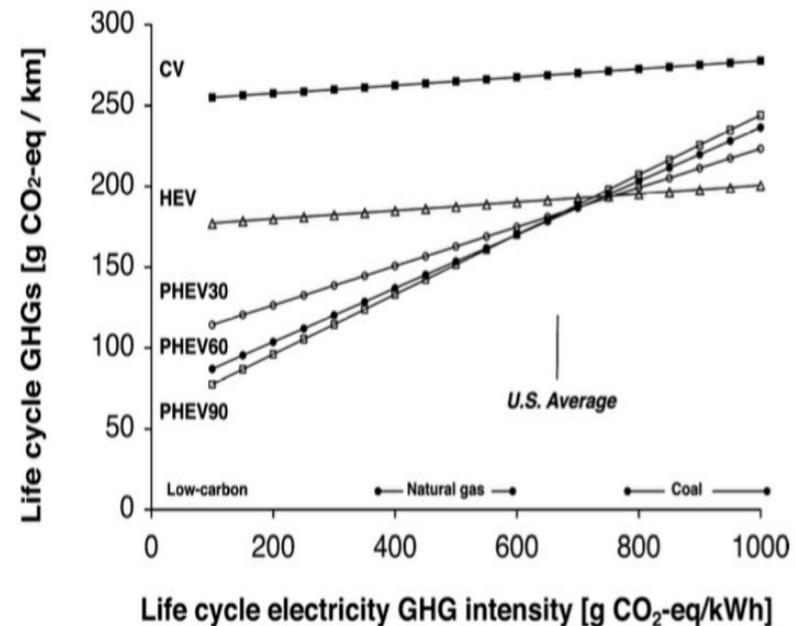


FIGURE 2. Life cycle GHG emissions from vehicles shown as a function of the life cycle GHG intensity of electricity generation. Electricity is used during production of the vehicles, and the slight slope of the CV and HEV lines reflect GHG intensity of electricity used during production. The chart indicates which generation options correspond to various GHG intensities to provide some insight into generation mixes. The low-carbon portfolio could comprise nuclear, wind, coal with carbon capture and sequestration, and other low-carbon electricity generation technologies (see Table S6). The vertical line at 670 g CO₂-eq/kWh indicates the U.S. average life cycle GHG intensity.

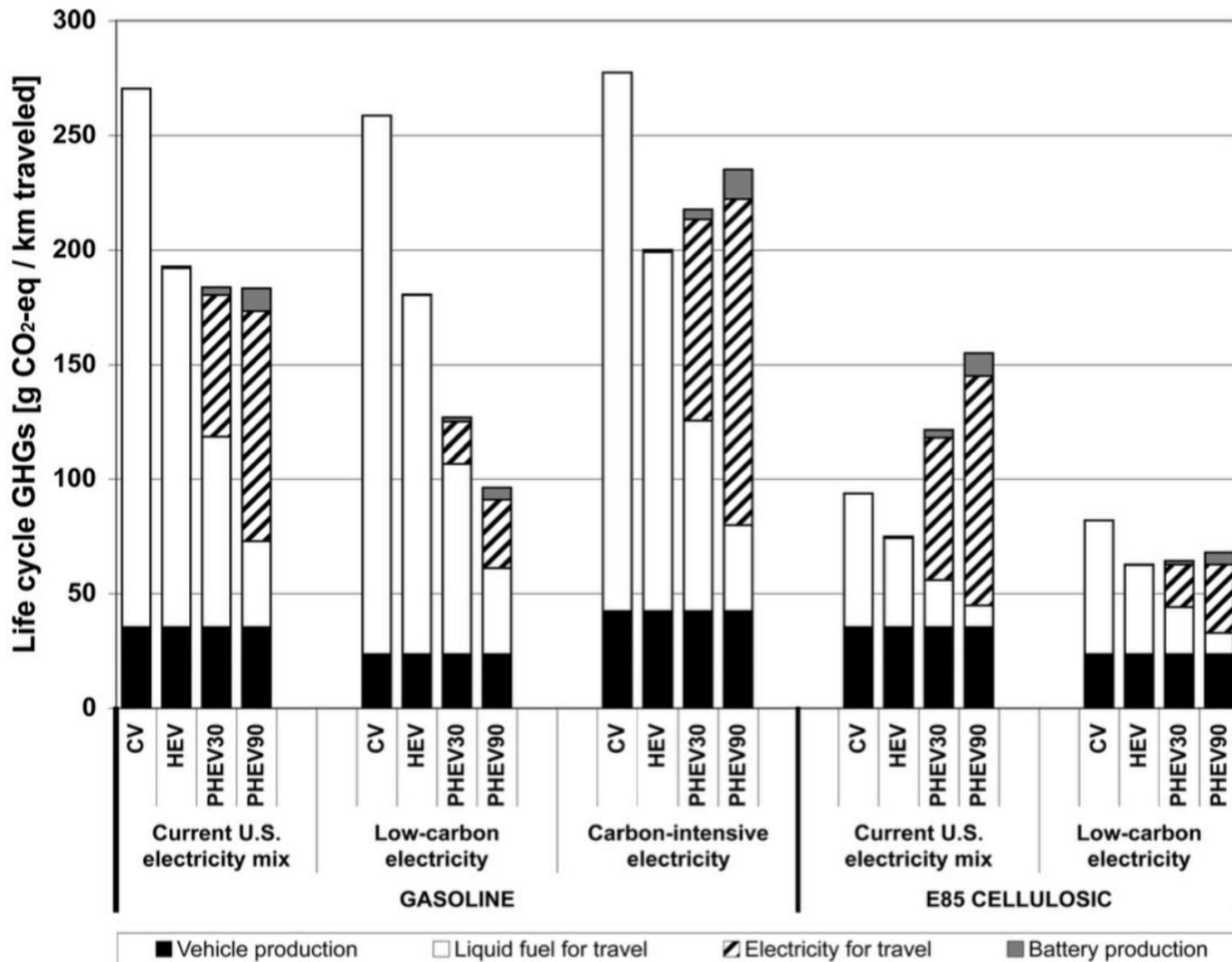


FIGURE 3. Life cycle GHG emissions sensitivity of CVs, HEVs, and PHEVs with 30 and 90 all-electric km ranges under different fuel and electricity carbon intensities. Life cycle carbon intensity of electricity assumed to be 670, 200, and 950 g CO₂-eq/kWh for U.S. average, low-carbon, and carbon-intensive scenarios, respectively. "E85" is a liquid fuel with 85% cellulosic ethanol (volume basis), and the remainder gasoline. Life cycle carbon intensity of gasoline and E85 are 86 and 21 g CO₂-eq/MJ, respectively.

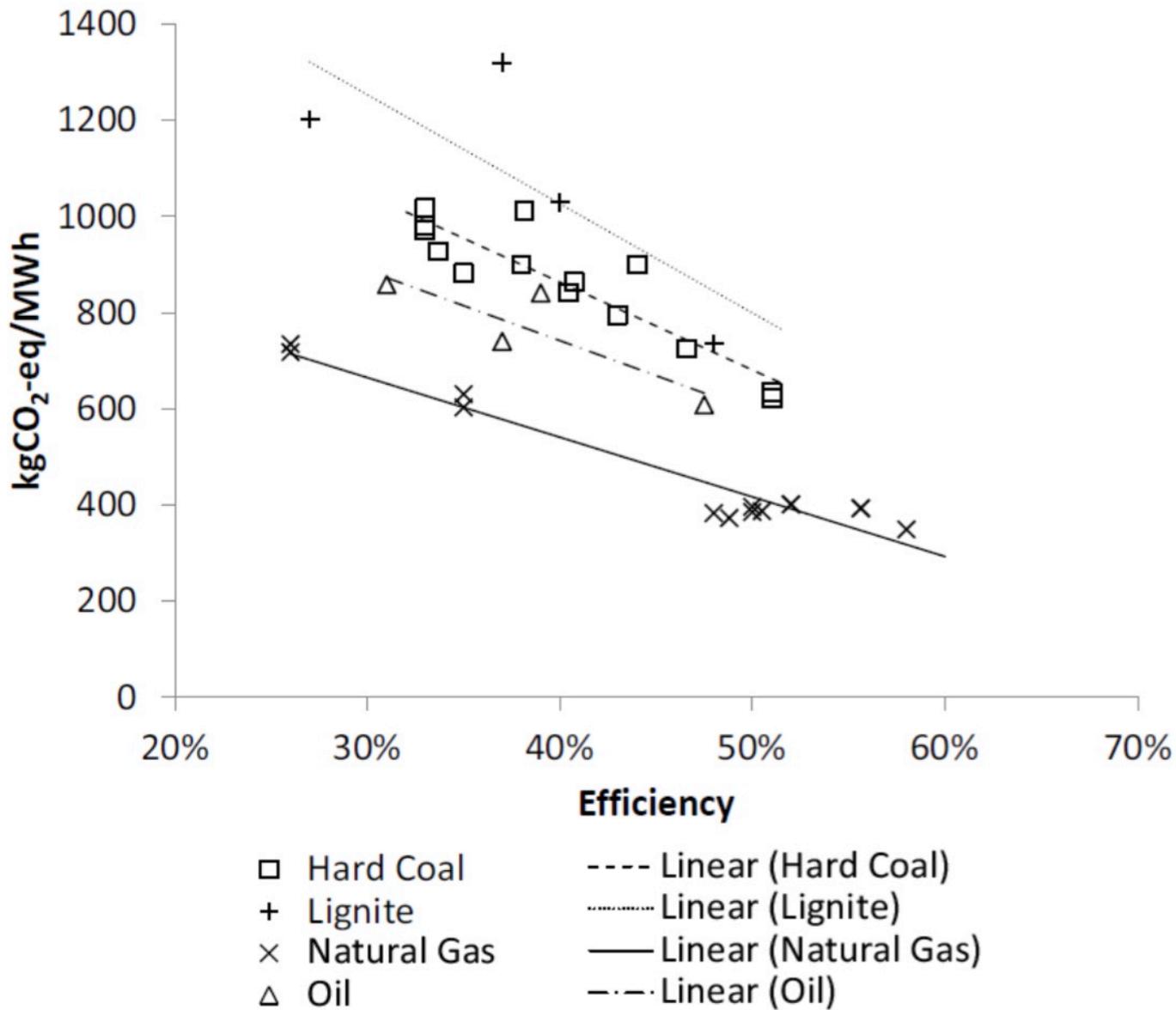
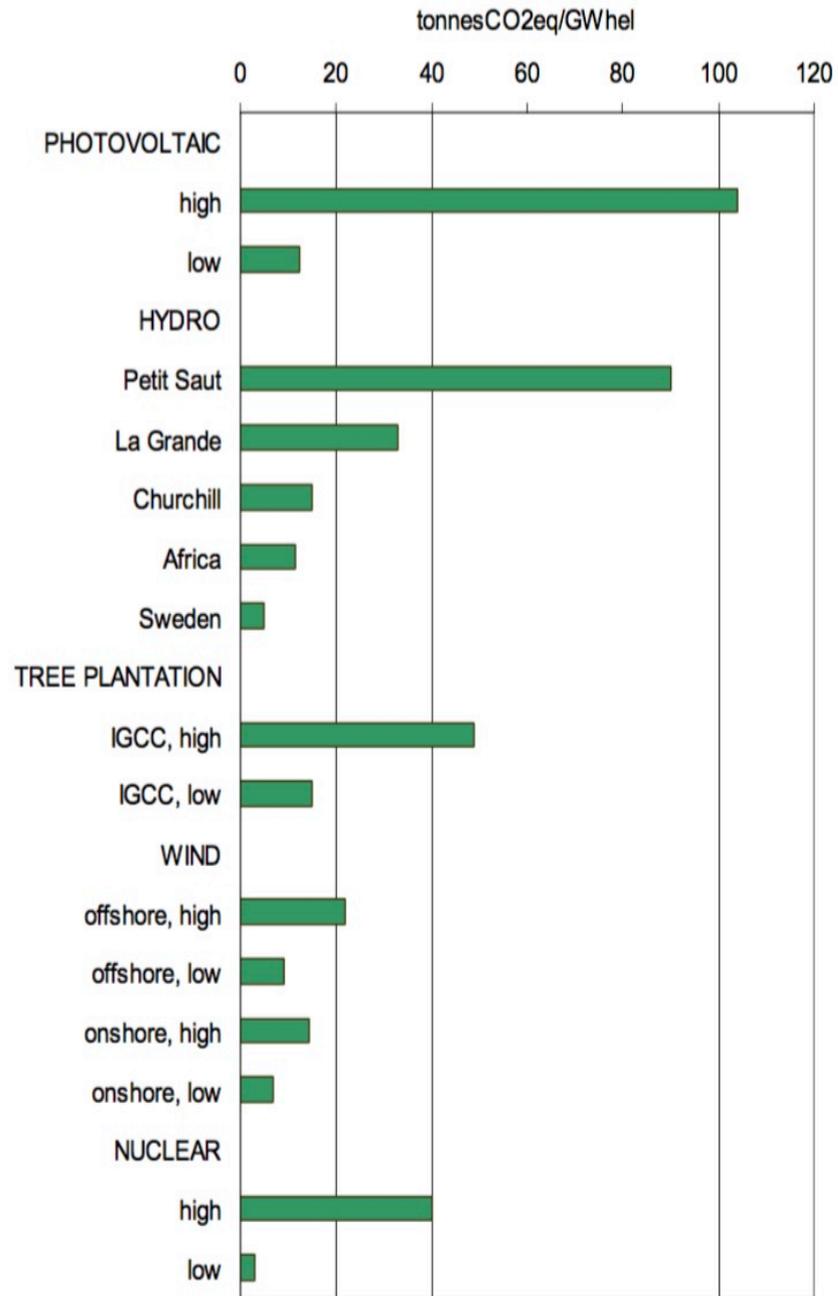
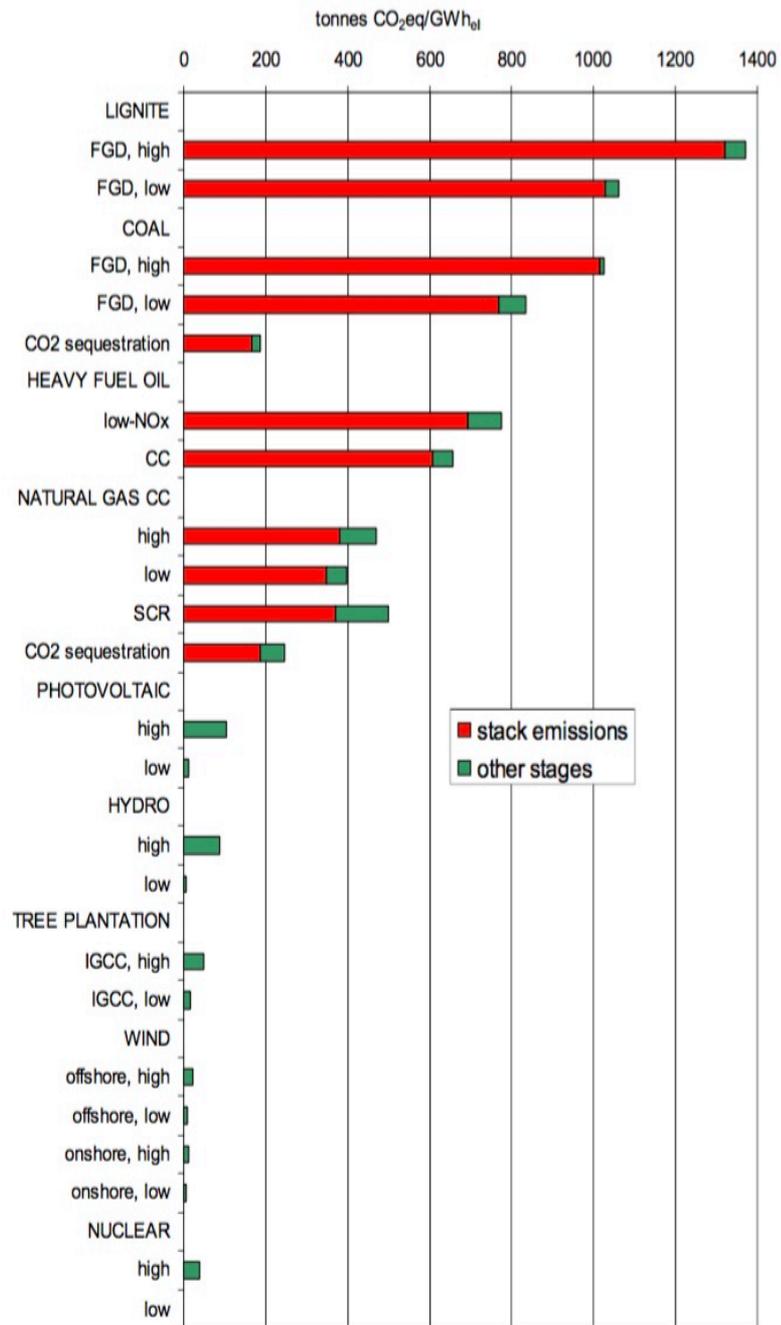


Figure 2. Relationship between plant efficiency and GHG direct emissions for hard coal, lignite, natural gas and oil



Total energy use

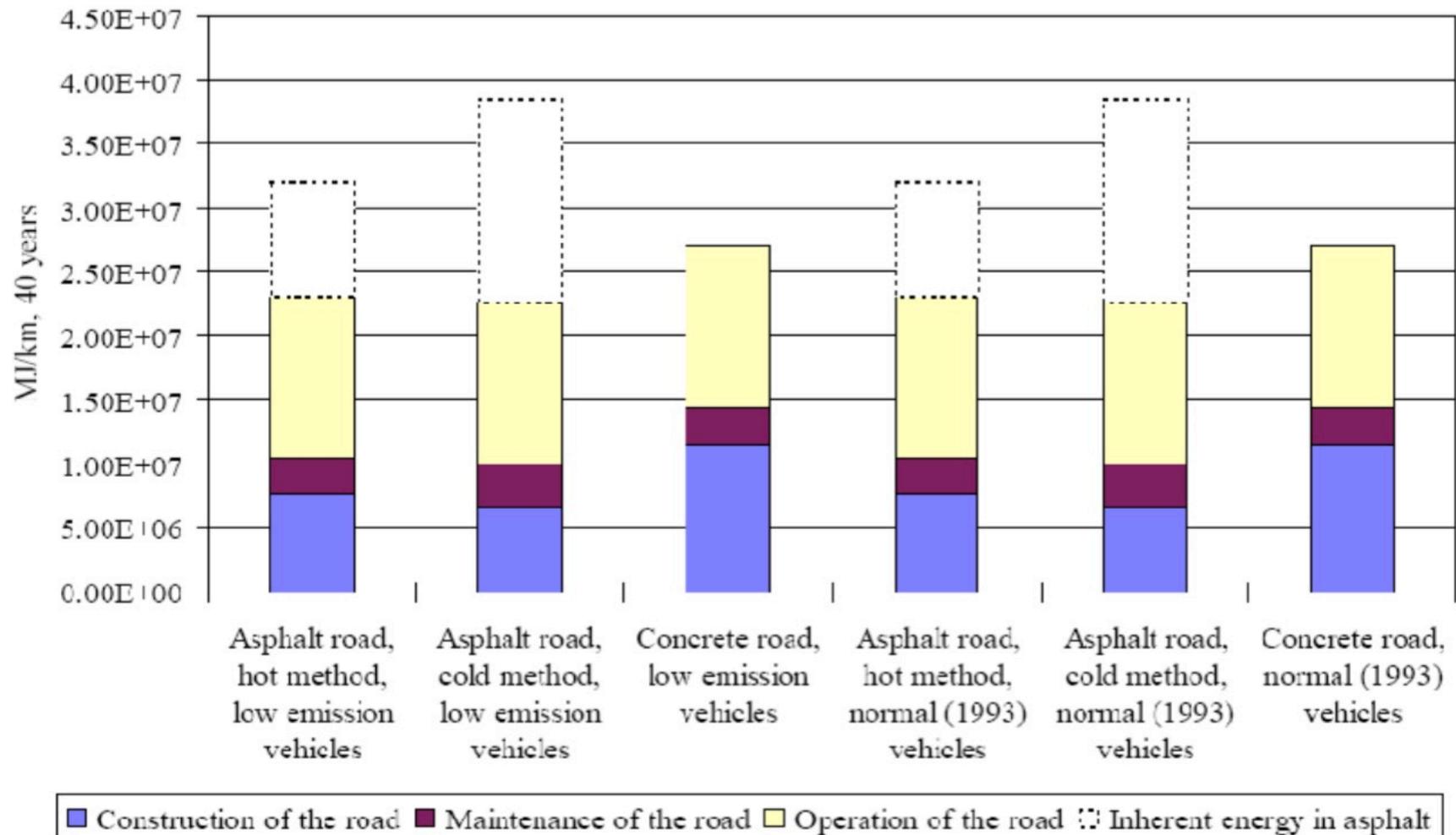


Figure MR-1.1: Results of life cycle inventory analysis for energy of three types of roadways. Dotted lines represent stored energy in asphalt. (Stripple, 2001)

The full report (2nd edition) is available from the IVL Swedish Environmental Research Institute, Ltd. here: <http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1210E.pdf>