

Applicazione della metodologia LCA al settore dei materiali ceramici

Anna Maria Ferrari

Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria

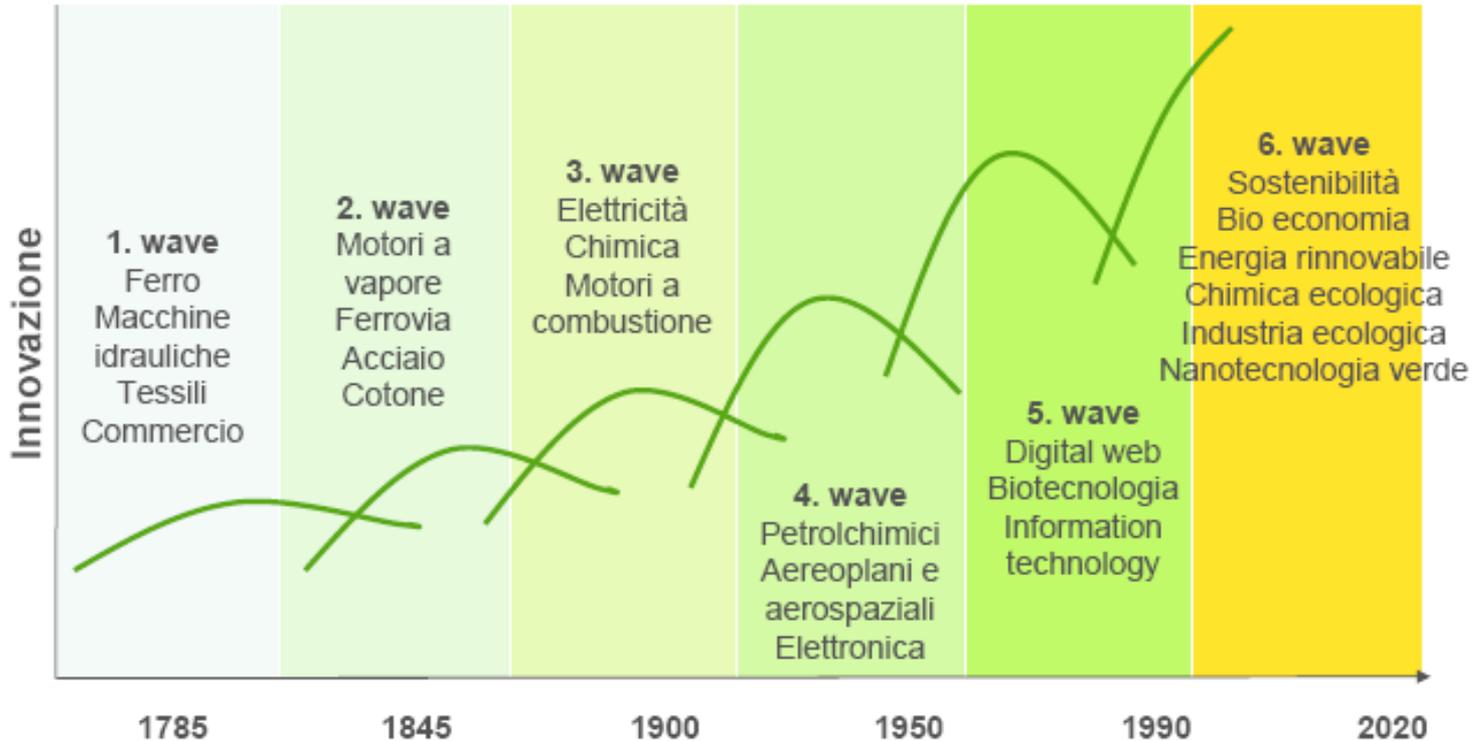
Università di Modena e Reggio Emilia

Faenza - 20 Novembre 2014





La sesta rivoluzione industriale

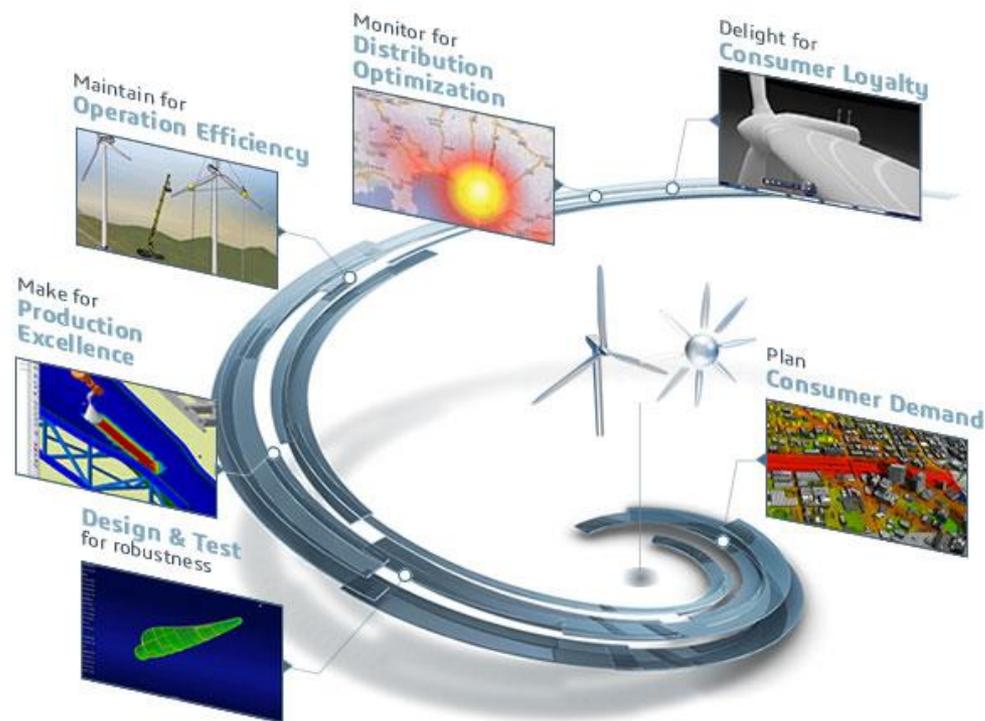


Fonte: Worldwatch Institute/State of the World



Ambiente

Ricerca



Innovazione Tecnologica



O.M.S.: “solo il 5% dei prodotti edili risulta perfettamente innocuo”

Si stima che in Europa circa il:

50% delle risorse sottratte alla natura sono destinate al settore edile

45% dell'energia prodotta viene utilizzata dal settore edile

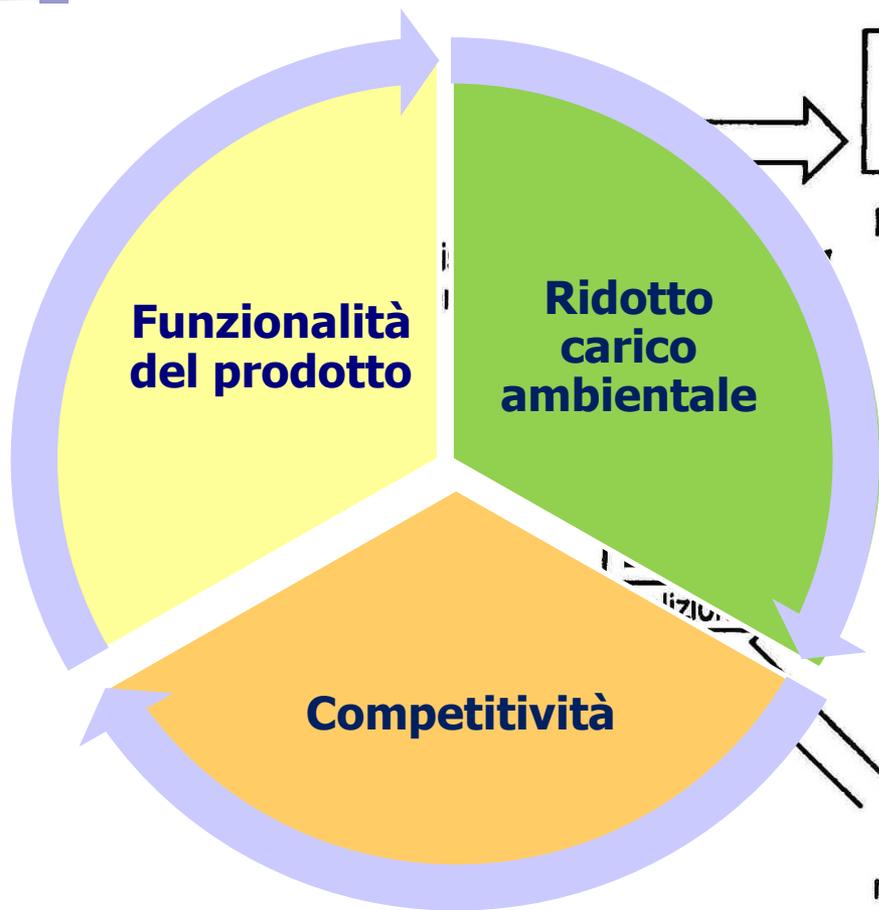
55% dell'inquinamento atmosferico è prodotto da comparto edile

35% dei rifiuti prodotti in un anno proviene dal settore edile





L'approccio olistico



ristrutturazione

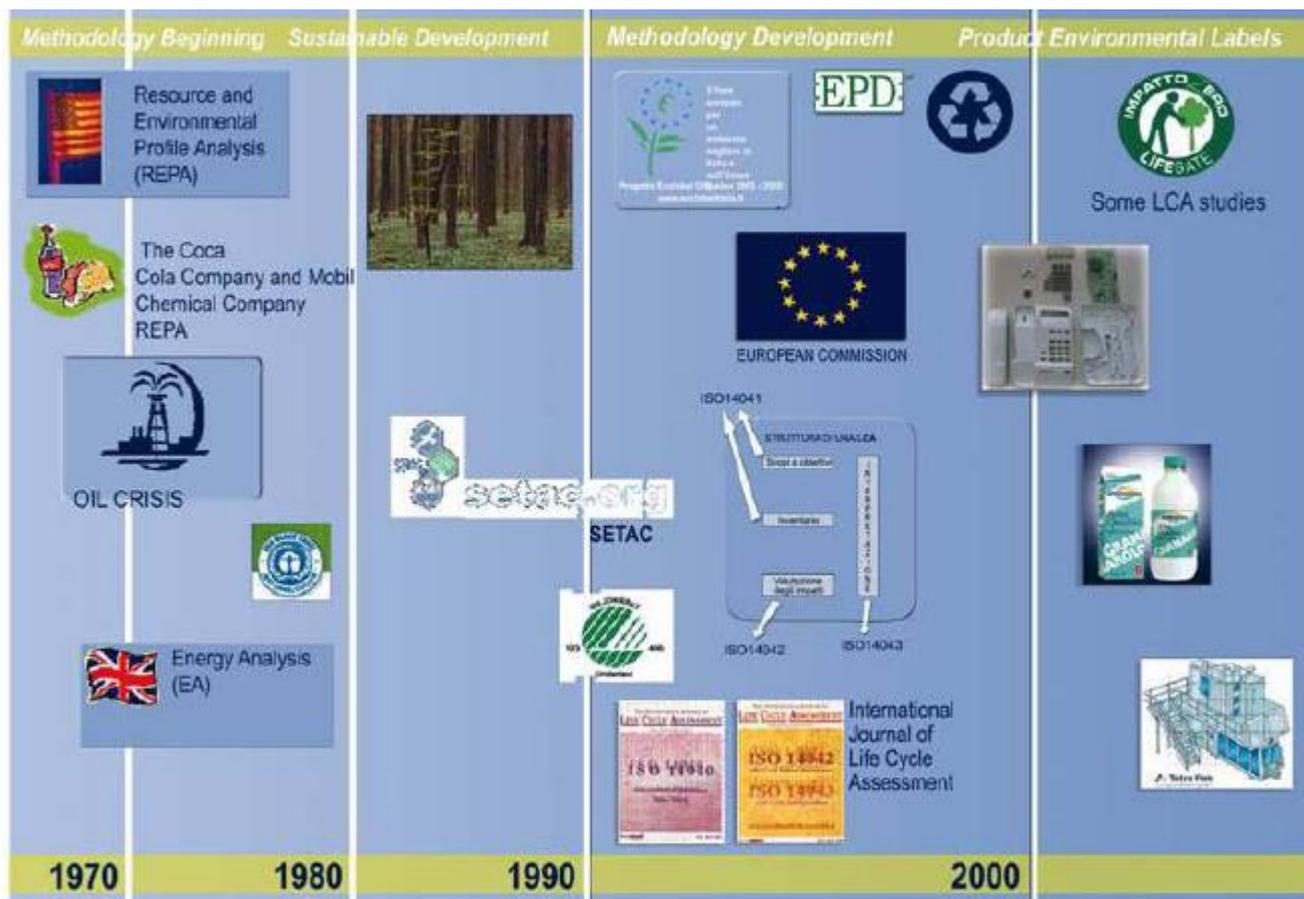


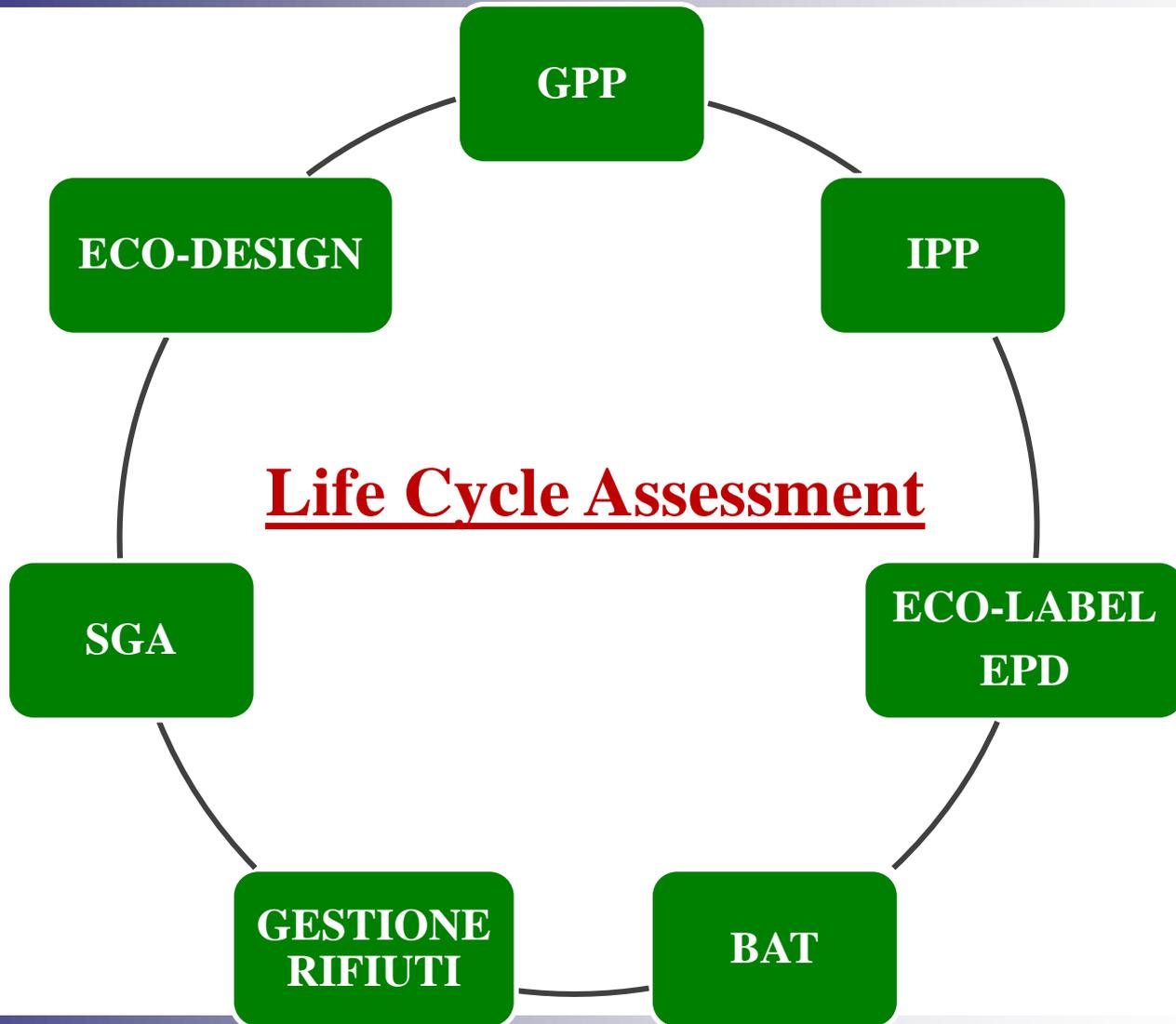
**LA METODOLOGIA
DELL'ANALISI DEL CICLO DI VITA
(Life Cycle Assessment - LCA)
COME STRUMENTO DI GESTIONE
AMBIENTALE**

Origini del Life Cycle Assessment



Approccio di tipo ciclo-vita ai problemi ambientali cradle to grave analysis







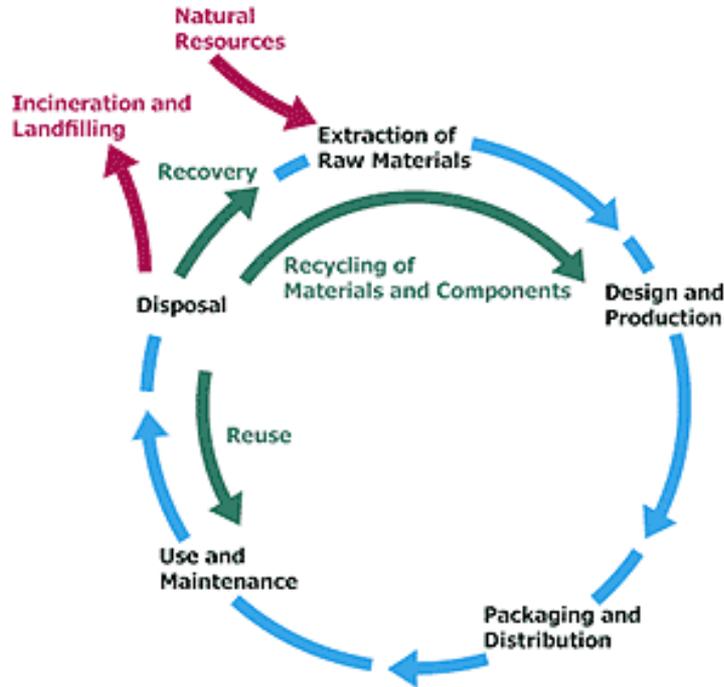
SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993)

“LCA è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l’identificazione e la quantificazione dei consumi di materia ed energia e delle emissioni nell’ambiente e l’identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti.

L’analisi riguarda l’intero ciclo di vita del prodotto ("dalla culla alla tomba"): dall’estrazione e lavorazione delle materie prime, alla produzione trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l’uso”.



La visione olistica



**“CRADLE TO GRAVE”
O
“CRADLE TO CRADLE”**

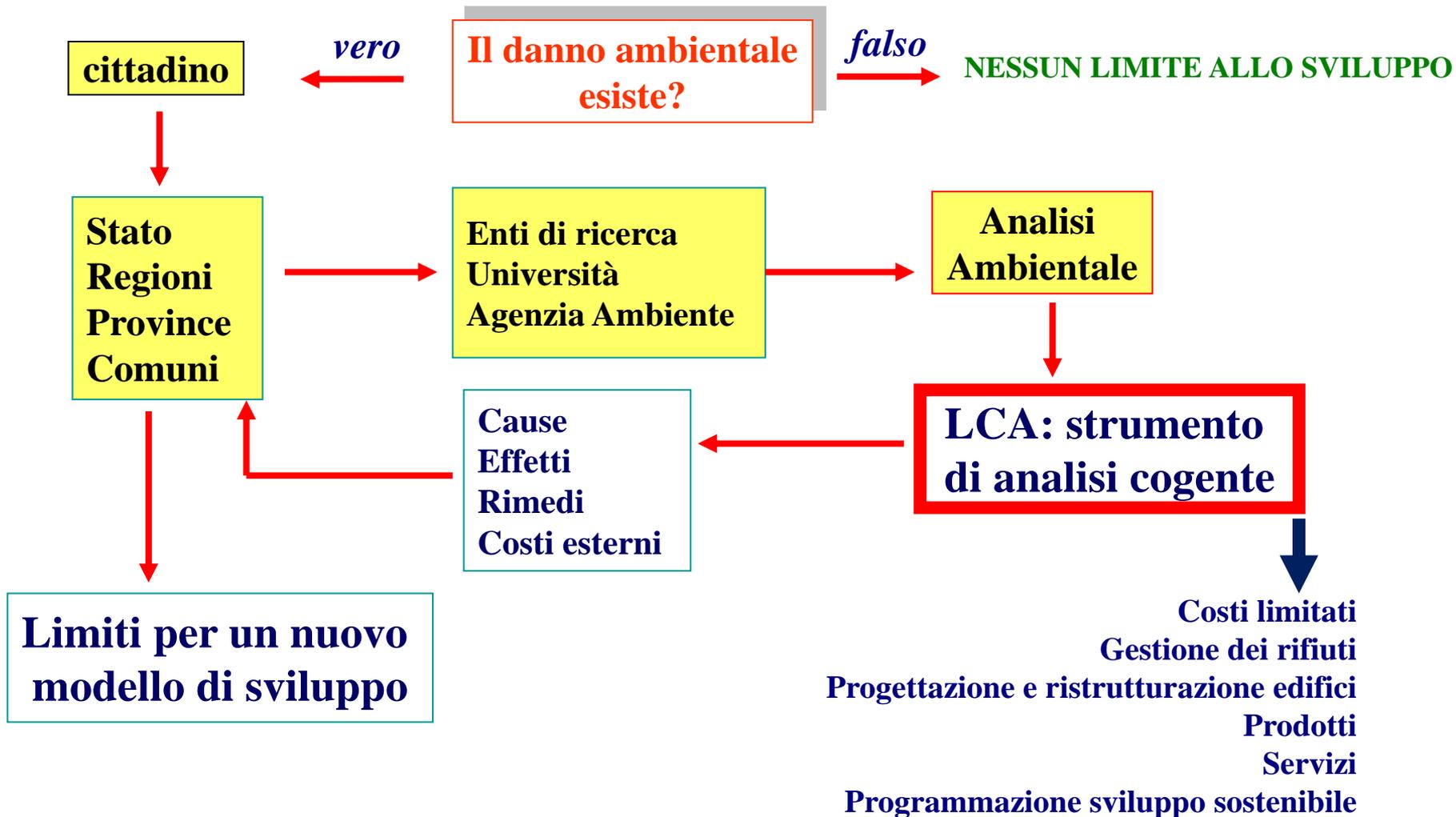
NOVITÀ
Considera l'intera filiera produttiva, non i singoli processi



*Esempio: LCA del latte
Industria alimentare
Industria del packaging
Industria della carta e
chimica
Trasporti*



La soluzione del problema ambientale: i protagonisti





Perché effettuare uno studio LCA?



Confronto

Per procurare una base scientifica di confronto ambientale tra i propri prodotti

R&D

Per identificare aree di interesse, come ad esempio il contributo all'effetto serra; per simulare gli effetti di modifiche dei processi

Design

Per facilitare l'adeguamento dei propri processi a cambiamenti nelle specifiche di prodotto o nella legislazione

Comunicazione

Per generare informazioni dettagliate ed affidabili sui processi anche con lo scopo di supportare azioni di etichettatura ecologica o di adesione a SGA

Strumento a supporto delle **imprese**



- ✓ Nascita di un'**etica d'impresa** che tenga conto sia dei costi economici che di quelli ambientali del prodotto o del servizio
- ✓ Miglioramento della qualità del prodotto o del servizio con conseguente aumento della **competitività**
- ✓ Riduzione del **costo di produzione** conseguente alla riduzione del consumo di energia e di materiali
- ✓ Progettazione ambientale dei prodotti (**Ecodesign**)
- ✓ Marketing ambientale (**Ecolabel**)
- ✓ Rapporto di fiducia con il cittadino utente e consumatore



Strumento a supporto della **pubblica amministrazione**



- ✓ Definizione della legislazione in campo ambientale
- ✓ Scelta della gestione dei rifiuti con minor impatto ambientale
- ✓ Scelta delle fonti energetiche a minor impatto ambientale
- ✓ Progettazione ecosostenibile degli edifici
- ✓ Riduzione delle spese sanitarie conseguenti ai danni subiti dall'uomo a causa delle emissioni inquinanti
- ✓ Riduzione dei danni prodotti dai servizi pubblici



Strumento di informazione rivolto al **cittadino**



- ✓ Migliore conoscenza dei danni ambientali dovuti alle attività umane
- ✓ Scelta cosciente del prodotto e del servizio
- ✓ Richiesta cosciente alla Pubblica Amministrazione di una legislazione per la difesa dell'ambiente
- ✓ Riduzione delle spese dovute ai costi ambientali
- ✓ Difesa della vita, sua e delle generazioni future



Le fasi LCA secondo le ISO 14040-14044





FASE 1: obiettivi e campo di applicazione



Obiettivo dello studio

motivazioni per eseguire lo studio;
applicazioni previste;
destinatari dello studio;



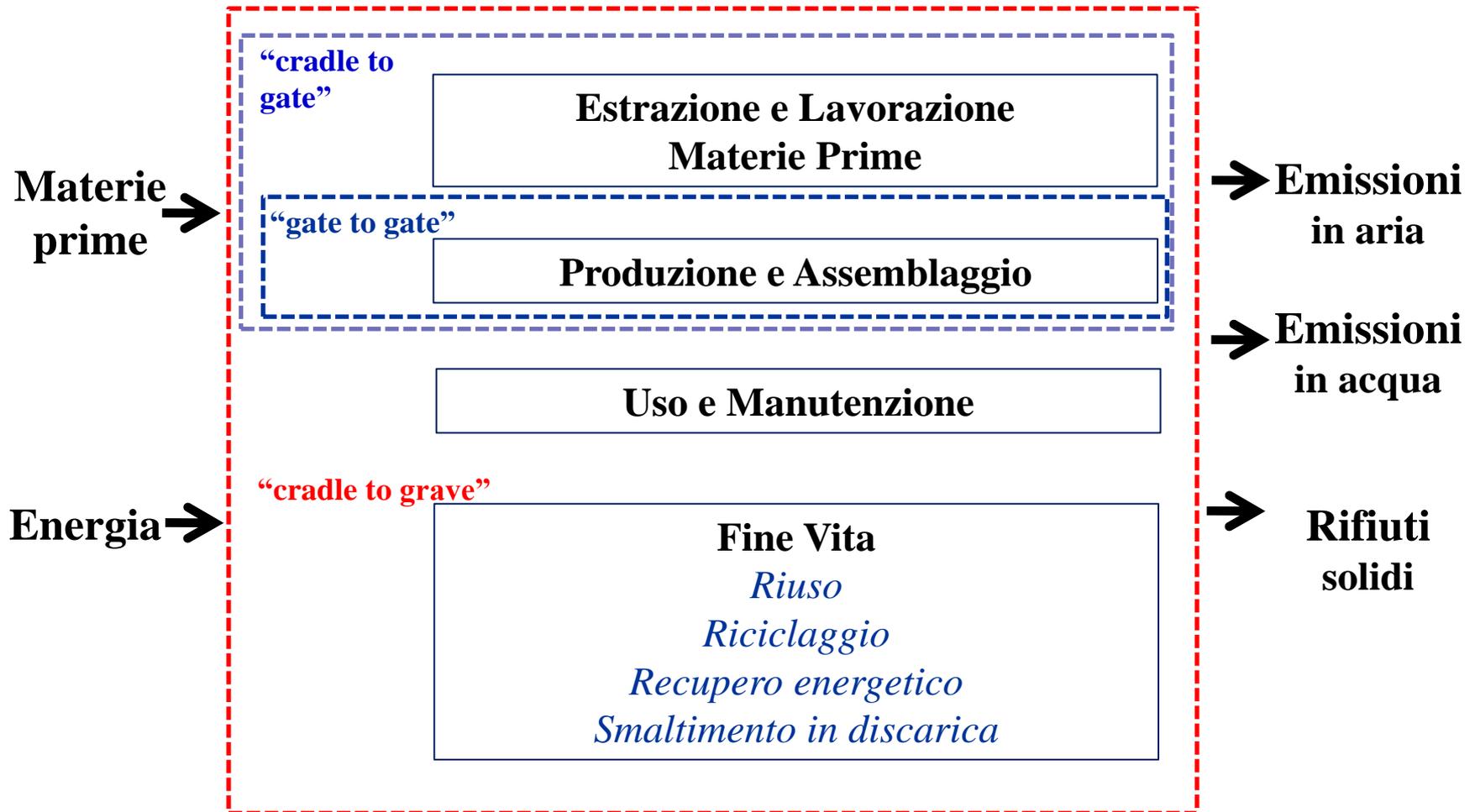
Campo di applicazione

funzioni del sistema
unità funzionale
descrizione della qualità dei dati utilizzati
confini iniziali del sistema-prodotto





I confini del sistema



FASE 2: analisi di inventario





FASE 2: analisi di inventario



Known outputs to technosphere. Products and co-products					
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	
Porcelain I	1	kg	Mass	100 %	
(Insert line here)					
Known outputs to technosphere. Avoided products					
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	
(Insert line here)					
Inputs					
Known inputs from nature (resources)					
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD
Kaolinite, in ground	in ground	0,45	kg	Undefined	
Feldspar, in ground	in ground	0,25	kg	Undefined	
Sand, unspecified, in ground	in ground	0,3	kg	Undefined	
Transformation, to industrial area	land	8,00E-6	m2	Undefined	
(Insert line here)					
Known inputs from technosphere (materials/fuels)					
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	
Natural gas I	0,118	kg	Undefined		
(Insert line here)					
Known inputs from technosphere (electricity/heat)					
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD	
Bulk carrier I	3,953	tkm	Undefined		
Truck I	0,2	tkm	Undefined		
(Insert line here)					
Outputs					
Emissions to air					
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD
Carbon dioxide		0,255	kg	Undefined	
Carbon monoxide		0,13	g	Undefined	
Nitrogen oxides		0,85	g	Undefined	
Sulfur dioxide		0,26	g	Undefined	
Sulfur oxides		0,03	g	Undefined	
Fluoride		0,11	g	Undefined	
(Insert line here)					
Emissions to water					
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD
Zinc, ion		0,0015	g	Undefined	
Barium		0,0004	g	Undefined	
Lead		0,0003	g	Undefined	
(Insert line here)					
Emissions to soil					
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD
(Insert line here)					
Final waste flows					
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD
Waste, inorganic		10	g	Undefined	
Chemical waste, unspecified		2,4	g	Undefined	

Unità funzionale

Risorse

Energie

Trasporti

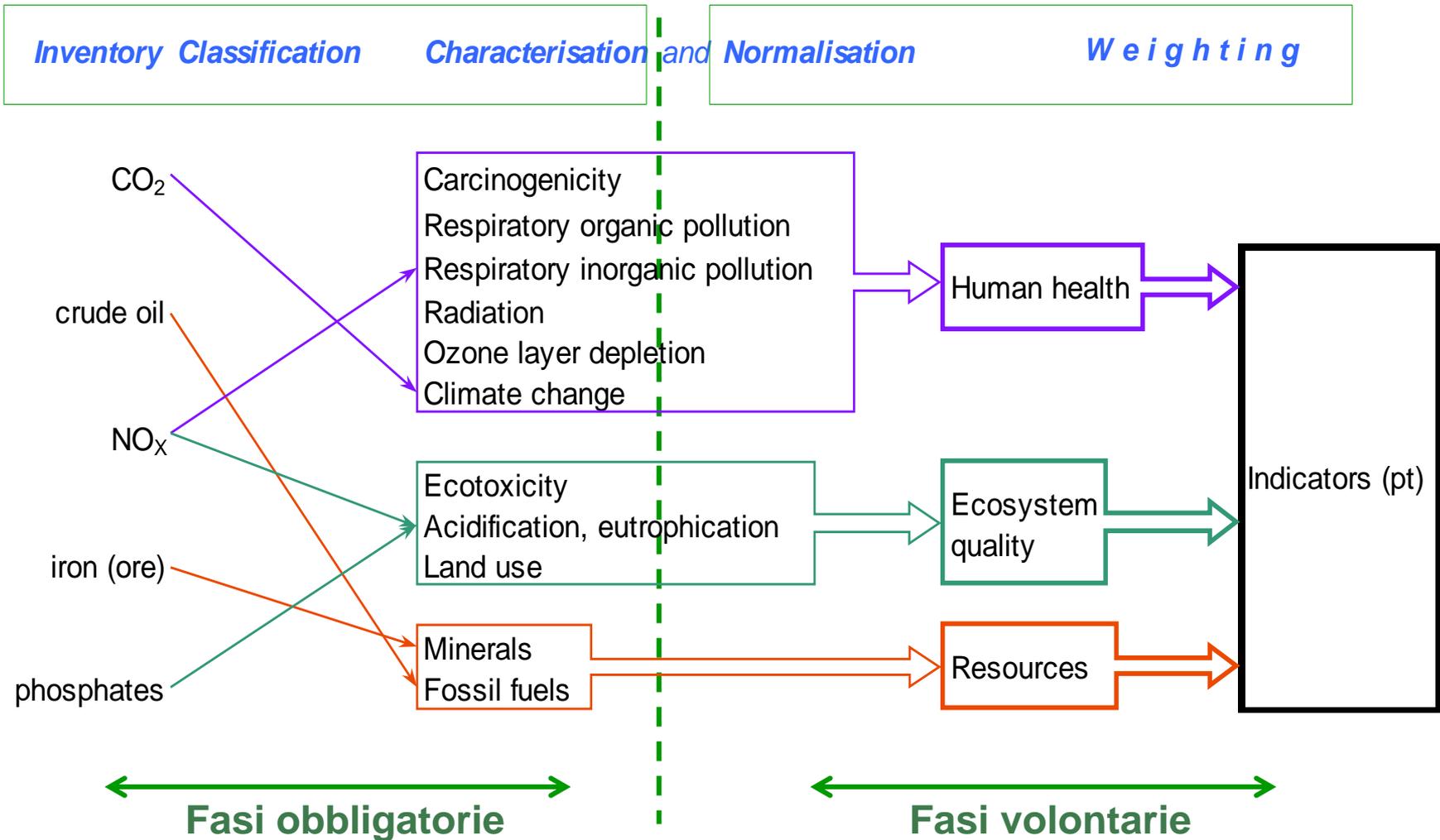
Emissioni in aria

Emissioni in acqua

Rifiuti



FASE 3: analisi degli impatti





Analisi degli impatti



Valuta gli impatti del sistema sull'ambiente esterno.

I dati dell'inventario vengono raggruppati in relazione agli effetti ambientali che producono, aggregati per tipologia di danno (indicatori) e attribuito loro un peso di importanza.

effetto ambientale	danno	peso
cambiamenti climatici	DANNO SULLA SALUTE UMANA HH	600
assottigliamento strato di ozono		
radiazioni ionizzanti		
effetti respiratori		
carcinogenesi		
effetti regionali sulla vegetazione	DANNO SULLA QUALITÀ DELL'ECOSISTEMA EQ	400
effetti locali sulla vegetazione		
acidificazione		
eutrofizzazione		
ecotossicità		
energia supplementare per estrazione minerali	DANNO ALLE RISORSE MINERALI E FOSSILI R	200
energia supplementare per estrazioni combustibili fossili		



LCIA: la valutazione e i metodi



IMPACT 2002+ (CH)

ECO-INDICATOR 99 (NL)

EPS 2000 (S) Environmental Priority Strategies in product development

EDIP 96 (DK) Environmental Design of Industrial Products

Salute umana [DALY]

- Sostanze cancerogene
- Effetti sull'apparato respiratorio
- Impoverimento strato di ozono
- Radiazioni

Salute umana [DALY]

- Sostanze cancerogene
- Effetti sull'apparato respiratorio
- Cambiamenti climatici
- Impoverimento strato di ozono
- Radiazioni

Salute umana [YOLL, Person year]

- Aspettativa di vita
- Malattia grave
- Malattia
- Disturbi gravi
- Disturbi

Categorie di impatto [gr eq.,m³,kg]

- Surriscaldamento globale
- Impoverimento strato di ozono
- Acidificazione
- Eutrofizzazione
- Smog fotochimico
- Ecotossicità cronica dell'acqua
- Ecotossicità acuta dell'acqua
- Ecotoxicity cronica del suolo
- Tossicità dell'aria per l'uomo
- Tossicità dell'acqua per l'uomo
- Tossicità del suolo per l'uomo
- Rifiuti indifferenziati
- Rifiuti
- Rifiuti radioattivi

Qualità dell'ecosistema [PDF*m²*yr]

- Acidificazione / eutrofizzazione
- Ecotossicità
- Uso del territorio

Qualità dell'ecosistema [PDF*m²*yr]

- Acidificazione / eutrofizzazione
- Ecotossicità
- Uso del territorio

Capacità produttiva dell'ecosistema [kg o H+eq]

- Capacità di crescita dei cereali
- Capacità di crescita del legno
- Produzione di pesce e bestiame
- Acidificazione del suolo
- Sottrazione di acqua per irrigare
- Sottrazione di acqua all'uso potabile

Climate Change [kgCO_{2eq}]

- Riscaldamento globale

Uso delle risorse [MJ Surplus]

- Minerali
- Combustibili fossili

Uso delle risorse [MJ]

- Minerali [MJ surplus]
- Combustibili fossili [MJ primary]

Risorse abiotiche [ELU]

- Impoverimento delle risorse

Biodiversità [NEX]

- Estinzione delle specie

Uso delle risorse [kg]

- Tutte le risorse

EDIP 96 (only resources)



LCIA: I metodi di valutazione e le unità di misura



Impact 2002+	Eco-Indicator 99	EPS 2000	EDIP 96
Salute umana [DALY]	Salute umana [DALY]	Salute umana [YOLL, Person year]	Categorie di impatto [m³,kg]
(Disability-Adjusted Life Years)	(Disability-Adjusted Life Years) Valuta il peso di una infermità dovuta ad invalidità o a morte prematura attribuibile ad una malattia causata dalla sostanza	(Years of Lost Life) Anni di vita persi dalla comunità mondiale a causa delle malattie prodotte dalla sostanza considerata	
Qualità dell'ecosistema [PDF*m²*yr]	Qualità dell'ecosistema [PDF*m²*yr]	Capacità produttiva dell'ecosistema [kg o H+eq]	
(Potentially Disappeared Fraction)	(Potentially Disappeared Fraction)	(kg o H+eq) di prodotto	(m3, kg di sost. equivalente) di prodotto
Uso delle risorse [MJ surplus] [MJ primary]	Valuta il danno arrecato da sostanze tossiche all' ecosistema e rappresenta la variazione della % di specie esposta ad una concentrazione => al NOEC (No observed effect concentration)	Risorse abiotiche [ELU/kg]	
[MJ surplus] Valuta il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di materiale [MJ primary] valuta l'energia primaria potenziale contenuta nelle materie prime dei materiali	Uso delle risorse [MJ Surplus]	(Environmental Load Unit = €) disponibilità a pagare per la sostituzione delle risorse abiotiche in esaurimento	
Cambiamenti climatici [kgCO_{2eq}]	Valuta il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di materiale (quello considerato) quando il suo consumo sarà 5 volte quello del 1990	Biodiversità [NEX]	Uso delle risorse [kg]
Kg di CO2 equivalenti		(Normalized Extinction of species) rapporto tra il numero di specie estinte a causa della sostanza e il numero totale di specie estinte in un anno	(kg) di prodotto EDIP 96 (resources only) Kg di risorsa

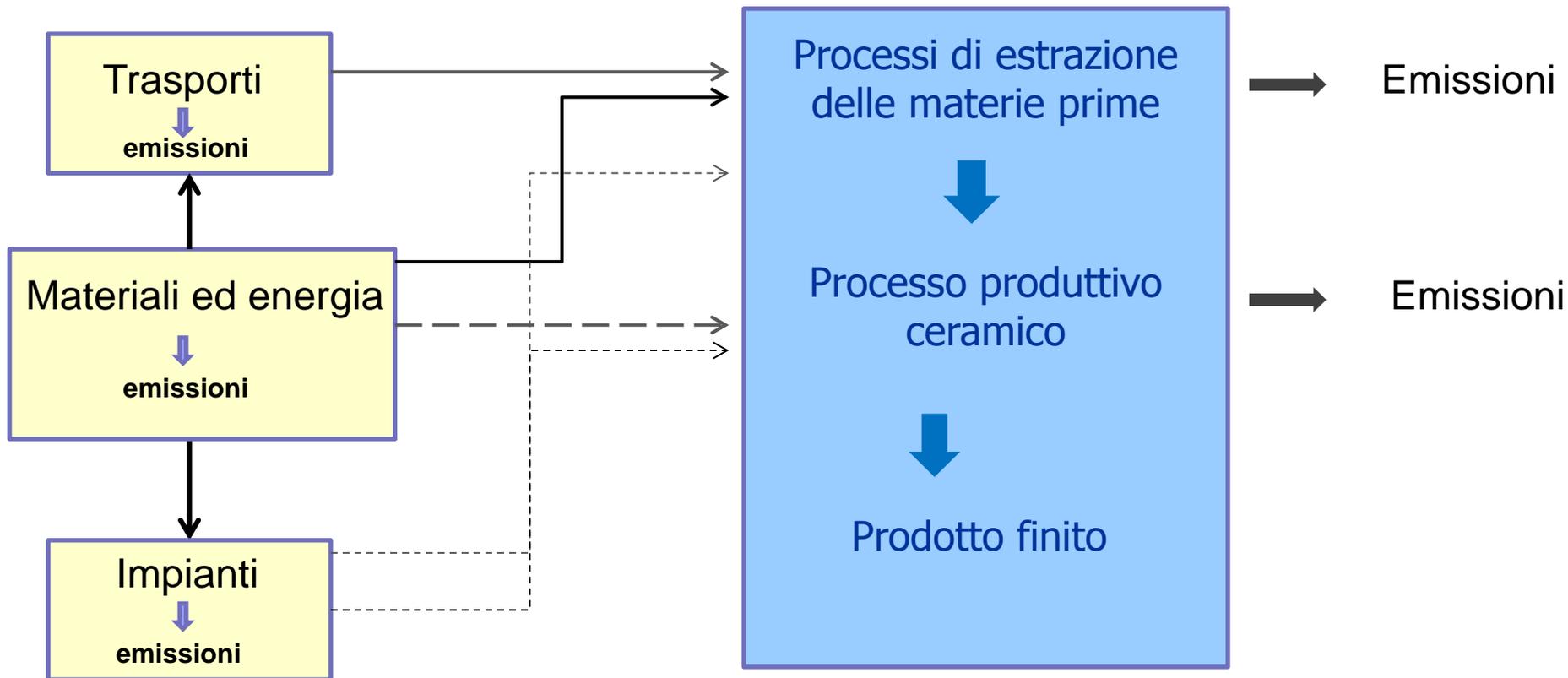


FASE 4: interpretazione e miglioramento





Caso studio: le piastrelle ceramiche



5 tipologie di piastrelle ceramiche:

Bicottura, Monoporosa, Monocottura, Grès porcellanato Tecnico, Grès porcellanato smaltato.

Unità Funzionale: 1 m² di prodotto finito

Software: SimaPro 7.3

Metodo di valutazione: IMPACT 2002+



Stato dell'arte: impatto ambientale



Resources: il danno costituisce il **35%** del totale ed è dovuto principalmente al consumo di Gas Naturale nel processo produttivo.

Climate Change: il danno costituisce il **34%** del totale ed è dovuto principalmente alle emissioni di CO₂ associate ai trasporti e al processo produttivo.

Human Health: il danno costituisce il **27%** del totale ed è dovuto principalmente a emissioni di NO_x generate dai trasporti.

Ecosystem Quality: il danno costituisce il **3,5%** del totale ed è dovuto principalmente a emissioni di NO_x generate dai trasporti.



Formulazione degli impasti



	Bico 1	Bico 2	MonoP 1	MonoP 2	MonoC 1	MonoC 2	GresS 1	GresS 2	GresT 1	GresT 2
Argilla (extra UE)	24	17	26	21	24	19	24	19	25	20
Argilla (UE)	17	10	17	12	16	11	18	13	19	14
Bentonite		0,5		0,5		1		1,5		1,5
Riolite RP1		13,5		9,5		10		10		
Caolino L 03-11										10
Na-Feld (Imp)	12	10	20	10	25	15	24	20	30	25
Na-K Feld (naz.)									13	13
K-eurite QMC	11	13	12	22	19	19	7			2,5
Na-K-eurite E 03-11						10	7	18		2,5
Sabbia Feld. (naz.)	16	16	15	15	16	15	20	18	11,5	10
Calcite	20	20	10	10				0,5		
Dolomite									1,5	1,5

1: impasti tradizionali

2 = impasti alternativi

(parziale sostituzione con materie prime nazionali)



	Bico 1	Bico 2	MonoP 1	MonoP 2	MonoC 1	MonoC 2	GresS 1	GresS 2	GresT 1	GresT 2
SiO₂	54,94	56,74	61,69	63,31	69,42	70,70	69,58	69,99	67,15	65,94
Al₂O₃	15,67	14,09	17,72	16,31	19,09	17,64	18,86	17,70	19,62	19,80
Fe₂O₃	0,57	0,59	0,62	0,68	0,65	0,74	0,66	0,71	0,57	0,65
TiO₂	0,67	0,46	0,72	0,57	0,70	0,55	0,72	0,56	0,76	0,62
MgO	0,30	0,25	0,32	0,30	0,33	0,35	0,34	0,36	0,61	0,61
CaO	11,54	11,50	5,98	5,92	0,42	0,42	0,47	0,79	1,03	1,01
Na₂O	1,38	1,27	2,16	1,25	2,65	2,09	2,80	2,88	3,59	3,29
K₂O	2,46	2,78	2,58	3,32	3,05	3,53	2,74	2,84	2,37	2,67
P.F.	12,15	12,03	7,88	7,99	3,44	3,64	3,52	3,86	4,01	5,17

1: impasti tradizionali

2 = impasti alternativi

(parziale sostituzione con materie prime nazionali)



Parametri Tecnologici



	Bico1	Bico2	MonoP 1	MonoP 2	MonoC 1	MonoC 2	GresS 1	GresS 2	GresT 1	GresT 2
Residuo a 63 µm	4,3	4,6	4,5	4,4	4,2	4,4	1,7	1,8	0,9	0,9
Pressatura (kg/cm²)	280	280	280	280	300	300	350	350	400	400
MRF essiccato (N/mm²)	2,81	2,43	3,04	2,88	2,91	2,82	3,02	2,94	3,12	3,05
Ciclo di cottura (°C/min)	1130 / 50	1130 / 50	1120 / 50	1120 / 50	1170 / 45	1170 / 45	1190 / 45	1190 / 45	1200 / 50	1200 / 50
Temperatura Buller (°B)	1040	1040	1030	1030	1085	1085	1100	1100	1130	1130
Ritiro lineare (%)	0,17	0,20	0,32	0,27	4,93	5,81	6,09	5,55	6,40	6,58
Assorbimento d'acqua (%)	15,83	16,72	12,70	13,62	2,74	2,38	0,64	0,80	0,04	0,05

1: impasti tradizionali

2 = impasti alternativi

(parziale sostituzione con materie prime nazionali)

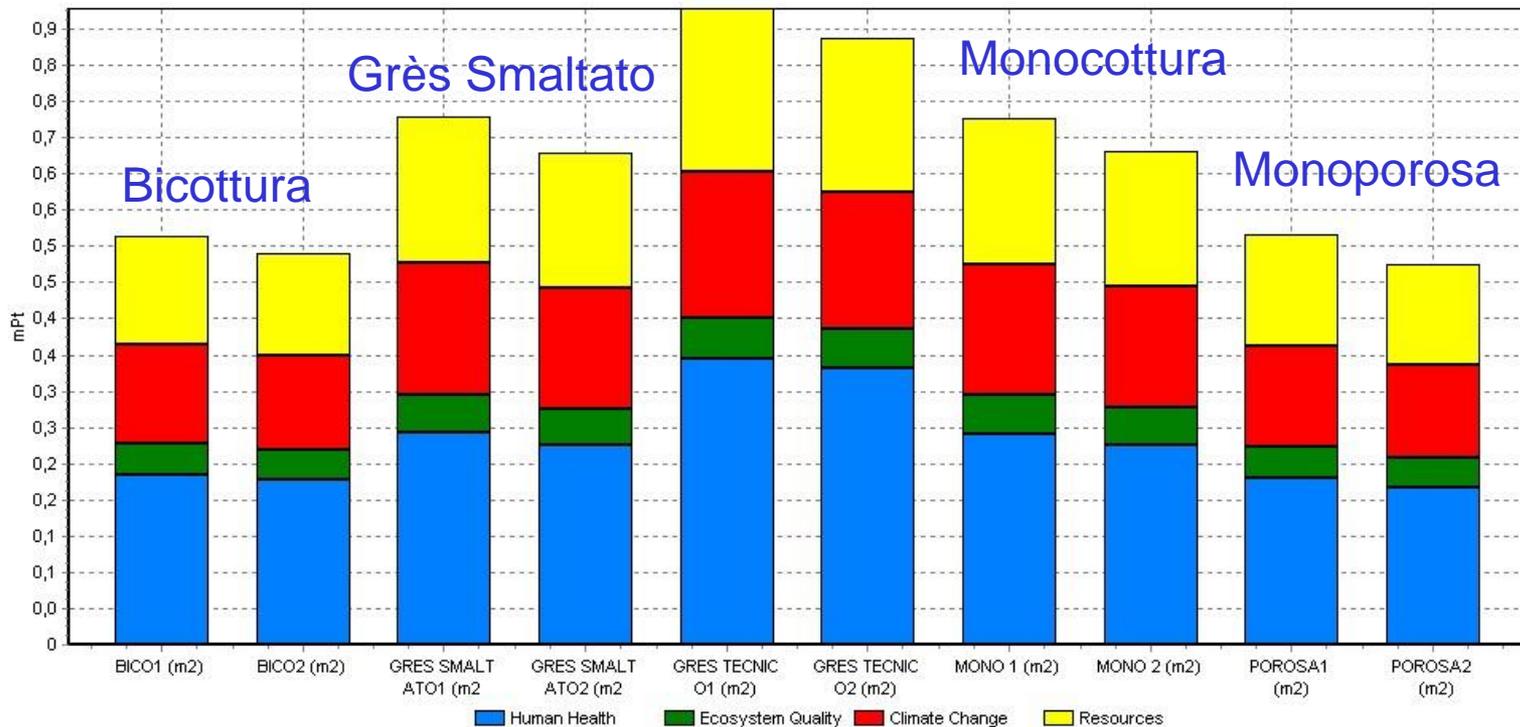


Analisi LCA comparativa: impasti



La riduzione dell'impatto ambientale, con riferimento alle sole fasi di estrazione e trasporto delle materie prime, è mediamente del **6 %**.

Grès Tecnico



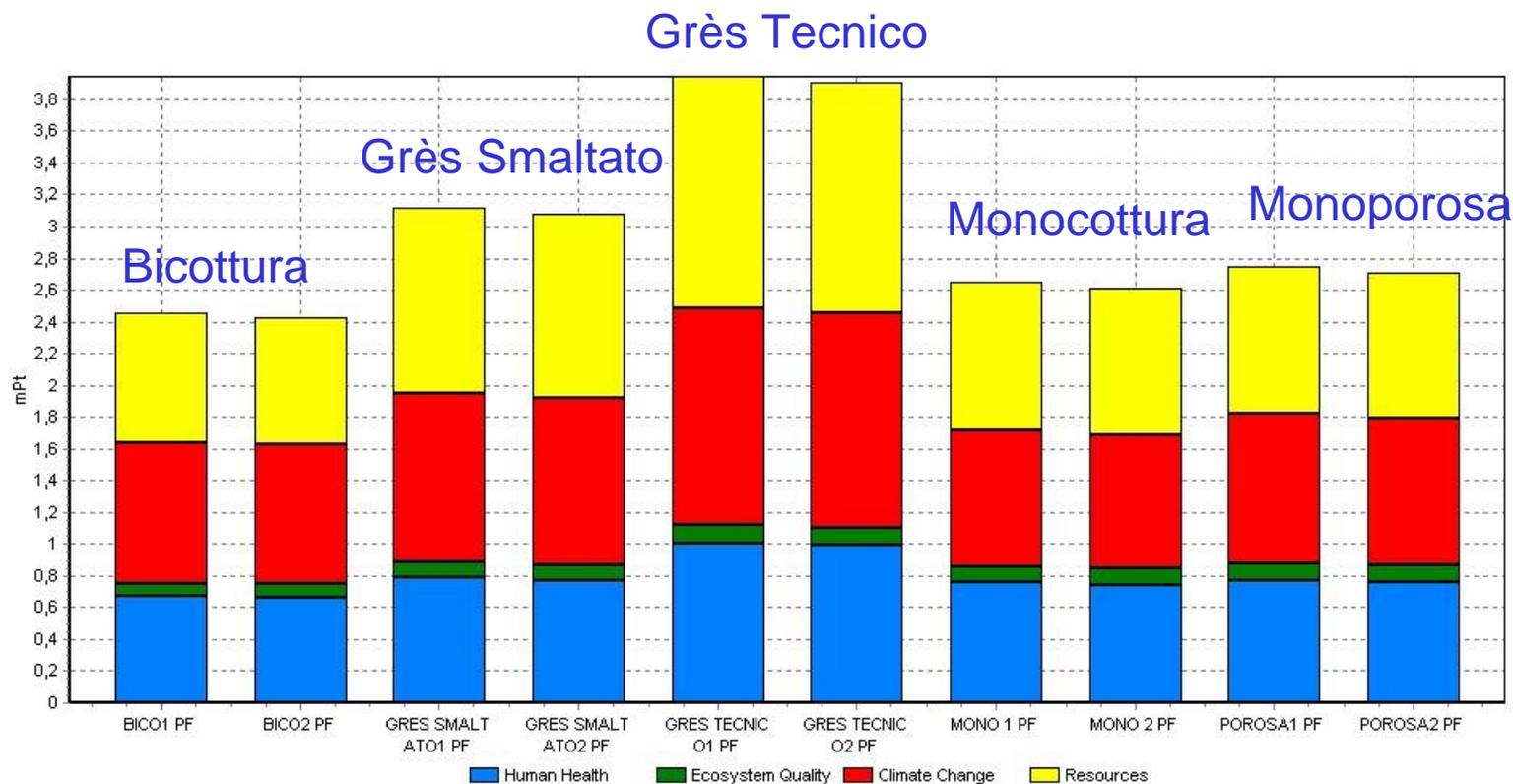
Confronto di processi; Metodo: IMPACT 2002+230807 V2.02 / IMPACT 2002+ / punteggio singolo



Analisi LCA comparativa: prodotto finito



La riduzione dell'impatto ambientale, con riferimento all'intero sistema studiato, è solo dell' **1.3 %**.



Confronto di processi; Metodo: IMPACT 2002+230807 V2.02 / IMPACT 2002+ / punteggio singolo



Effetti sull'impatto ambientale

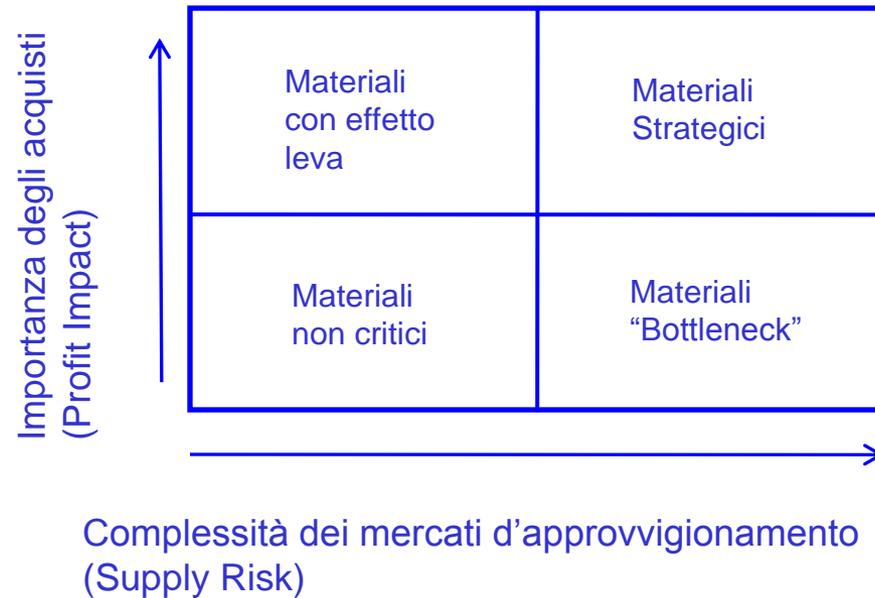
	Δ Bicottura	Δ Monoporosa	Δ Monocottura	Δ GresSmaltato	Δ Grès Tecnico	Δ Medio
Materie prime	-3.9 %	-7.3 %	-6.3 %	-7.3 %	-5.1 %	-6.0 %
Prodotto finito	-0.8 %	-1.5 %	-1.5 %	-1.7 %	-1.0 %	-1.3 %

Effetti sul costo industriale

	Δ Bicottura	Δ Monoporosa	Δ Monocottura	Δ GresSmaltato	Δ Grès Tecnico	Δ Medio
Materie prime	-14.3 %	-9.2 %	-7.1 %	-6.8 %	-6.9 %	-8.9 %
Prodotto finito	-2.5 %	-1.2 %	-0.4 %	-1.2 %	-1.1 %	-1.3 %



La matrice di Kraljic





Riposizionamento sulla matrice di Kraljic

Gli effetti del riposizionamento non modificano l'elevata criticità dell'attività di approvvigionamento delle materie prime per impasti.

Ipotesi di recupero di una formulazione adottata in passato e caratterizzata dall'elevata presenza di materie prime locali.



◆ Situazione iniziale

◆ Situazione con le modifiche apportate

Complessità dei mercati d'approvvigionamento
(Supply Risk)

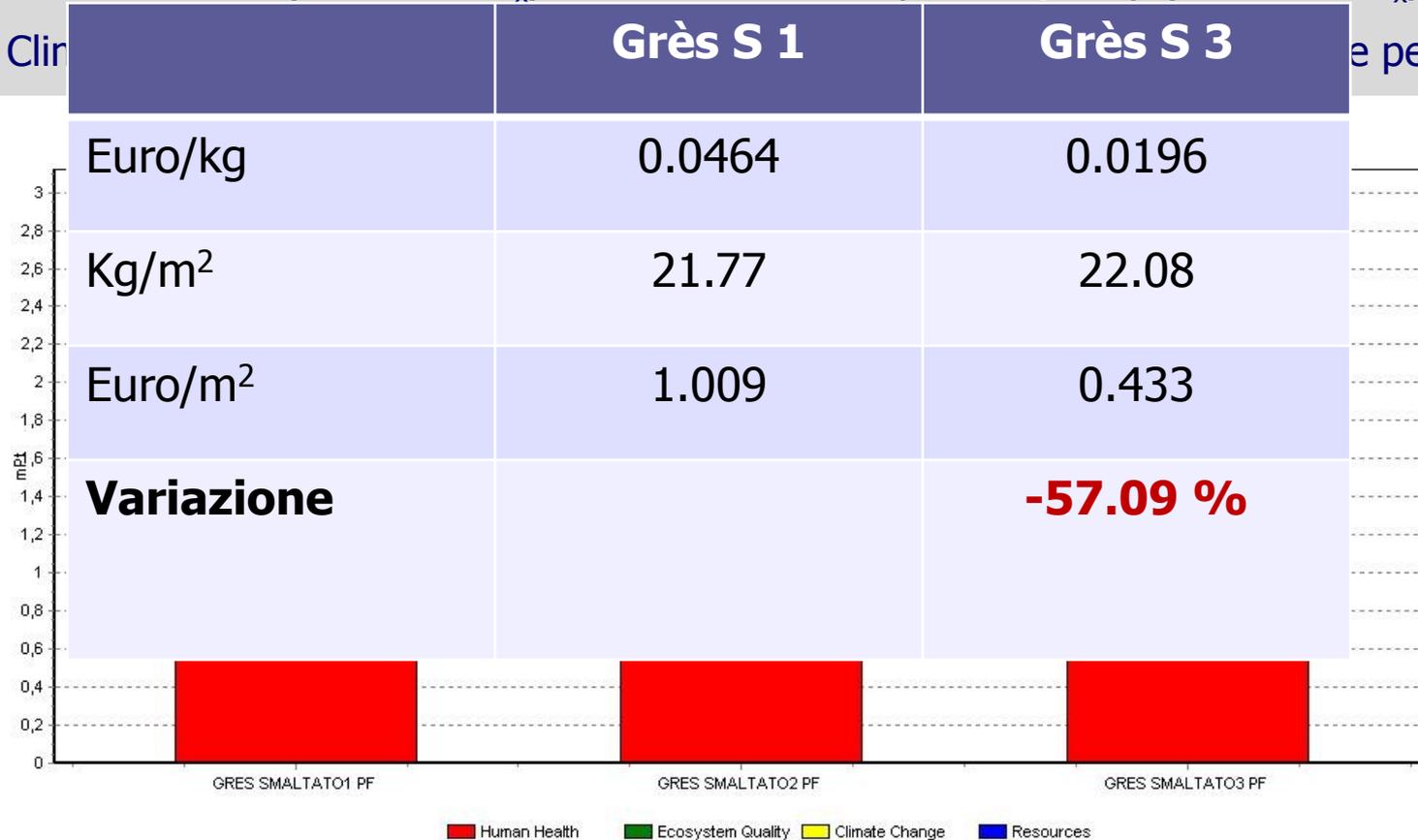


Argille locali: analisi LCA



La riduzione dell'impatto ambientale che si raggiunge è del **15,71%**.

- 23% Human Health (-30% di NO_x) 36% Ecosystem Quality (-30% di NO_x)
 - 12% Climate Change (-30% di NO_x) 15% Resources (-30% di NO_x)
- (rispetto al materiale di riferimento per trasporti)



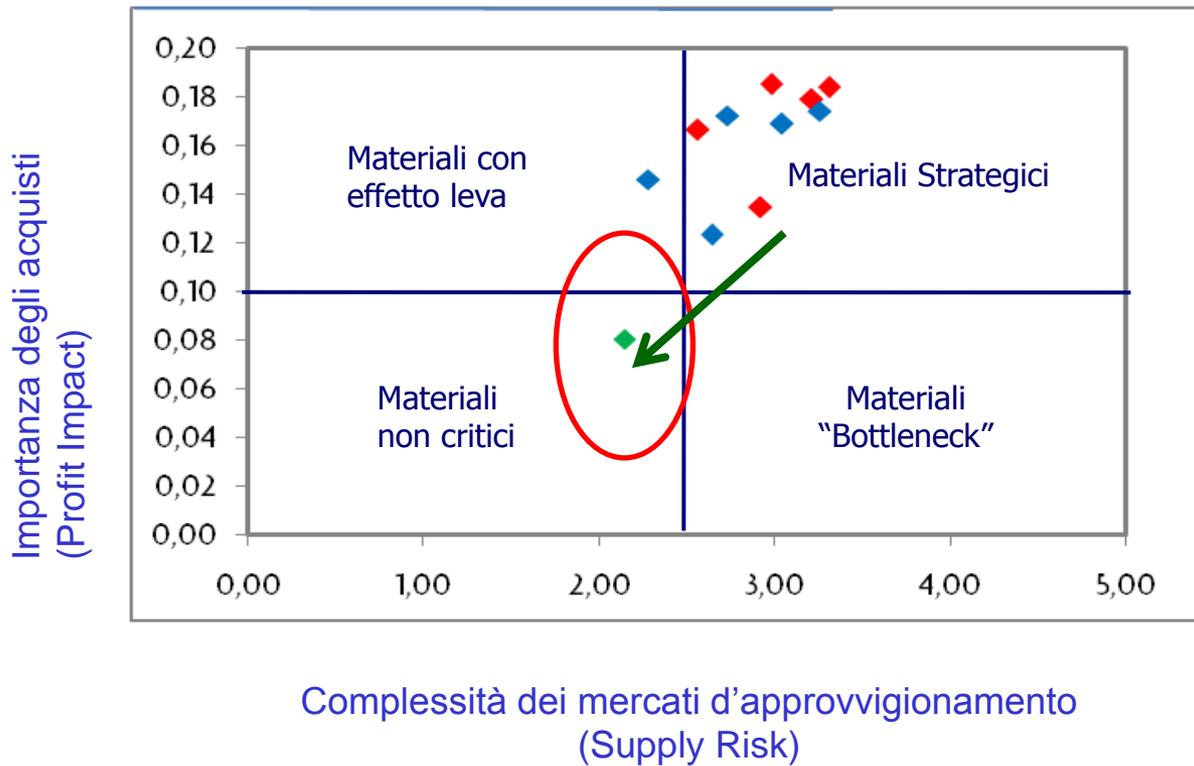
Confronto di 1 m2 materiale 'GRES SMALTATO1 PF' con 1 m2 materiale 'GRES SMALTATO2 PF' e con 1 m2 materiale 'GRES SMALTATO3 PF'; Metodo: IMPACT 2002+230807 V2.02 / IMPACT 2002+ / pui



Argille locali: effetti sull'approvvigionamento



Riposizionamento sulla matrice di Kraljic



- ◆ Situazione iniziale
- ◆ Situazione con le modifiche apportate
- ◆ Situazione con materie prime locali



Conclusioni



- ❖ L'analisi LCA ha mostrato che il trasporto delle materie prime costituisce il 20-25 % circa del danno ambientale prodotto dall'intero ciclo di vita, per tutte le categorie produttive.
- ❖ La parziale sostituzione delle materie prime di provenienza estera consente di ottenere prodotti accettabili, specialmente per le categorie smaltate, ma non produce benefici sostanziali sotto il profilo ambientale.
- ❖ Dalle modifiche ipotizzate si potrebbero ottenere benefici economici (minor costo dell'impasto) quantificabili mediamente in una diminuzione dell' 1,3% del costo industriale.
- ❖ Tali miglioramenti vanno valutati in un'ottica strategica (approvvigionamento) e non solo operativa (acquisti) cercando il miglior posizionamento possibile sulla Matrice di Portafoglio.



Conclusioni



- ❖ La strada indicata dall'LCA per minimizzare il costo totale dell'attività industriale, è quella dell'impiego prevalente di materie prime locali, ossia della **localizzazione ottimale dell'impianto** con l'intento di raggiungere il miglior compromesso tra un approvvigionamento a basso costo e a basso impatto ambientale e la sostenibilità del posizionamento strategico dell'azienda nei confronti dei fornitori.
- ❖ Sarebbe importante la creazione di una **governance distrettuale** che guidi gli sforzi e gli investimenti di tutte le imprese verso l'efficienza di costo, l'innovazione di valore, il presidio di mercato con un'adeguata politica di marca, la capacità di sviluppo e integrazione nei mercati internazionali.



Piastrella di grès porcellanato sottile - LAMINAM



EDILIZIA:

- pavimenti e rivestimenti
- pareti divisorie e attrezzate
- controsoffitti
- pareti ventilate
- rivestimenti coibentati
- gallerie
- metropolitane
- camere bianche



ARREDAMENTO:

- superfici per piani di bagni e cucine, armadi, tavoli, scrivanie, porte

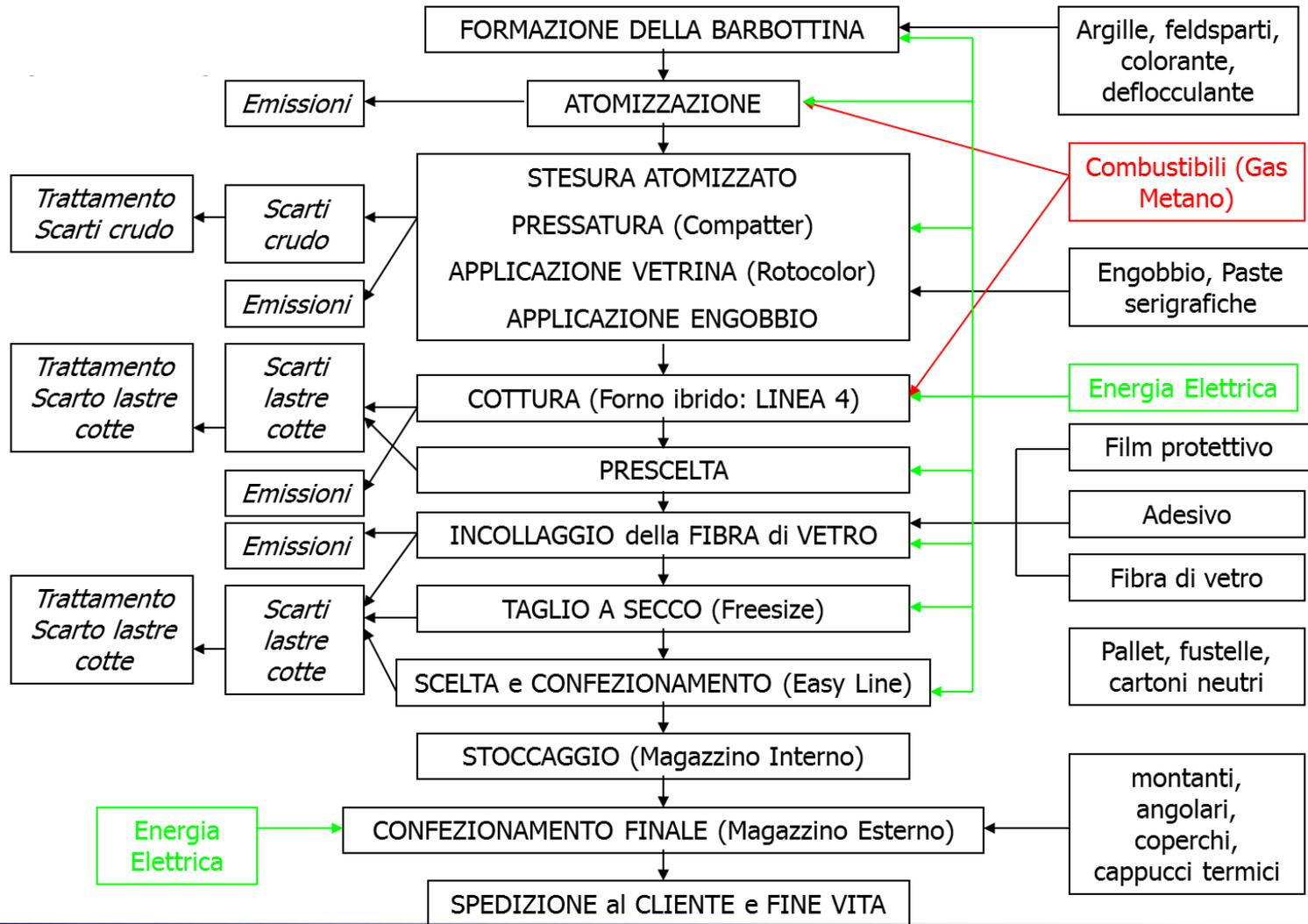


M. Pini, A.M. Ferrari, R. Gamberini, P. Neri, B. Rimini (2014). Life cycle assessment of a large, thin ceramic tile with advantageous technological properties. Int. J. LCA DOI 10.1007/s11367-014-0764-8

Anna Maria Ferrari



Flow chart – Laminam





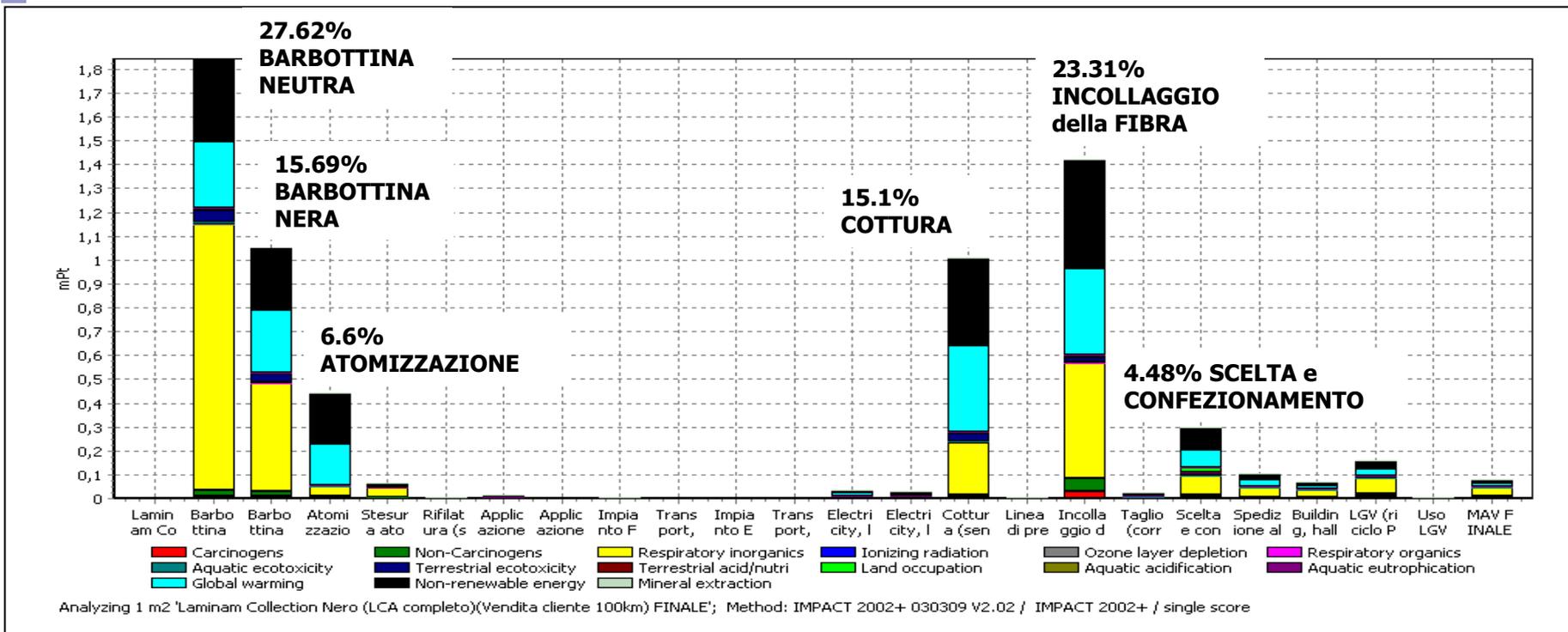
Analisi di Inventario



Products and coproducts	Cottura	Cottura (senza coprodotto)	522815.764kg	U.F. quantità annua in uscita dal forno per la produzione di 63180m ² /anno di Collection Nero: 522815,764kg. Quantità annua in ingresso: 582790,905kg
Electricity/ Heat	Consumo elettrico	Electricity, low voltage, at grid/It S	174837,272kWh	Energia elettrica consumata: 0.3kWh/kg 0.3kWh/kg*582790,905kg/anno= 174837.272kWh/anno
	Consumo gas metano	Natural gas furnace lowNox >100kW Europe (senza impianti)	932465,448MJ	Energia termica consumata: 0.044 Nm ³ /kg 0.044Nm ³ /kg*582790,905kg/a=25642,799Nm ³ /a nel processo della banca dati vengono bruciati 27500m ³ /TJ= 0.0275m ³ /MJ 25642,799Nm ³ /a/0.0275m ³ /MJ=932465,448MJ/a
	Impianto	Filtro a maniche	5,714E-3p	Il filtro a maniche ha una sezione trasversale pari ad 1/7 di quella del filtro inserito nel processo atomizzatore. Hp: filtro allocato ad 1/7 (p/(7*25anni*522815.764kg))*522815.764kg= 5.714E-3p
	Calce esausta	Quickline, milled, loose, at plant/Ch s	17899,922kg	La quantità raccolta nel periodo che va da settembre a dicembre del 2008 di polveri, fluoro e calce esausta è pari a: 6000kg. In un anno, vengono raccolte: 6000kg/4mesi*12mesi= 18000kg/anno Calce esausta a cui si sottrae il fluoro e le polveri: 18000kg- 50.039kg- 50.039kg= 17899.922kg/anno
	Imballaggio	Sacco da 25kg	720p	Numero di sacchi: 18000kg/anno/25kg/sacco=720sacchi
	Forno Ibrido	Impianto G (100000kg) peso: 100000kg, acciaio 40% refrattario 60% ,durata di vita: 25 anni	0.04p	p/(25anni*522815.764kg/anno))*522815.764kg/anno= 0.04p
	Trasporto del Forno	Transport,lorry 28t/CH S	8000 kgkm	Distanza da System a Laminam: 2km→ 100000kg*0.04p*2km= 8000kgkm
	Scarico del forno	Impianto E (5200kg) peso: 5200kg, acciaio 99% plastica 1%, durata di vita: 25 anni	0.021p	Scarico forno simile all' impianto di tipo E, ma di Peso= 2700kg ((p/5200kg)*2700kg/(25anni*522815.764kg/anno))*522815.764kg/anno= 0.021p
	Trasporto dello Scarico forno	Transport,lorry 28t/CH S	216 kgkm	Distanza da System a Laminam: 2km→ 2700kg*0.04p*2km= 216kgkm
	Scarti lastre	Riciclo degli scarti di cotture e prescelta (con coprodotto)	15888,916kg	Scarti di lastre cotte di collection nero: (316370 kg/anno/1258000m ² /anno)*63180m ² /anno= 15888.916kg/anno
Emissions to air	Emissioni in aria	Particulates, <2.5 µm Particulates, >2.5 µm, and > 10 µm Particulates, > 10 µm	0.168kg 0.168kg 0.168kg	Quantità emessa nell'aria: 30µg/Nm ³ - 30µg/Nm ³ *0,99= 0,3µg/Nm ³ 0,3mg/Nm ³ *3000Nm ³ /h/561,6h/anno= 0,505kg/a Hp: ripartizione equivalente delle polveri emesse in atmosfera 0,505kg/anno/3= 0,168kg/anno
	Emissioni di Fluoro	Fluoride	0.505kg	Fluoro: Quantità emessa nell'aria: 30mg/Nm ³ - 30mg/Nm ³ *0,99= 0,3mg/Nm ³ 0,3mg/Nm ³ *3000Nm ³ /h/561,6h/anno= 0,505kg/anno
Waste and emission to treatment	Discarica della calce esausta+polveri+fluoro e sacco che li contiene	Disposal, gypsum, 19.4% water, to inert material landfill/CH S	18100,512kg	Discarica per materiali inerti 18000kg+720sacchi*0.1396kg/sacco= 18100.512kg/anno



Valutazione del danno ambientale



<p>IMPACT 2002+</p>	<p>0.0067</p>	<ul style="list-style-type: none"> • HUMAN HEALTH 43.28 • RESOURCES 28.18 • CLIMATE CHANGE 24.69 • ECOSYSTEM QUALITY 3.85 	<p>Barbottina neutra finale 27.62%</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Respiratory inorganics: 29.39% <i>Particulates, <2.5 μm</i> 25.81% <i>Nitrogen oxide</i> • Non-renewable energy: 38.47% <i>Gas, natural, in ground</i> 31.31% <i>Oil, crude, in ground</i> • Global warming: 88.56% <i>Carbon dioxide, fossil</i>
----------------------------	----------------------	---	--	---



Analisi delle criticità ambientali



1. Minimizzare l'utilizzo di materia prima limitando gli scarti e quindi il quantitativo di tutti i materiali necessari alla produzione del Collection Nero, in particolare modo i più impattanti:
 - adesivo bicomponente → poliuretano e isocianato MDI
 - colorante nero → ossido misto di ferro-cromo
 - deflocculante → acido acrilico
2. Razionalizzare la rete di fornitura, cercando di minimizzare la distanza azienda-fornitore.
3. Eliminazione dei dispendi energetici: individuare le fasi critiche, caratterizzate da un consumo eccessivo di energia.
4. Analisi dei processi di fine vita del prodotto o di componenti del processo, al fine di favorire l'uso di materie prime seconde a minore impatto ambientale.



Piastrella di grès porcellanato sottile vs tradizionale



Caratteristiche	Piastrella sottile	Piastrella tradizionale	Unità di misura
Dimensioni piastrella sottile	3000x1000	300x600	mm
Spessore piastrella sottile	3.5	~10.5	mm
Peso al m ²	8.2	~24	kg/m ²
m ² di piastrelle stoccate su 1 Pallet	75	60.48	m ² /pallet
kg di piastrelle stoccate su 1 Pallet	615	1451.52	Kg/pallet
Assorbimento d'acqua	Average value 0.1	Average value 0.2	%
Resistenza a flessione	Average value 90	Average value 35	N/mm ²
Resistenza all'abrasione	≤ 175	≤ 130	mm ³
Coefficiente di dilatazione termica lineare (10-6/°C)	6.6	6.5	
Resistenza agli attacchi chimici	Average value 0.8	Average value 0.75	



Sottile



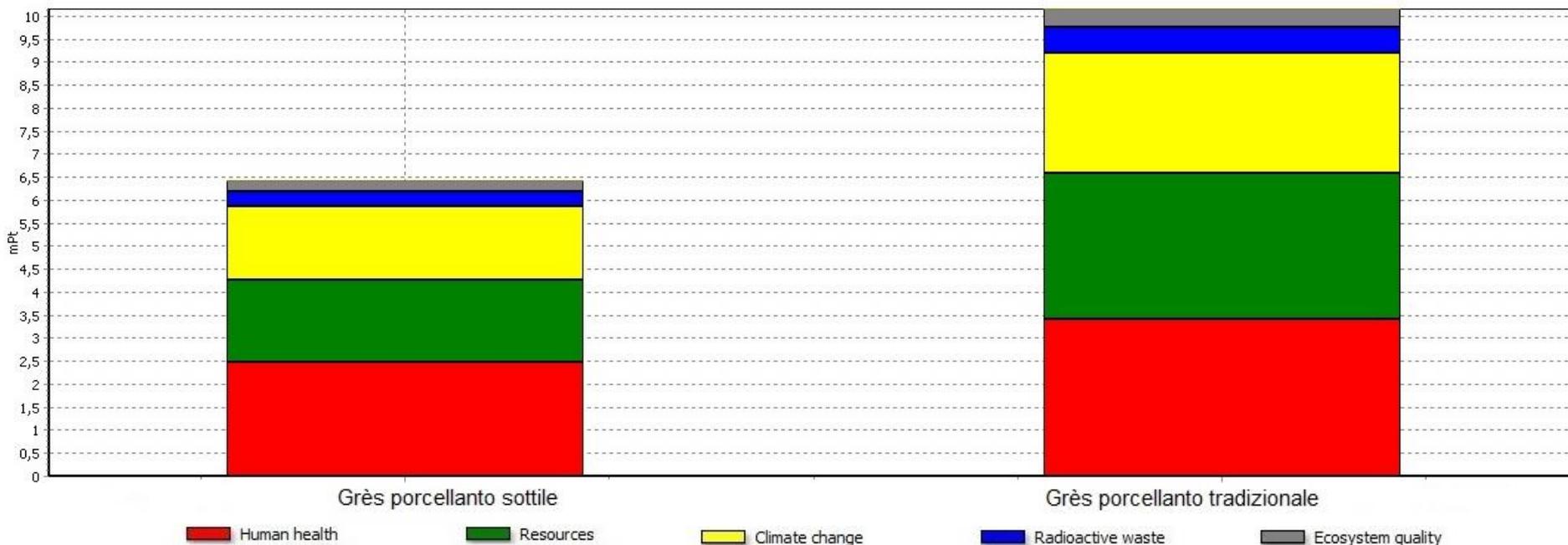
Tradizionale



Analisi LCA comparativa



La riduzione dell'impatto ambientale che si raggiunge è del 36.6%



- 43.7% **Resources** (-57.4% Gas naturale → En. termica fase di cottura)
- 41.9% **Radioactive waste** (-41.9% Volume occupato da scorie a bassa radioattività → En. Elettrica)
- 38.5% **Ecosystem Quality** (-28.8% Zinco nel suolo → Trasporti)
- 38.9% **Climate change** (-44.7% CO₂ → En. termica fase di cottura)
- 28.9% **Human Health** (-36.2% NOx → Trasporti)



Life cycle assessment di grès porcellanato smaltato funzionalizzato con nano-TiO₂

M. Pini, R. Rosa, P. Neri, F. Bondioli, A.M. Ferrari. (2014) Environmental assessment of a bottom-up hydrolytic synthesis of TiO₂ nanoparticles. Green Chemistry. DOI: 10.1039/c4gc00919c

Martina Pini, Paolo Neri, Rita Montecchi, Anna Maria Ferrari, 247nd ACS National Meeting & Exposition, Session: Nanotechnology for Sustainable Resources and Environmental Science, Dallas, Texas March 16-20, 2014, "Life Cycle Assessment of nanoTiO₂ functionalized porcelainized stoneware tiles".

Martina Pini, Beatrice Salieri, Anna Maria Ferrari, Bernd Nowack and Roland Hirschler. (2014) Nanosafe November 18-20, 2014, Grenoble, France, "Framework For Human Health Characterization Factor Calculation Of TiO₂ Nanoparticles".



Il progetto ARACNE

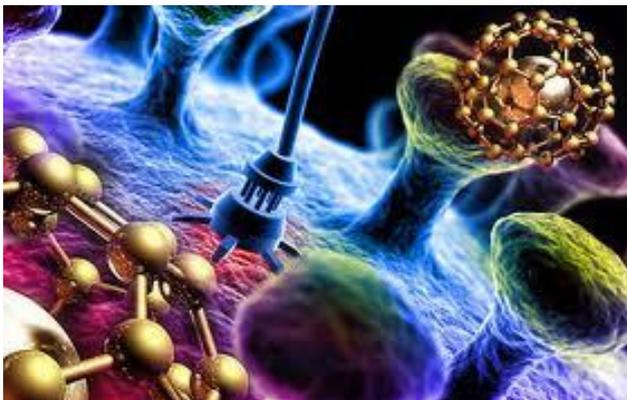


Progetto ARACNE

 ARACNE

www.aracne.emr.it

- tre aziende emiliano-romagnole (operanti nel settore della fornitura all'industria delle costruzioni)
- ACIMAC
- INTERMECH (Modena)
- MATMEC (Bologna)
- EN&TECH (Reggio Emilia)



Eco-design di nuovi materiali e soluzioni applicative aventi proprietà tecnologiche superiori a quelle attuali, ottenute rispettando i vincoli della sostenibilità ambientale ed economica, sia in fase di ricerca che in quella successiva di scale-up.



Obiettivi dello studio



- Valutare l'impatto ambientale dell'applicazione di uno smalto funzionalizzato con nanoparticelle di TiO_2 ad un grès porcellanato.
- Definire le principali criticità di processo, minimizzare gli impatti ambientali e definire il danno potenziale delle emissioni di nano- TiO_2 sulla salute umana e sull'ambiente.

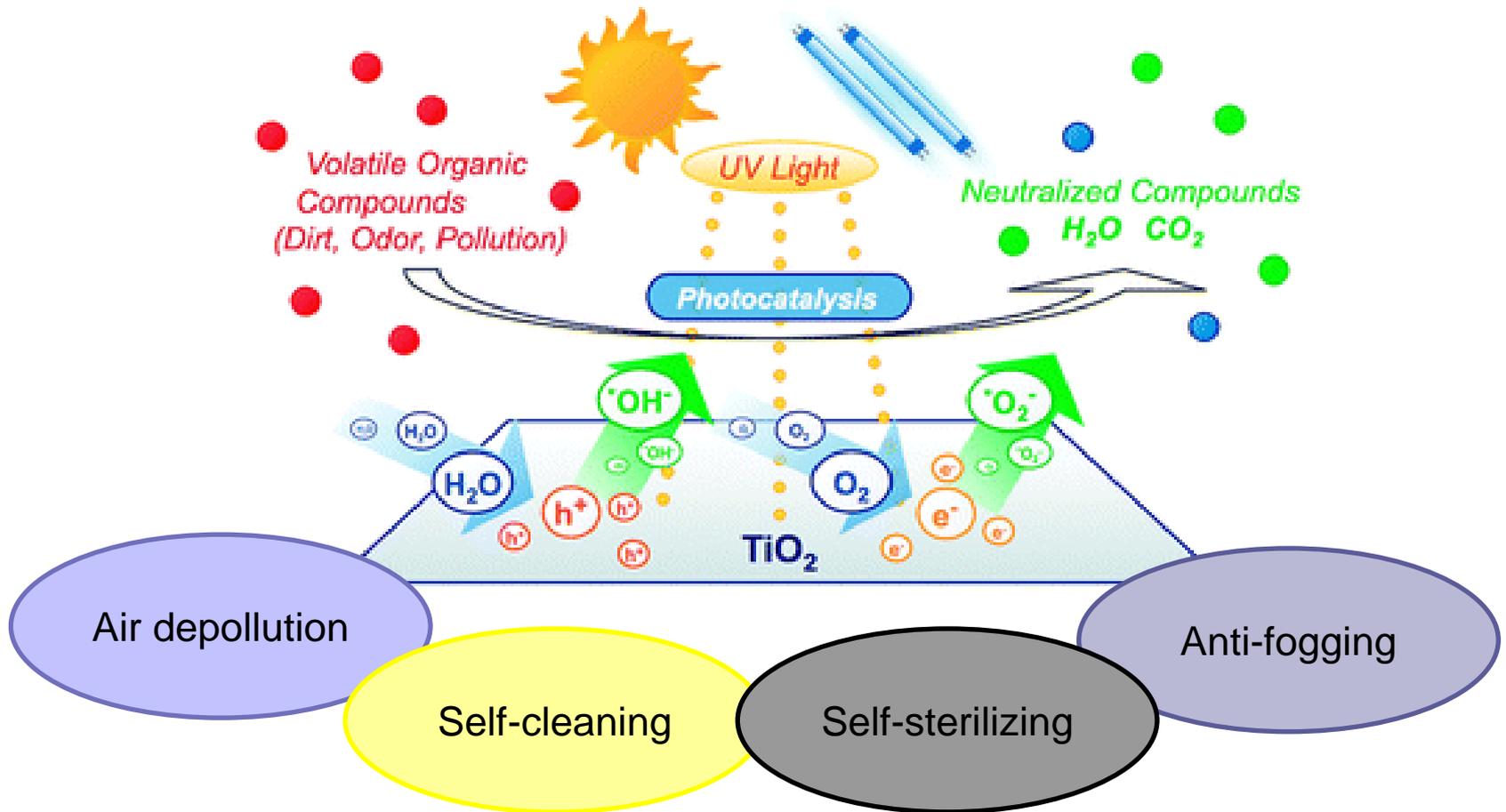


Anna Maria Ferrari



Proprietà delle nanoparticelle di TiO_2

Fotocatalisi e superidrofilia





Superfici autopulenti

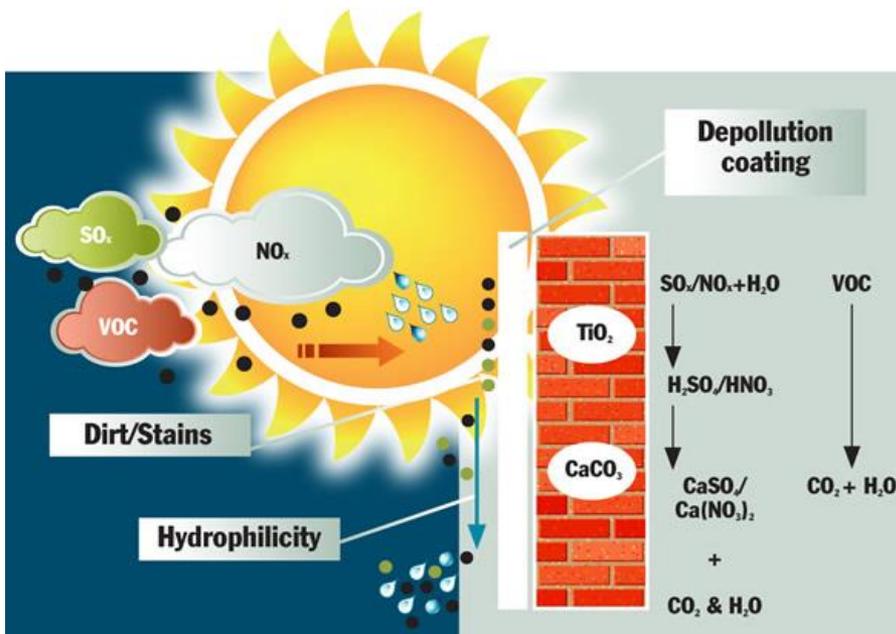


Photo-induced hydrophilic TiO_2 surface

Source: J. Chen, C.-sun Poon / *Building and Environment* 44 (2009) 1899–1906

Disinquinamento dell'aria



Pollution removal mechanism of TiO_2 photocatalysis

Source: J. Chen, C.-sun Poon / *Building and Environment* 44 (2009) 1899–1906



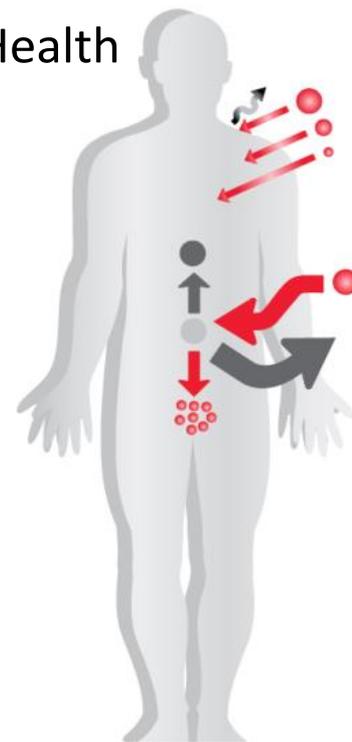
Nano-TiO₂: tossica o innocua?



Incertezze e mancanza di conoscenza

sul comportamento e sulla tossicità delle nanoparticelle:

tentativo preliminare di introdurre nella LCIA il danno sulla Human Health generato dalle emissioni in aria di nanoparticelle di titania



References	
NIOSH <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>	0.3 mg/m³ = occupational exposure limits for ultrafine TiO₂ (concentration that would be sufficient to reducing the risk of lung tumors to a 1/1000 lifetime excess risk level)
IARC <i>International Agency for Research on Cancer</i>	TiO₂ in Group 2B = “possibly carcinogenic to humans” (sufficient evidence of carcinogenicity in experimental animals and inadequate evidence of carcinogenicity in humans)

Source: *Life cycle assessment of nanoTiO₂ coated self-cleaning float glass*,
M.Pini, A.M.Ferrari, E.I.C.Gonzales, P.Neri, C.Siligardi / *Proceeding of Nanotech 2013*



Determinazione del **danno su Human Health** causato dalle emissioni indoor e outdoor di nanoTiO₂

Collaborazione: EMPA - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Technology and Society Laboratory, ERAM Group - St. Gallen, Switzerland

	Outdoor emissions	Indoor/Inhaled emissions
Characterization factor	0.109 kg C ₂ H ₃ Cl/kg nanoTiO ₂	1kg C ₂ H ₃ Cl/kg nanoTiO ₂
Damage assessment factor	2.8 E-6 DALY/kg*	5.5 DALY/kg
New substance	Particulates, <100 nm	Particulates, <100 nm indoor/inhaled
Impact category	Carcinogens*	Carcinogens inhaled
Damage category	Human Health*	Carcinogens inhaled
Data input	emissions not captured by air filter and emissions not inhaled by workers	emissions not captured by face mask and so inhaled by workers

* Unchanged with respect to IMPACT 2002+

Source: Framework for human health characterization factor calculation of TiO₂ nanoparticles, M. Pini, A.M. Ferrari, B. Salieri, R. Hischier, B. Nowack
Nanosafe 2014

Benefici dovuti all'attività fotocatalitica e alla supridrofilia

Riduzione di emissioni in aria di NO_x:

4.01 mg h⁻¹ m⁻² di NO_x rimossi

Poon CS et al., Construction and Building Materials 2006;21(8):1746–53

Riduzione di emissioni in aria di Toluene (VOC):

100 mg h⁻¹ m⁻² of Toluene rimossi

Demeestere et al., Building and Environment 2008;43(4):406–14

LCA di una sospensione di nano-TiO₂



La sospensione di nano-TiO₂ usata per funzionalizzare la piastrella di grès porcellanato è stata ottenuta da un processo di sintesi bottom up.

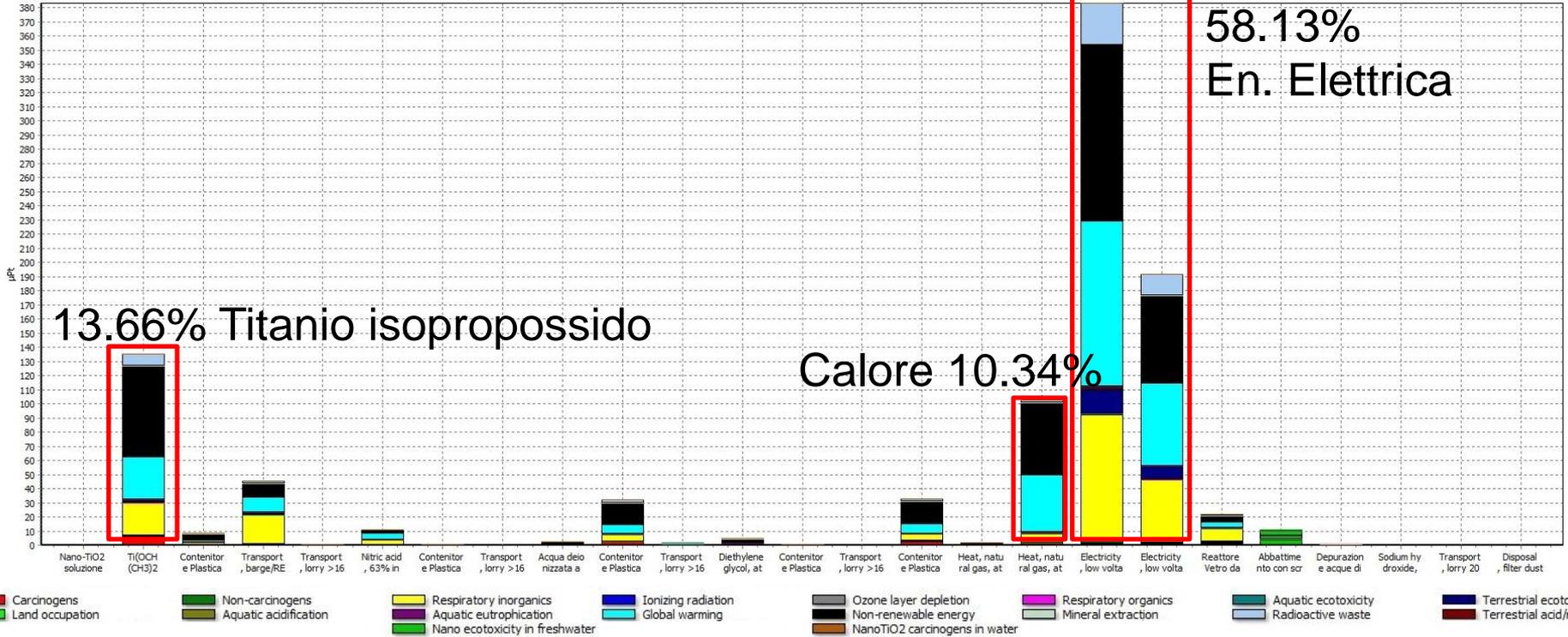
Composition	
Titanium isopropoxide (TIP)	23.22%
Water (H ₂ O)	73.40%
Nitric Acid (HNO ₃) 63%	2.38%
Polyethylene glycol (PEG)	1%
Total	100%
Recycled Isopropanol Coprodukt	12%
Yield	88%
Products	
TiO₂ nanoparticles + H₂O + HNO₃ + PEG	85.71%
H₂O deionized Coprodukt	14.29%

Physical and Chemical properties	+/-	
TiO₂ concentration (%w/w)	0.5	6
Density (g/ml)	0.05	1.15
Viscosity 20°C (mPa/s)	0.1	2
Nanoparticle size (nm)	-	30
Polydispersity index (pdl)	0.05	0.25
pH	0.5	5.5

Supplier: Colorobbia Italia spa

US 2008/0317959 A1, Dec. 25, 2008. Method for preparation of aqueous dispersion of TiO₂ in the form nanoparticles, and dispersions obtainable with this method. Inventors: Baldi G. et al.

LCIA of 1kg of sospensione di nano-TiO₂



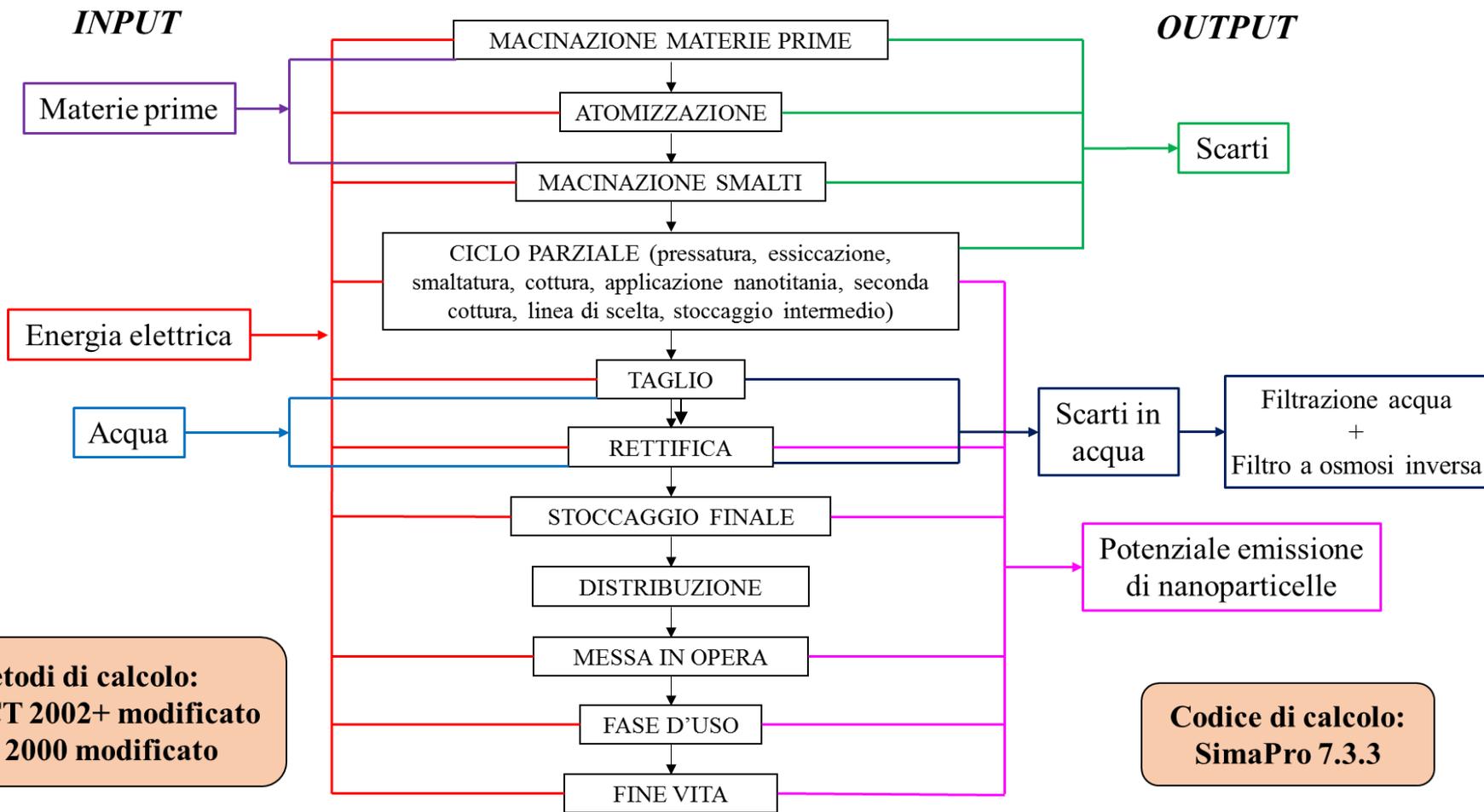
Impact category	Amount
Non-renewable energy	36.6%
Global warming	29.2%
Respiratory inorganics	21.3%
NanoTiO ₂ ecotoxicity in freshwater	3.4E-6%
NanoTiO ₂ carcinogens in freshwater	6.75E-7%

Danno totale: 0.989 mPt

M. Pini, R. Rosa, P. Neri, F. Bondioli, A.M. Ferrari. (2014) Environmental assessment of a bottom-up hydrolytic synthesis of TiO₂ nanoparticles. Green Chemistry. DOI: 10.1039/c4gc00919c

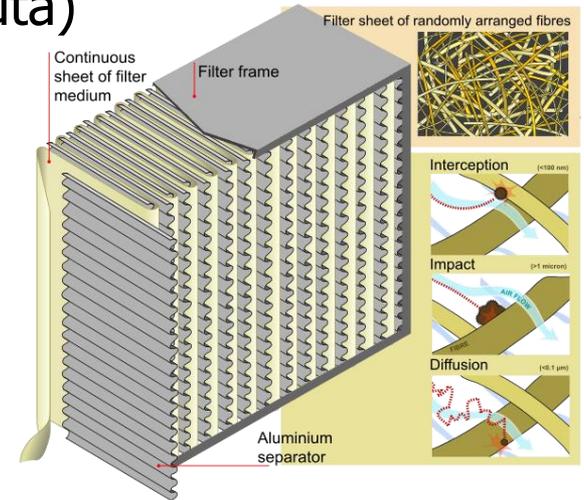


Flow chart del processo di funzionalizzazione del grès porcellanato con nanoTiO₂



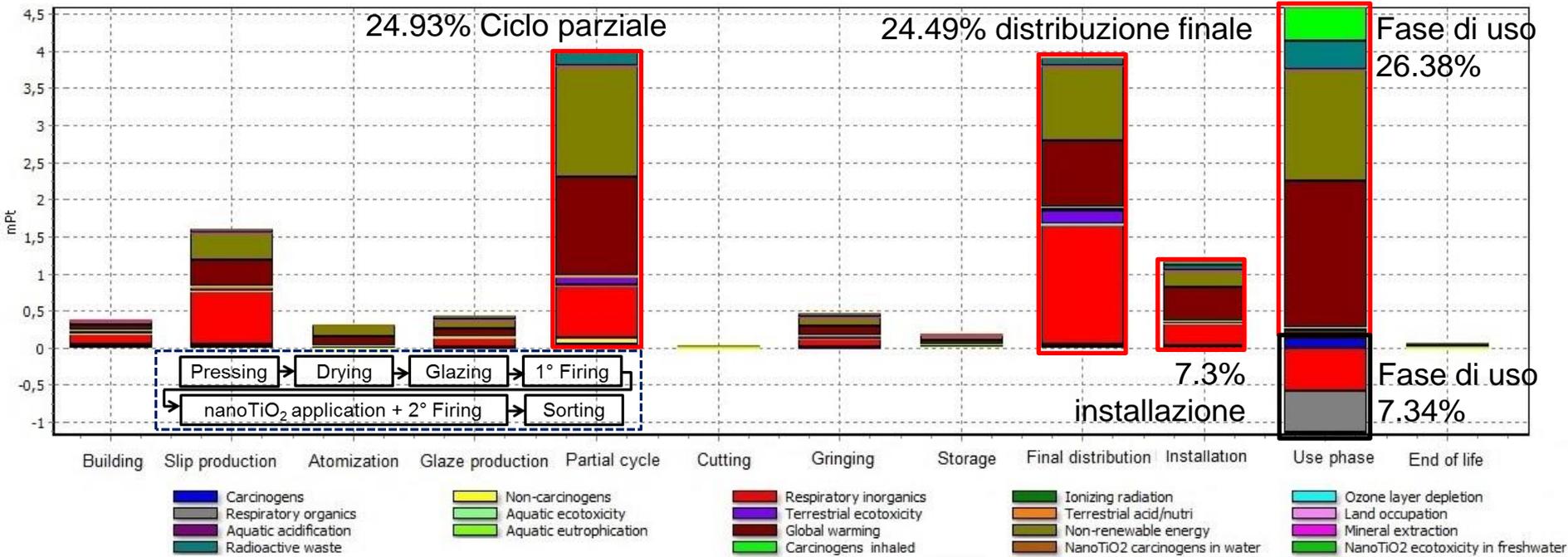


- HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) → 99,97%
- DPI (mascherina con 95% efficienza, guanti, tuta)
- Impianti di produzione chiusi
- Imballaggio
- Fine vita



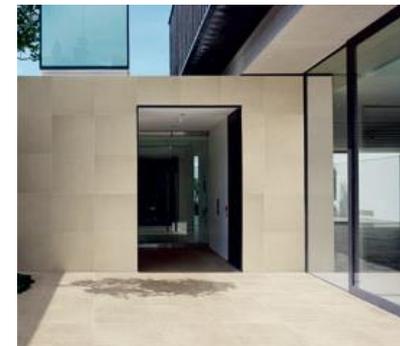


LCIA di 1 m² di grès porcellanato funzionalizzato con nanoTiO₂



Danno totale: 15.99 mPt

Impact category	Amount
Global warming	34.35%
Non-renewable energy	32.19%
Respiratory inorganics	23.52%-3.61%= 19.91%
Carcinogens inhaled	3.22%
Respiratory organics	0.015%-3.48%= -3.465%



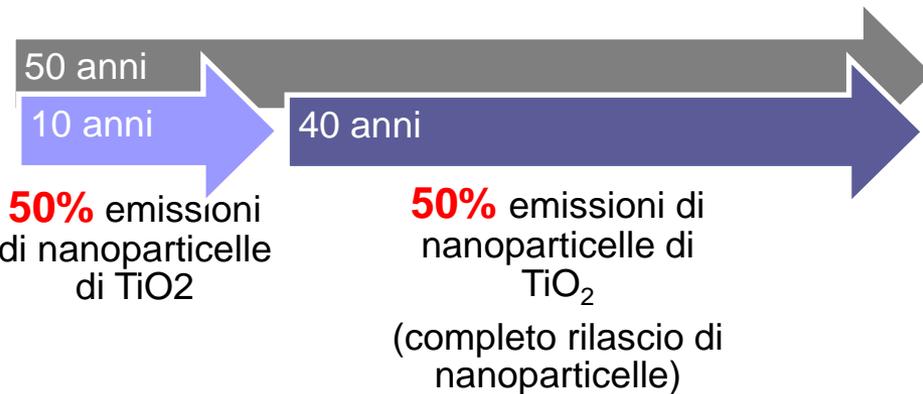


Analisi di sensibilità

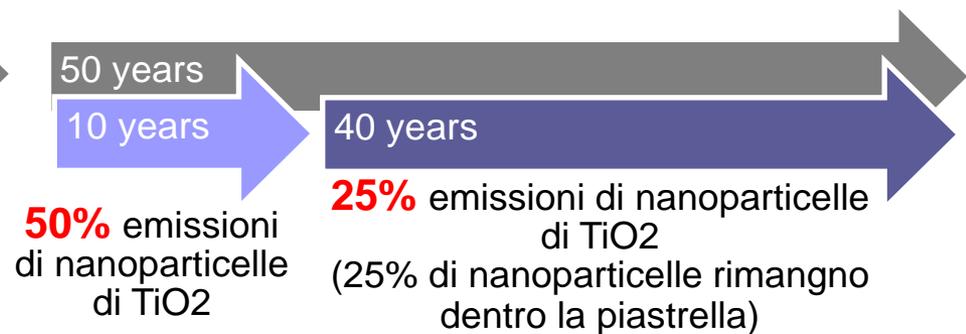


- Fase di uso:

Scenario analizzato



scenario alternativo



- Installazione:

➤ design for disassembly: utilizzo di tasselli

- Fine vita:

➤ Inertizzazione della piastrella (principio precauzionale)



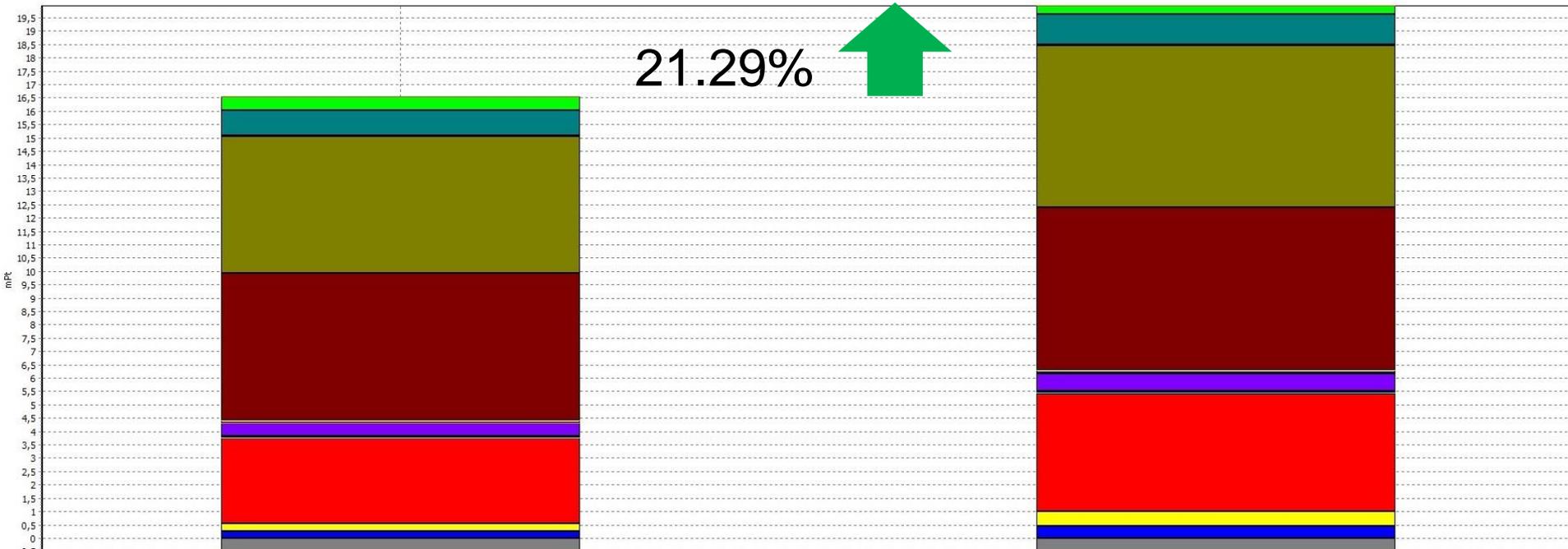


Analisi di sensibilità



Scenario analizzato

Scenario alternativo



- Carcinogens
- Respiratory organics
- Aquatic acidification
- Radioactive waste

- Non-carcinogens
- Aquatic ecotoxicity
- Aquatic eutrophication

- Respiratory inorganics
- Terrestrial ecotoxicity
- Global warming
- Carcinogens inhaled

- Ionizing radiation
- Terrestrial acid/nutri
- Non-renewable energy
- NanoTiO2 carcinogens in water

- Ozone layer depletion
- Land occupation
- Mineral extraction
- NanoTiO2 ecotoxicity in freshwater

15.99 mPt

19.40 mPt



- Lo studio L dovrebbe essere di materiali e dispositivi eventuali e



ificazione su come
porto e il fine vita
llazione di filtri, di
e i lavoratori da

- Attualmente

diversi materiali

funzionalizzati con nano-TiO₂ applicati alla scala dell'edificio.

Progetto di riqualificazione della Villa Cuoghi-Vignocchi, sede attuale Municipio di Fiorano.



Il problema dei processi di riciclo



- ❖ Nel distretto ceramico annualmente vengono prodotti **250000** ton/anno di scarti di prodotti ceramici.
- ❖ Attualmente gli scarti vengono riciclati ed utilizzati per la realizzazione di sottofondi stradali o in alcuni casi reintrodotti nel processo di produzione.
- ❖ Proposte alternative di gestione del fine vita degli scarti ceramici:
 - ✓ produzione di sabbia per la realizzazione di bioadesivi per posa ceramica

A.M. Ferrari, R. Spinelli, R. Gamberini, P. Neri, M.Pini, B. Rimini (2014)

Comparative Life Cycle Assessment of Innovative and Traditional Adhesives for the Laying of Ceramic Tiles. International J. of Oper. and quant. Management. in press



Formulazioni proposte



	ADESIVO 1	ADESIVO 2
SABBIA SILICEA	37%	-
SABBIA DA RICICLO	-	37%
CEMENTO	50 %	50%
CARBONATO DI CALCIO	10%	10%
ADDITIVI (0,5% Cellulosa, 0,5% Fibra di cellulosa, 3,0% Polimero vinilico, 1% Litio carbonato)	3%	3%



Situazione attuale



Nuova proposta

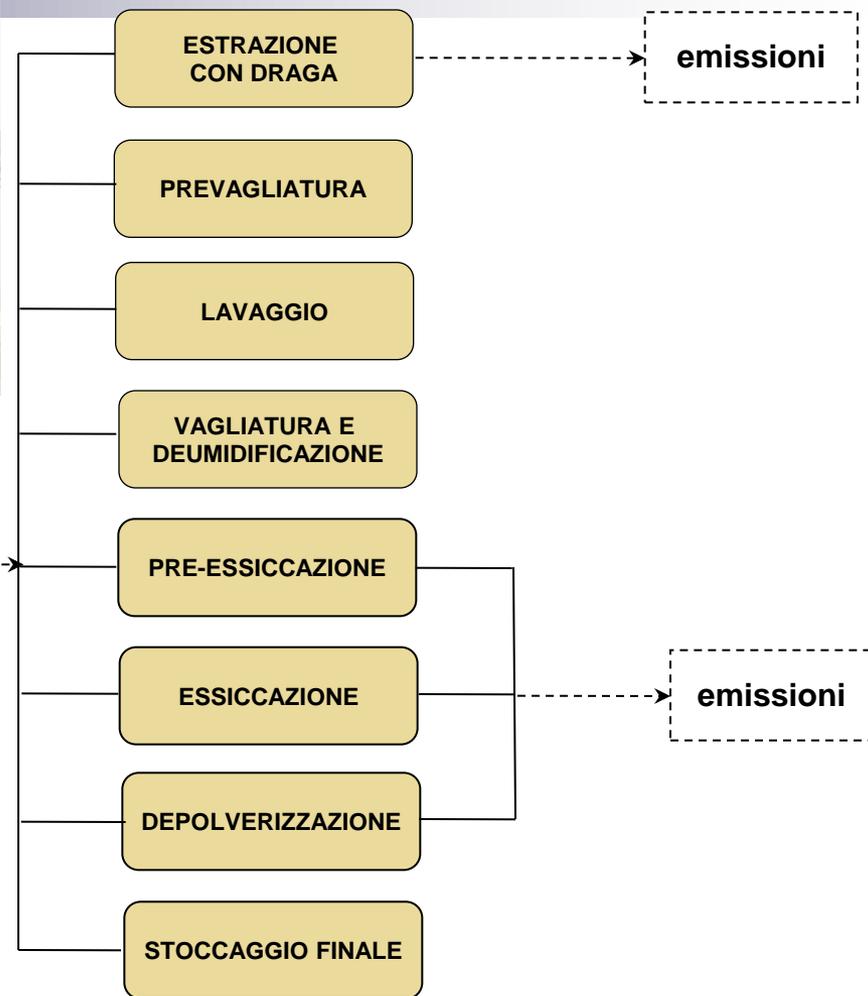


Utilizzo Risorsa Naturale: processo estrattivo della sabbia



IMPIANTI
•Macchinari
•Consumi energetici

Unità Funzionale: 1 ton/h di sabbia estratta
Software utilizzato: SimaPro 7.3
Metodo di analisi: IMPACT 2002+ Modificato





Indicatore

IPOTESI da dati secondari

Permeabilità del terreno
 Si inserisce una nuova categoria di impatto **Terreno (permeabilità)** → richiamiamo substance **permeabilità del terreno** nel compartment **Non material** alla quale si attribuisce il fattore $100 \text{ p}/1\text{E}5 \text{ kg} = 0,001 \text{ p}/\text{kg}$

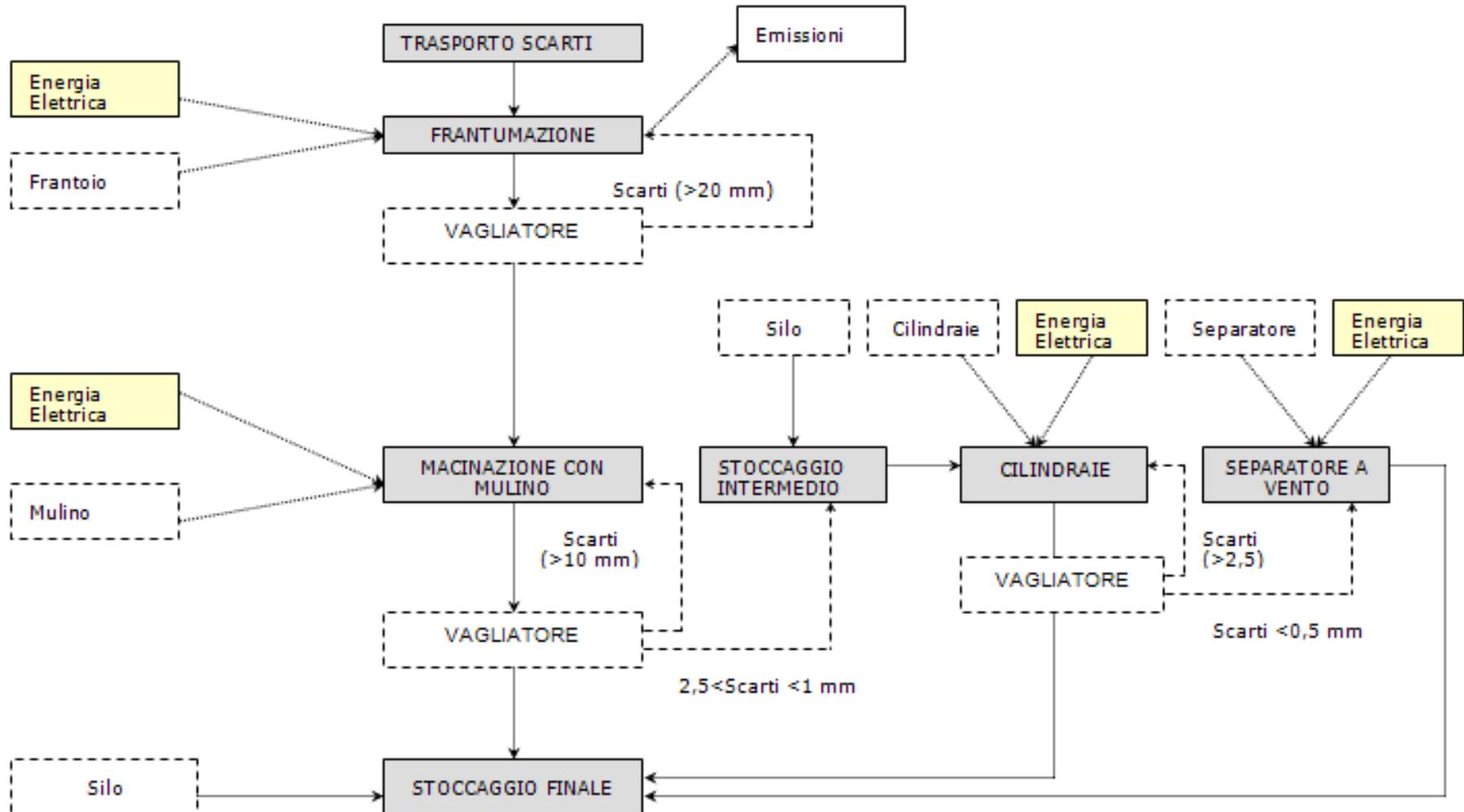
Il terreno argilloso
 Si inserisce la categoria di danno **Terreno (permeabilità)** che richiama la categoria di impatto **Terreno (permeabilità)** alla quale si attribuisce il fattore $3,6529667\text{E}-8 \text{ DALY}/\text{p}$

L'effetto sui giorni di assenza di lavoro
 di 20

Poiché a 1 kg corrisponde la riduzione di $1\text{E}-3 \text{ p}$, per 1p si ha un danno che vale:
 $3,652966667 \text{ E}-11 \text{ DALY}/\text{kg} / 1\text{E}-3 \text{ p}/\text{kg} = 3,6529667\text{E}-8 \text{ DALY}/ \text{p}$



Utilizzo scarto cotto: impianto di produzione della sabbia

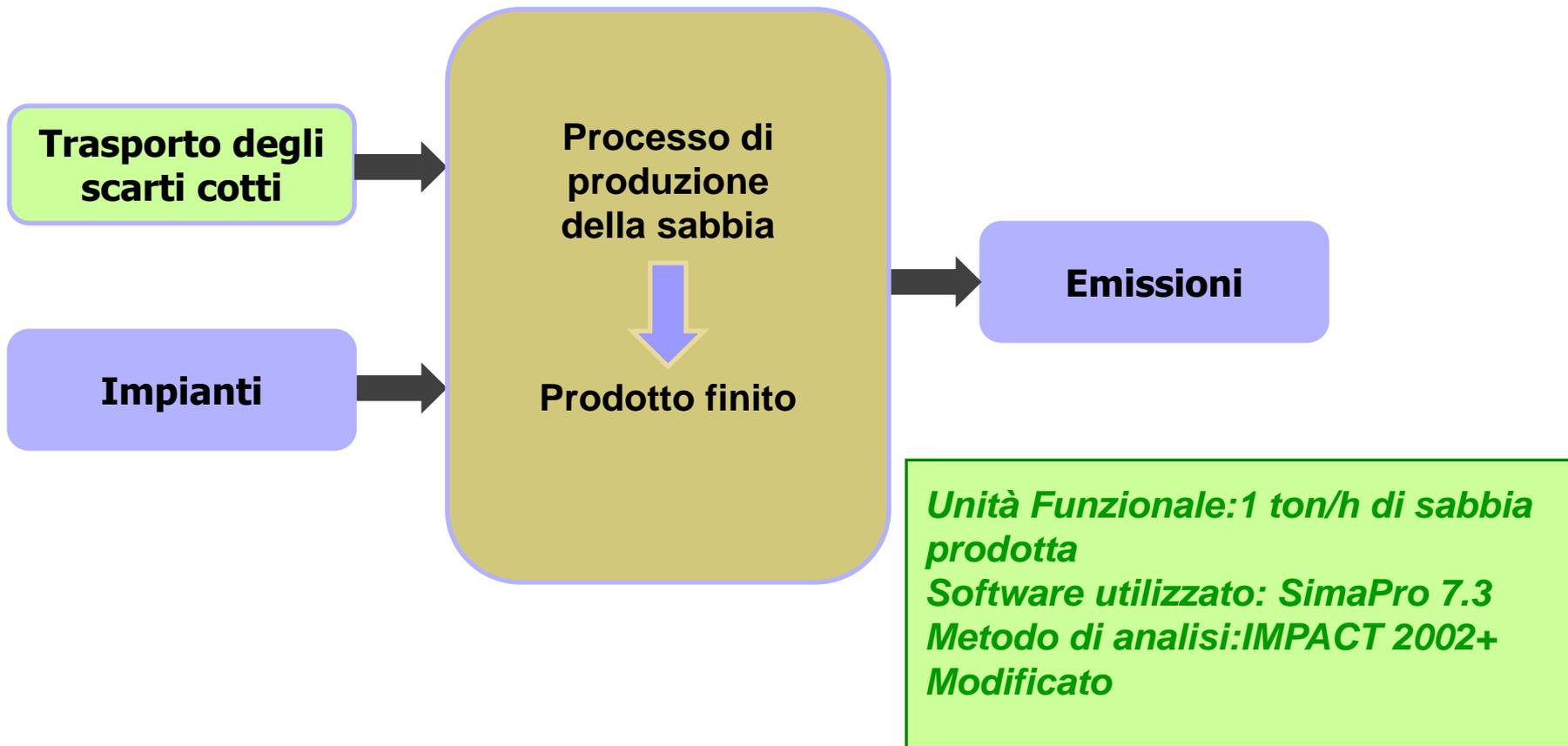




Riutilizzo di scarti ceramici cotti



Scenario1: si considera il solo trasporto degli scarti ceramici cotti

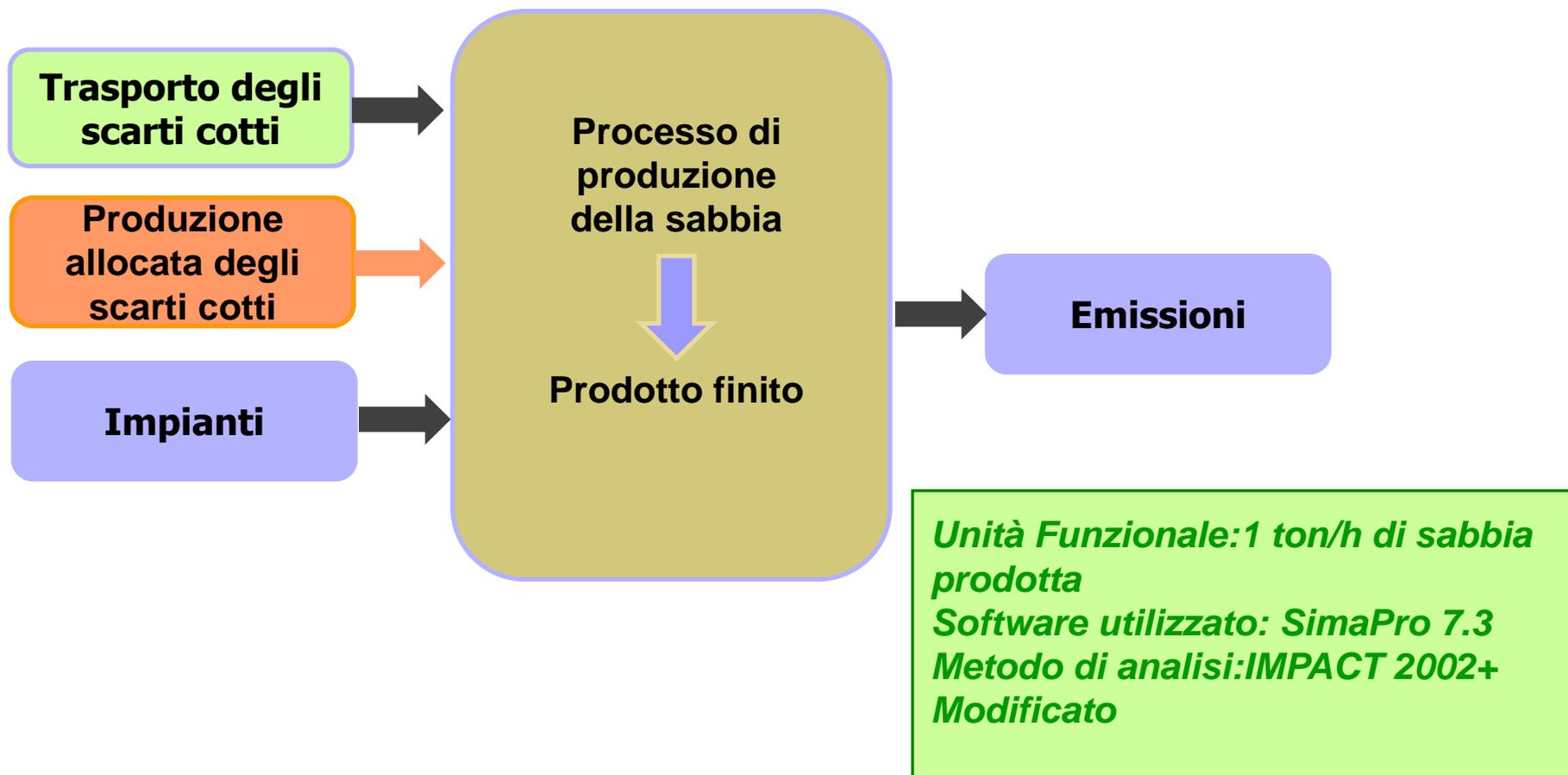




Riutilizzo di scarti ceramici cotti



Scenario 2: si considera il trasporto degli scarti ceramici cotti e la produzione degli scarti allocata





Allocazione per valore economico



- ❖ **Scarto prodotto cotto per tutti i prodotti**→**2202,08 ton/anno**
- ❖ **Scarto fase di cottura**→**70%**
- ❖ **Produzione di grés porcellanato**→**385,075 ton/anno**
- ❖ **Totale piastrelle contabilizzate a magazzino**→**159562,16 ton/anno**
- ❖ **Utilizzo del forno di cottura**→**4830 h**
- ❖ **Portata oraria del forno**→**242m²**
- ❖ **Peso piastrella**→**24,88 kg/m²**

❖ **Scarto imputabile** alla produzione di **grés porcellanato**
 $(0,70 \cdot 2202,8) : 159562,16 = x : 385,075 \rightarrow \mathbf{3721,2472 \text{ kg}}$

❖ **Output totale** del processo di cottura
 $(242 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot 24,88 \text{ kg/m}^2) - \text{scarti } (0,77044 \text{ kg/h}) - \text{emissioni} \approx \mathbf{6021 \text{ kg/h}}$

❖ **Prezzo dello scarto**→**0,01€/kg** → allocazione economica → $\frac{0,01 \cdot 3721,2472}{(0,01 \cdot 3721,2472) + (3,09401 \cdot 6021)}$

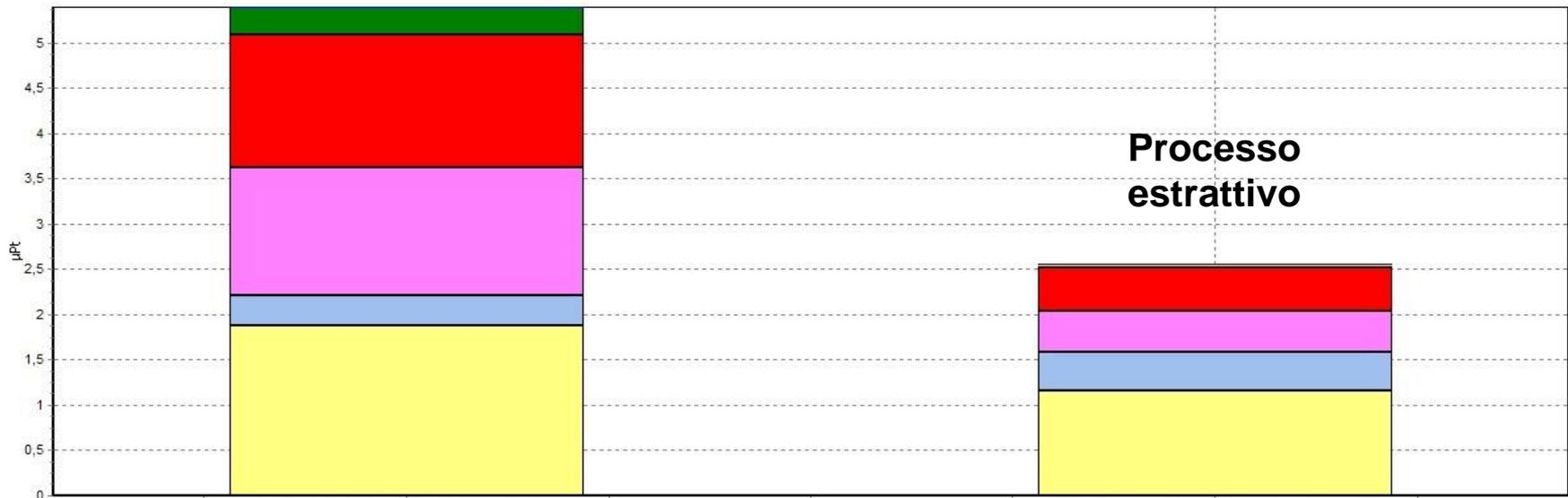
❖ **Prezzo della piastrella**→**3,09401€/kg** → allocazione economica → $\frac{3,09401 \cdot 6021}{(0,01 \cdot 3721,2472) + (3,09401 \cdot 6021)}$



LCA analisi comparativa – scenario 1

SCENARIO 1 (solo trasporto) vs PROCESSO ESTRATTIVO DELLA SABBIA

Scenario1
(solo trasporto scarti cotti)



+34.89% **Human Health** (+38.8% NOx → Macchinari)

+27.19% **Resources** (+68.79% Gas naturale → En. per la macinazione scarti cotti)

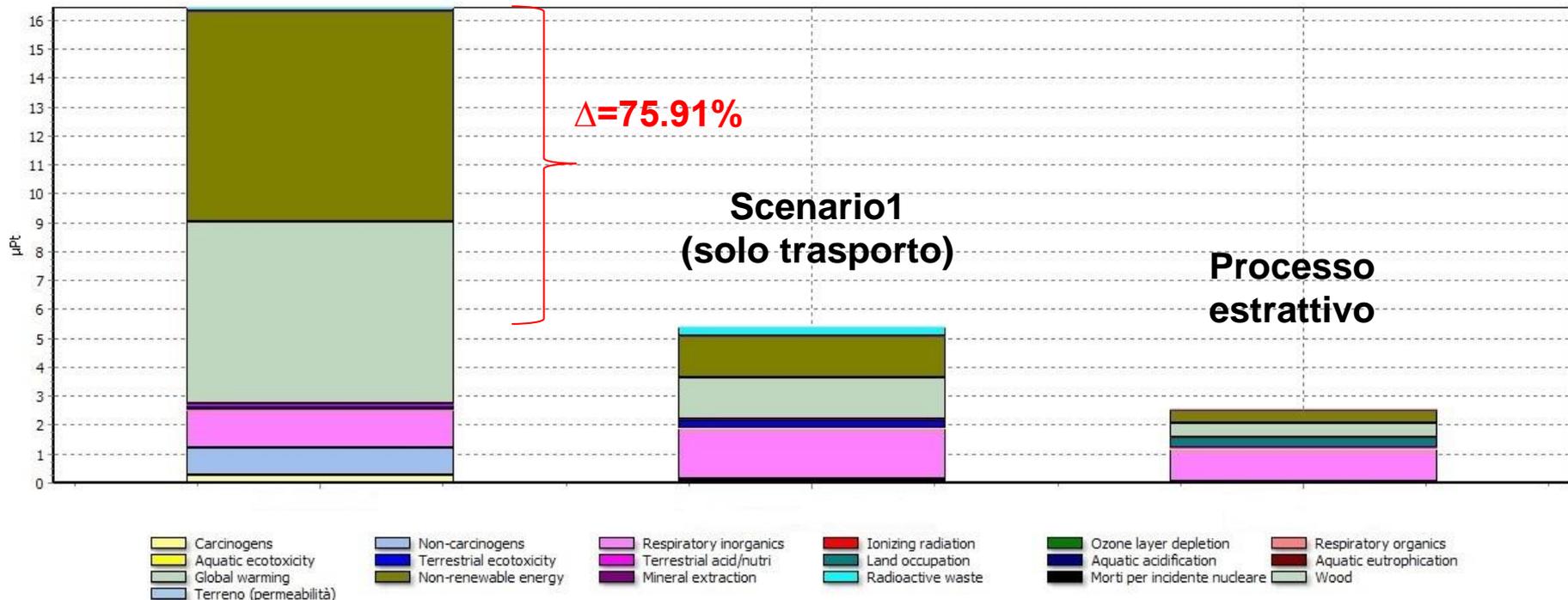
+25.99% **Climate change** (+67.35% CO2 → En. per la macinazione di scarti cotti)



LCA analisi comparativa – scenario 2

SCENARIO 2 (riuso scarti cotti) vs PROCESSO ESTRATTIVO DELLA SABBIA

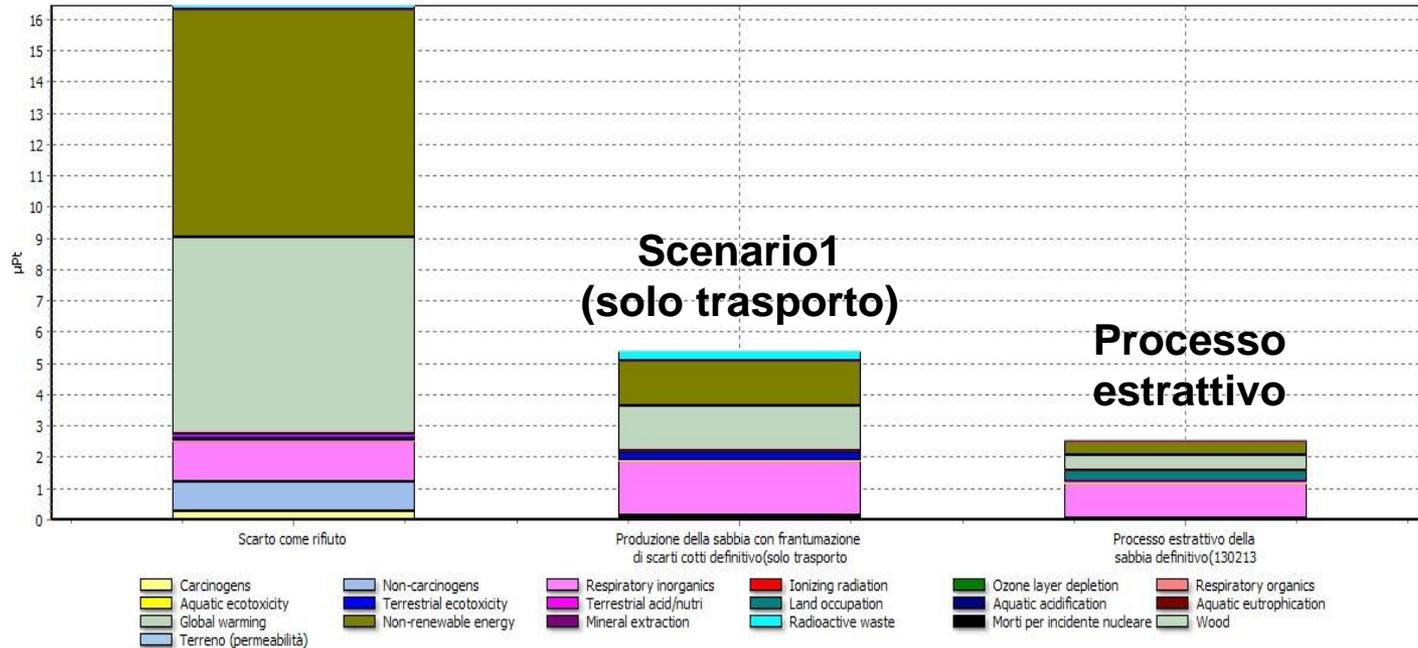
Scenario2
(trasporto + produzione di
scarti cotti allocata)





LCA analisi comparativa – discarica vs riciclo

Scarto = rifiuto



Comparing 1 kg 'Scarto come rifiuto', 1 kg 'Produzione della sabbia con frantumazione di scarti cotti definitivo(solo trasporto scarti)_senza prod.evita' and 1 kg 'Processo estrattivo della sabbia definitivo(130213)';
 Method: IMPACT 2002+010811 con sand e terreno_110113 V2.04 / IMPACT 2002+ / Single score



- ❖ Il giudizio sulla sostenibilità ambientale di un determinato prodotto/processo, può essere dato soltanto in base ad un'analisi completa di ciclo di vita LCA

- ❖ Non è sempre possibile esprimere un giudizio positivo in merito alla sostenibilità ambientale dei processi di riciclo



Preparazione di smalti ceramici con vetro recuperato da tubi a raggi catodici

In collaborazione con:

Dipartimento di Scienze e Metodi dell'Ingegneria

LCA-Lab srl – spinoff ENEA

Dipartimento di Ingegneria «Enzo Ferrari»

F. Andreola, L. Barbieri, A. Corradi, A.M. Ferrari, I. Lancellotti, Paolo Neri. (2007). Recycling of EOL CRT glass into ceramic glaze formulations and its environmental impact by LCA approach. *International Journal of Life Cycle Assessment* 12(6), 448-454.



Categorie di AEE



1. Grandi elettrodomestici



2. Piccoli elettrodomestici



3. Apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni



4. Apparecchiature di consumo



5. Apparecchiature di illuminazione



6. Strumenti elettrici ed elettronici



7. Giocattoli e apparecchiature per lo sport e il tempo libero



9. Strumenti di monitoraggio e controllo



8. Dispositivi medici



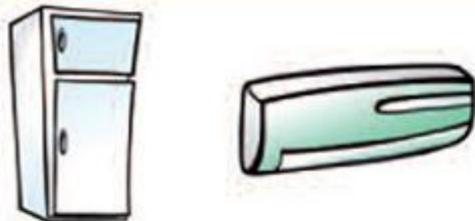
10. Distributori automatici



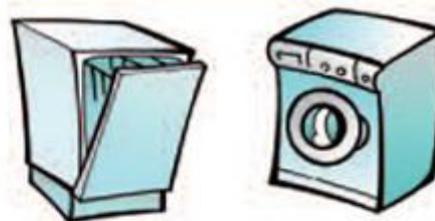
Raggruppamenti di RAEE



R1 APPARECCHIATURE REFRIGERANTI



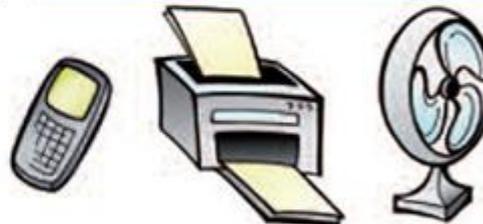
R2 GRANDI BIANCHI



R3 TV E MONITOR



R4 PERIFERIE ICT APPARECCHI ILLUMINANTI E ALTRO

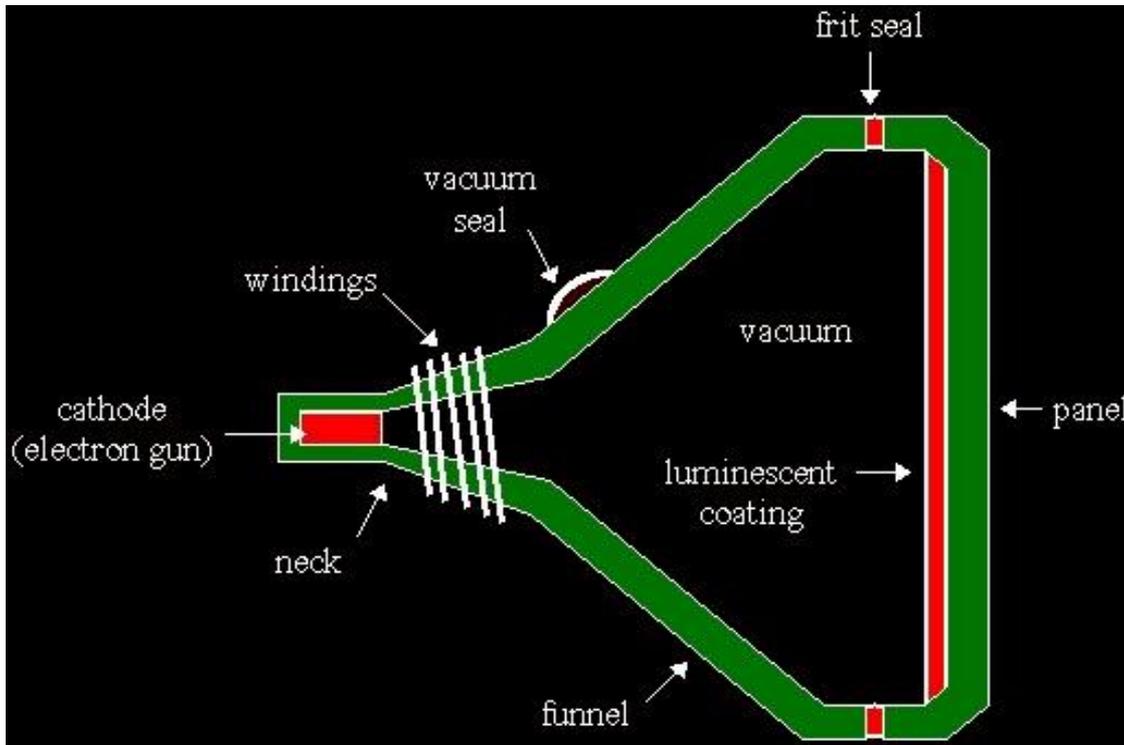


R5 SORGENTI LUMINOSE





Parte principale del televisore: cinescopio (60-65% dell'intero TV)



Cinescopio - CRT (tubo catodico)

tubo fluorescente (85% vetro) per convertire un segnale elettrico in un'immagine visiva

TIPOLOGIE DI VETRO NEL CINESCOPIO:

65% vetro esterno	→	SCHERMO	(Ba: 8-10%, Sr: 5-8%)
30% vetro interno	→	CONO	(Pb: 17-20%)
5% vetro retro e saldature	→	COLLO + FRITTA	(Pb: ~35%)



Principale componente :
CRT (60-65% dell'intera apparecchiatura)



CER 16 02 15*
(pre- bonifica)



Pb



Ba, Sr

CER 19 12 05
(post- bonifica)



SMALTO CERAMICO

Componenti plastici
(argille, caolino, etc.)

Additivi (deflocculanti,
leganti, etc.)

Componenti non plastici
(**FRITTE**, pigmenti, etc.)

vetro CRT





Smalti industriali



Due tipologie ottenute:

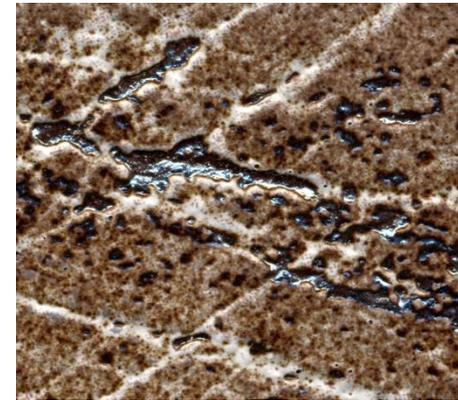
- 1) Monocottura bianca (1150 – 1180°C)
- 2) Grès porcellanato (1200 – 1250°C)



Marmo rosso



Rustico



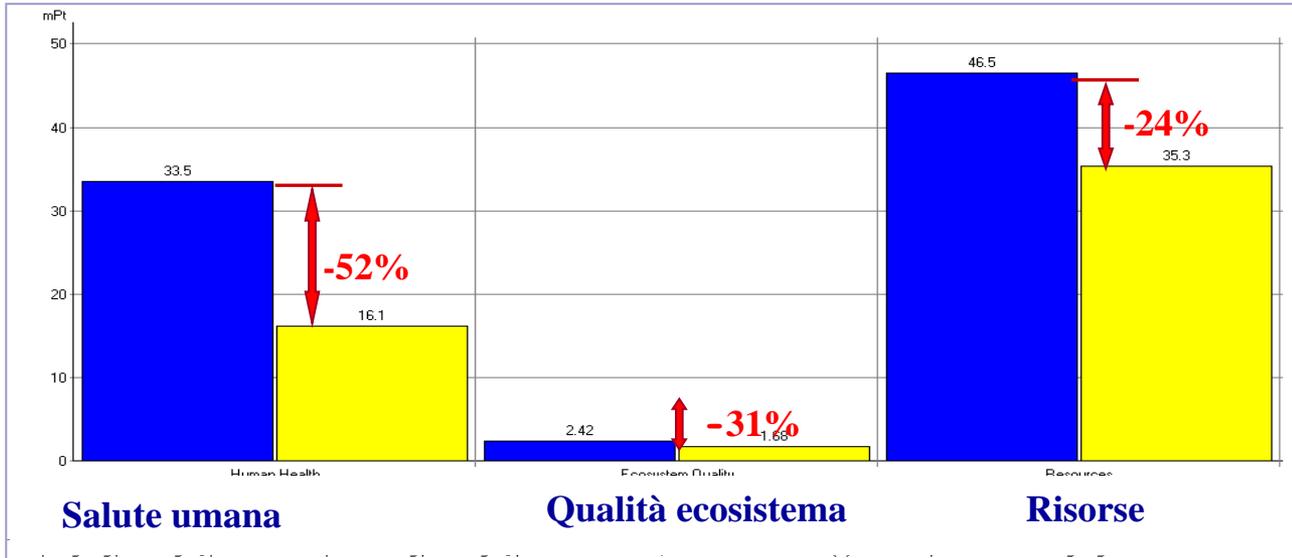
Metallizzato

Il vetro CRT non modifica:

- 1) resistenza alla macchia**
- 2) resistenza all' attacco acido/basico**
- 3) resistenza all' abrasione**



LCA (Life Cycle Assessment)



■ Smalto standard (1 kg)

■ Smalto con CRT (1 kg)

Levitata produzione della fritta, sostituita da vetro CRT comporta una riduzione del danno totale del 36%:

RISPARMIO	RIDUZIONE EMISSIONI
materie prime	polveri
energia	CO₂ e NO_x



L'Eco-Design adotta una visione globale sul progetto estendendo lo studio all'intero ciclo vita del prodotto (*Life Cycle Design*) integrando gli aspetti ambientali con le variabili comunemente considerate in fase di progettazione.

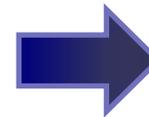




- 1. Riduzione quantitativa di risorse, in particolare non rinnovabili, impiegate per la produzione;**
- 2. Miglioramento qualitativo delle risorse e dei materiali/sostanze impiegati per la produzione;**
- 3. Innovazione nella progettazione e nella concezione dei prodotti.**



materiali durevoli
materiali biologici e naturali
materiali riciclati
materiali biodegradabili
materiali non pericolosi



riusabilità
smontabilità
recuperabilità
riciclabilità
identificabilità dei componenti



“Sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni”.

(World Commission on Environment and Development, WCED)

- ❖ Lo sviluppo sostenibile è un **sistema complesso**
- ❖ Combina efficienza, equità, equità intergenerazionale ed è fondato su **tre dimensioni** fondamentali: **ambientale economica e sociale**, strettamente interdipendenti e complementari.
- ❖ Tale interdipendenza implica che lo sviluppo sostenibile non si basa solo sulla crescita ambientale, economica o sociale, ma piuttosto sul tutto come un **sistema integrato**.





Life Cycle Sustainability Assessment



Approccio di valutazione di tutti gli impatti ambientali, economici e sociali negativi e i benefici nei processi di *decision making* del miglioramento della sostenibilità di un prodotto di un processo o servizio attraverso l'intero ciclo di vita.

«Towards a Life Cycle Sustainability Approach» **UNEP-SETAC 2011**

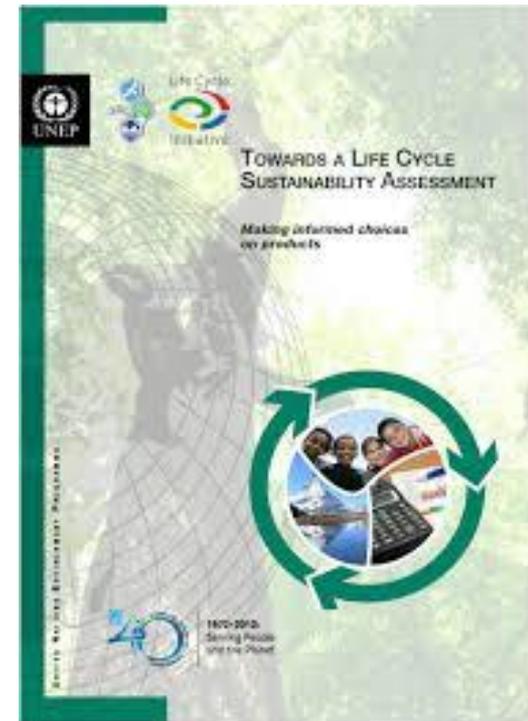
$$\text{LCSA} = \text{E-LCA} + \text{LCC} + \text{S-LCA}$$

W. Klöpffer (2008); Finckbeiner et al (2010)

DIMENSIONE AMBIENTALE: Life Cycle Assessment (LCA)

DIMENSIONE ECONOMICA: Life Cycle Costing (LCC)

DIMENSIONE SOCIALE: Social Life Cycle Assessment (S-LCA)



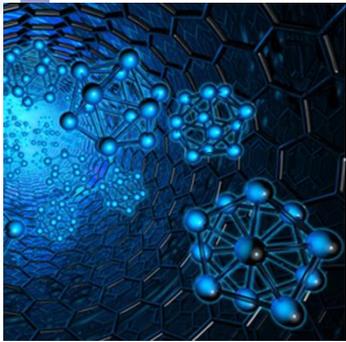


Come raggiungere obiettivi di sostenibilità?





Settori di ricerca e sviluppo



Materiali



Energia



Rifiuti



Edilizia

Agroalimentare



Sistema Paese



Eventi



Patrimonio Culturale





Grazie per l'attenzione

Anna Maria Ferrari



LCA Working Group

www.lcaworkinggroup.unimore.it

info-lca@unimore.it