ECOMONDO | Rimini Fiera | 4.11.2010

Valutazioni di sostenibilità di tecnologie: quale ruolo per l'LCA?

Architettura e sostenibilità
sviluppo di un modello di valutazione economico-ambientale basato sul ciclo di vita

arch. Francesca THIEBAT

1. architettura e sostenibilità
2. LCA
3. LCC
4. modello di valutazione energetico ambientale

Come fare a valutare in modo completo la sostenibilità, oggi imprescindibile?

Progettazione integrata

+

Life Cycle Thinking

Definizione economica di “sviluppo sostenibile”

“Lo sviluppo sostenibile implica la massimizzazione dei benefici netti dello sviluppo economico [benessere] sotto il vincolo del mantenimento dei servizi e della qualità delle risorse naturali nel tempo” (David W. Pearce, Kerry R. Turner, 1991)

“Sviluppo sostenibile”

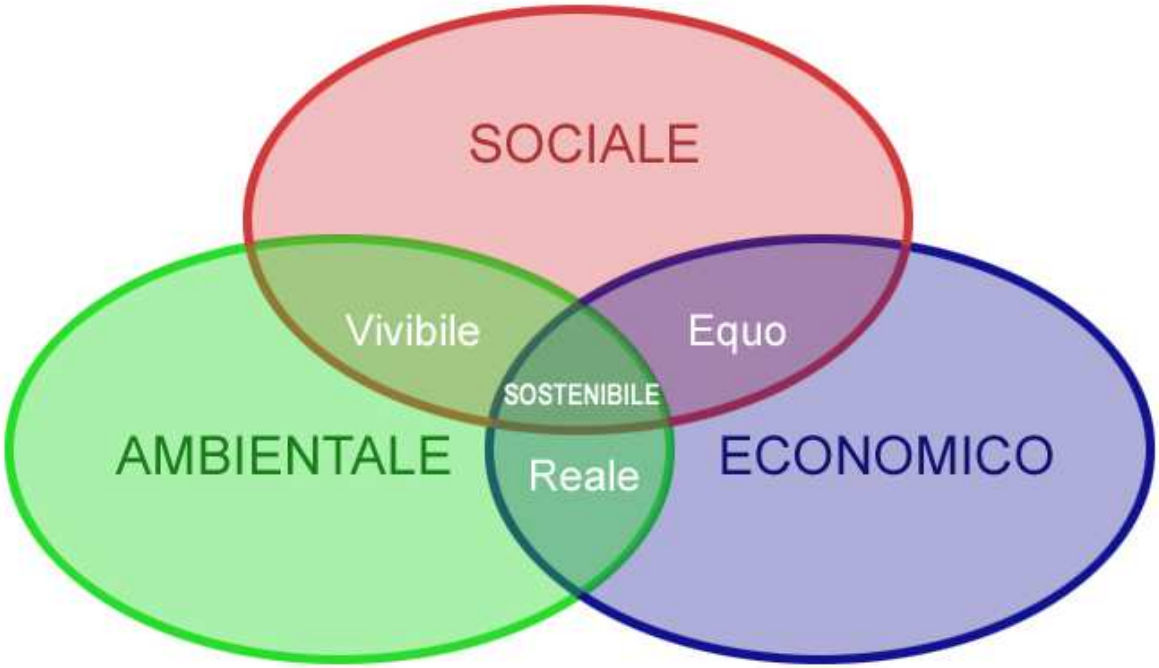
“Lo sviluppo è sostenibile se soddisfa i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere quelli delle generazioni future”
(da: *Our Common Future*, WCED, 1987)

costo
ecologia
tempo
qualità
benessere

“Sviluppo sostenibile”

“Sviluppo che offre servizi ambientali, sociali ed opportunità economiche a tutti i membri di una comunità, senza minacciare la vitalità dei sistemi naturali, urbani e sociali da cui dipende la fornitura di tali servizi”

(fonte: ICLEI *International Council for Local Environmental Initiatives*, 1994)



Verso uno sviluppo sostenibile

FASE 1: ESAURIMENTO DELLE RISORSE

’60 Rachel Carson (studi sulle prospettive di sviluppo)

’70 Club di Roma + MIT di Boston (*The Limith of Growth*)

1973 Crisi energetica

FASE 2: SALVAGUARDIA DELL’AMBIENTE

1987 Rapporto Bruntland: commissione delle Nazioni Unite **“Sviluppo sostenibile”**

1992 Conferenza delle Nazioni Unite sull’Ambiente **“Strategie a scala locale”**
Rio de Janeiro “Summit della terra” → Agenda 21

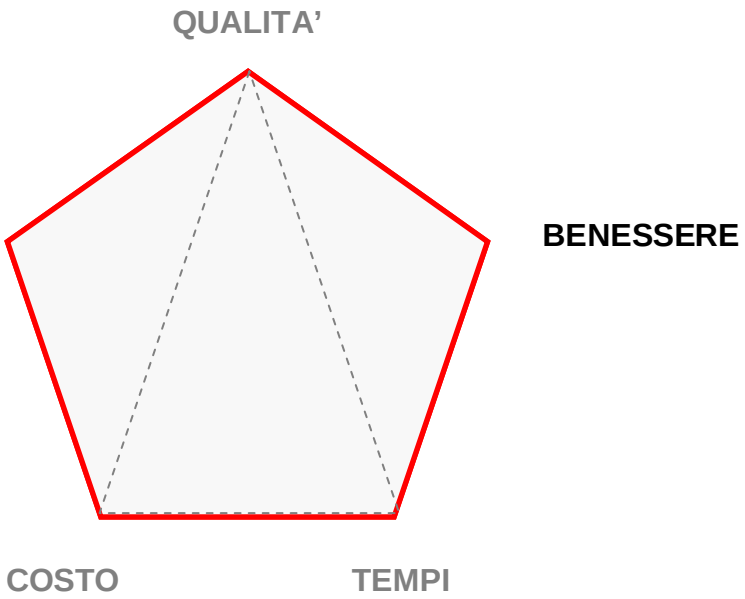
1997 Delibera del Protocollo di Kyoto

2005 Avvio operatività del Protocollo di Kyoto **“Riduzione emissioni inquinanti e gas serra”**

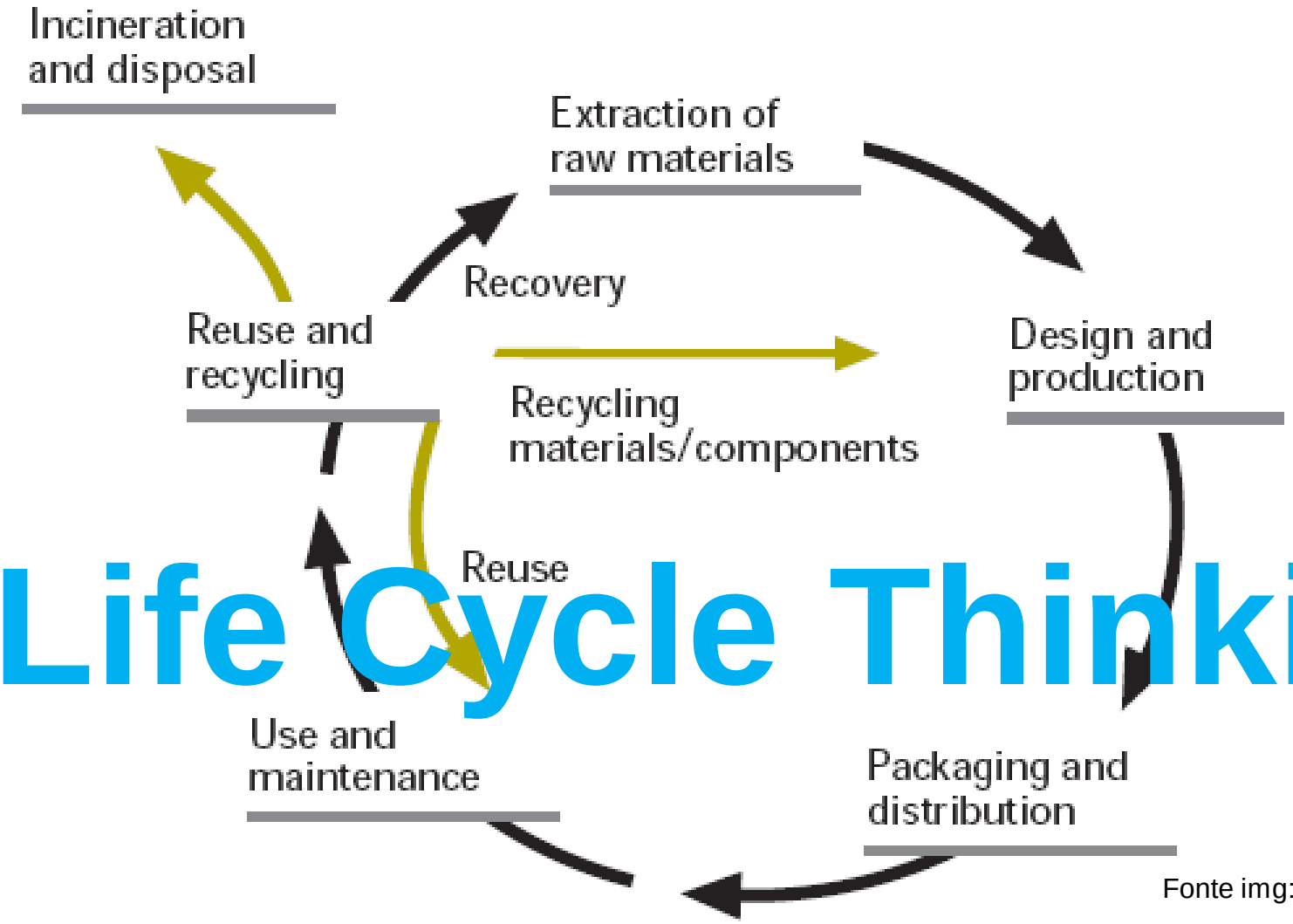
2009 Conferenza di Copenhagen

Parametri del processo progettuale basato sulla sostenibilità: costo, tempi, qualità, ecologia e benessere

QUALITA' AMBIENTALE, SOCIALE ED ECONOMICA



ECOLOGIA → Scienza che tratta i rapporti tra gli organismi viventi e l'**ambiente** in cui essi vivono e si sviluppano (1866, Ernst Haeckel)



Life Cycle Thinking

Fonte img: Life Cycle Initiative

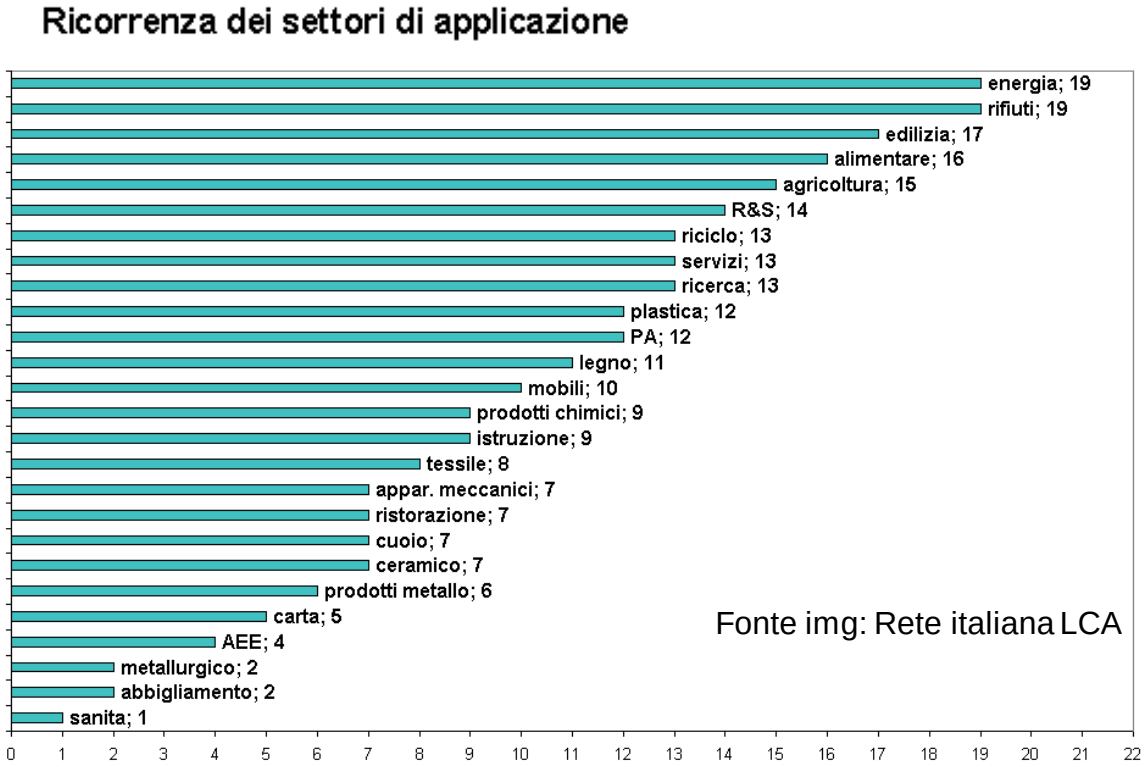
“dalla culla alla tomba” (from cradle to grave)

Life Cycle Assessment - LCA 2

La LCA, acronimo di *Life Cycle Assessment* (Valutazione del Ciclo di Vita), è uno strumento per valutare l'impatto ambientale di un prodotto, processo o servizio lungo l'intero ciclo di vita.

Anni '60

2010



Fonte img: Rete italiana LCA

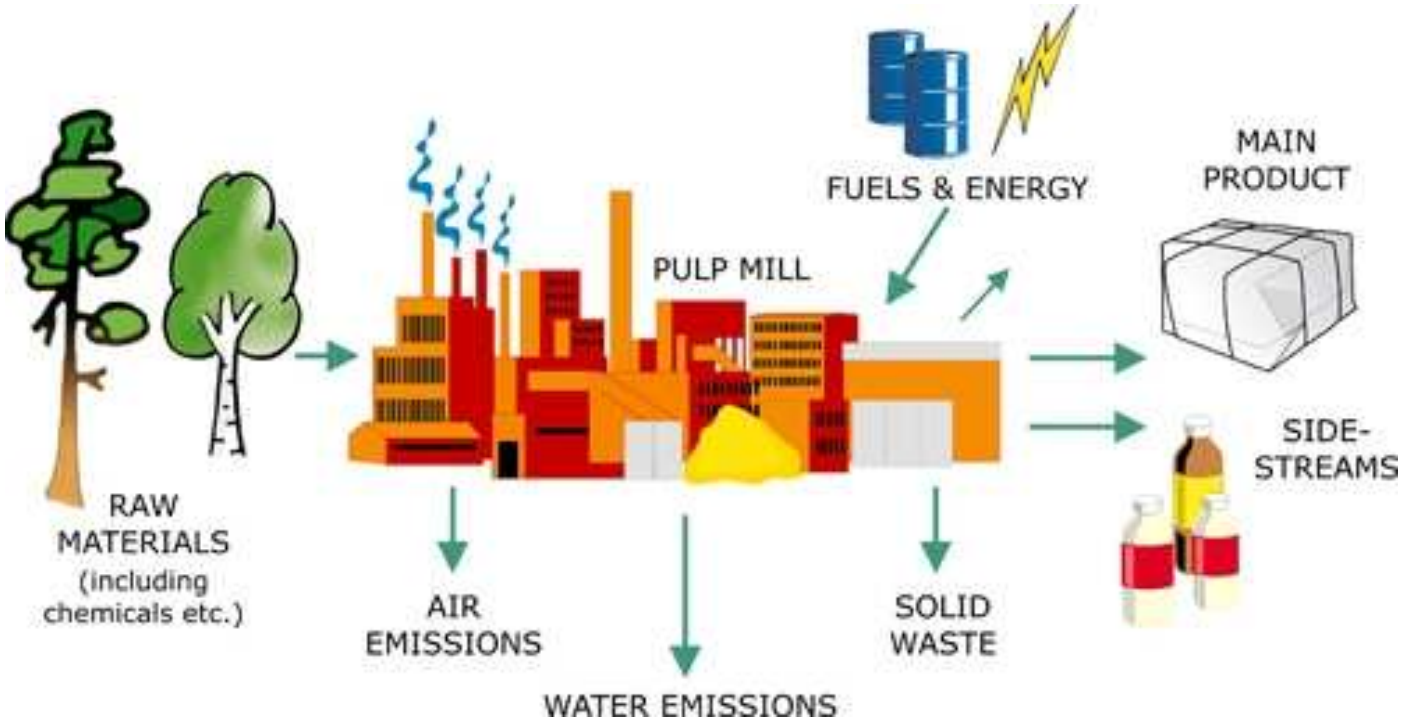
Applicazioni - LCA

→ supporto di processi decisionali o strategie di politica ambientale (ad es. mobilità, turismo, rifiuti, edilizia, migliori tecnologie disponibili, ecc.).

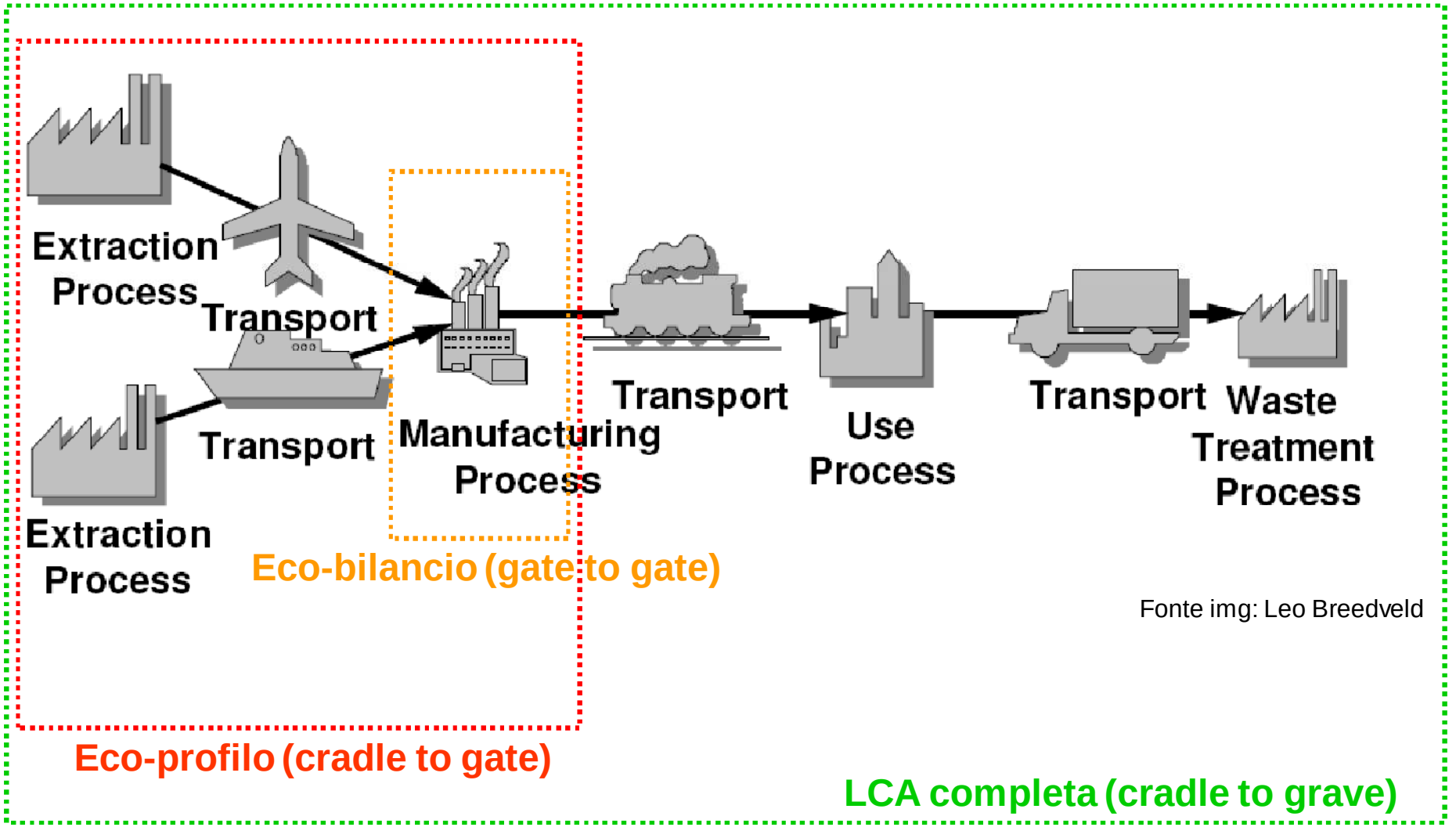
- Packaging
- modalità di gestione dei rifiuti
- Confronto tra diverse tipologie di trasporto
- Valutazione delle migliori tecnologie disponibili
- Ecodesign nel settore edilizio.

Life Cycle Assessment - LCA

Procedimento oggettivo di valutazione dei carichi ambientali relativi ad un prodotto (compreso l'edificio), un processo o un servizio durante l'intero ciclo di vita, attraverso la quantificazione dei flussi di materia e energia in ingresso (consumi) e in uscita (emissioni) nelle fasi di estrazione delle materie prime, trasporto, produzione, distribuzione, uso e dismissione.
(SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, 1990)



Ambito di applicazione - LCA

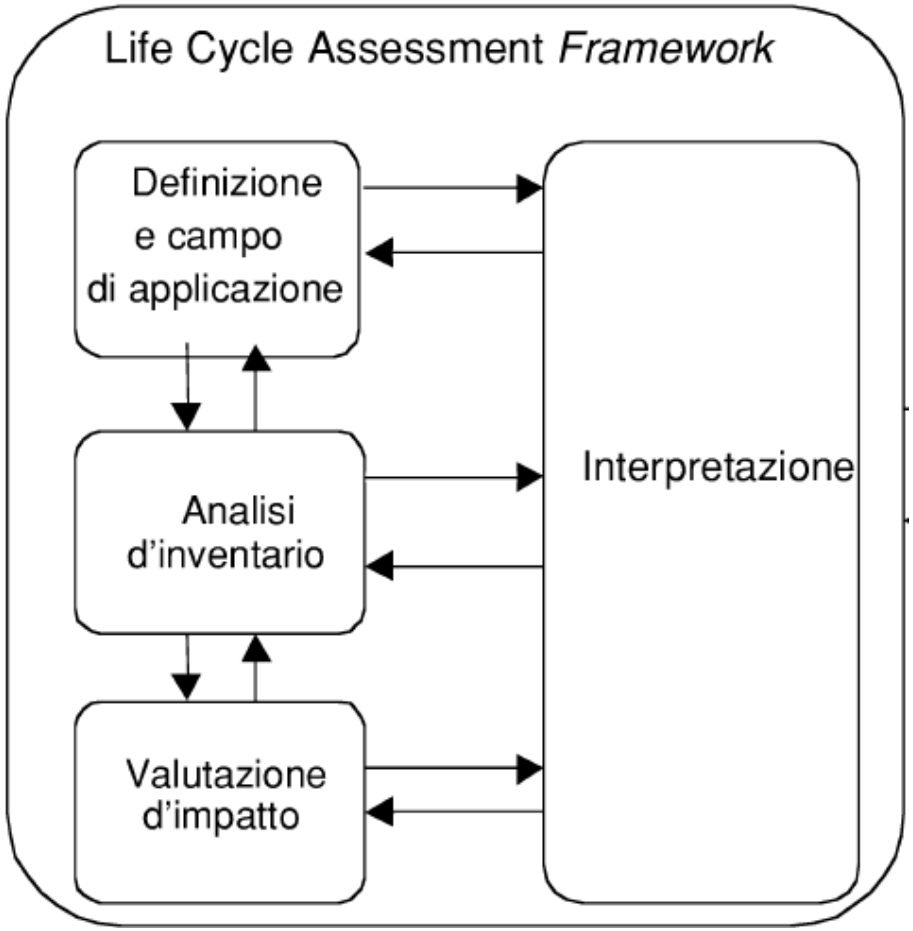


Fonte img: Leo Breedveld

ISO 14040 / 44 - LCA

Le norme internazionali **ISO 14040 - 14044** definiscono la procedura per effettuare una LCA, composta da quattro fasi:

1. Obiettivo e ambito di applicazione
2. Analisi di inventario
3. Valutazione degli impatti
4. Interpretazione dei risultati



Struttura della LCA (ISO 14040)

Life Cycle Cost- LCC

Costo globale di un edificio o di parti di esso, nel suo arco di vita. Comprende i costi di pianificazione, di progettazione, d'acquisto, d'uso, di gestione e manutenzione e di dismissione, escluso l'eventuale valore residuo (ISO 15686-5).

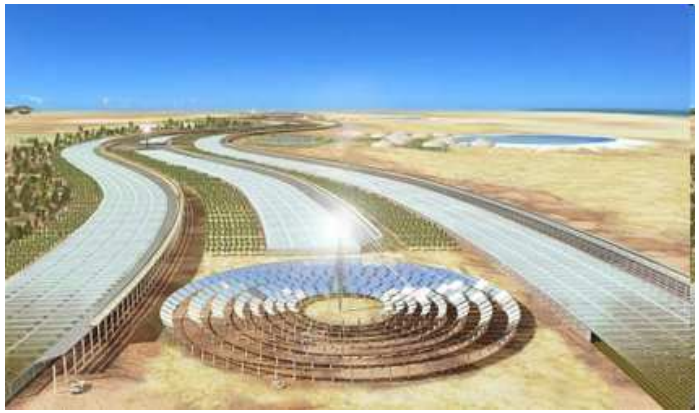
1930

2010

Applicazioni - LCC

→ **PROCESSO DECISIONALE** per l'acquisto di equipaggiamenti o prodotti di lunga durata con un alto costo di investimento per unità.

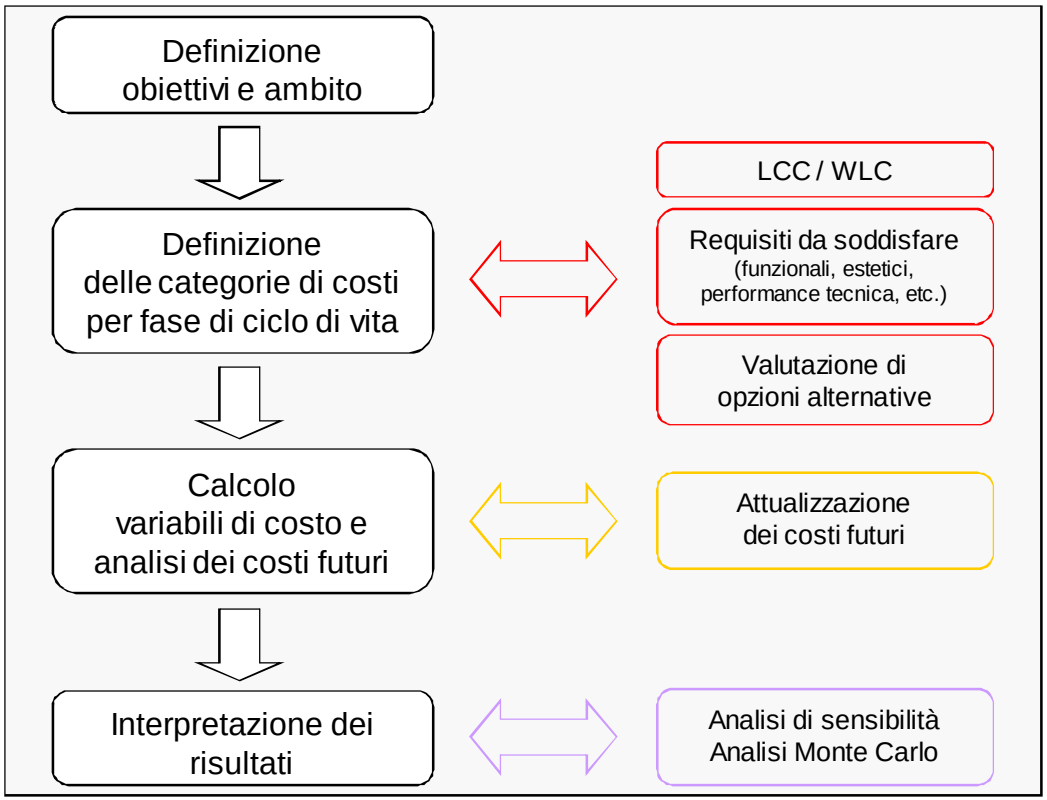
- Edifici (in particolare pubblici o commerciali)
- uso e produzione di energia
- veicoli di trasporto ad alto costo di investimento (soprattutto nel settore aerospaziale)
- Equipaggiamenti militari e armi



ISO 15686-5 / SETAC - LCC

Dalla norma ISO 15686-5 e dalle indicazioni del SETAC si possono ricavare le fasi operative di una LCC:

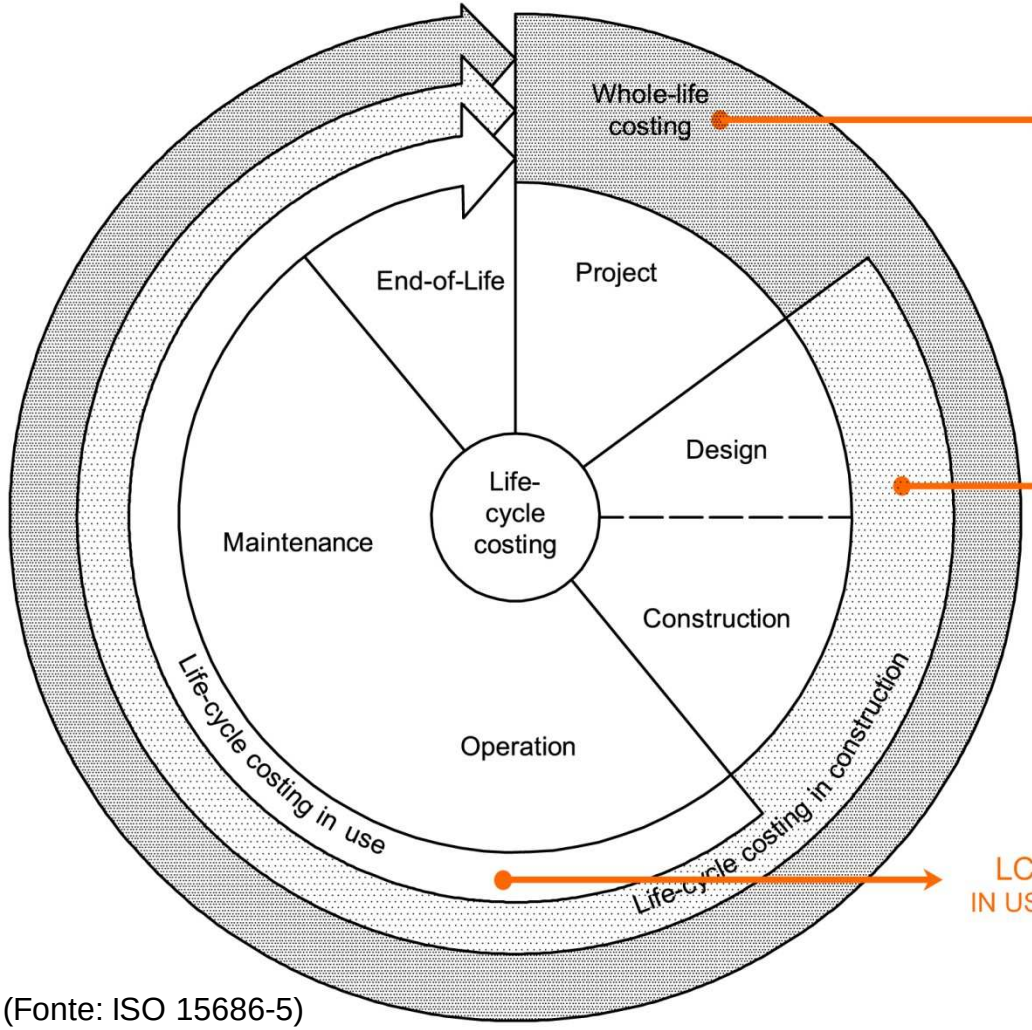
1. Obiettivi e ambito di applicazione
2. Definizione categorie costi
3. Analisi dei costi futuri
4. Interpretazione dei risultati



Struttura della LCC

Categorie di costo

ESTERNALITÀ → costo o beneficio sociale conseguente ad attività economiche che non si riflette in transizioni di mercato



WLC
WHOLE LIFE COSTING

LCC
IN CONSTRUCTION

LCC
IN USE

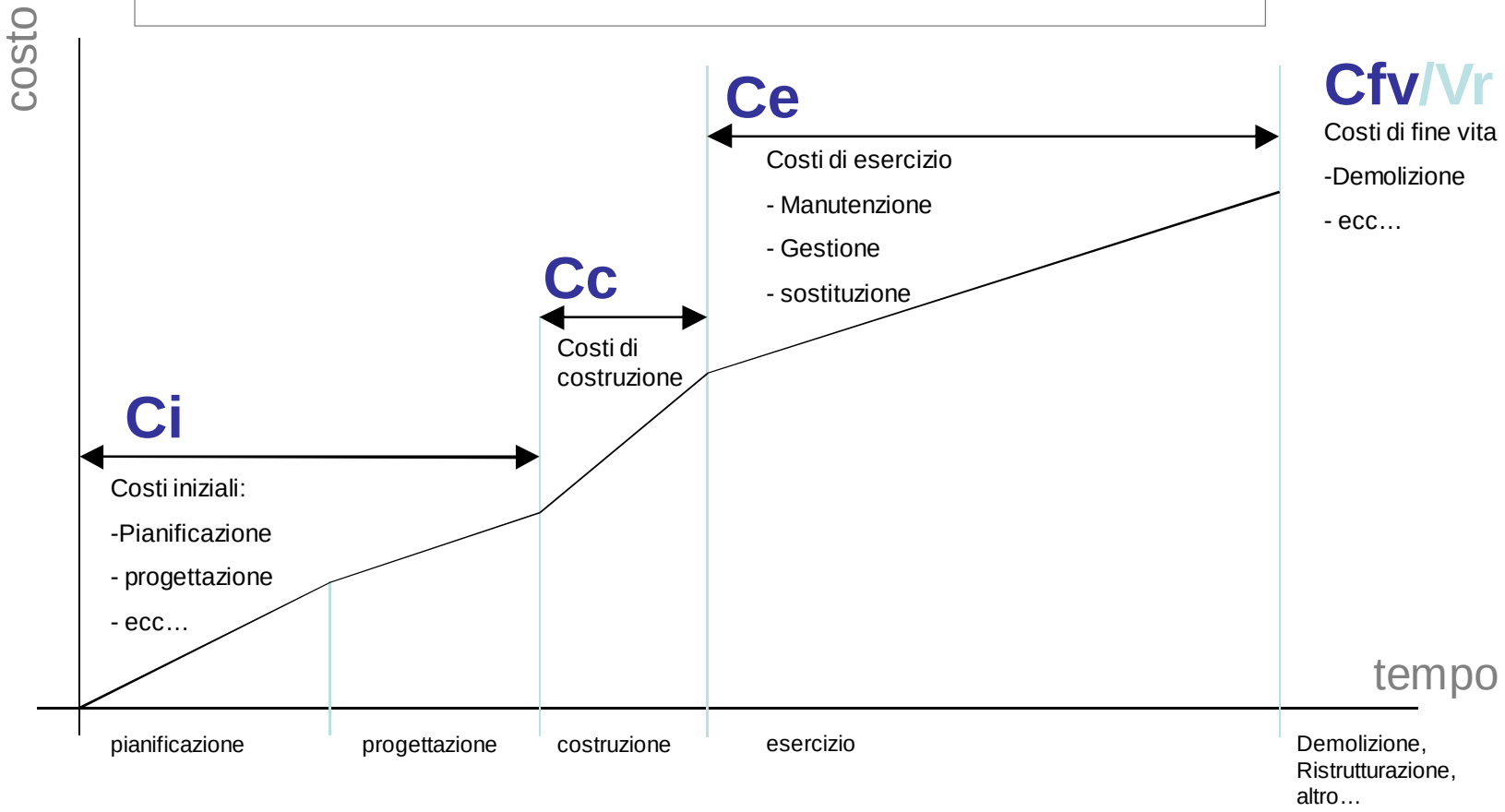
(Fonte: ISO 15686-5)

WLC

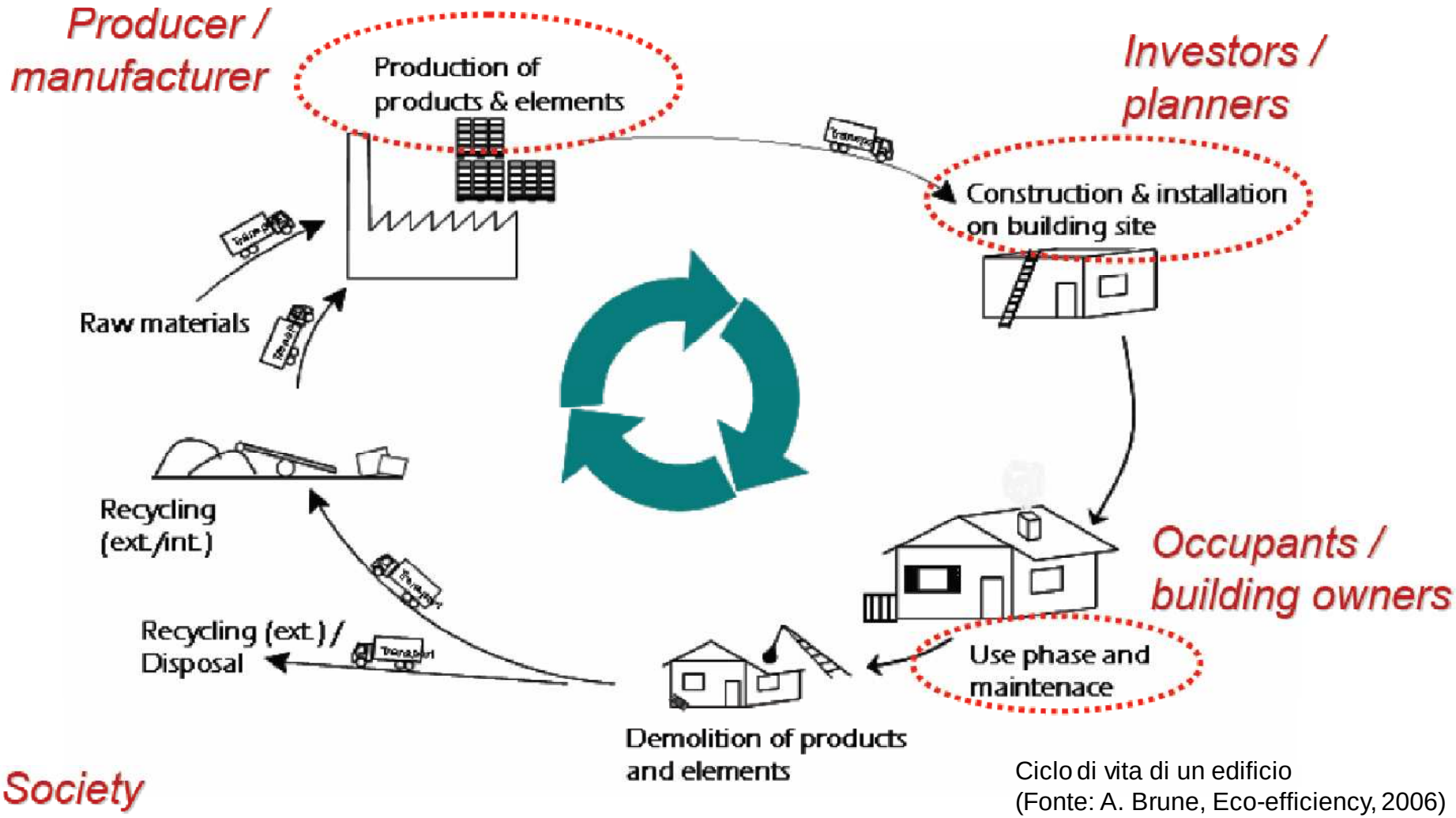
- costi esterni alla fase di costruzione
- investimenti
- esternalità
- LCC
  - Costruzione
  - Uso
  - Manutenzione
  - Fine vita

Calcolo del costo globale

LCC = Ci + Cc + Ce + Cfv - Vr

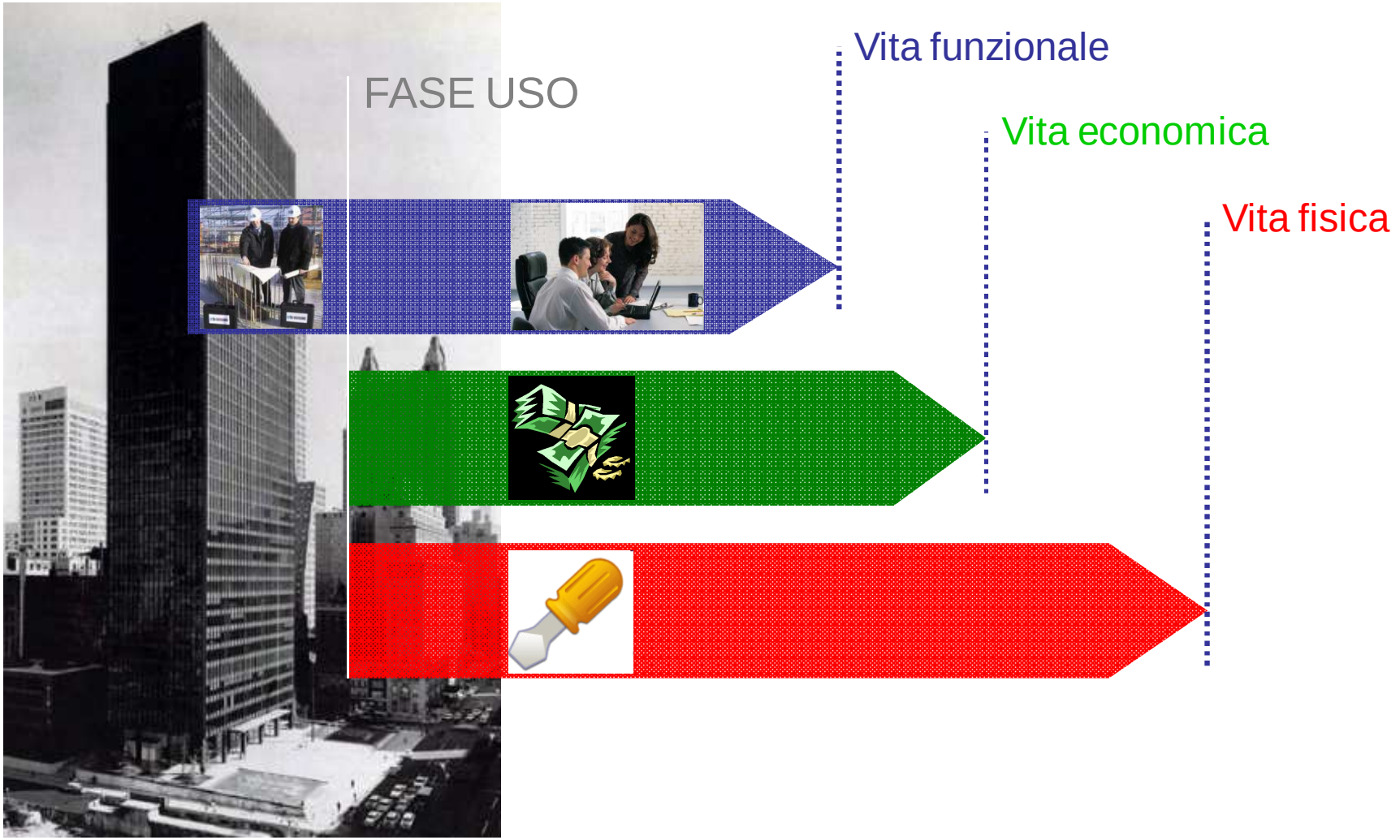


Attori coinvolti nel ciclo di vita

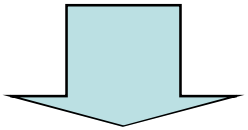


Ciclo di vita di un edificio
(Fonte: A. Brune, Eco-efficiency, 2006)

Il “tempo” nel ciclo di vita



TENDENZA EMERGENTE
integrare strumenti di contabilità (es. **LCC**)
con sistemi e strumenti di gestione ambientale (es. **LCA**)



Life Cycle Thinking

Finalità del modello

1° → valutare la performance ambientale di elementi di involucro edilizio associata a quella economica

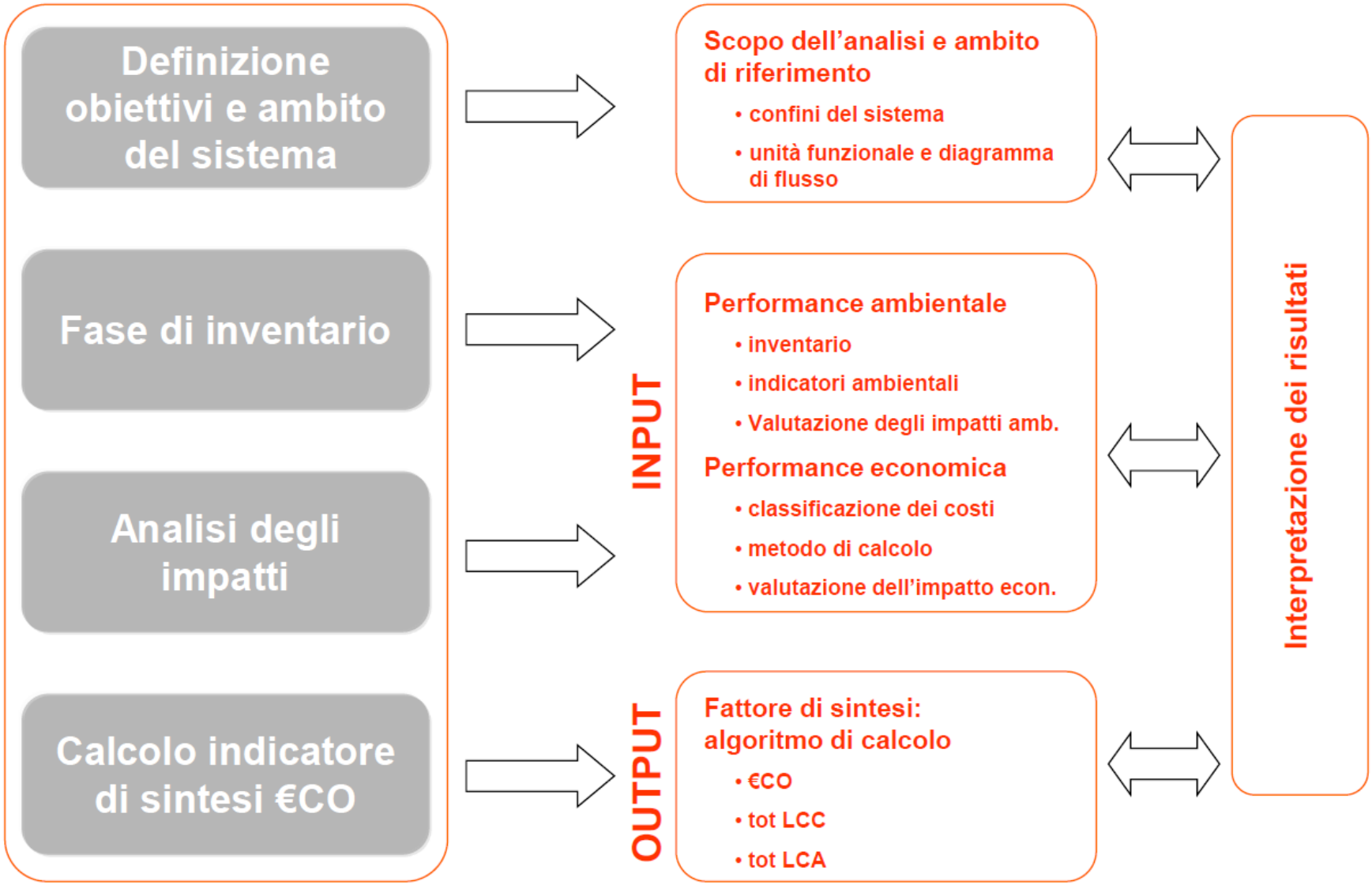
2° → confrontare diverse alternative di involucro al fine di scegliere quella economicamente e ambientalmente più vantaggiosa

Destinatari del modello

1° → progettista, per orientare le scelte

2° → committente, pubblico o privato, come strumento di primo controllo

Struttura del modello



Definizione degli obiettivi e dell'ambito

Fase di inventario

Analisi degli impatti

Calcolo indicatore di sintesi e analisi dei risultati

Obiettivi dell'analisi

Esempio: confronto tra diverse alternative di involucro opaco

Confini del sistema

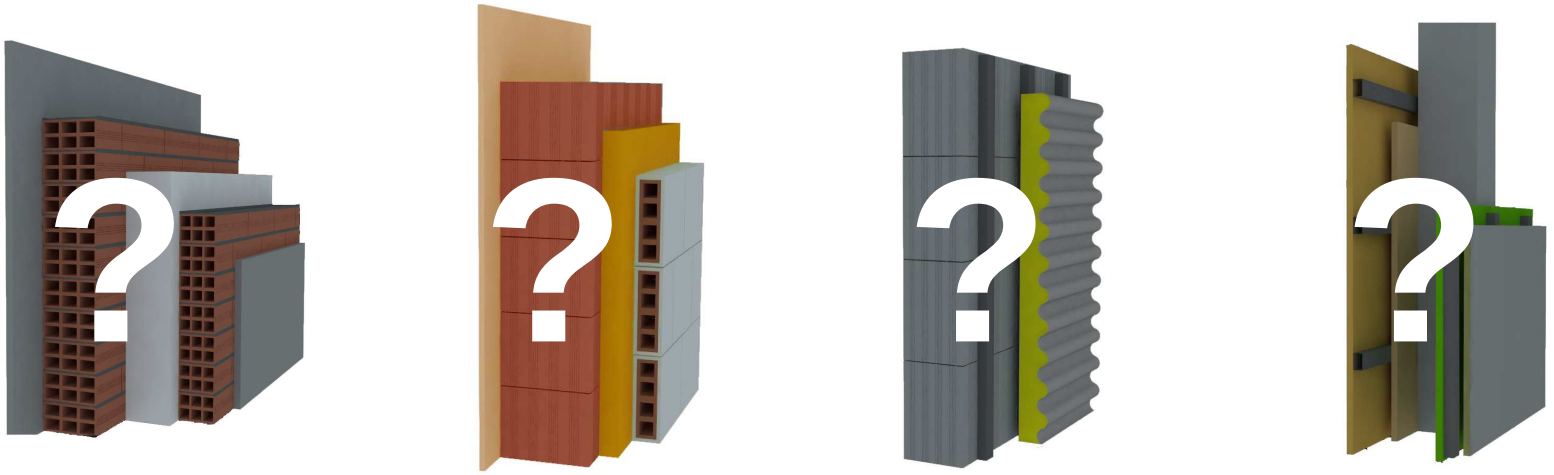
Flussi in entrata e flussi in uscita nel ciclo di vita, durabilità dei componenti edilizi, previsione su interventi di manutenzione e sostituzione, etc.

Unità funzionale

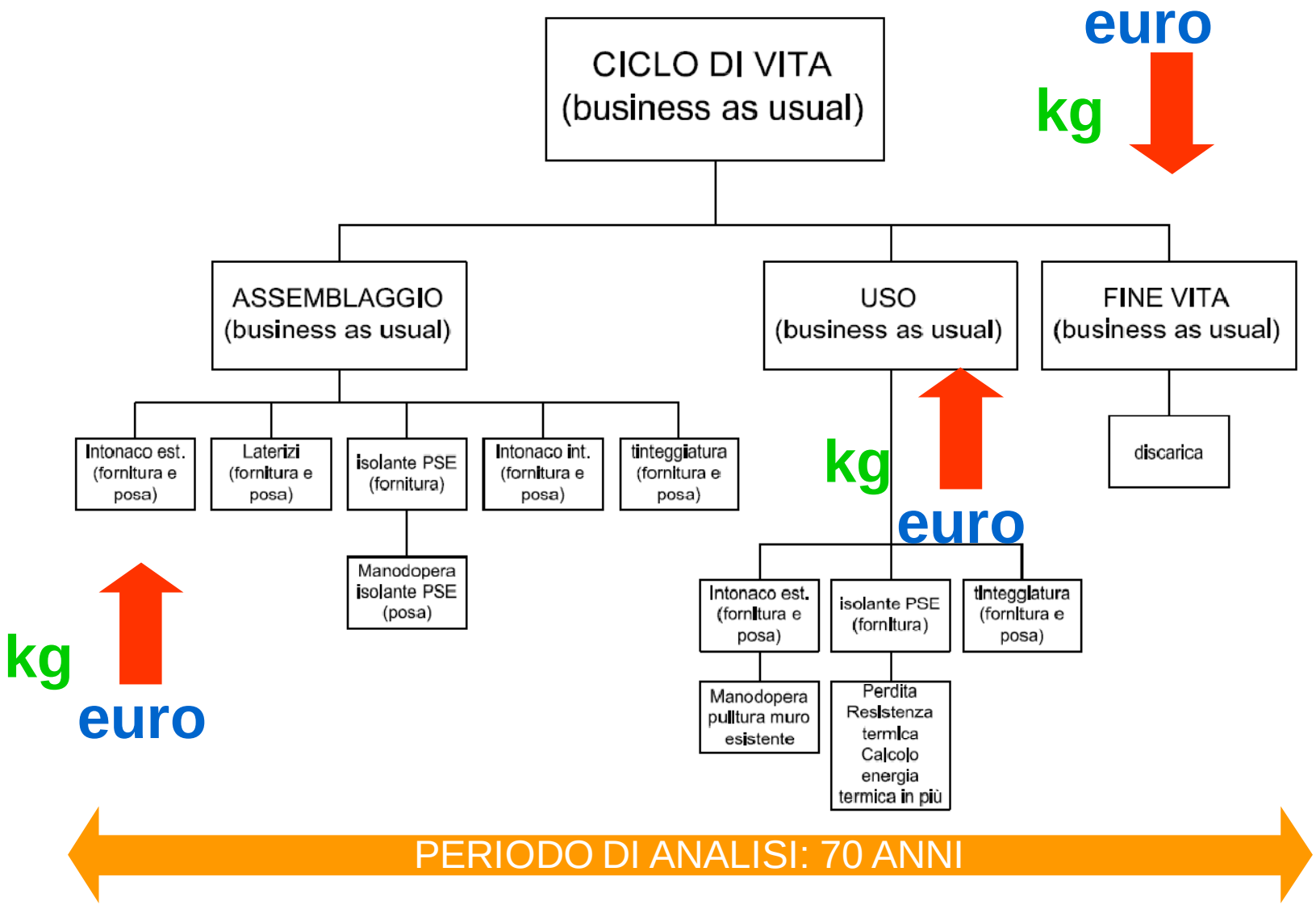
Esempio: un metro quadro di elemento tecnico

Obiettivi dell’analisi

Come scegliere, in fase di progettazione, la tecnologia costruttiva che garantisca il miglior rapporto prezzo / qualità ambientale nel ciclo di vita?



Confini del sistema



Confini del sistema

	anni							
	0	10	20	30	40	50	60	70
BAU	C	T	T	T	T	T	T	D
			NT		NT		NT	S
					RZ	RZ	RZ	
C11	C	T	T	T	T	T	T	D
			NT		NT		NT	S
C12	C	T	T	T	T	T	T	D
						CP		S
C13	C	T	T	T	T	T	T	D
			NT		NT		NT	S
						RZ	RZ	

LEGENDA

C	costruzione
T	tinteggiatura
NT	ripristino intonaco esterno
CP	rifacimento cappotto esterno
RZ	perdita resistenza termica iniziale
D	demolizione
S	smaltimento

Interventi previsti, nel periodo di vita utile, per ciascuna soluzione costruttiva analizzata.

Ciclo di vita

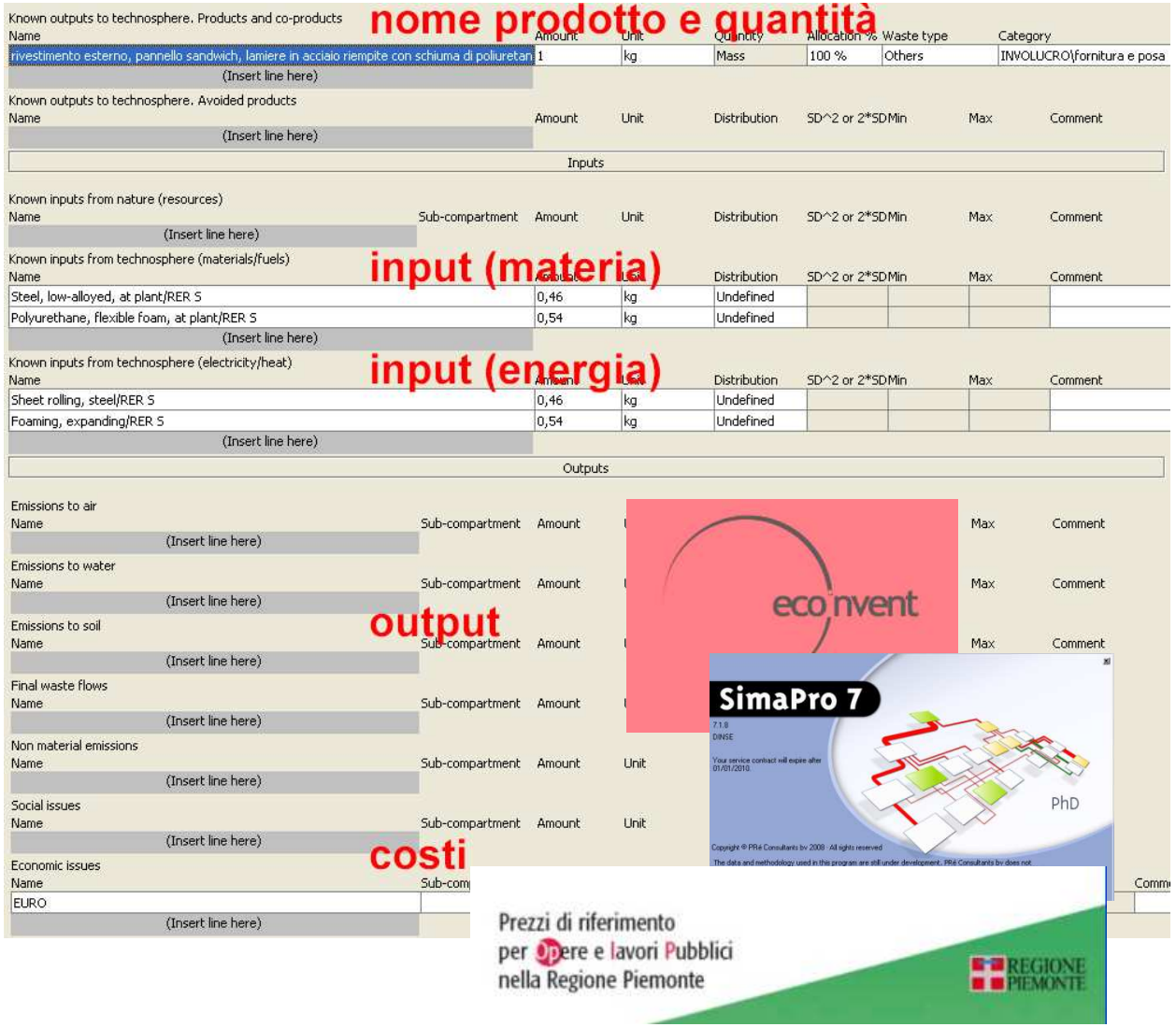
STRATIGRAFIA

CODICE	NOME STRATO	SPESSORE (m)	PESO (Kg/mq)	DURABILITA' (anni)	NUMERO sostituzioni / cicli manu-tentivi	NOTE
OP 02 0101	INTONACO SABBIA E CEMENTO	0,005	9	20	3	3 cicli di mautenzione durante il periodo di analisi (ripristino). Molinari, 2002
OP 02 0102	RINZAFFO SABBIA E CEMENTO	0,010	18			
OP 02 0103	LATERIZI SEMIPIENI	0,120	180	>70	0	
OP 02 0104	LATERIZI FORATI	0,080	62			
OP 02 0105	POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO (PSE)	0,100	1,5	40	0	sostituzione impraticabile, aumen-to del fabbisogno energetico
OP 02 0106	RINZAFFO CALCE GESSO	0,015	21	>70	0	
OP 02 0107	LISCIATURA CALCE GESSO	-	-			
OP 02 0108	IDROPITTURA (60mq per 5l)	2 mani	0,16	10	7	7 cicli decorazione

Life Cycle Inventory analysis LCI ISO 14041

Comprende la raccolta dei dati e dei procedimenti di calcolo, che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita di un sistema di prodotto.

- Definizione dell'ambito e delle finalità dello studio
- **Fase di inventario**
- Analisi degli impatti
- Calcolo indicatore di sintesi e analisi dei risultati



Life Cycle Impact Assessment
LCIA ISO 14042

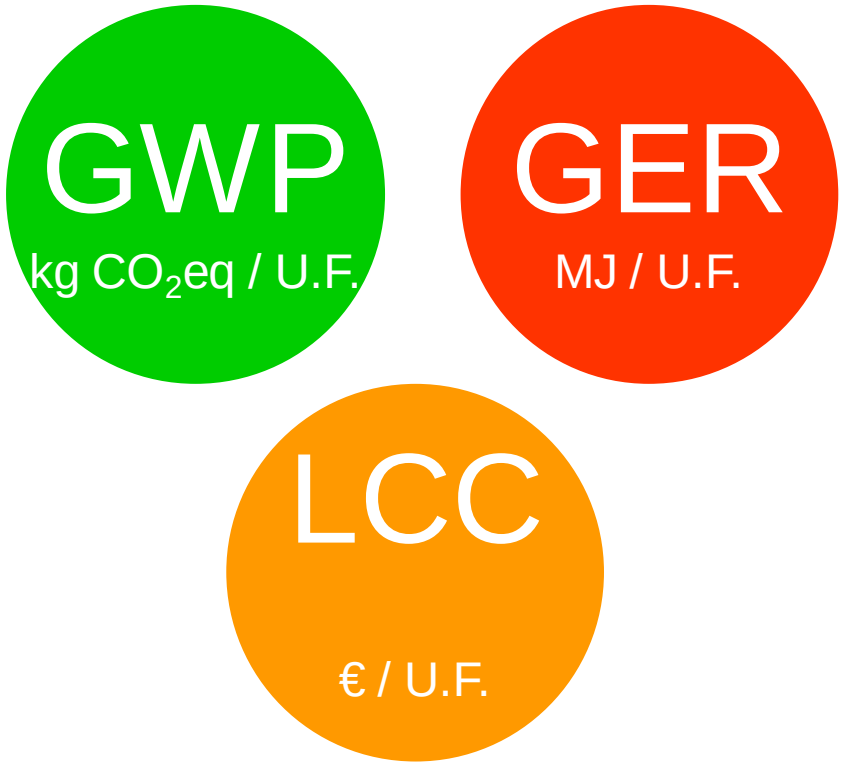
Definizione dell'ambito e delle finalità dello studio

Fase di inventario

Analisi degli impatti

Calcolo indicatore di sintesi e analisi dei risultati

È la fase di elaborazione dei risultati dell'inventario acquisiti, con lo scopo di valutare la portata dei potenziali impatti ambientali



Categorie degli effetti ambientali

Indicatori ambientali

Riscaldamento globale - **GWP**

Il Global Warming Potential rappresenta il quantitativo potenziale dei principali gas che provocano l'effetto serra

Il fattore di caratterizzazione è rappresentato dai kg di anidride carbonica equivalente.

Il GWP è, quindi, la misura, basata sulla concentrazione e sul periodo di esposizione del potenziale contributo che una sostanza arreca all'effetto serra, rispetto a quello provocato dallo stesso peso di anidride carbonica.

Maggiori gas serra

anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossido di azoto (N_2O), esafluoruro di zolfo (SF_6), vapore acqueo.

Indicatori ambientali

GLOBAL WARMING POTENTIAL – GWP 100 (kg CO_2eq)	IPCC 1996	IPCC 2001	IPCC 2007
Anidride carbonica (CO_2)	**1**	**1**	**1**
Monossido di carbonio (CO)	2	1,57	
Ossido di azoto (N_2O)	**320**	**296**	**298**
HCFC-142	2000		
HCFC-141b	630		
HFC-134a	2300		
CFC-113	5000		
CFC-114	9300		
HCFC-124	480		
HCFC-123	93		
CFC-115	9300		
Metano (CH_4)	**21**	**23**	**25**
Halon 1301	5600		
HCFC-22	1700		
CFC-13	11700		
CFC-12	8500		
R-40	9		
CFC-11	4000		
Esafluoruro di zolfo (SF_6)	**23900**	**22220**	**22800**

Figura 1 - ***Potere radiativo dei gas serra: fattori di conversione in kg CO_2eq secondo l'IPCC (fonte: elaborazione personale su dati tratti da IPCC)***

Indicatori ambientali

Consumo di risorse - **GER**

Il GER (*Gross Energy Requirement*) rappresenta l'energia primaria complessiva, richiesta per la produzione di un prodotto, che deve essere prelevata dalla natura. L'unità di misura utilizzata è il MJ.

GER
Gross Energy Requirement

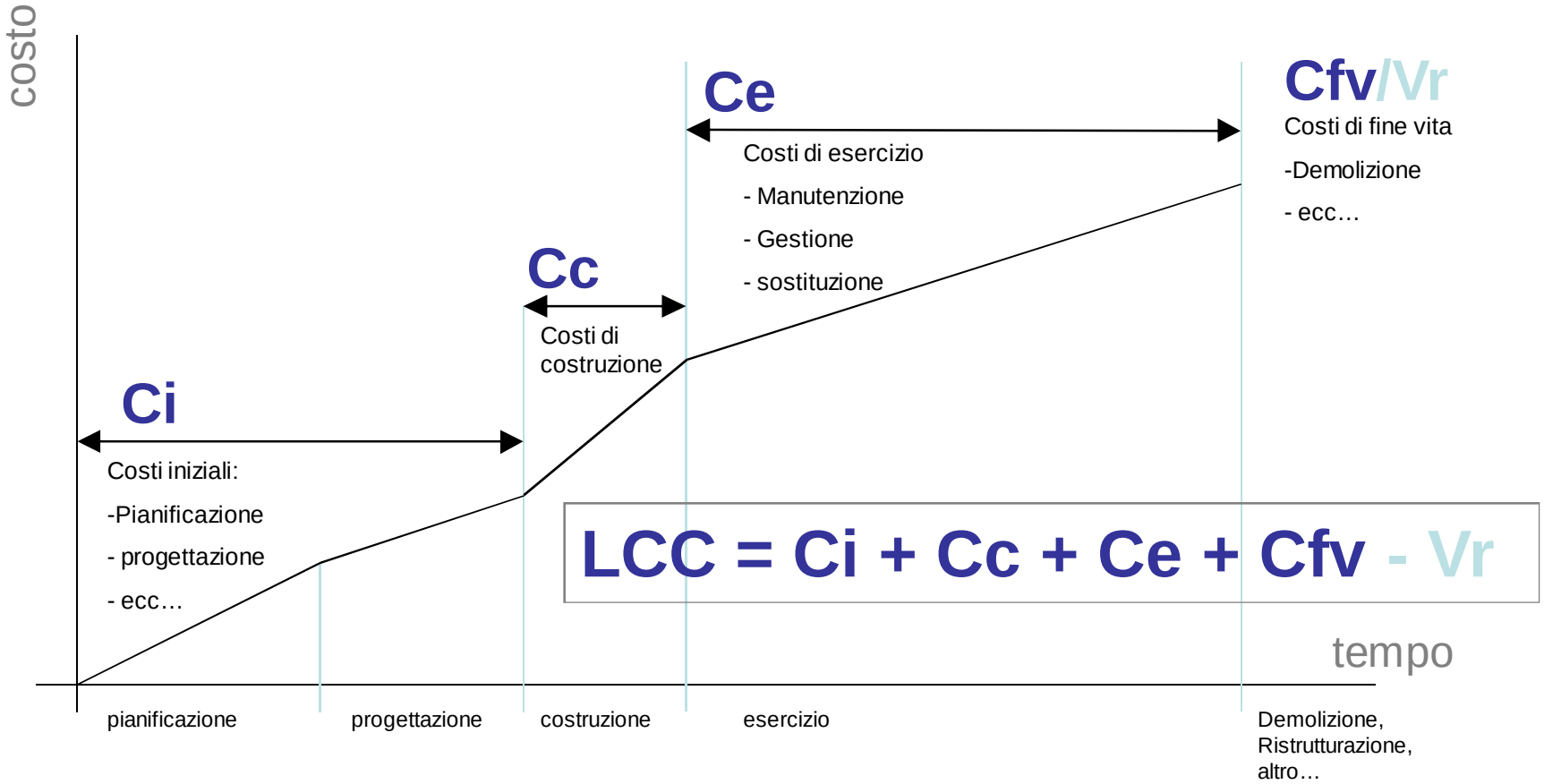
=

ENERGIA DIRETTA	+	ENERGIA INDIRETTA	+	CAPITAL ENERGY	+	ENERGIA FEEDSTOCK
contenuto energetico dei combustibili utilizzati		energia di produzione e trasporto combustibili		energia di produzione macchinari		energia di contenuta nei materiali

Indicatori economici

Costo globale – **LCC**

Costo globale di un edificio o di parti di esso, nel suo arco di vita. Comprende i costi di pianificazione, di progettazione, d'acquisto, d'uso, di gestione e manutenzione e di dismissione, escluso il valore residuo



Indicatori economici

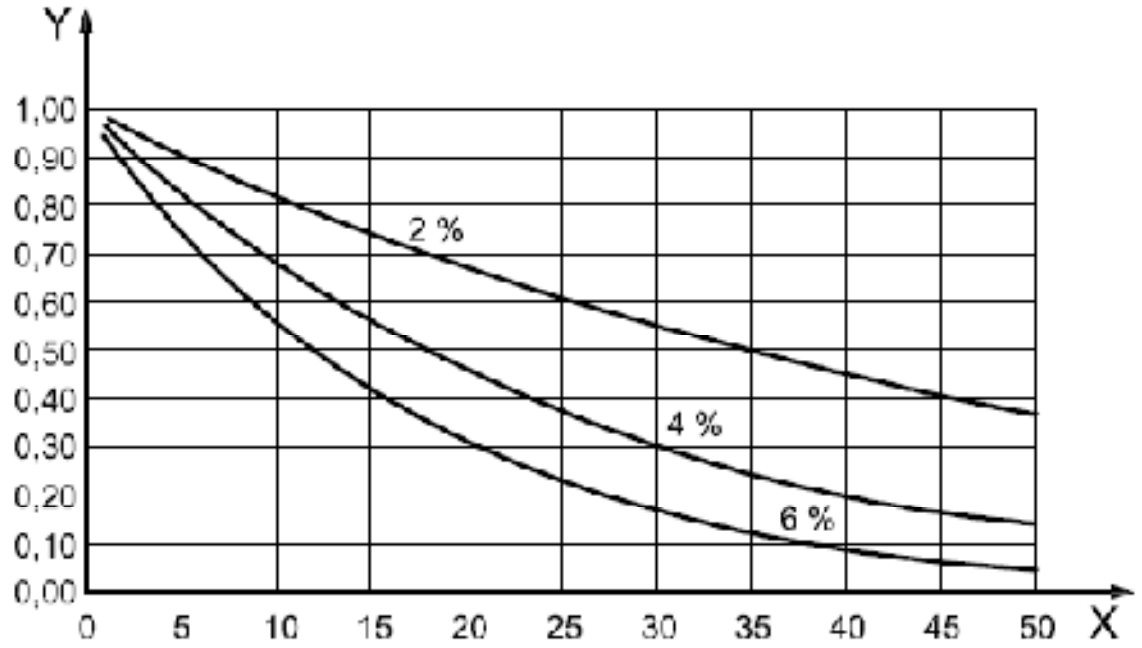
Attualizzazione costi

$$VAN = \sum (Cn * q_d) = \sum_{n=1}^{p} \frac{Cn}{(1+d)^n} \quad [euro]$$

Cn	=	Costo nell'anno n
q_d	=	Fattore di attualizzazione
d	=	Tasso di sconto previsto per anno
n	=	Numero di anni tra l'anno attuale di riferimento e quello in cui si sosterranno i costi
p	=	Periodo di analisi

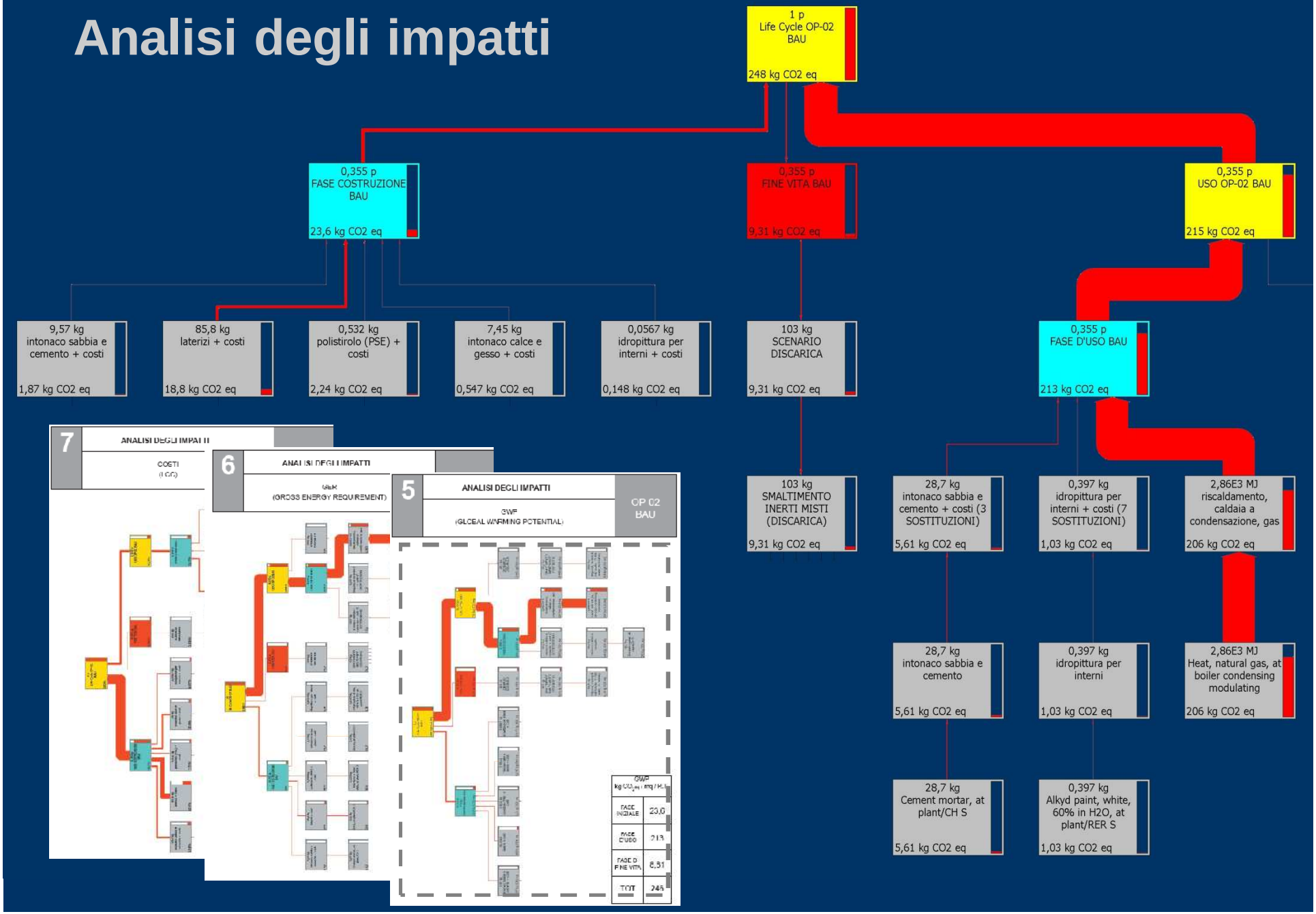
Indicatori economici

Attualizzazione costi - TASSO DI SCONTO



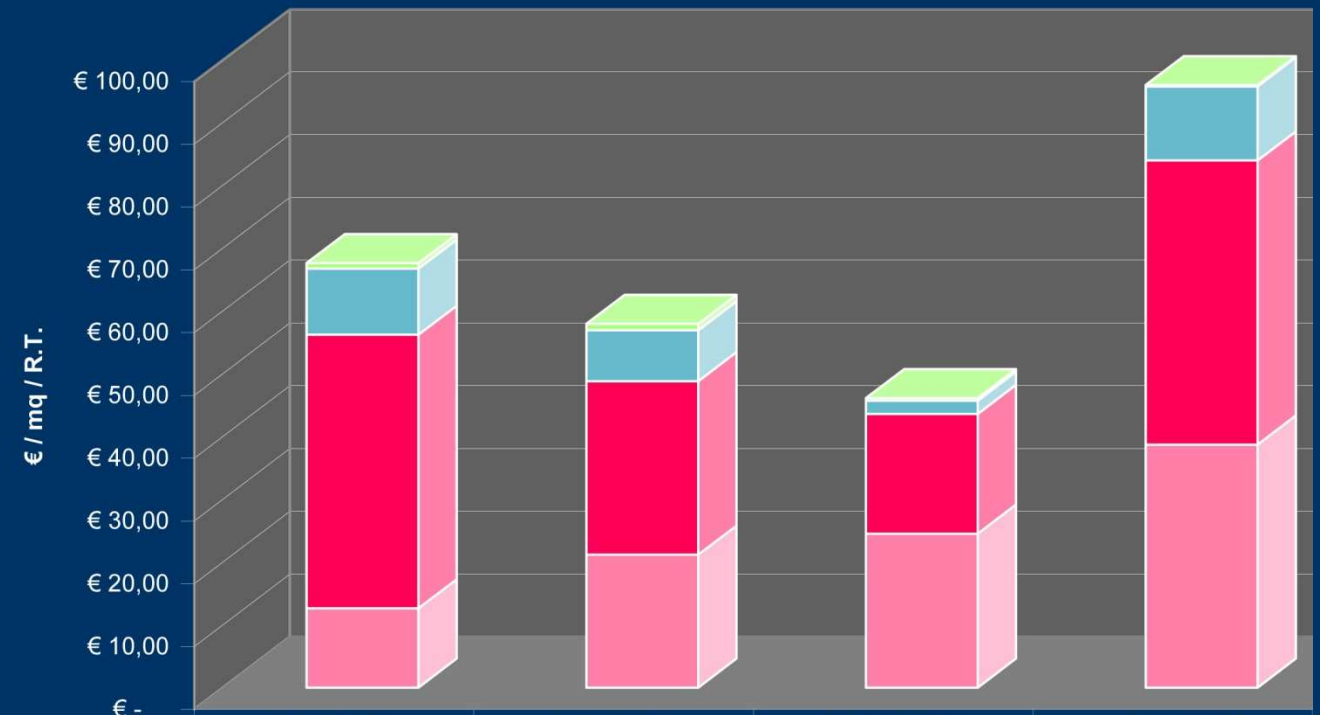
asse delle ascisse (X) → anni del periodo di analisi
asse delle ordinate (Y) → valore attuale per unità monetaria.
Minore è il tasso di sconto, maggiore è l'influenza dei costi futuri nell'analisi LCC e viceversa.

Analisi degli impatti



Analisi degli impatti

Performance economica LCC



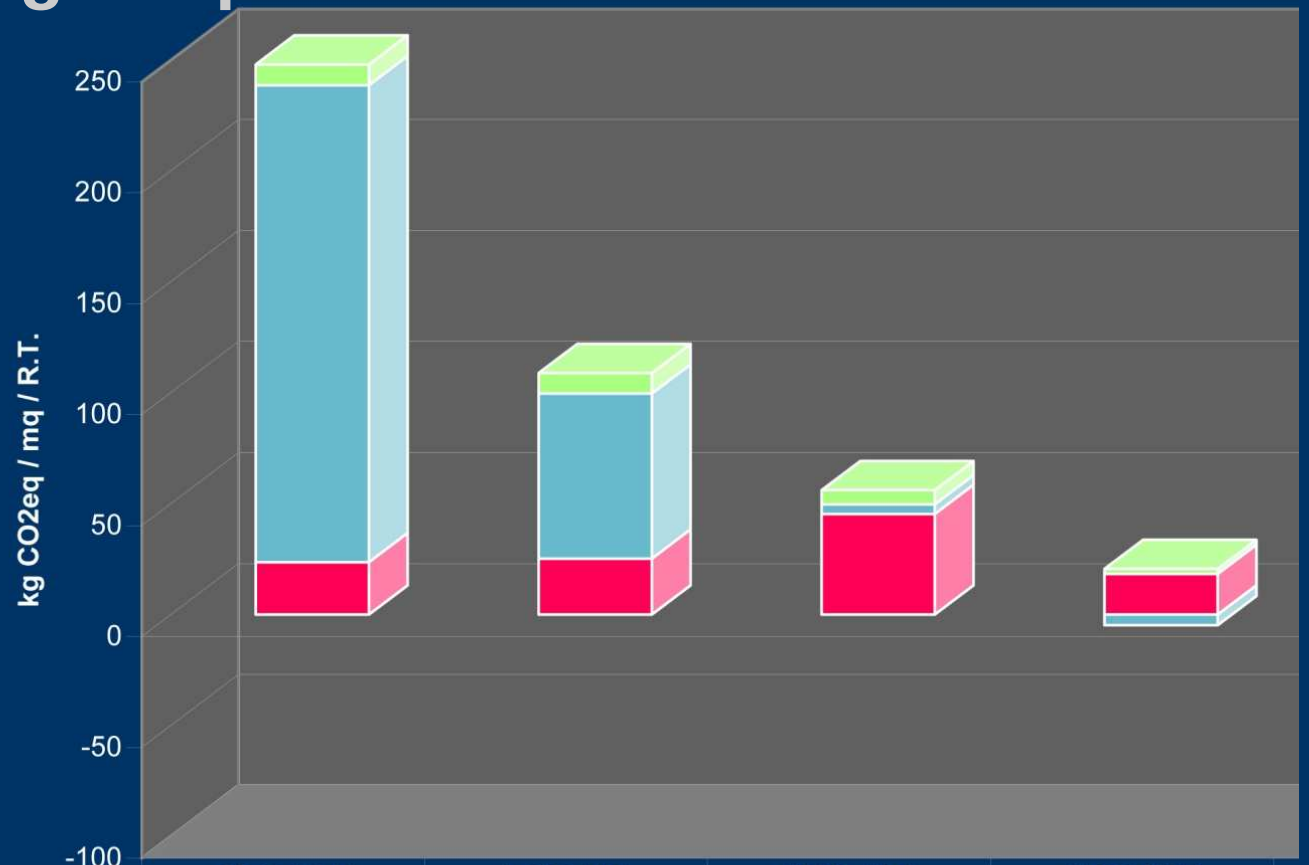
	OP02 BAU	OP02 NIC	OP02 OME	OP02 ULX
costi di fine vita	€ 0,91	€ 1,02	€ 0,39	€ 0,20
costi di sostituzione	€ 10,50	€ 8,11	€ 2,12	€ 11,80
costi di posa	€ 43,59	€ 27,64	€ 19,07	€ 45,28
costi di fornitura	€ 12,62	€ 21,16	€ 24,52	€ 38,70

tot LCC $_j$	**67,62**	**57,93**	**46,10**	**95,97**

[€ / mq / Resistenza Termica]

Analisi degli impatti

Performance ambientale GWP100



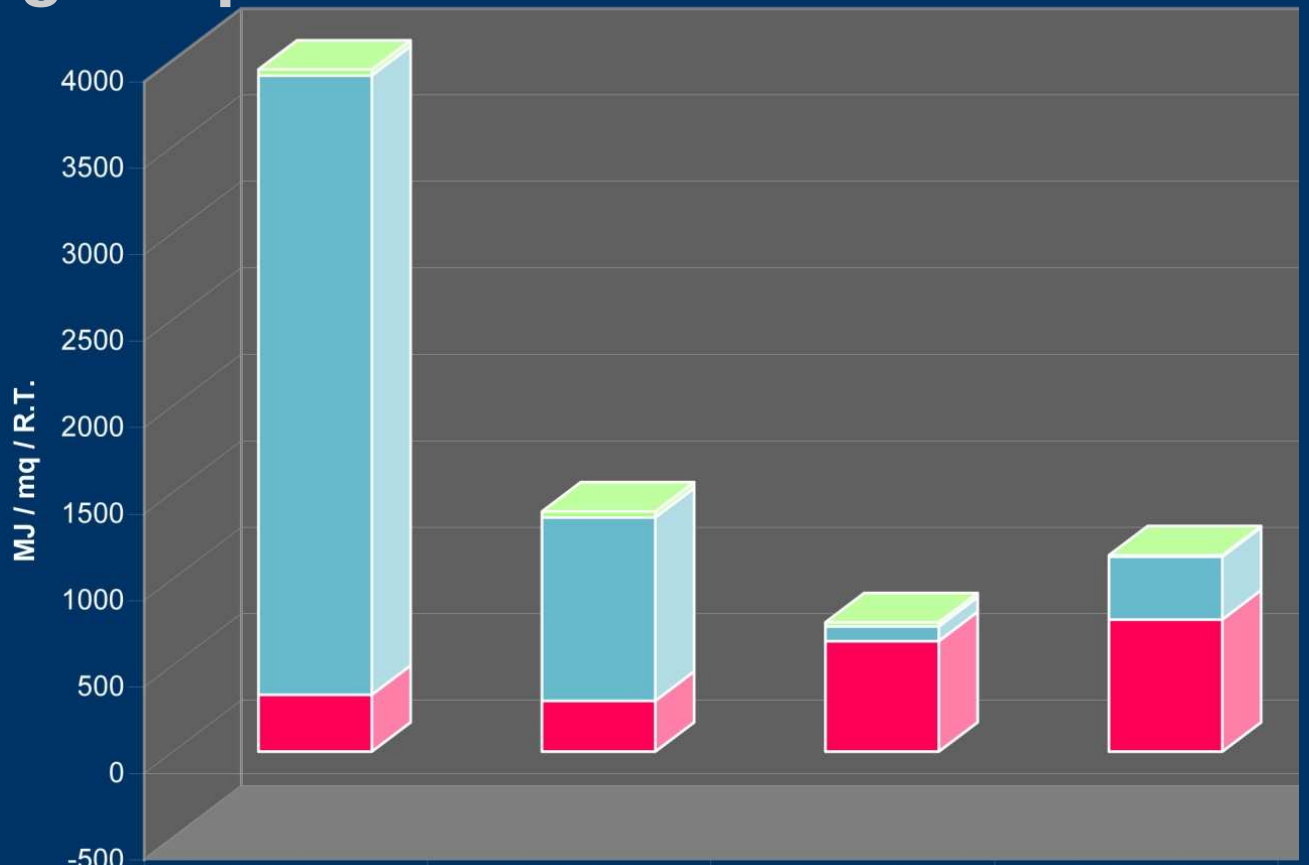
	OP02 BAU	OP02 NIC	OP02 OME	OP02 ULX
GWP fine vita	9,31	9,26	6,39	2,3
GWP fase d'uso	215	74,4	4,36	-4,81
GWP produzione	23,6	25,2	45,3	18,3

tot LCA $_{j\ (GWP)}$	**248**	**110**	**56**	**15,8**

[Kg CO_{2eq} / mq / Resistenza Termica]

Analisi degli impatti

Performance ambientale GER



	OP02 BAU	OP02 NIC	OP02 OME	OP02 ULX
GER fine vita	35,3	35,1	24,2	8,7
GER fase d'uso	3580	1060	85	363
GER produzione	328	293	638	763

tot LCA $_{j\ (GER)}$	**3940**	**1390**	**747**	**1140**

[MJ / mq / Resistenza Termica]

Analisi degli impatti

benchmark			soluzioni alternative					
1			2			3		
tot LCC	67	€ / mq/RT	tot LCC		€ / mq/RT	tot LCC		€ / mq/RT
tot GWP	248	kg CO2 / mq/RT	tot GWP		kg CO2 / mq/RT	tot GWP		kg CO2 / mq/RT
tot GER	3800	MJ / mq/RT	tot GER		MJ / mq/RT	tot GER		MJ / mq/RT

Si calcolano le performance ambientali ed economica rispetto al benchmark

$$X_{j\,(LCC)} = \frac{67 - \text{tot LCC}_j}{67}$$

$$X_{j\,(GWP)} = \frac{248 - \text{tot LCA}_{j\,(GWP)}}{248}$$

$$X_{j\,(GER)} = \frac{3800 - \text{tot LCA}_{j\,(CEP)}}{3800}$$

Fattore di efficienza economico-ambientale

Definizione dell'ambito e delle finalità dello studio

Fase di inventario

Analisi degli impatti

Calcolo indicatore di sintesi e analisi dei risultati

$$€CO = LCC + GWP + GER$$

$$(X_{LCC} * \eta_{LCC}) + (X_{GWP} * \eta_{GWP}) + (X_{GER} * \eta_{GER})$$

Fattore di efficienza economico-ambientale

Ipotesi sulla scelta del peso degli impatti

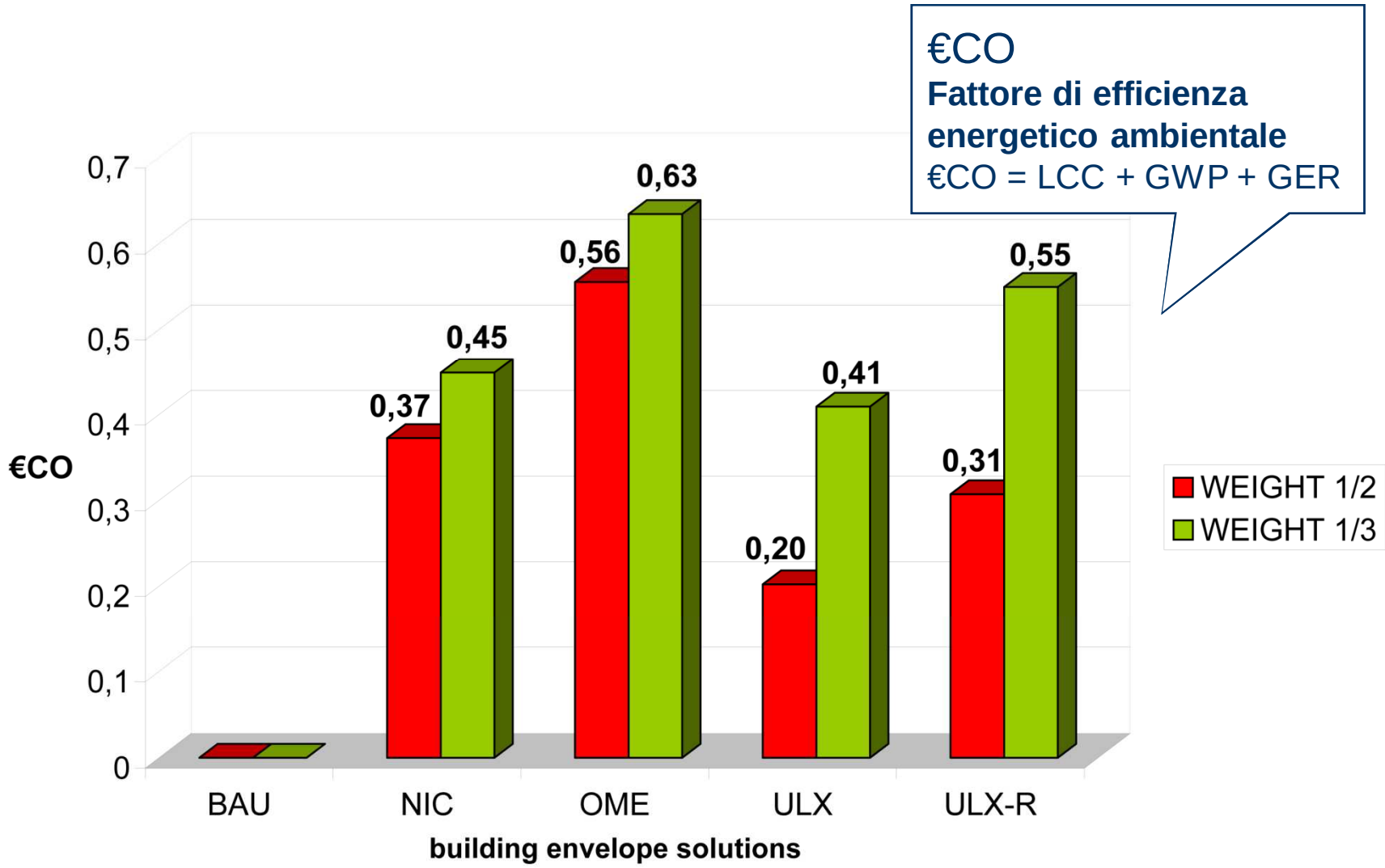
pesi uguali (peso LCC = peso GWP = peso CEP)

$$€CO = (X_{LCC} * 0{,}33) + (X_{GWP} * 0{,}33) + (X_{CEP} * 0{,}33)$$

peso impatto economico (LCC) = peso impatto ambientale (GWP+CEP)

$$€CO = (X_{LCC} * 0{,}50) + (X_{GWP} * 0{,}25) + (X_{CEP} * 0{,}25)$$

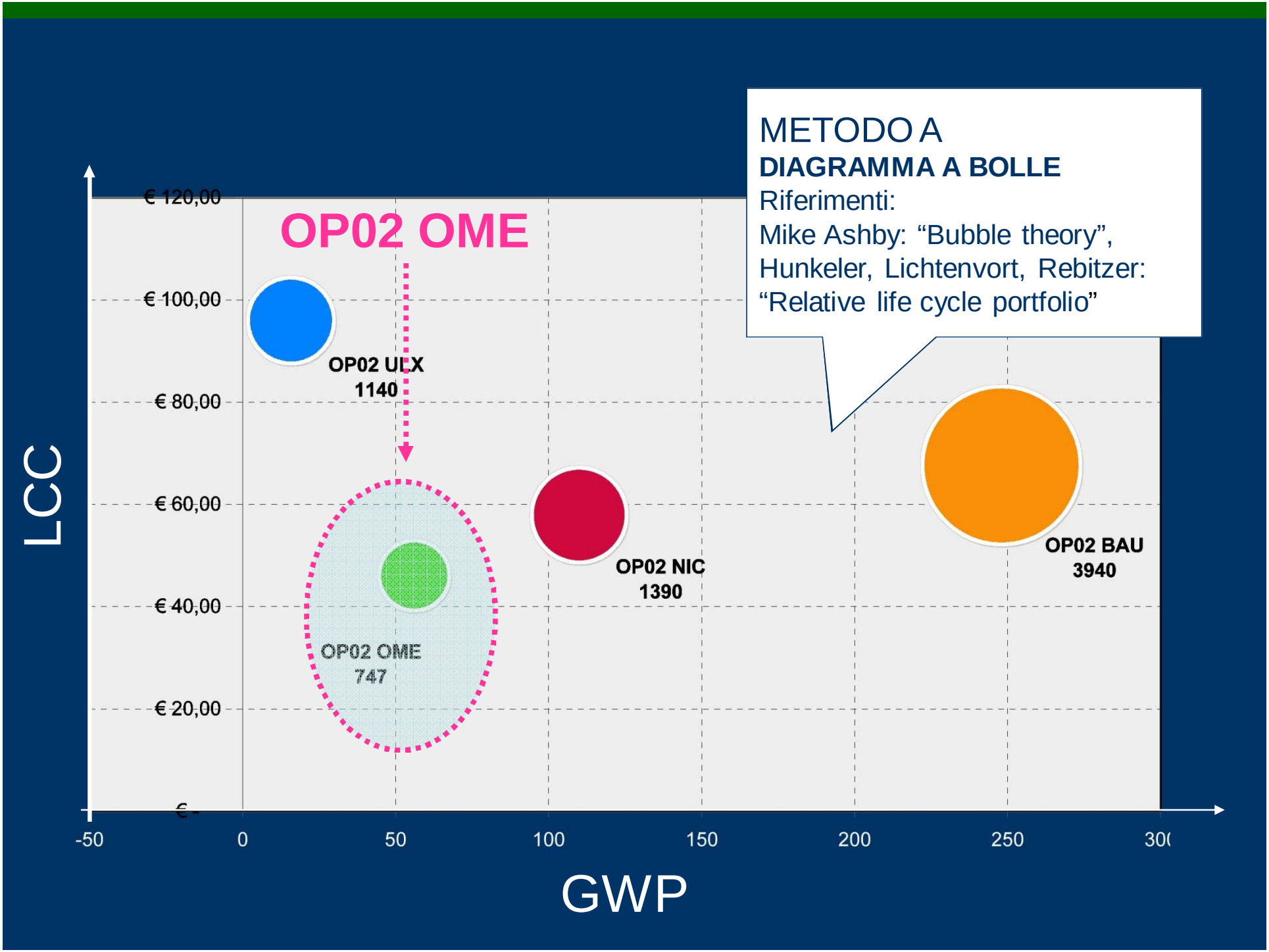
Fattore di efficienza economico-ambientale

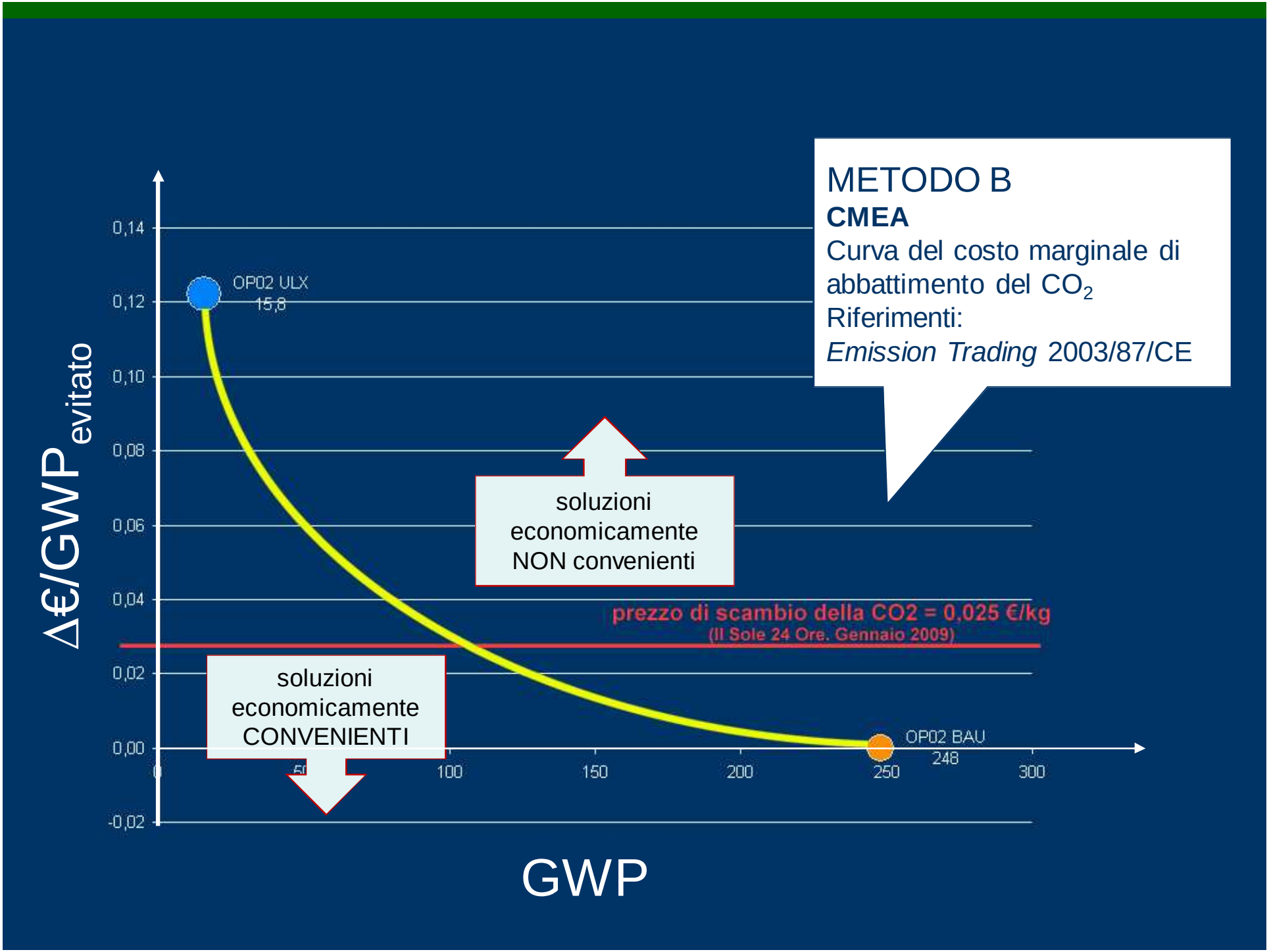


N.B. la migliore efficienza economico-ambientale si ha per valori di €CO più vicini a 1 (benchmark = 0)

Interpretazione dei risultati

Necessità di verificare e convalidare lo strumento


METODO A
DIAGRAMMA A BOLLE
Riferimenti:
Mike Ashby: “Bubble theory”,
Hunkeler, Lichtenvort, Rebitzer:
“Relative life cycle portfolio”
OP02 OME
OP02 ULX
1140
OP02 NIC
1390
OP02 BAU
3940
OP02 OME
747
€ 120,00
€ 100,00
€ 80,00
€ 60,00
€ 40,00
€ 20,00
€ -
LCC
-50
0
50
100
150
200
250
GWP


METODO B
CMEA
Curva del costo marginale di abbattimento del CO_2
Riferimenti:
Emission Trading 2003/87/CE
$\Delta €/GWP_{evitato}$
0,14
0,12
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0,00
-0,02
OP02 ULX
15,8
soluzioni economicamente NON convenienti
prezzo di scambio della CO2 = 0,025 €/kg
(Il Sole 24 Ore. Gennaio 2009)
soluzioni economicamente CONVENIENTI
OP02 BAU
248
100
150
200
250
300
GWP

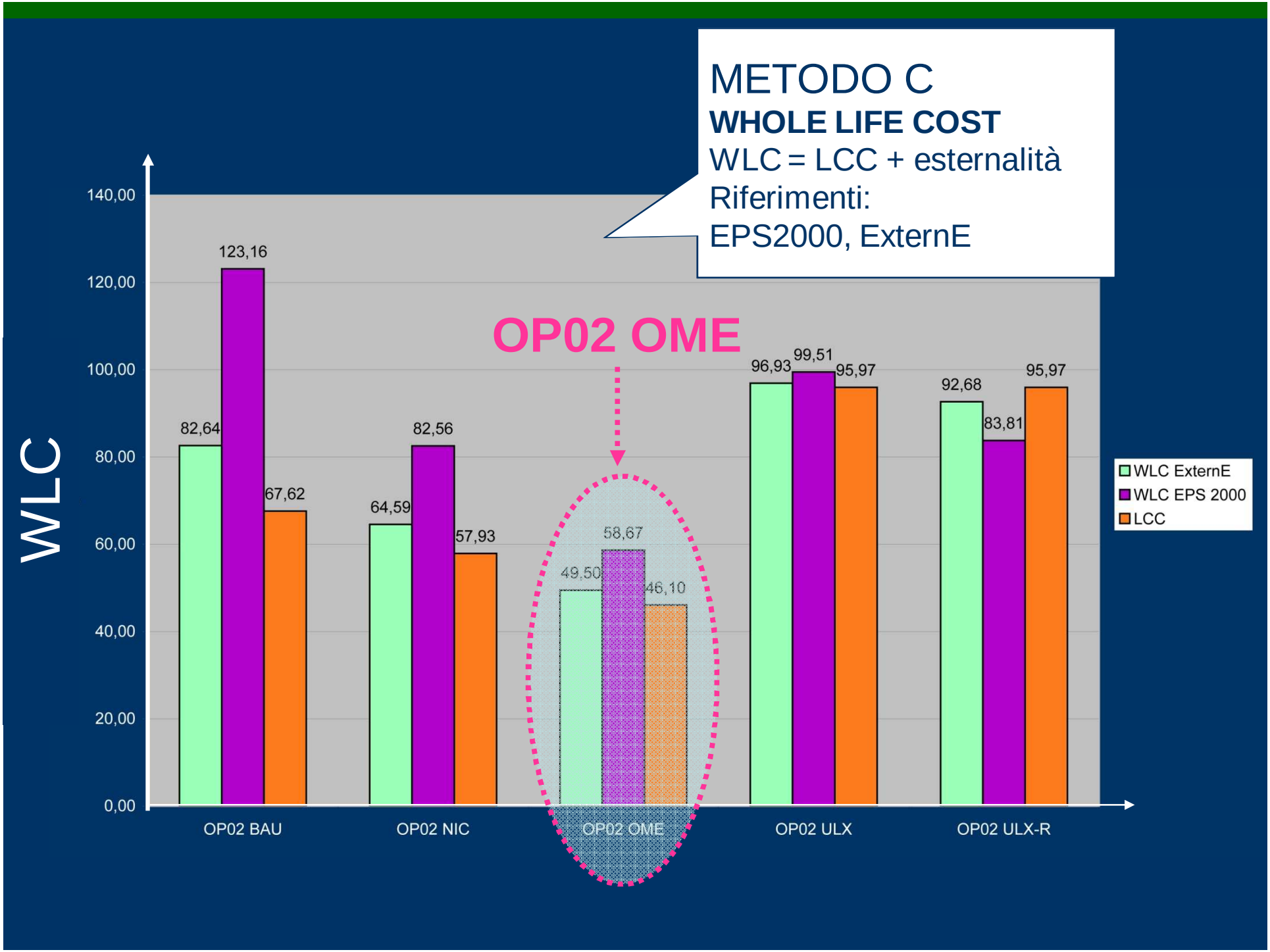
METODO C

WHOLE LIFE COST

WLC = LCC + esternalità

Riferimenti:

EPS2000, ExternE



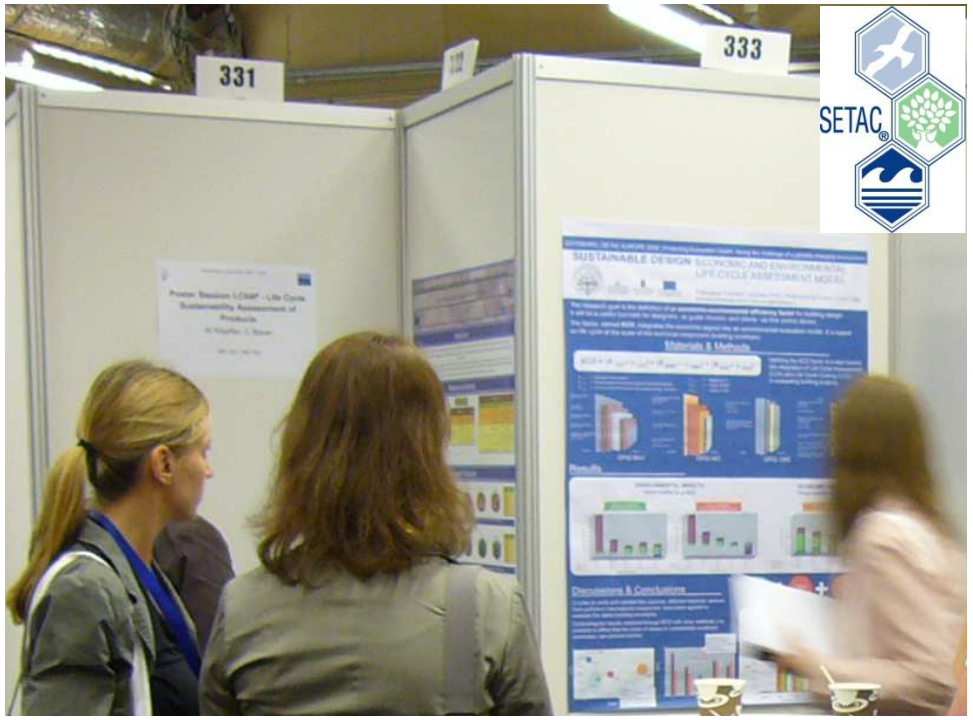
Contributi innovativi della ricerca

- Nuovo **indicatore di sintesi €CO** → dai risultati dell'applicazione del modello, si può affermare che al variare del metodo di calcolo usato, la scala di valori rimane sostanzialmente inalterata

- **Integrazione tra LCC e LCA** per lo sviluppo di pratiche progettuali ecocompatibili → individuata da molti studi internazionali tra le ricerche più promettenti

- Consentire ai vari attori coinvolti (proprietari, fornitori, progettisti, etc.) nel processo progettuale di prendere decisioni in base al **rapporto qualità/prezzo** → includendo nella "qualità" gli aspetti ambientali

Pubblicazioni della ricerca



In pubblicazione...

ilProgettoSostenibile
n. 27

arch. Francesca THIEBAT

Politecnico di Torino
Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di Insediamento
Castello del Valentino | viale Mattioli 39 | 10125 Torino
T. +39.011.564.4388
F. +39.011.564.4374
francesca.thiebat@polito.it

PAT. architetti associati
strada Valsalice 226 | 10131 Torino
T. +39.011.660.0819
F. +39.011.197.07723
C. +39.338.737.9080
www.patdesign.it
francesca@patdesign.it

PAT. architettura sostenibilità urban design