

Applicazione in collaborazione con l'Ing. Paolo Neri (ENEA):

**titolo ANALISI del CICLO di VITA di SISTEMI
COSTRUTTIVI di INVOLUCRO ASSEMBLATI
a SECCO**

lo studio

affronta il tema dell'impatto con l'ambiente dei prodotti edili e dell'efficienza del sistema di chiusure verticali esterne di un edificio 'passivo' Casa – famiglia per minori a Lodi si inserisce all'interno di un filone di ricerca sull'applicazione del metodo LCA nell'ambito dell'edilizia e dell'architettura

Tutor: prof. Andrea Campioli
Relatori: prof. Andrea Campioli, ing. Paolo Neri (ENEA)

20 Gennaio 2006

INQUADRAMENTO SCIENTIFICO DELLA RICERCA

settore costruzioni

- in continua crescita: nuove costruzioni, manutenzioni, recuperi e ristrutturazioni
- mercato residenziale di nuova costruzione (in aumento): nel 2002 17% produzione dell'intero settore delle costruzioni
- profondo processo di trasformazione della domanda e dell'offerta: nuove funzioni e servizi per richieste di **migliori comfort, più qualità della vita e sicurezza**
- diffusione della consapevolezza sulla sostenibilità ambientale
- prevenzione e salvaguardia del costruito e dei suoi effetti (mercato della manutenzione: 70% del mercato delle costruzioni in Italia)
- poche soluzioni qualificate
- settore con maggiori consumo di risorse e emissioni nell'ambiente

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Qualità ambientale in edilizia

Necessità di acquisire una cultura della qualità nel settore edilizio

Necessità di codificare strumenti e metodi della qualità ambientale nei processi e nella produzione edilizia

Approccio sistematico: qualità del progetto e qualità dei processi

Qualità ambientale di un organismo edilizio

INQUADRAMENTO SCIENTIFICO DELLA RICERCA

organismo edilizio

- non sommatoria di componenti e di materiali, **ma** integrazione di questi in un sistema organico unitario
- esigenza di ottimizzazione dell'efficienza dei processi di produzione
- necessità di governare i consumi di gestione (invernali ed estivi)

Igiene, salute e ambiente (Direttiva CEE 89/106)

Qualità ottimale dell'involucro

LA SCELTA DEI MATERIALI:
PUÒ CONTRIBUIRE NOTEVOLMENTE ALLA RIDUZIONE DELLE DISPERSIONI TERMICHE
PUÒ INCIDERE SULLA GRAVITA' DEL DANNO AMBIENTALE

Visione allargata del concetto di prestazione

LA SCELTA DI UN COMPONENTE:
NON È SOLO DETERMINATA DALLA RISPONDENZA A UNA FUNZIONE,
MA, IN UN'OTTICA PIÙ AMPIA SULL'USO FUTURO, LEGATA AL CONTESTO AMBIENTALE,
TEMPORALE E SOCIALE

sistemi di involucro a secco

- risposta concreta alla qualità dell'abitare
- energeticamente efficienti
- riduzione dell'energia impegnata per la costruzione dell'edificio
- vantaggi: rapidità di messa in opera, ottimizzazione dei materiali, maggior flessibilità e facilità di manutenzione, possibilità di demolizione selettiva, riciclaggio degli scarti

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

SPECIFICITÀ E INTENTI DELLA TESI

Individuazione delle conseguenze della realizzazione di alcune soluzioni tecnologiche leggere, assemblate a secco, utilizzate in pareti perimetrali verticali esterne nell'ambito residenziale, con l'obiettivo di **ottimizzare** il loro carico ambientale associato alla vita di un edificio



Gli esiti della ricerca come indicazioni di supporto decisionale per ogni progettista e matrice di impostazione dell'analisi ambientale, nel processo progettuale

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

OBETTI

quantificazione del danno che la realizzazione e l'uso di alcune soluzioni di involucro determinano sull'ambiente

comparazione di quattro tipologie di chiusura verticale perimetrale, assemblate a secco, per una scelta più consapevole della soluzione meno impattante, a parità di prestazioni (di tipo statico e fisico-tecnico)

offerta di nuove informazioni per arricchire i *data-base* dei materiali edili e dei loro impatti

lettura di tipo operativo-progettuale, per definire una buona integrazione tra involucro, edificio e ambiente, da aggiungersi alle descrizioni dei requisiti e delle prestazioni per un corretto funzionamento del 'sistema edificio'

verifica del impatto minimo dall'ecobilancio dei consumi di materia ed energia nel ciclo di vita di un edificio

Life Cycle Assessment
LCA metodo per la definizione degli effetti sull'ambiente dei prodotti

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LA METODOLOGIA LCA - analisi del ciclo di vita

Ecobilancio

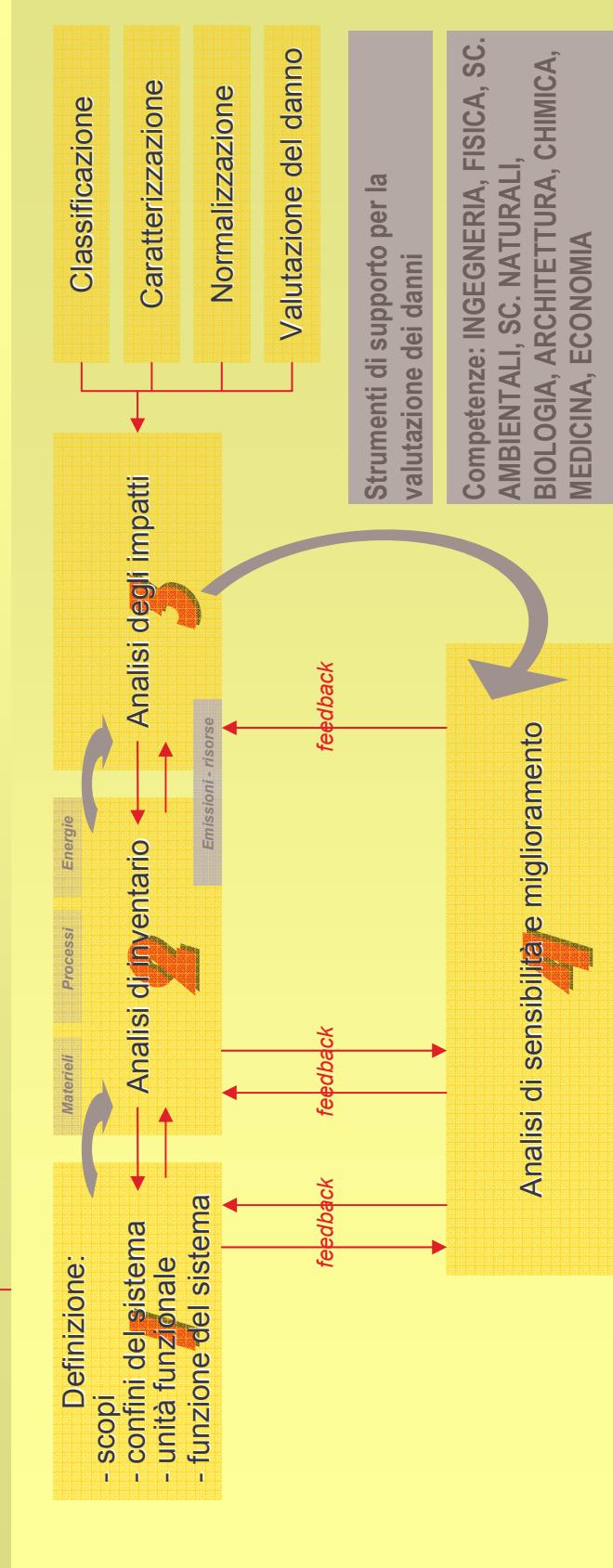
- strumento di gestione in ambito ecologico e di valutazione ambientale di materiali, prodotti e processi eseguito per l'analisi della *performance ambientale* di manufatti contabilità di *inputs* e *outputs* tra la presenza di un bene e l'ambiente (più o meno approfondita)
- Metodo più potente per la valutazione complessiva degli effetti di un'attività di riferimento

LCA
ISO 14040

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica



Schema operativo di un'analisi del ciclo di vita

LCA – approccio metodologico

Analisi multiattributo

- indici ponderati
- definizione delle funzioni
- scelta del prodotto con il miglior eco-profilo tra quelli oggetto di confronto(*environmental friendly*)
- eseguita su tutto il ciclo di vita

Analisi Prestazioni Ambientali

- scelta di bersagli ambientali e standard di riferimento
- priorità di intervento con ottimizzazione degli eco-profili
- non necessariamente su tutto il ciclo di vita

Limiti del sistema

- ANALISI DI PRODOTTO
Manufatto in esame
No processi secondari di produzione

Analisi riduttiva

- ANALISI/ TECNOLOGIA ALLARGATA

Si considerano i prodotti e processi correlati al prodotto in esame, con le relative materie ed energie

Analisi più specifica

- ANALISI DEL CICLO DI VITA GLOBALE

Tutte le fasi del bene in oggetto e i correlati, sottoprocessi di processi principali → molti impatti

Analisi molto complessa

fase esplorativa

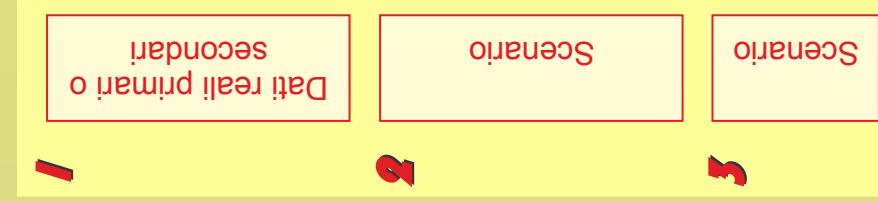
fase applicativa

fase analitico- critica

Incidenza macchinari ed edifici rel. ai processi produttivi: 0,5% sul totale TRASCURABILI

LCA di un edificio

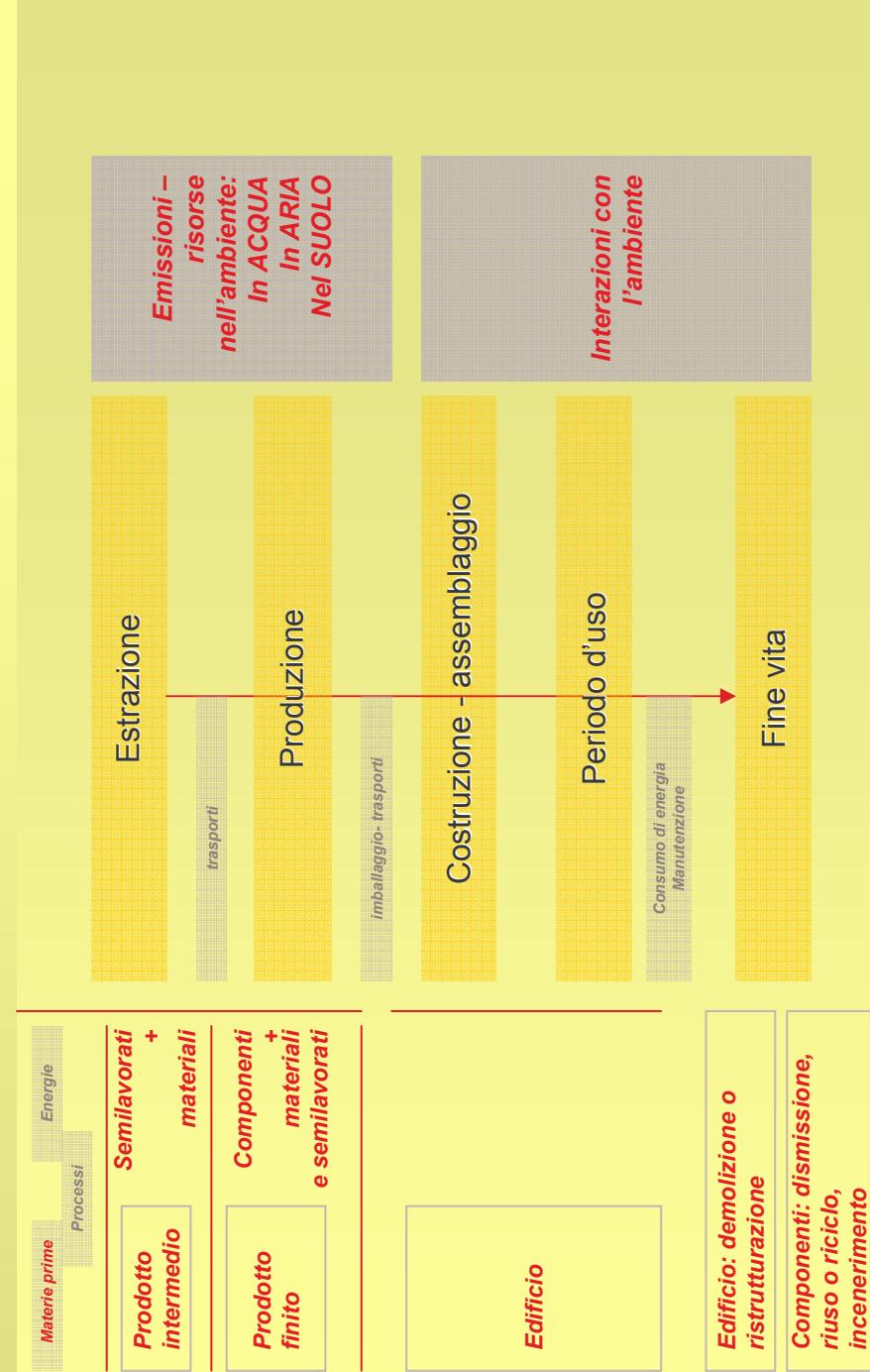
Stadi di vita di un edificio



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



Schema dell'analisi del sistema-edificio

LCA - strumenti di analisi

Tramite Matrici

Matrice in due fasi (inventario, valutazione), MECO (NL) ...

Informazioni quantitative e qualitative

Tramite Software

Analisi del singolo prodotto

SimaPro (NL), Boustead (UK), Gabi (D), BEES (USA) ...

Analisi LCA specifico per singoli processi
Database molto dettagliato

Analisi del sistema complesso (edificio)

Athena (CA), GBTool (UK), Ecopro (D) ...

Analisi LCA di interi edifici
Database semplificato

Valutazione ambientale attraverso checklist

ITACA (I), BREAM (UK), LEED (USA)

Sistemi per punti di merito
in categorie di sostenibilità

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCI: strumento per la fase d'inventario

- Il codice di
calcolo
SIMA-PRO – Prè
Consultant**

fase esplorativa

fase applicativa

fase analítico-critica

SP 10@192.107.63.11 Default Standard; casa famiglia per minori(t.odi)

File Edit Analyze Tools Window Help

Explorer

Name	Unit	Waste type	Project	DQI
Cm_1mq pannello di alluminio	p	Aluminum	casa famiglia per minori(Lc)	New
Cm_CaidalaM11	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	Edit
Cm_CaidalaM1N1	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	View
Cm_CaidalaM1N2	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	Copy
Cm_CaidalaM1N3	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	Delete
Cm_Inv_A-discrimina	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	Used by
Cm_Inv_A + uso	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_A + uso minimo2	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_A disc + uso	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_Alk-06minimo1	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_Alk-07base	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_Alk-02minimo2	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_Alk-04minimo3	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (K=0,11)	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (K=0,0)minimo1	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (K=0,2)minimo2	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (K=0,4)minimo3	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (Kb-Ka)	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (Kb-Ka)discrimina	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_B (Kb-Ka) + uso	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Cm_Inv_C (Kc-Kd)disc+ uso	p	not defined	casa famiglia per minori(Lc)	
Quantities				Substitution allocation
Time period				Waste treatment allocation
Geography				Cut off rules
Technology				System boundary
Variables				Boundary with nature
General data				
Literature references				
DQI Weighting				
Substances				
Unit conversions				
Units				
Items				

involucro A: 1 blocco portante Säisol - 2 pannelli sovrapposti - 3 tavole in cotto spesse cm 37,4 peso mq 9,4 pietre=0,0993K U.F. 1mq e trasmittanza k=0,105 W/mq K

1 item selected

Struttura a blocchi del software

LCI]: strumento per la fase d'inventario

SIMA PRO Banche dati

- **Data Archive** (1988-95)
- **BUWAL 250** (1997)
 - si riferisce a dati svizzeri dell'EMPA (agenzia di protezione dell'ambiente)
- **ETH-ESU** (1996)
- **DEMAT** (2001)
- **FRANKLIN US LCI** (2003)
 - contiene dati di matrice americana
- **IVAM 2.0** (2001)
 - è una banca dati olandese redatta dal Dip. di Ricerche per l'Ambiente della University of Amsterdam
- **Ecoinvent** (2004)
 - è la banca dati svizzera più recente (2004) e contiene 2500 processi, per la cui redazione hanno sei istituti di diverse nazionalità

fase esplorativa

La fase di inventario LCI è complessa e lunga

fase applicativa

fase analitico- critica



VANTAGGIO: trasparenza e modificabilità delle Banche-Dati
BENCHMARKING: possibilità di implementazione dei dati: **caso fibrocemento**
LIMITI: basate su dati esteri e non italiani, su mix energetici esteri
non sempre impostate secondo logiche comuni
VALUTAZIONE ERRORI: i risultati possono essere accompagnati da una stima
dell'errore quadratico medio (Analisi degli errori Monte Carlo)

banca dati italiana

LCIA: la valutazione e i metodi

Eco-Indicator 99 (NL)	EPS 2000 (S) <i>Environmental Priority Strategies in product development</i>	EDIP 96 (DK) <i>Environmental Design of Industrial Products</i>
<p>Salute umana [DALY]</p> <ul style="list-style-type: none"> Sostanze cancerogene Effetti sull'apparato respiratorio Cambiamenti climatici Impoverimento strato di ozono Radiazioni <p>Qualità dell'ecosistema [PDF*m²*yr]</p> <ul style="list-style-type: none"> Acidificazione / eutrofizzazione Ecotoxicità Uso del territorio <p>Salute umana [YOLL, Person year]</p> <ul style="list-style-type: none"> Aspettativa di vita Malattia grave Disturbi gravi Disturbi <p>Capacità produttiva dell'ecosistema [kg o H+eq]</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	<p>Categorie di impatto [gr eq., m³, kg]</p> <ul style="list-style-type: none"> Surriscaldamento globale Impoverimento strato di ozono Acidificazione Eutrofizzazione Smog fotochimico Ecotoxicità cronica dell'acqua Ecotoxicità acuta dell'acqua Tossicità dell'aria per l'uomo Tossicità del suolo per l'uomo Rifiuti indifferenziati Rifiuti radioattivi 	<p>Uso delle risorse [ELU]</p> <ul style="list-style-type: none"> Impoverimento delle risorse <p>Biodiversità [NEX]</p> <ul style="list-style-type: none"> Tutte le risorse <p>EDIP 96 (only resources)</p>

- La fase di valutazione LCIA è delicata:
- aggregazione degli impatti per classi omogenee
- ordine gerarchico degli impatti per classi omogenee
- interpretazione dei dati

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCA: la valutazione è il meglio]

Eco-Indicator 99

EPS 2000

EDIP 96

Salute umana [DALY]

(Disability-Adjusted Life Years)

Valuta il peso di una infermità dovuta ad invalidità o a morte prematura attribuibile ad una malattia causata dalla sostanza

Salute umana [YOLL, Person year]

(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]

(Potentially Disappeared Fraction)

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)

Uso delle risorse [MJ Surplus]

Categorie di impatto [m³,kg]
(m³, kg di sost. equivalente)
di prodotto

Risorse abiotiche [ELU/kg]

(Environmental Load Unit = €)
disponibilità a pagare per la sostituzione delle risorse abiotiche in esaurimento

Uso delle risorse [kg]

(kg)
di prodotto
EDIP 96 (resources only) Kg di risorsa

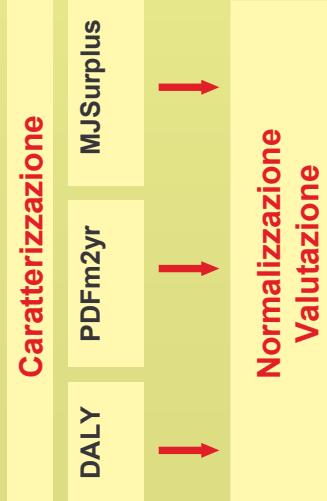
fase esplorativa

fase applicativa

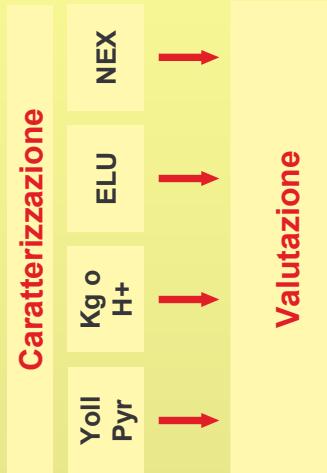
fase analitico- critica

LCA: la valutazione è il meccanismo

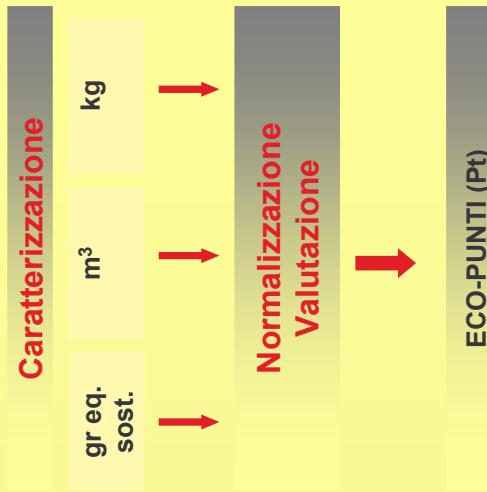
Eco-Indicator 99



EPS 2000



EDIP 96



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica

Gli impatti vengono normalizzati e valutati per ricavare un parametro univoco di definizione dell'impatto.

Gli impatti vengono valutati per ricavare un parametro univoco di definizione dell'impatto basato sul concetto WTP (Willingness To Pay) e attribuendo un valore economico al danno.

LCA: la valutazione è il traguardo

Eco-Indicator 99

EPS 2000

1 kg di SOSTANZA PRODOTTA

fattori di CARATTERIZZAZIONE

SALUTE UMANA

- sostanze cancerogene
- malattie respiratorie (sost. organiche)
- malattie respiratorie (sost. Inorganiche)
- cambiamenti climatici**
- impoverimento dello strato di ozono
- radiazioni ionizzanti

1 kg CO₂

2,1E-7 DALY fc

fattori di NORMALIZZAZIONE

Inverso del danno subito dal cittadino medio europeo in 1 anno a causa delle attività umane in Europa

fattori DI VALUTAZIONE
Importanza relativa delle categorie di danno

64,7 DALY-1 fn
(salute umana)

333 Pt fv
(salute umana)

0,00452 Pt/kg

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCA: la valutazione è il meccanismo

fase esplorativa

Eco-Indicator 99

EPS 2000

1 kg di SOSTANZA PRODOTTA

fattori di CARATTERIZZAZIONE

la CO₂ è considerata solo in alcune categorie di impatto con fattori differenti:

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

SALUTE UMANA

Prendiamo il valore
della
caratterizzazione
per *Human Health*:
fc
7.93E-7 Person yr
3.53E-7 Person yr
6.55E-7 Person yr

1 kg CO₂

fase applicativa

fattori DI VALUTAZIONE

rv
85.000 ELU\Person yr
100.000 ELU\Person yr
10.000 ELU\Person yr
0.109 ELU=0.109 Pt

EDIP 96

fase analitico- critica

rapresentano la disponibilità a pagare per evitare qualsiasi cambiamento che comporta un peggioramento delle condizioni.
 Affianco riportiamo i valori per le tre categorie di impatto di *Human Health*.

LCA: la valutazione è il meccanismo

fase esplorativa

Eco-Indicator 99

EPS 2000

EDIP 96

1 kg di SOSTANZA EMESSA

fattori di CARATTERIZZAZIONE

la CO₂ è considerata solo in Global Warming

Surriscaldamento del globo

- Impoverimento strato di ozono
- Acidificazione
- Eutrofizzazione
- Smog fotochimico
- Ecotoxicità cronica dell'acqua
- Ecotoxicità acuta dell'acqua
- Ecotoxicità cronica del suolo
- Toxicità dell'aria per l'uomo
- Toxicità dell'acqua per l'uomo
- Toxicità del suolo per l'uomo
- Rifiuti indifferenziati
- Rifiuti radioattivi

CATEGORIE DI DANNO

Prendiamo il valore della caratterizzazione per la CO₂ in *Global Warming* espressa in grammi equivalenti di CO₂:

1 grCO₂eq
fc

fase applicativa

fase analitico- critica

1.15E-4 grCO₂eq⁻¹
fn

1,3 Pt
fv

0.149 Pt/kg

fattori di NORMALIZZAZIONE

è necessario per confrontare i danni
(inverso dell'impatto potenziale per persona e per anno, con riferimento al 1990)

fattori di VALUTAZIONE

è necessario per attribuire un peso a ciascuna categoria di impatto
(rapporto tra il danno per persona nel 1990 e il danno per persona previsto nel 2000)

LCA: la valutazione è il metodo: potenzialità e limiti

Eco-Indicator 99

Valutazione secondo prospettive culturali (*Cultural theory*): ugualitaria, individualista, gerarchica

Si riferisce all'area europea

CO₂ considerata solo in Climate Change

Forte caratterizzazione dell'uso del territorio

EPS 2000

Valutazione anche dei costi esterni

Valutazione risorse inferiore a EI99

CO₂ in Human Health e in Biodiversity

Forte caratterizzazione dell'uso dell'acqua

EDIP 96

Non considera Uso del territorio (*Land use*) e polveri sottili

Visione valida emissioni e consumi: rapporto delle quantità nel 1996 con quelle attuali

Valutazione molto bassa delle risorse: *Edip (resources only)* non è integrato in Edip 96

LCA: la valutazione è il metodo: modifiche ENEA

- Consumo di acqua: l'acqua come una risorsa e si calcola l'aumento di energia necessaria per estrarre 1 l di acqua quando il suo consumo sarà 5 volte del '90. Inserita la sostanza **Water** nella categoria di impatto **Minerals**
- Nelle rispettive categorie inserite la **CO₂, CO₂ fossili, CO₂ non fossili**
- Prot e Not nella categoria **Eutrofizzazione**
- Utilità della funzione: si considera la reale utilità della funzione (o prodotto) per la vita dell'uomo. È stata creata la categoria di danno **Funzione Energia**: si considera separatamente il fabbisogno energetico del processo. È stata creata la categoria di danno **Energia**
- Costi: si considerano anche gli aspetti economici del processo

- Polveri: sono state inserite tutte le tipologie di polveri nella categoria di impatto **Human Toxicity Air** con fattori di caratterizzazione calcolati in base a confronti con il metodo Eco-Indicator 99
- Nelle rispettive categorie inserite le voci **NO_x e SO_x**, dove non comparivano
- Ipotesi di fattore di valutazione delle **Resources**

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica

LCA e EPD: dichiarazioni ambientali di prodotto

Necessità di risultati consultabili in modo chiaro e univoco
Necessità di informazioni codificate e confrontabili

ISO TR 14025
(approvata 27-03-2000)

EPD

Environmental Product declaration
Certificazione di qualità
ambientale del prodotto
Swedish Environmental
Management Council

In Italia

ANPA

Agenzia Nazionale per la
Protezione dell'Ambiente

*Linee guida per la
dichiarazione ambientale di
prodotto, 2001*

Fattori di caratterizzazione
del danno =
al metodo Edip 96

PSR
Product Specific
Requirements

Requisiti specifici
di prodotto

ANALISI LCA
del prodotto

Controllo da parte
di organismi di
accreditamento
e **ANPA**

EPD

Dichiarazione del danno
Non valutazione del danno

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

ISO DIS 21930
(sommario votazioni 10-08-2005)

EDBP

*Sustainability in building
construction – Environmental
declaration of building
products*
Certificazione di qualità
ambientale dei prodotti
edilizi
ISO

Scopo:

Descrivere i principi e il
programma quadro per la
EDBP, includendo
considerazioni sull'uso dei
prodotti edilizi, all'interno del
ciclo di vita completo di un
edificio



LCA – EPD – EDPB: i parametri descrittivi del danno

Metodo EDPB nel codice SIMA PRO

Inventario	Categorie di danno	Caratterizzazione	Origine fattori
Categorie di impatto [m ³ ,kg]			
(m ³ , gr. di sost. equivalente) di prodotto	<ul style="list-style-type: none"> • Climate change • Destruction of ozone layer • Formation of photochemical oxidants • Soil and Water acidification • Eutrofication • Human toxicity (air, water, soil) • Ecotoxicity (air, water, soil) • Resources • Use of water 	<ul style="list-style-type: none"> • grCO2eq. • grFCeq. • grETHENEeq. • grSO2eq. • grNO3eq. • [m³] • [m³] • kg • m³ 	ISO 14025 + EDIP96 ISO 14025 + EDIP96 ISO 14025 + EDIP96
(kg) di prodotto	<ul style="list-style-type: none"> • Land use • Bulk waste • Hazardous waste • Radioactive waste 	<ul style="list-style-type: none"> • m² • kg • kg • kg 	EDIP96(resources only) Inserite tutte le acque (con fattore di riduzione di 0,001 per passare da kg a m ³) EI99 (richiamate le voci adeguate alla categoria Building)
(MJ) di risorsa	Consumo di energia [MJ]	<ul style="list-style-type: none"> • Electricity consumption 	EDIP96 EDIP96 EDIP96 EI99 con modifiche

SOLI: LCI e caratterizzazione

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



Il fine vita: una questione di metodo e banche dati

Il riciclaggio di un materiale: l'esempio dell'Al riciclato

il processo di riciclo = fine vita di un prodotto (da rottami a semilavorato dopo il trattamento)

processo di riciclo

≠

processo di produzione di un materiale secondario

processo di trattamento di 'fine vita' (waste treatment) o di smaltimento di un prodotto, a chiusura di un ciclo di vita

processo di produzione, 'categoria materiali' (material) e rappresenta l'inizio di un altro ciclo di vita, quello di un materiale riciclato

Riciclo con co-prodotto

processo di riciclo (- prodotto evitato)
+
prodotto secondario (co-prodotto)

Allocazione secondo i costi commerciali:
% processo % prodotto secondario

RISULTATO:

Vantaggio: riduzione del danno del processo di riciclo
Non si valuta il coprodotto con questi confini

Riciclo con prodotto evitato

processo di riciclo + prodotto evitato (-)

BUWAL:
input materiale tot. riciclato
prodotto evitato materiale primario (-)
DATA ARCHIVE:
input materiale tot. riciclato
prodotto evitato prodotto tot. riciclato (-)

RISULTATO:

Processo di riciclo = PPM2 – PPM1
Con PPM1>PPM2
Indicato un prodotto (evitato), un vantaggio

Un esempio di waste treatment: la LCA del fine vita dell'alluminio

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

La LCA del fine vita dell'alluminio

Confine del sistema:


Confronto con
Edip96

il processo di riciclo = fine vita di un prodotto (da rottami a semilavorato dopo il trattamento)

1. Riciclo con co-prodotto (ENEA)
CM_Riciclo alluminio con coprodotto
Metals – non ferro

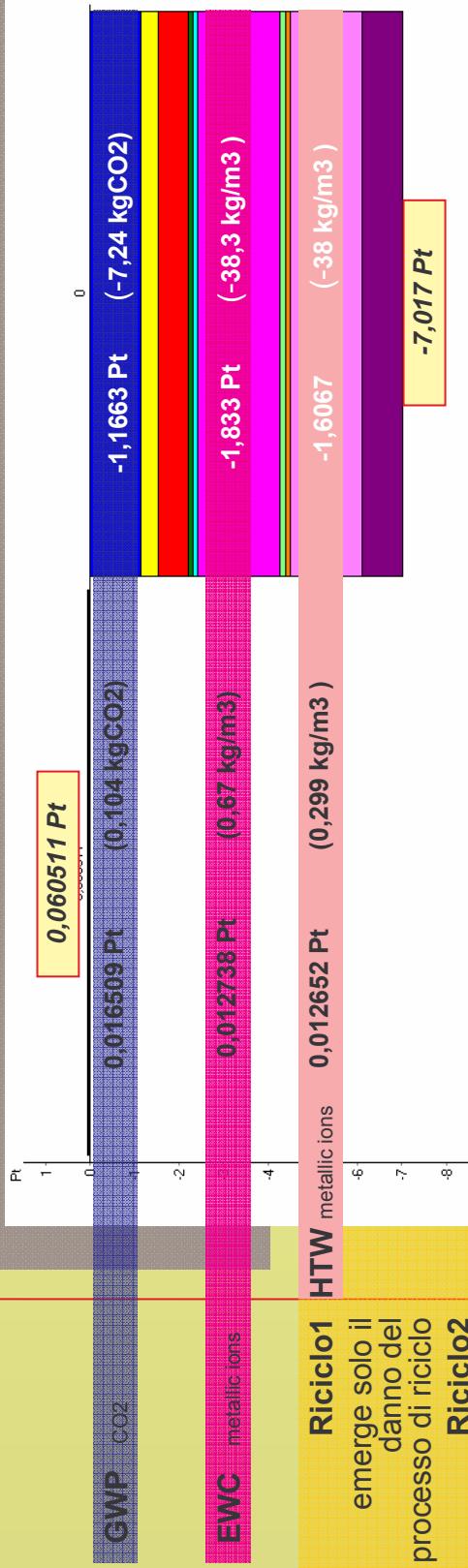
input *Alluminium ingots rec. B250
(coprodotto) CM_Alluminio riciclato al 100%*
Metals – non ferro

Allocazione secondo i costi commerciali:

28% processo

72% co-prodotto

(dati azienda ICMET, tesi G. Olivieri - London Metal Exchange)



Riciclo1
emerge solo il
danno del
processo di riciclo

Riciclo2
determina un
vantaggio, con
tutti i valori
negativi

Comparing 1 kg material CM_Riciclo alluminio con coprodotto with 1 kg waste treatment 'Recycling aluminium B250'. Method: EDIP/UMIP 96 Lodi / EDIP/World/Dk / single score

Grafico di valutazione del confronto fra i due processi di fine vita



Discarica - riciclaggio e termovalorizzazione

Confine del sistema:

Caso di riferimento:

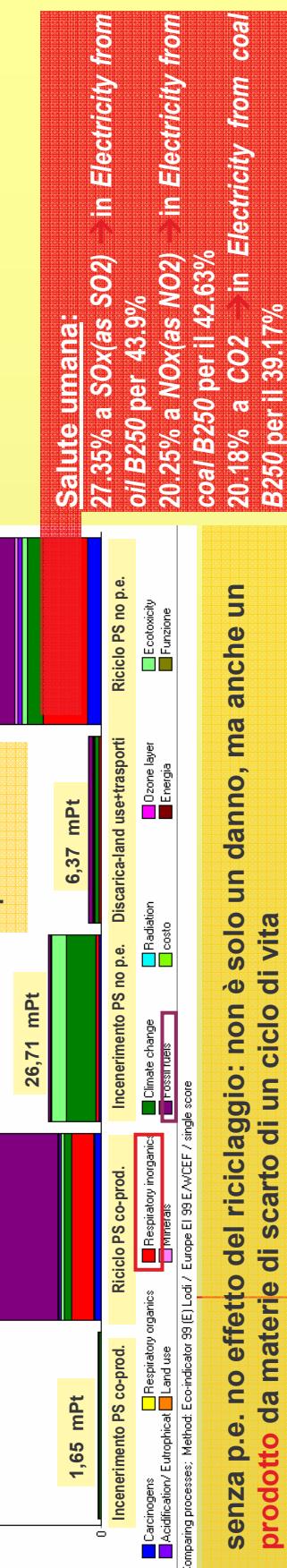
Il fine vita del polistirene EPS – material/PS B250 – BUWAL 250

Confronto del solo impatto prodotto dal procedimento di fine vita del polistirene tra:

- **discarica** (occupazione del suolo e dell'incidenza dei trasporti di conferimento dei rifiuti)
- **riciclo del PS, senza prodotto evitato** (danno del processo di riciclo, no p.e.)
- **incenerimento del PS, senza prodotto evitato** (danno del processo di inc, no energia ev.)
- **riciclo del PS, con co-prodotto** (solo danno del processo di riciclo allocato approx al 20%)
- **incenerimento del PS, con co-prodotto** (solo processo di incenerimento allocato (costo) al 6.3% dell'intero processo)

EPS

EDIP



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica

senza p.e. no effetto del riciclaggio: non è solo un danno, ma anche un prodotto da materie di scarto di un ciclo di vita

Discarica - riciclaggio e termovalorizzazione

 EPS Confine del sistema:

Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96

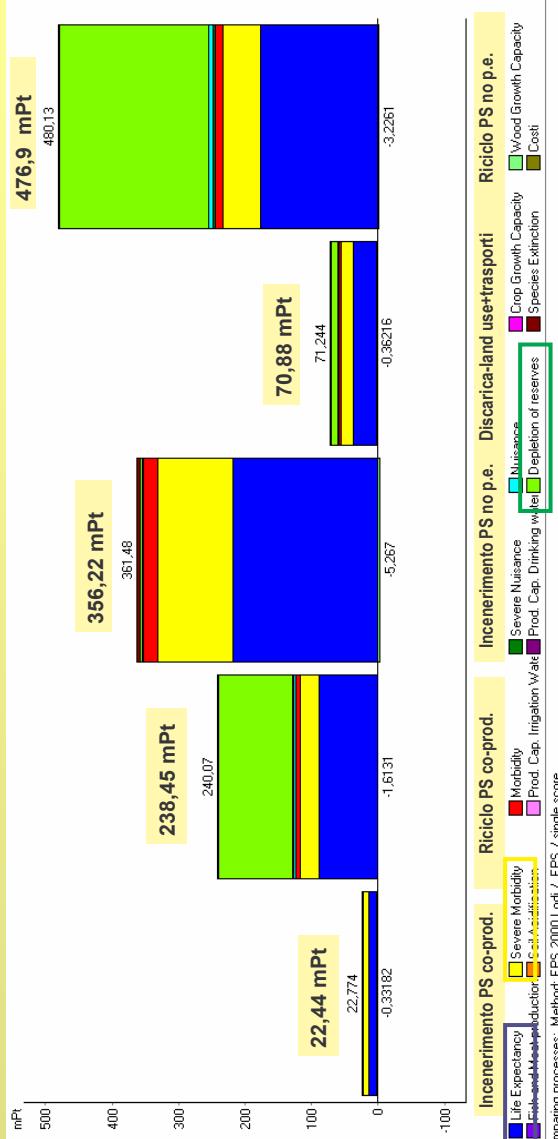
EI99

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Il fine vita del polistirene EPS – material PS B250 – BUWAL 250



Andamento dei danni simile a EI99:

Riciclo senza p.e.: danno massimo, circa 50% dovuto all'esaurimento delle risorse

Inc. senza p.e.: secondo per danno (rispetto a EI99)

Discarica: sempre danno minimo

Discarica - riciclaggio e termovalORIZZAZIONE



Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96

fase esplorativa

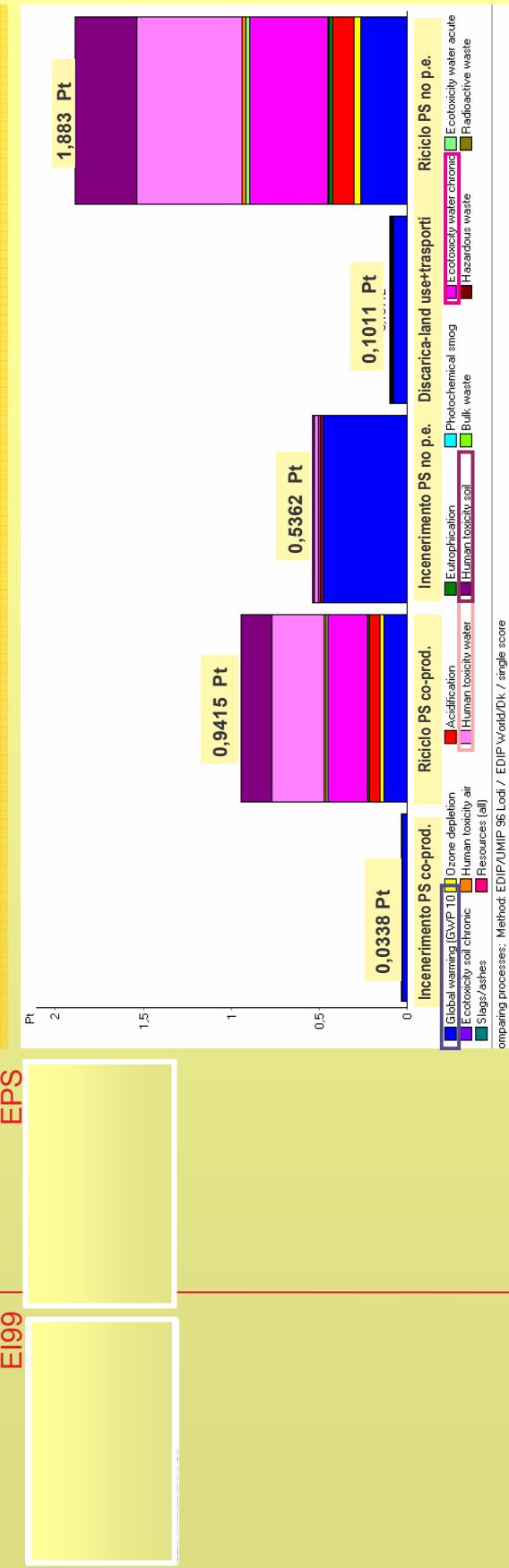
fase applicativa

fase analitico- critica

Il fine vita del polistirene EPS – material PS B250 – BUWAL 250

Andamento dei danni come EI99:

- Riciclo senza p.e.: danno max, più del 30% a Ecotoxicità cronica dell'acqua
- Riciclo con co-prod.: secondo per danno
- Discarica: sempre danno minimo



La discarica sembrerebbe il fine vita con minor impatto!!!

Qui non appaiono i **prodotti risultanti** dal trattamento

Nella realtà: dal riciclaggio → materiali / prodotti secondari
dall'incenerimento → energie (elettrica e termica) immesse in rete.

Concetto di 'Prodotto evitato' **vs** Concetto di 'Co-prodotto'

allargamento dei confini della vita di un prodotto:
1° ciclo +2° vita di un prodotto



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica

Allargamento dei confini, oltre il trattamento di fine vita

Obiettivo:

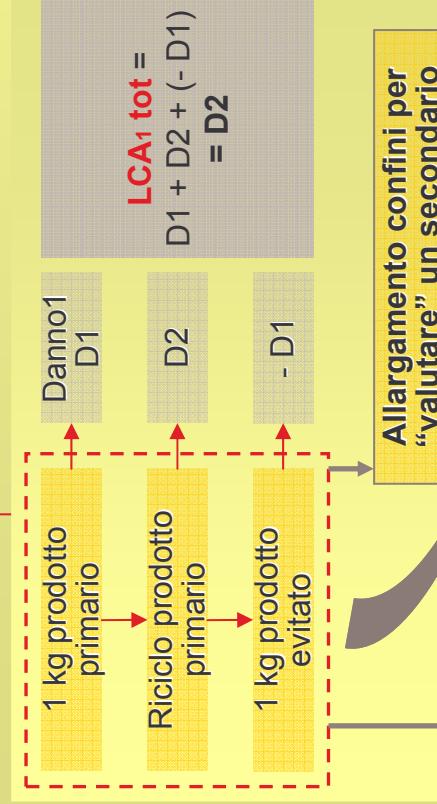
Verificare il vantaggio del prodotto uscente dal processo di riciclaggio rispetto alla discarica

Confronto degli impatti

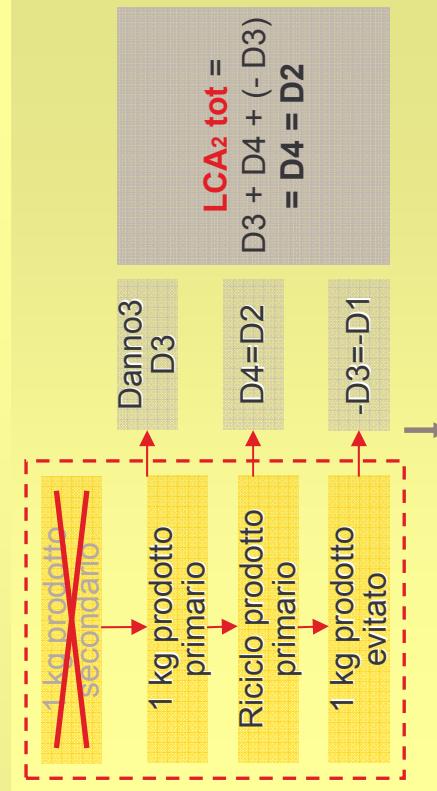
Per il ciclo di vita di 1 kg (U.F.) di Polistirene fra:

- due cicli di vita con discarica (2kg di EPS messi in discarica)
- due cicli di vita con processo di riciclaggio del PS con prodotto evitato (1kg di EPS riciclati due volte)
- due cicli di vita con processo di riciclaggio del PS con coprodotto (1kg di EPS riciclati due volte)

PRIMO CICLO



SECONDO CICLO



somma di due cicli completi

Schema operativo dei flussi input/output

Processi:
Es. discarica

2 cicli di discarica

Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96

fasce esplicative

fase applicativa

fase analítico-critica

```

graph TD
    CM_LCA1[CM_LCA1] -- "Processing: others" --> CM_LCA2[CM_LCA2]
    CM_LCA1 -- "Processing: others" --> CM_LCA3[CM_LCA3]
    CM_LCA2 -- "Building Materials" --> CM_LCA1
    CM_LCA3 -- "Waste treatment" --> CM_LCA1
    CM_LCA2 -- "Building Materials + Processing" --> CM_LCA1
  
```

rica

CM_LCA₁

input: 1 kg PS(GPPS) B250(1998):

fine vita: landfill del PS - suolo e i trasporti

arg.confini

6(GPPS) B250(1998) + **CM_LCA₁**

landfill del PS (suolo e i trasporti)

Processing: others

Building Materials

Waste treatment

Processing: others

Building Materials + Processing

Waste treatment

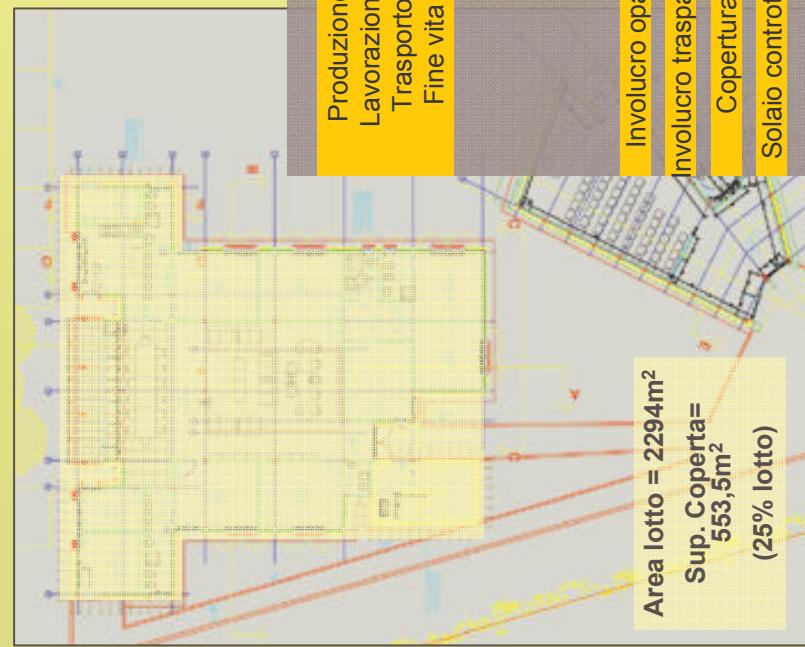


- Discarica produce un danno maggiore di quello del riciclo con prodotto evitato con tutti i metodi.
- Riciclo **con prodotto evitato** produce il danno minimo con tutti i metodi
- Riciclo **con coprodotto** produce il danno intermedio con E-99 ed EPS, e il danno massimo con valutazione delle risorse di EDIP fa rispetto agli altri due metodi
- Discarica VS riciclo: **evidente il vantaggio prodotto da riciclo, che permette l'uso di un rifiuto**

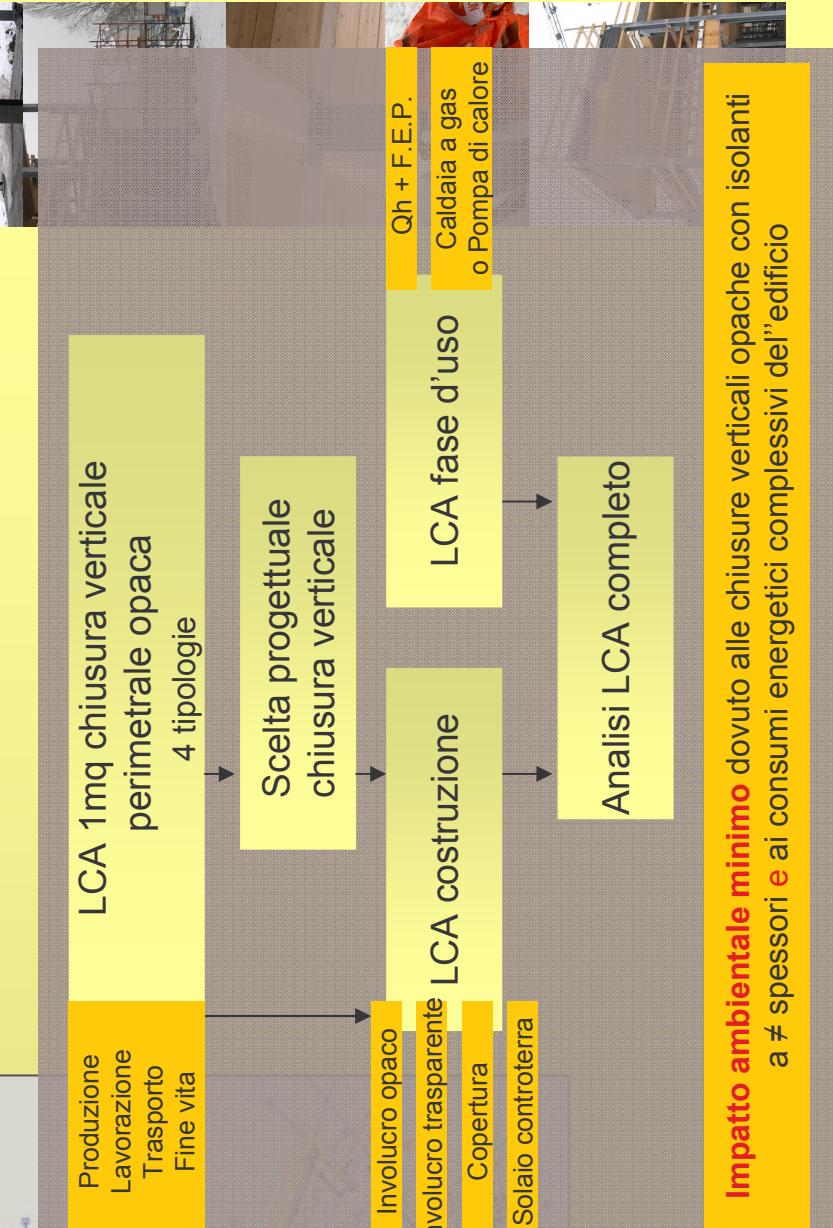
COMMENTI

Impatto ambientale di chiuse verticali esterne

edificio sperimentale 'casa famiglia per minori' a Lodi IN FASE DI REALIZZAZIONE



- un edificio sperimentale a basso consumo energetico e inquinamento ambientale
- soluzioni innovative di involucro a secco (S/R struttura e rivestimento) con carattere di reversibilità e impiego di materiali leggeri
- partecipazione di aziende del settore edilizio: fornitura dei materiali da costruzione



analisi di tutte le fasi del ciclo di vita con **LCA comparativa**:
- alla scala del subsistema tecnologico
- alla scala dell'edificio

fase esplorativa

fase applicativa

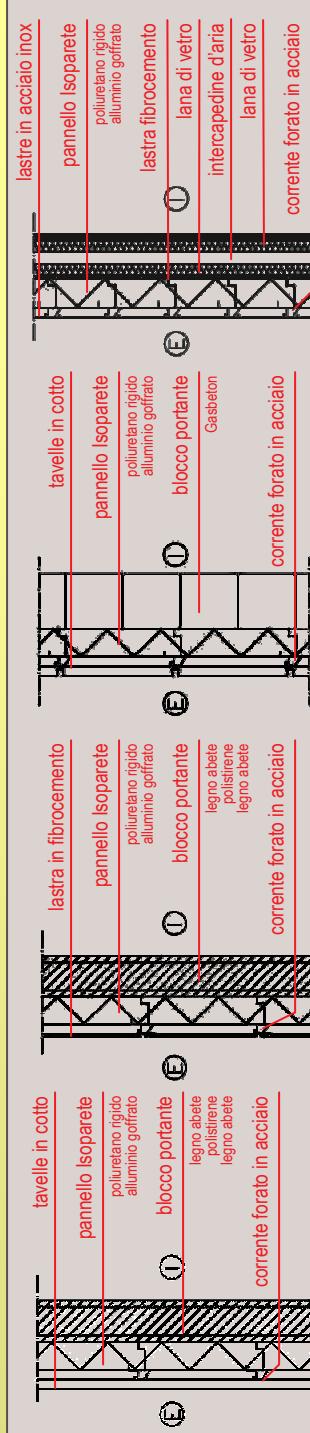
fase analitico- critica

Impatto ambientale minimo dovuto alle chiuse verticali opache con isolanti a ≠ spessori e ai consumi energetici complessivi dell'edificio

LCA a scala del subsistema delle chiuse esterne opache

Tavelle in cotto	Fibrocemento	Lastra acciaio	Isostrate: Poliuretano Al gommato	Sapisoli: Legno - Polistirene	Gasbeton	Lana vetro	Cartongesso

4 tipologie di pacchetti, 8 prodotti edili, 10 materiali → materiali leggeri



Potenza termica unitaria dissipata involucro

$$Q_a = A^* K^* (T_i - T_e)$$

$$A = 1 \text{ mq}$$

$$T_{eLODI} = -5^\circ\text{C}$$

$K = 0,109 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Spessore mat. isolante 25 cm

$K = 0,114 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Spessore mat. isolante 11.6 cm

$K = 0,125 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Spessore mat. isolante 21.6 cm

$Q_a = 2,725 \text{ W/mq}$

$Q_a = 3,65 \text{ W/mq}$

$Q_a = 3,125 \text{ W/mq}$

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCA a scala del subsistema delle chiuse esterne opache

Verifica D.L.n.192
attuazione Dir. CE
2002

$K_{\text{chiuse vert. opache}}$
prevista per la zona
climatica di Lodi =
 $0,46 \text{ W/mqK}$

Il comportamento dell'involucro è assimilabile a quello di una *Passiv Haus*:

Edificio tradizionale:

- un *U-value* pareti < di $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- un fabbisogno termico pari a $37 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- spessori di isolamento tra 25-40cm

Alcune perplessità iniziali:

come materiali isolanti con alti spessori e i materiali dall'alto contenuto energetico (acciaio e alluminio) rendono l'edificio effettivamente sostenibile nell'ottica di una valutazione del intero ciclo di vita?

come il trasporto incide sull'impatto ambientale?

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCA a scala del subsistema delle chiuse esterne opache

DEFINIZIONE DELL'UNITÀ FUNZIONALE (quantificazione delle funzioni desiderate)

1m² di parete con una trasmittanza termica = **0,109 W/m²K** Valore più restrittivo tra i quattro

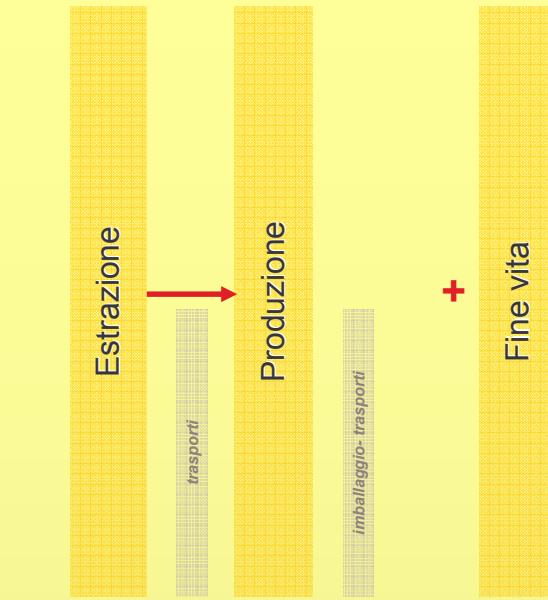
FLUSSO DI RIFERIMENTO (quantità di materiale necessaria a soddisfare la prestazione) * 1m²

$$= \sum (\text{Area di rif.} * \text{Spessore}_n * \text{Peso spec.}_n) \quad \text{con } n = \text{materiali}$$

Flusso di riferimento (kg) per 1 m ²		TIPO C (K= 0,109 W/m ² K)	TIPO D (K= 0,109 W/m ² K)
TIPO A (K= 0,109 W/m ² K)	99,23	67,37	186,25
TIPO B (K= 0,109 W/m ² K)			77,5

FUNZIONE DEL SISTEMA (chiusura verticale perimetrale opaca dell'edificio)

è quella di separare l'ambiente esterno da quello interno di edificio per mantenere le condizioni microclimatiche desiderate



CONFINI DEL SISTEMA

estrazione delle materie prime al trasporto in cantiere
scenario di fine vita: trattamento di riciclaggio dei materiali disassemblabili -

Non è stata valutata la fase di cantiere: non ancora dati certi a disposizione → **assemblaggio** vs costruzione tradizionale

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

LCI: analisi d'inventario dei materiali

Simapro 5.0	Process	Date:	17/06/2005	Time:	16:20:30
Category Type	Material				
Process identifier	eneaxXX0X1599300765				
Resource type	Inventory of all raw materials				
Resource name					

Processo (in Building materials)

Voci dei materiali da Banche dati (includono relativi sottoprocessi)

- Richiamate e modificate
- Create come somma di processi per semilavorati

Gasbeton
Fibrocemento

Electricity/heat		P=0.020; Z4/mc=0.0148t
Truck 28 ETH	1.505 km	trasporto delle lavelli: da Portentosa a Lodi: 35km 0.045*35km=1.055km

Trasporti

Da azienda produttrice (al rivenditore) al cantiere

Rolling aluminum sheet 1	0.0052 ton	laminazione dell'alluminio
Waste to treatment		

Fine vita

Riciclaggio per le varie categorie di materiali

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

- scelta oculta del prodotto da inserire nell'inventario
- in alcuni processi sono presenti materie prime e sostanze da banca-dati, in quantità determinanti nel *mix-design*, che non vengono considerati tra i fattori di caratterizzazione:
è come se non fossero presenti!

"polveri"
(Caso della voce
(Dust(coarse)process) come emissione nel sottoprocesso del calcare (*Limestone*), nel processo del **Gasbeton**) (*Limestone IVAM e Limestone ETH*)

- Il caso della **lana di vetro**

- Verifica dei **mix energetici** nei processi GER (Gross Energy Requirement)

LCA : analisi dell'inventario dei materiali

Il caso della
lana di vetro

In banca dati

Glass, -fiber or -wool (banca
dati IDEMAT-SimaPro)

**Confronto con
E/99**

**LCA comparativa
U.F. 1kg
materiale**

fase esplorativa

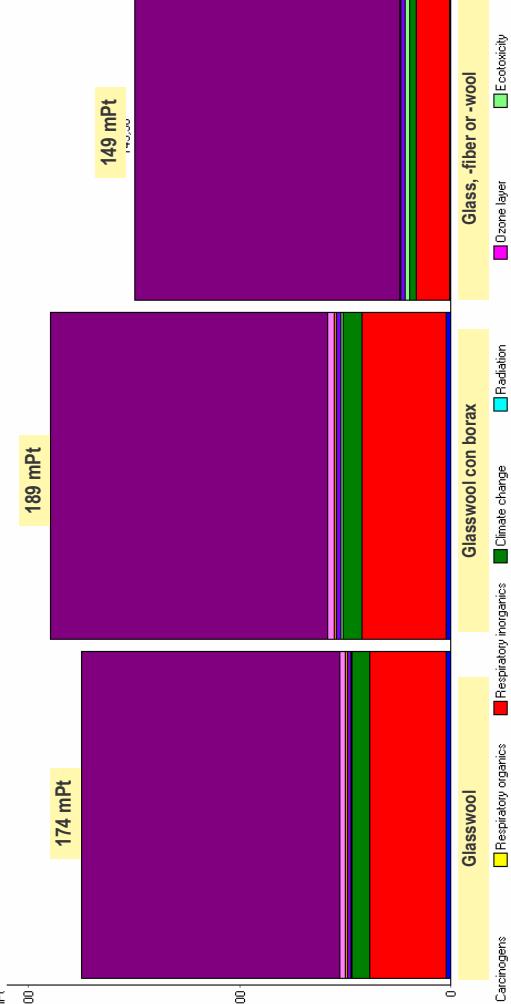
fase applicativa

fase analitico-critica

tra le materie prime, è presente la voce dubbia
“materiale conosciuto, senza dati”
(*Material known, no data*)

Processo produzione **boro** → da Ecoinvent
Borax, anhydrous, powder, at plant

Damage category	Unit	Glasswool	Glasswool con borax	Glass, fiber- or -wool
Human Health	DALY	2,11573E-6	2,3679E-6	9,087E-7
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	0,0593737	0,059722	0,06475
Resources	MJ surplus	2,2296	2,401	2,2459
		x
		5,169	30,226	



Glasswool modificato danno
danno imputabile proprio a
ambientale maggiore:
quella materia prima non nota!



LCA : analisi dell'impatto dell'energia

Il caso dei
mix
energetici

Confronto
con
E/99
LCA comparativa
U.F. 1000 GJ

Nei processi in analisi

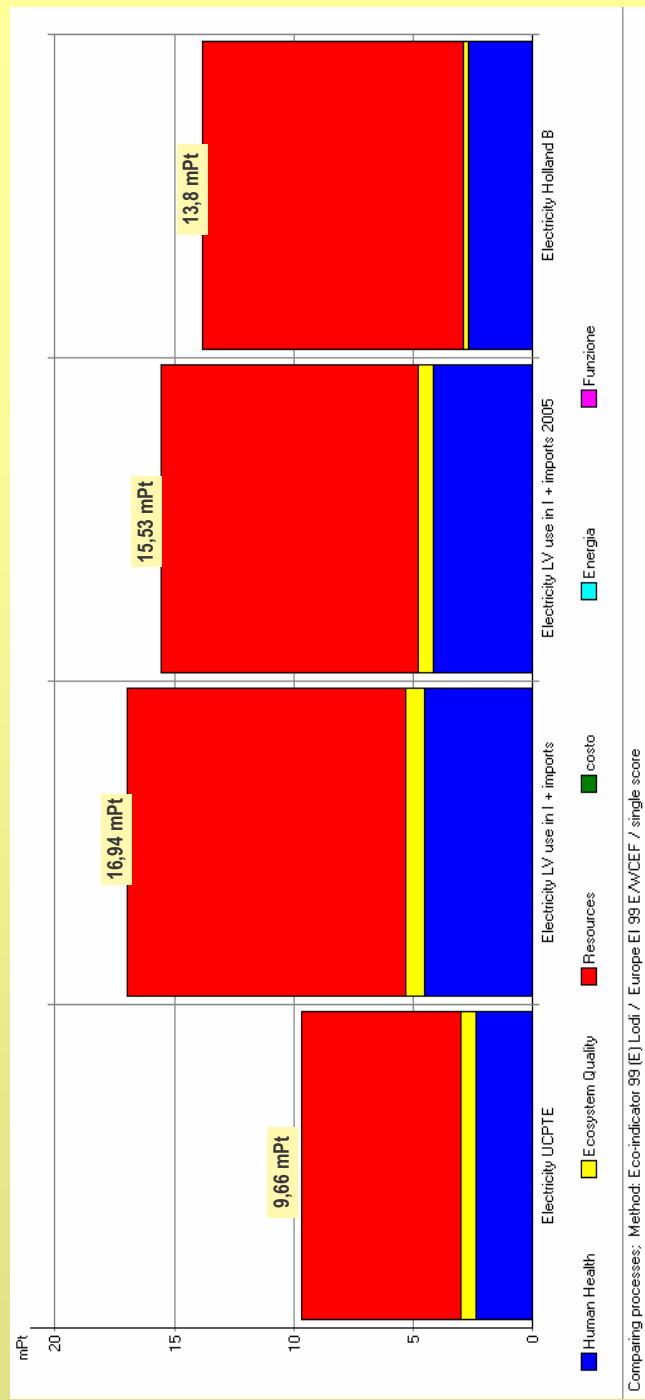
- Electricity_UCPTE
- Electricity_Holland B
- Electricity_LVuse in I + imports
- Electricity_LVuse in I + imports2005**

fase esplorativa

fase applicativa

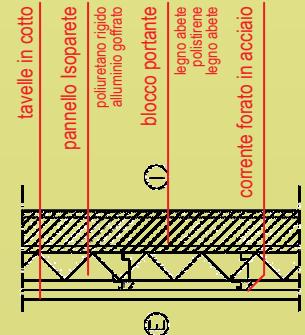
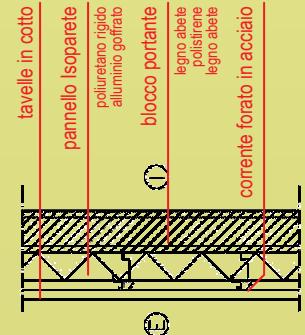
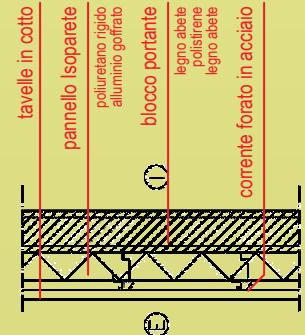
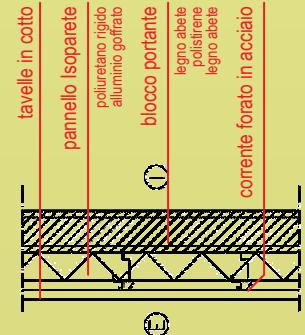
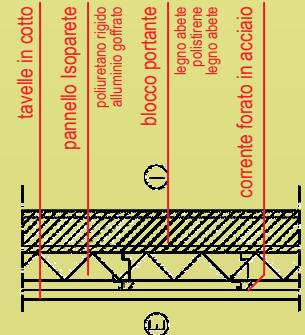
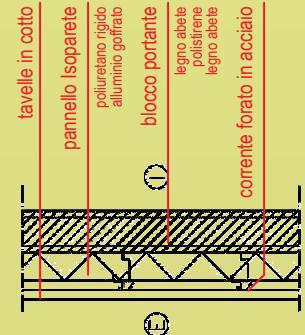
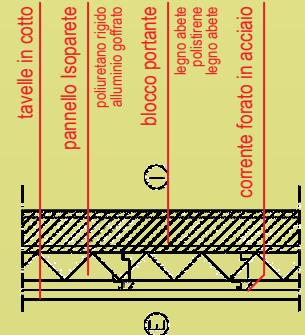
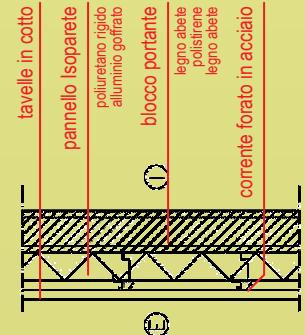
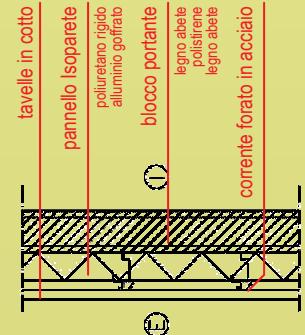
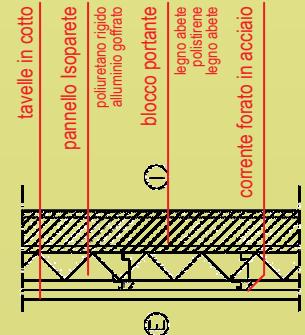
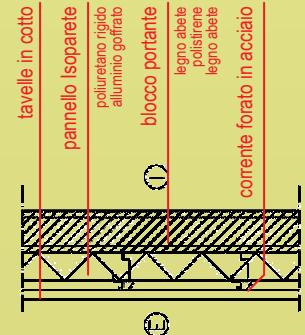
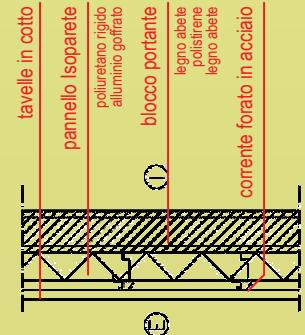
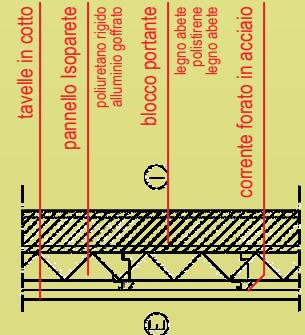
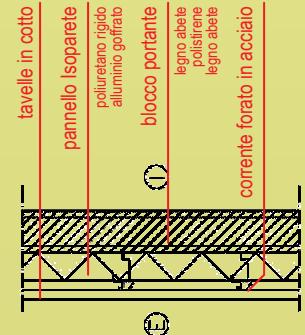
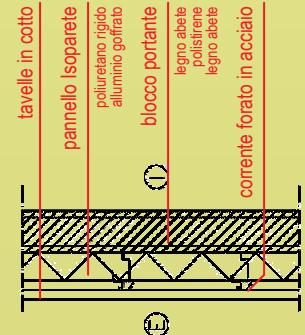
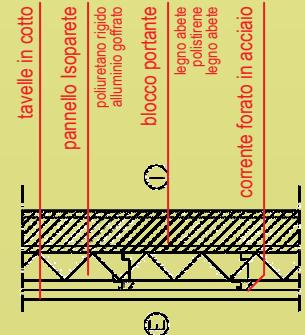
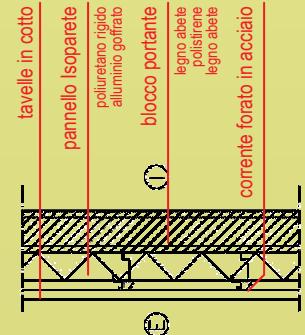
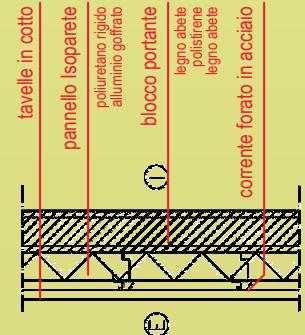
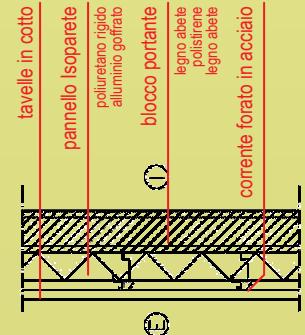
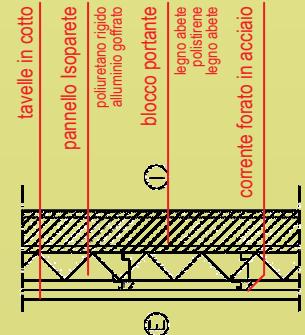
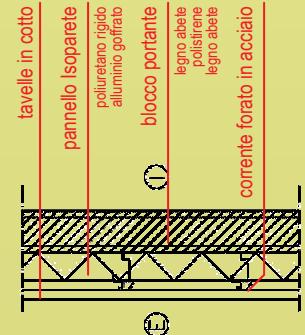
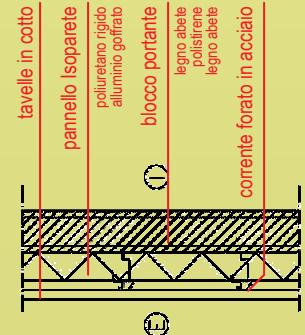
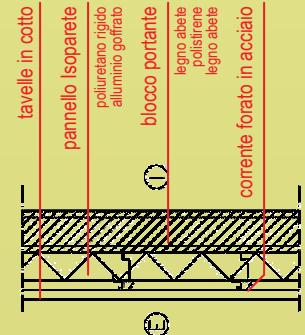
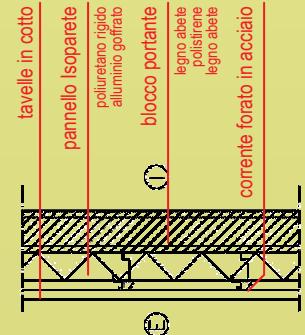
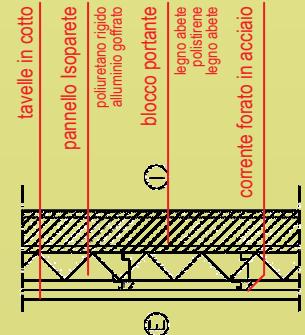
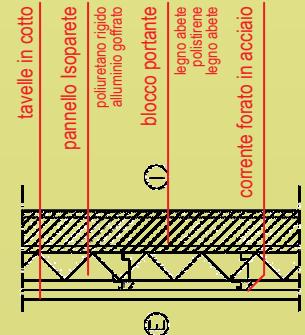
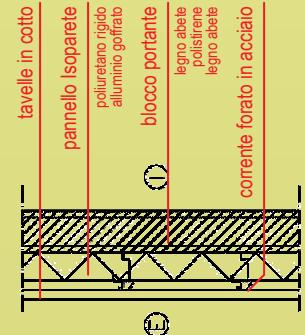
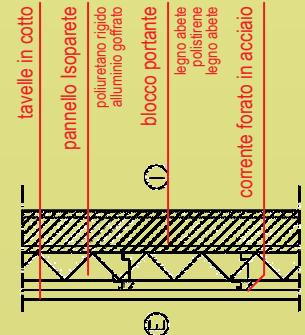
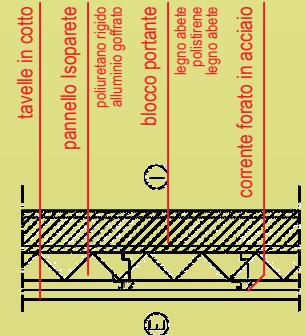
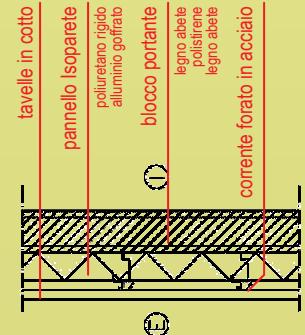
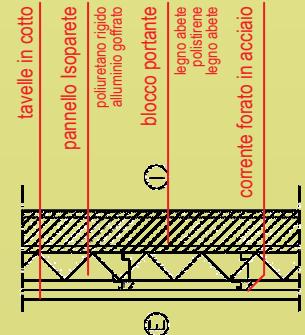
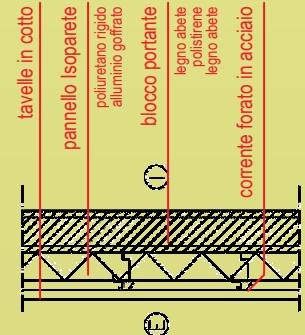
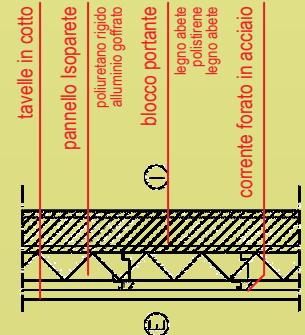
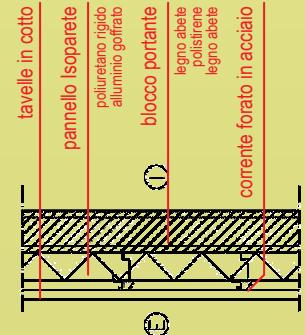
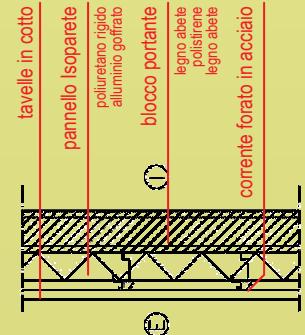
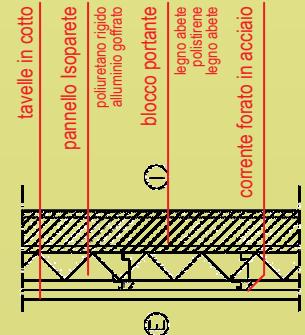
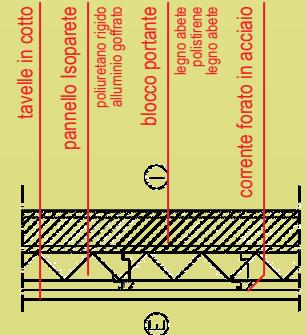
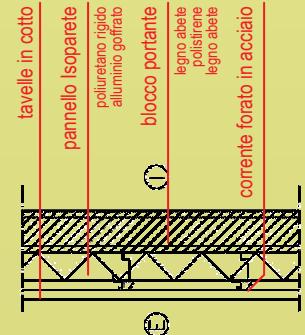
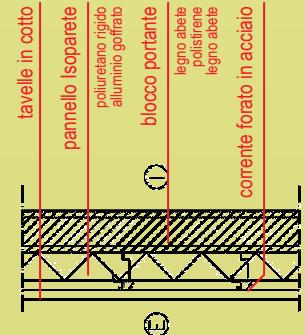
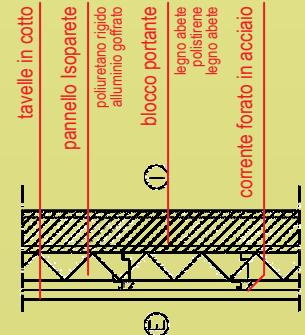
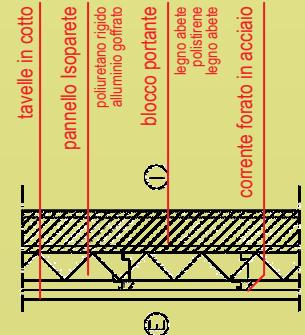
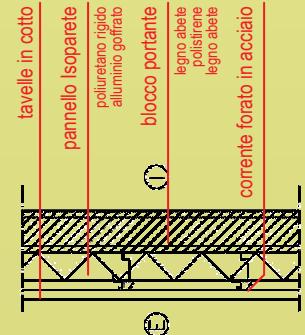
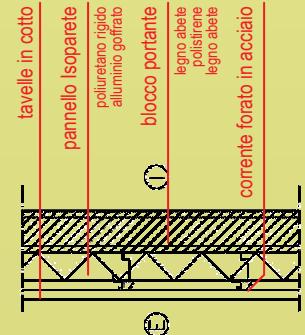
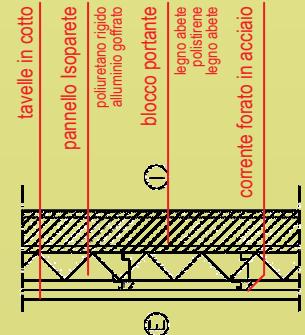
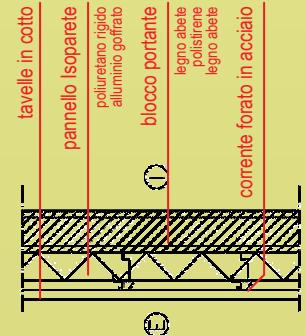
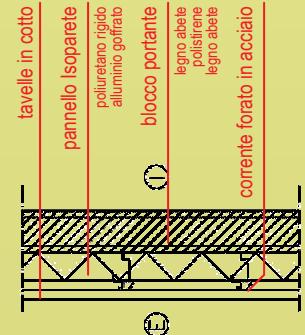
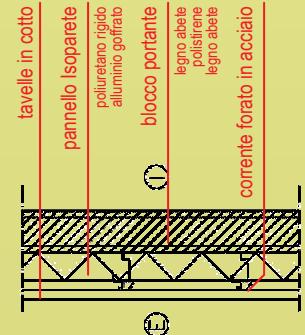
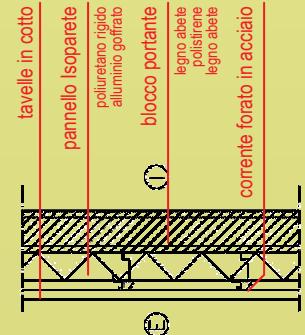
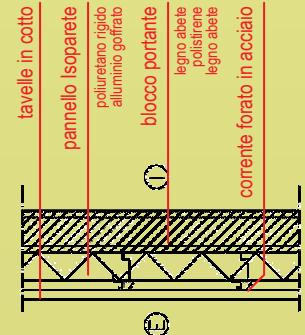
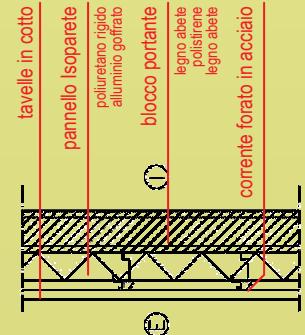
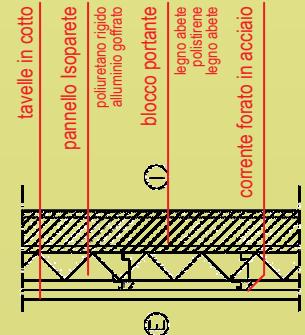
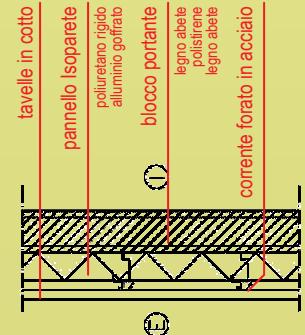
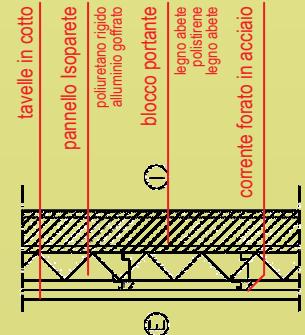
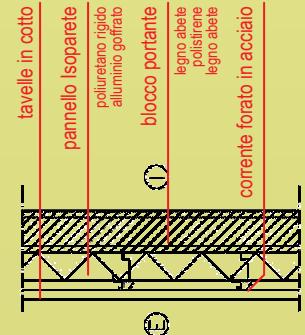
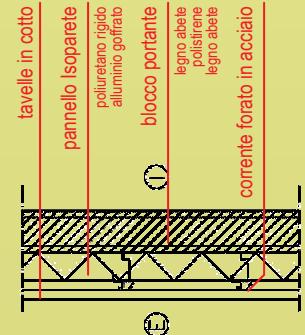
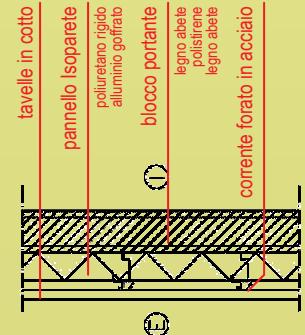
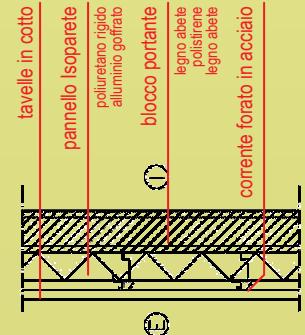
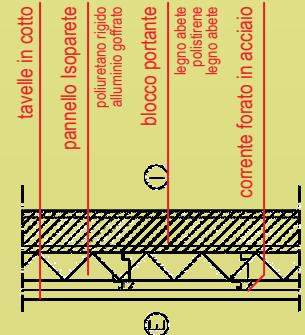
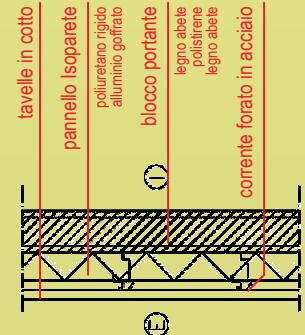
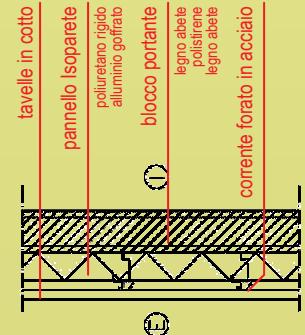
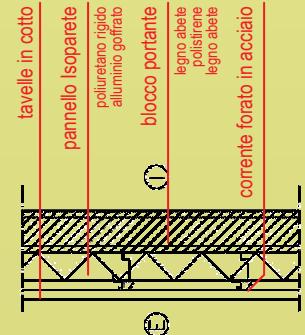
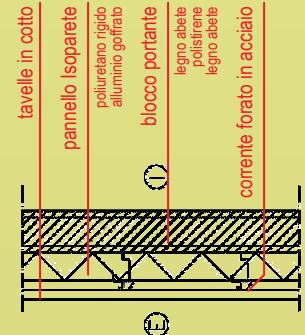
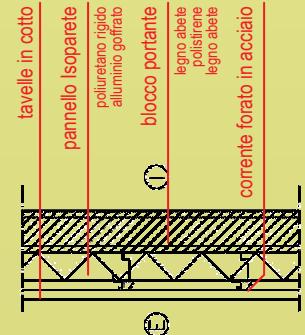
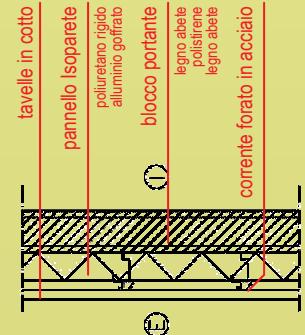
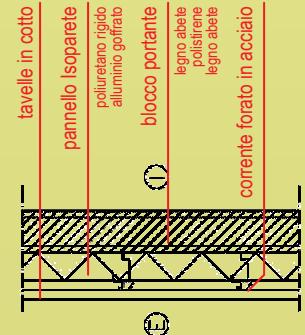
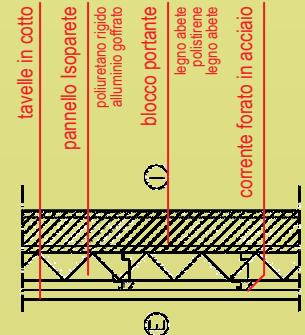
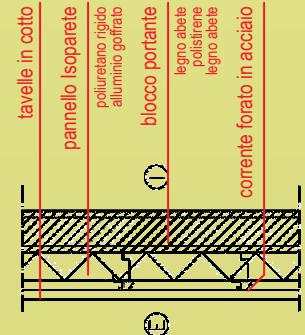
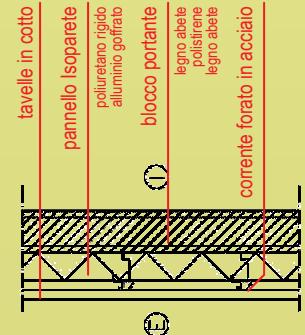
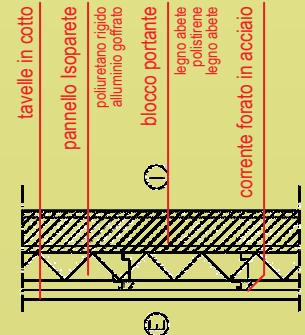
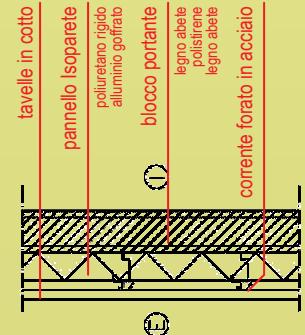
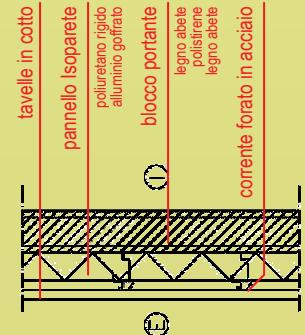
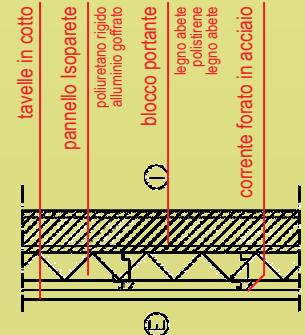
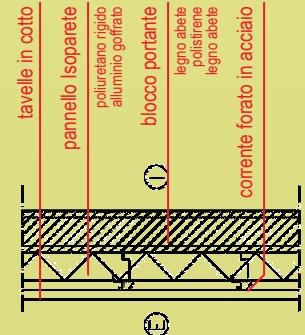
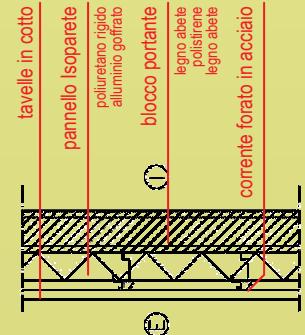
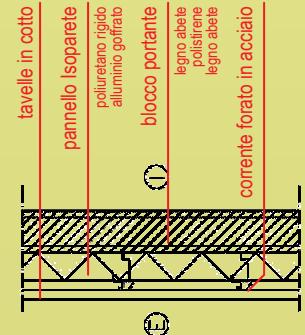
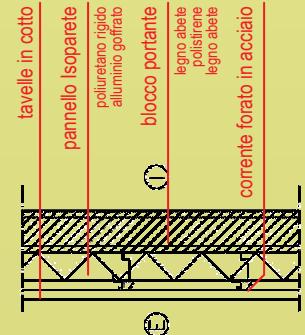
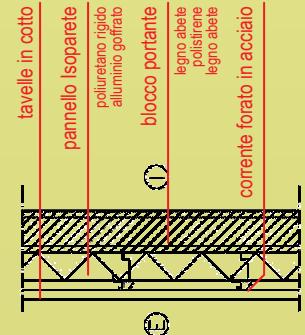
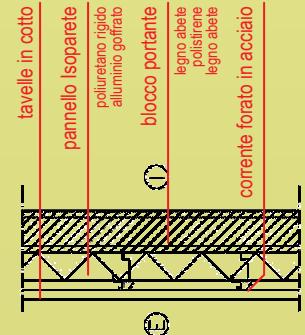
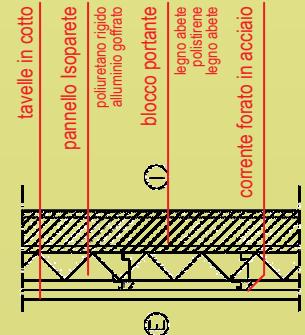
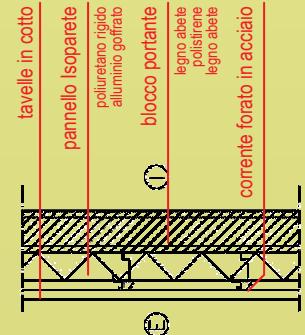
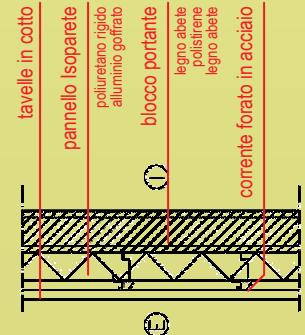
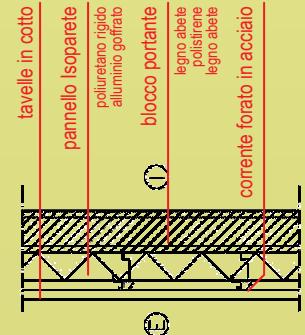
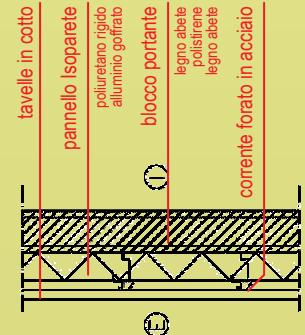
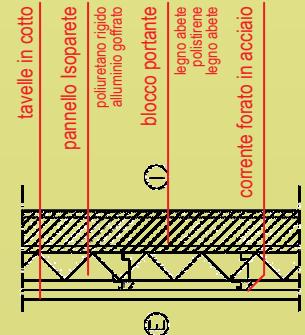
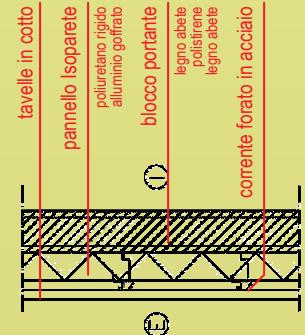
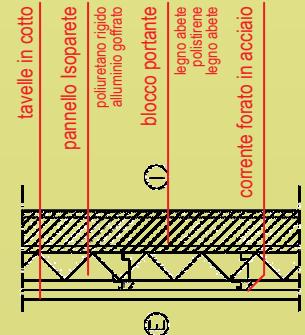
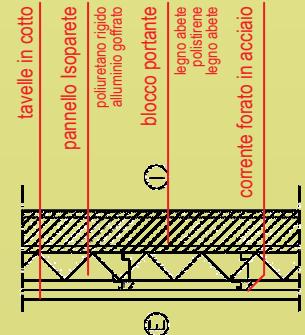
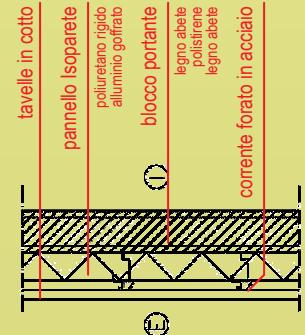
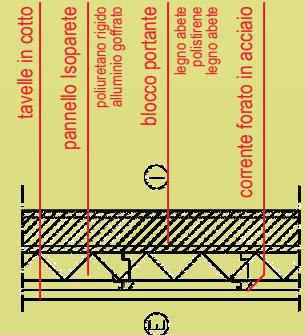
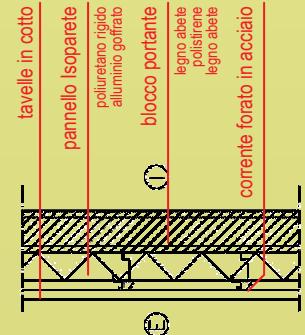
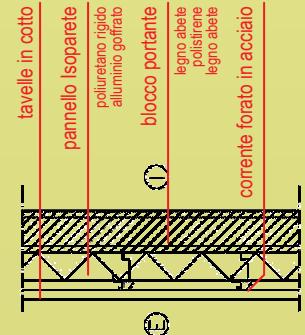
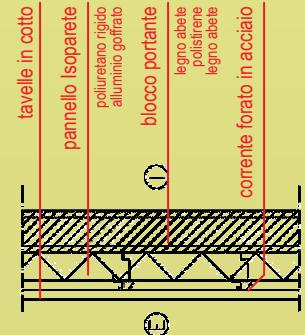
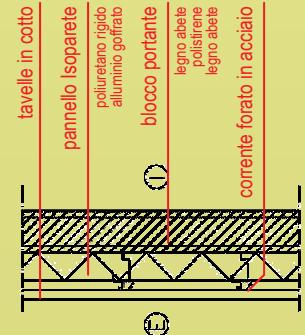
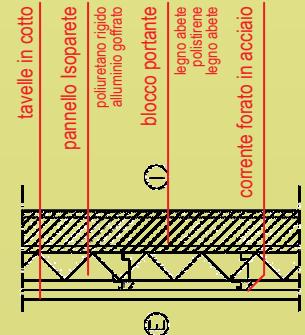
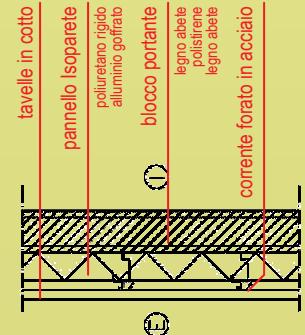
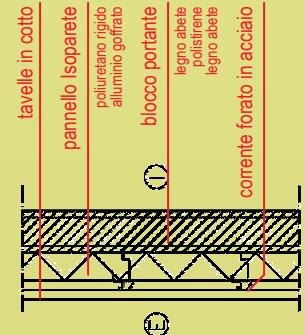
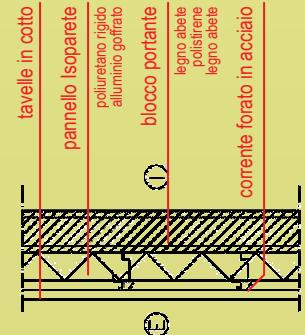
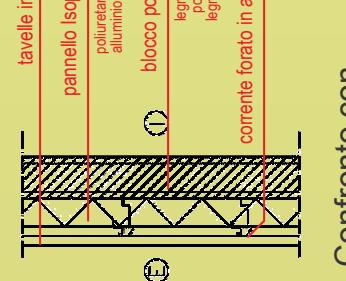
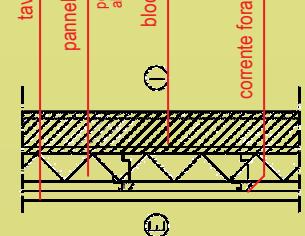
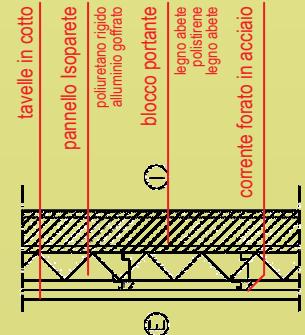
fase analitico- critica

Electricity mix Italy, including imports from other countries
Aggiornato: dati CNR Bologna, Ing. M. Cervino

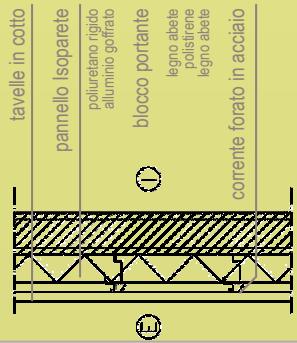


Il mix italiano da Banca dati risulta più dannoso di quello della "realtà"

LCA tipo A



LCA tipo A



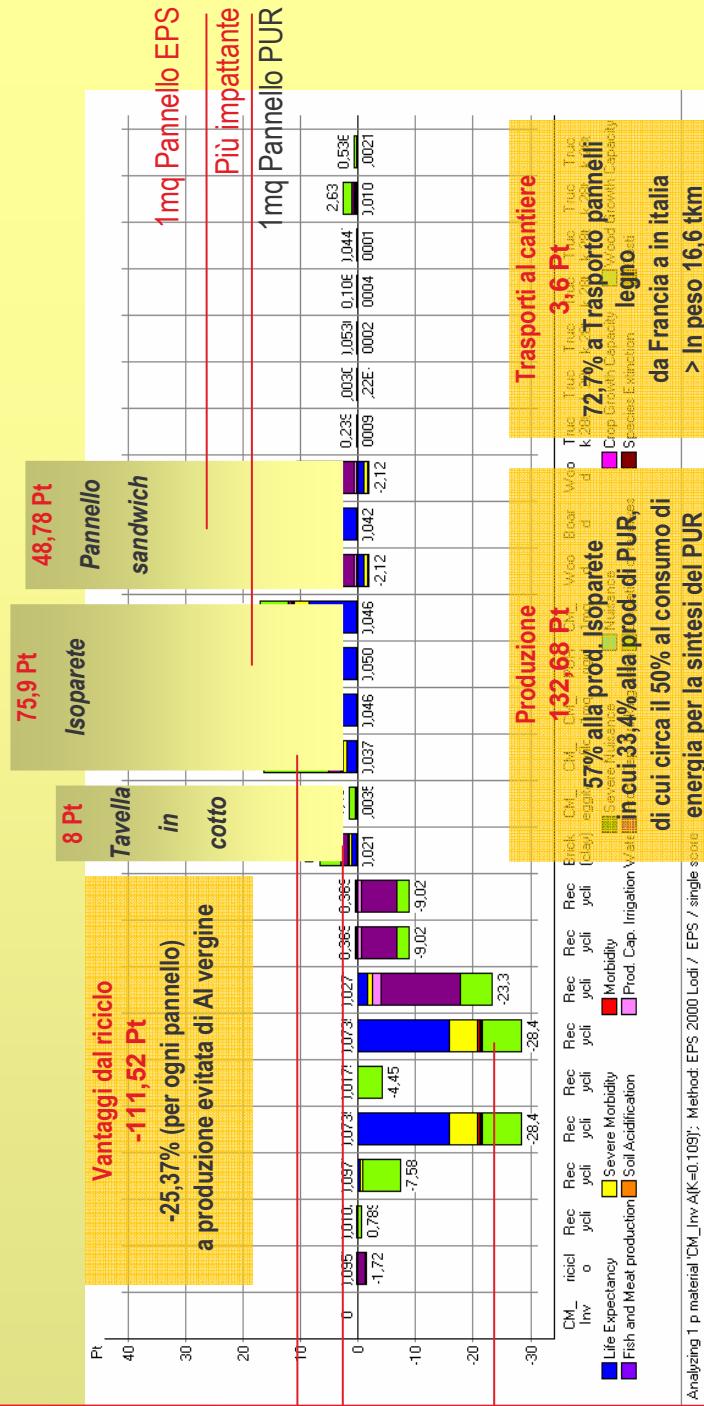
Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96

fase esplorativa

fase applicativa

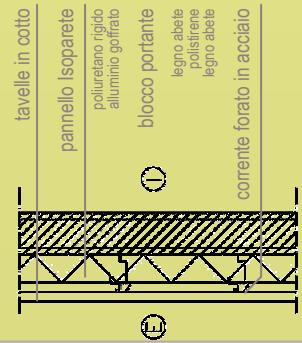
fase analítico-critica

Categorie di danno	Valore danno	Componente o materiale	Processo
Total	24,5 Pt	Pannello di EPS	
Human Health	- 12,7 Pt	2° Isoparete	Riciclo pannello lam.di Al (sottoproc. Al vergine)
Ecosystem Prod.Cap.	15,6 Pt	1° blocco port.	Pannello di legno (Sapisol)
Depletion of Reserves	21,4 Pt	1° blocco port.	Pannello di legno (Sapisol)
Species extinction	0,312 Pt	1° blocco port.	Pannello di legno (Sapisol)



Analys

LCA tipo A



Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96

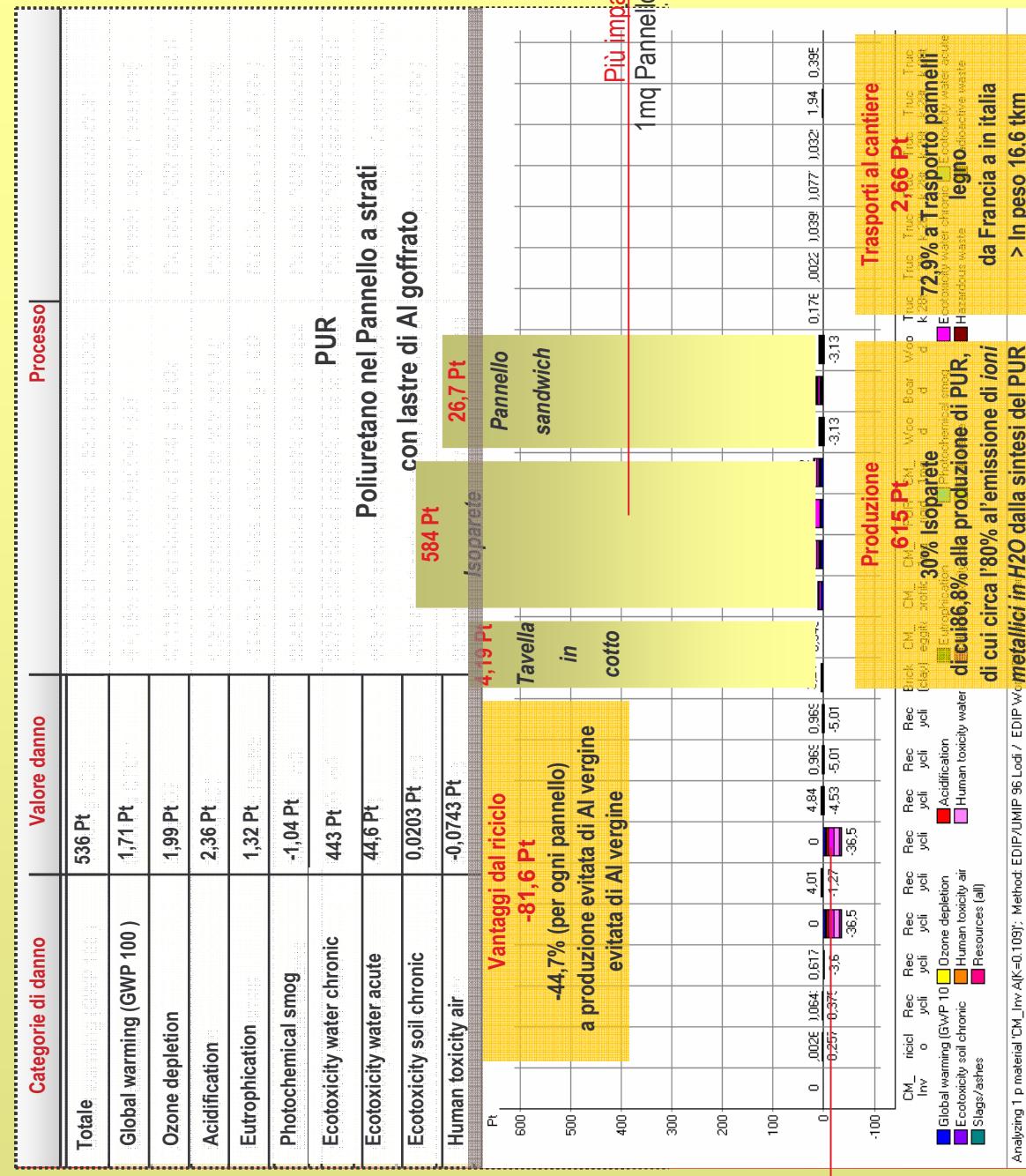
Categorie di danno	Valore danno
Totale	536 Pt
Global warming (GWP 100)	1,71 Pt
Ozone depletion	1,99 Pt
Acidification	2,36 Pt
Eutrophication	1,32 Pt
Photochemical smog	-1,04 Pt
Ecotoxicity water chronic	443 Pt
Ecotoxicity water acute	44,6 Pt
Ecotoxicity soil chronic	0,0203 Pt
Human toxicity air	-0,0743 Pt

Processo	Valutazione
PUR	26,7 Pt
Poliuretano nel Pannello a strati con lastre di Al goffrato	384 Pt
Pannello	4,19 Pt
Tavola in cotto	-81,6 Pt
Vantaggi dal riciclo	-44,7% (per ogni pannello) a produzione evitata di Al vergine evitata di Al vergine

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



Edip96

Valutazione

PUR

Poliuretano nel Pannello a strati con lastre di Al goffrato

384 Pt

26,7 Pt

4,19 Pt

-81,6 Pt

-44,7% (per ogni pannello)
a produzione evitata di Al vergine
evitata di Al vergine

Più impattante
1mq Pannello PUR

Produzione

Trasporti al cantiere

2,66 Pt

30% a Trasporto pannelli
legno

di cui circa l'80% all'emissione di ioni
metallici in H2O dalla sintesi del PUR

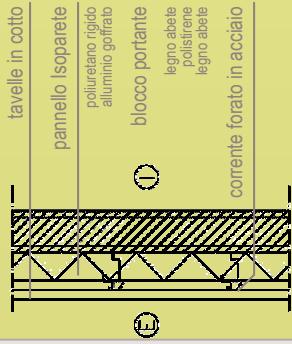
> In peso 16,6 tkm

■ Global warming (GWP 100)
■ Ecotoxicity soil chronic
■ Human toxicity air
■ D-zone depletion
■ Acidification
■ Human toxicity water
■ Eutrophication
■ Bioactive waste
■ Slags/ashes
■ Water

Analyzing 1 p material 'CM_Inv AlK=0,109'; Method: EDIP/JMIP 96 Lodt / EDIP/Wc

Ente per le nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

LCA tipo A

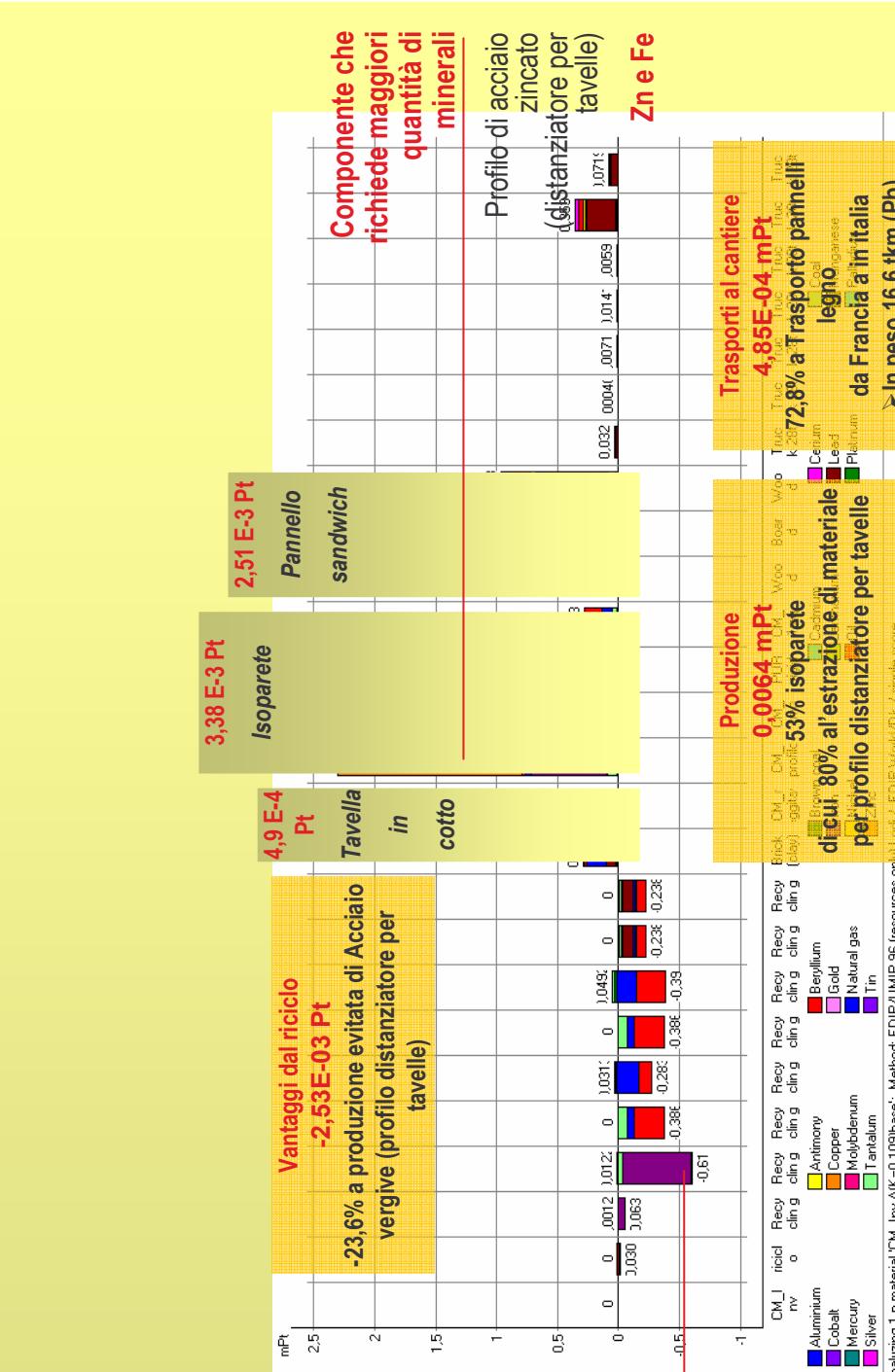


Confronto con
EcoIndicator99
EPS2000
Edip96 (resources only)

fase esplorativa

fase applicativa

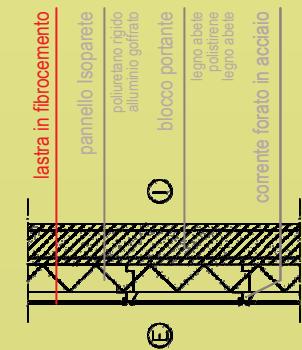
fase analítico-critica



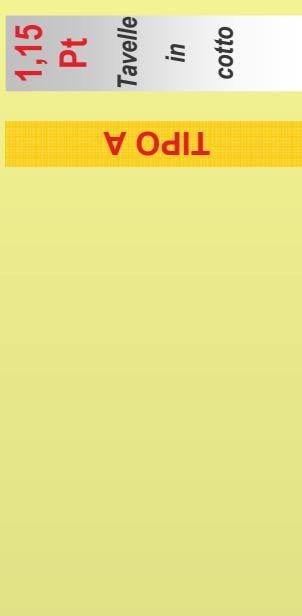
Riciclo di acciaio
Maggior Vantaggio
Non estrazione di
altro ferro

per profilo distanziatore

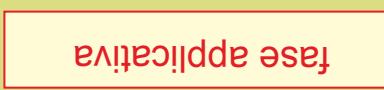
LCA tipo B



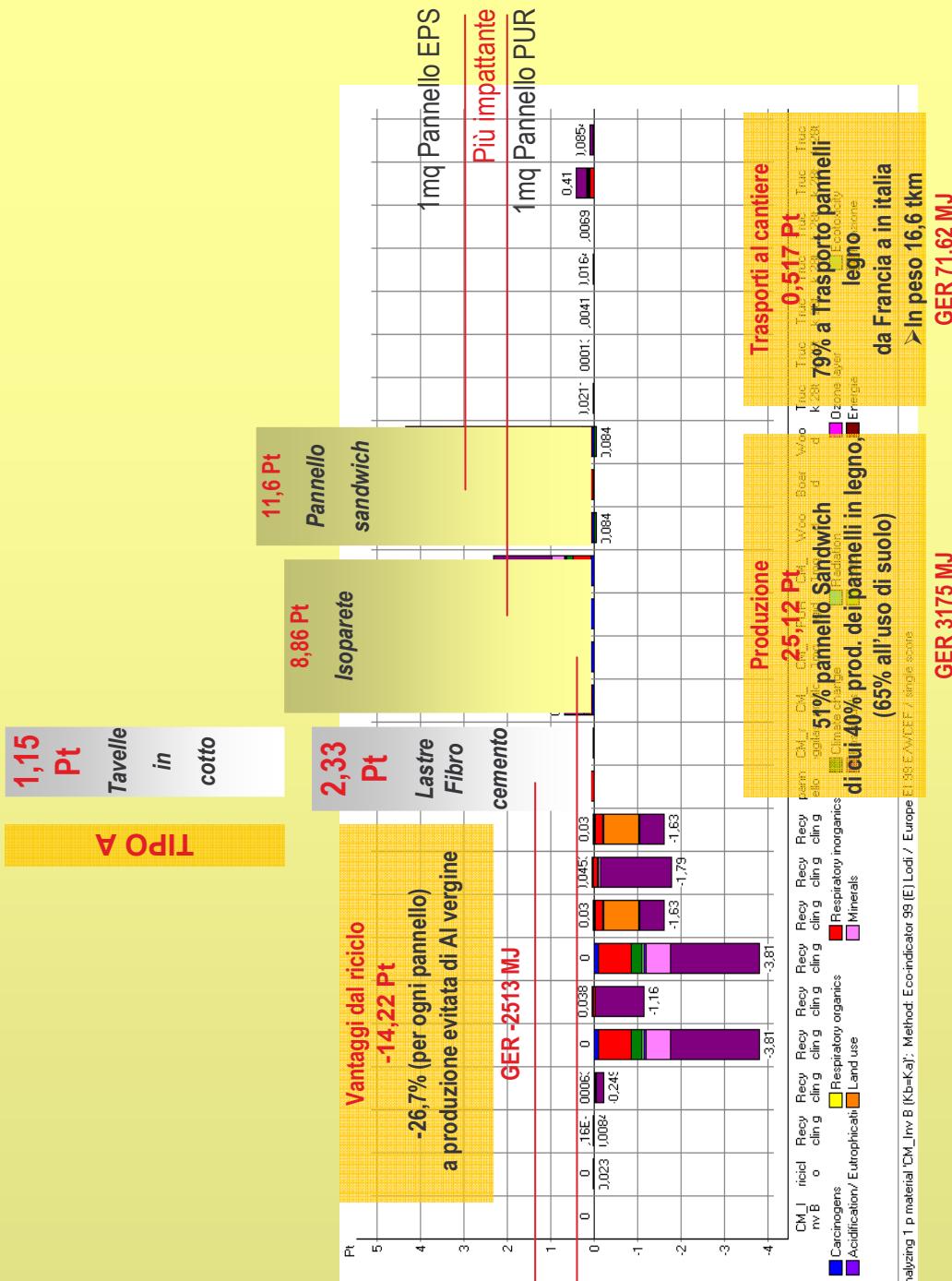
fase esplorativa



Confronto con
EcoIndicator 99

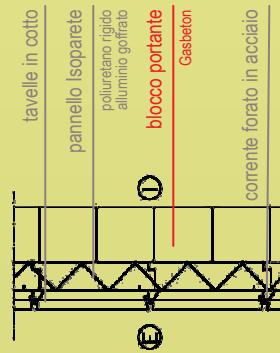


fase analítico-critica



Rivestimento esterno: impatto fibro cemento = 2 v. impatto tavelle in cotto (in quantità maggiore)

LCA tipo C

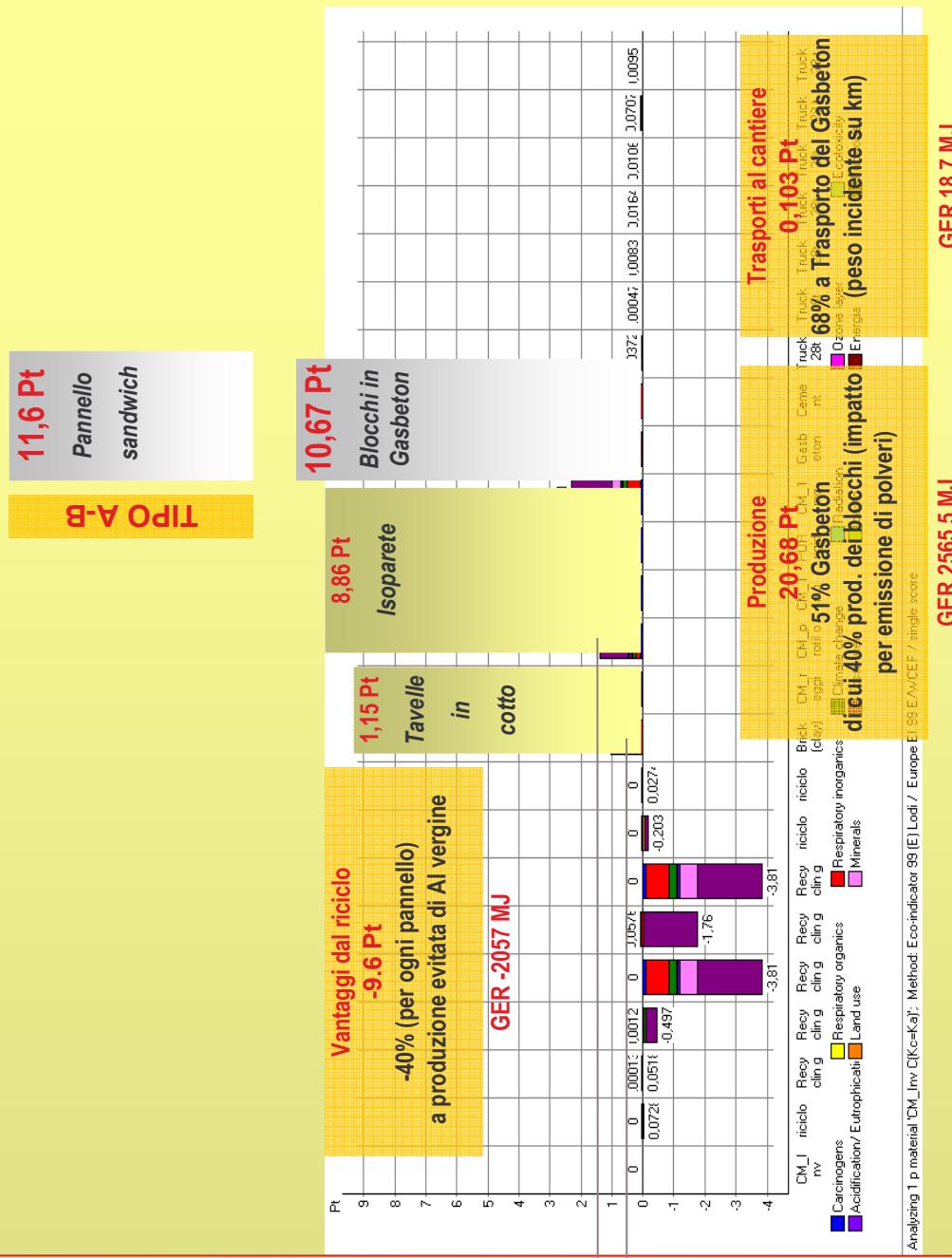


Confronto con
Eco-indicator 99

fase esplorativa

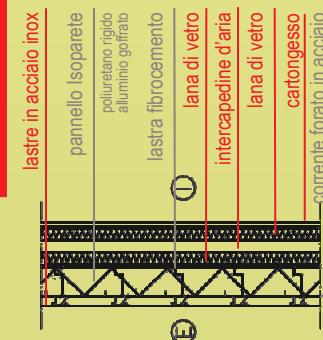
fase applicativa

fase analítico-critica

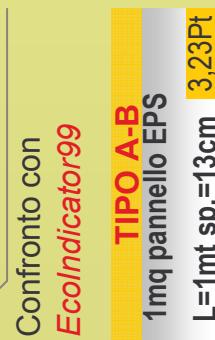


Strato resistente: impatto Gasbeton < impatto Pannello sandwich

LCA tipo D



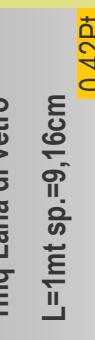
fase esplorativa



fase applicativa



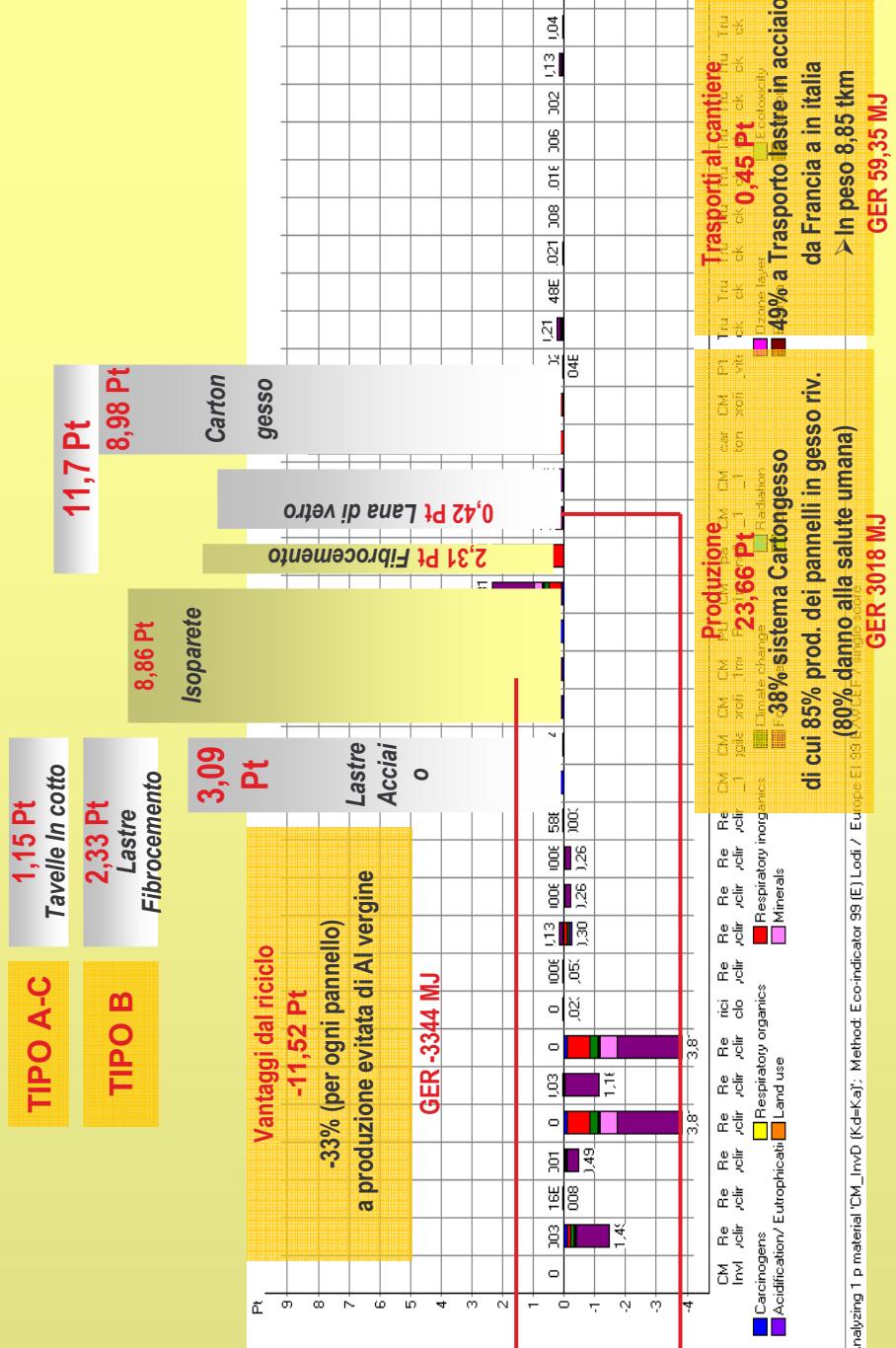
E.011.C



Per avere la stessa K
sp.=16,6cm

Quasi 2v. quantità di materiale

**0,756 Pt → impatto
sempre inf.**



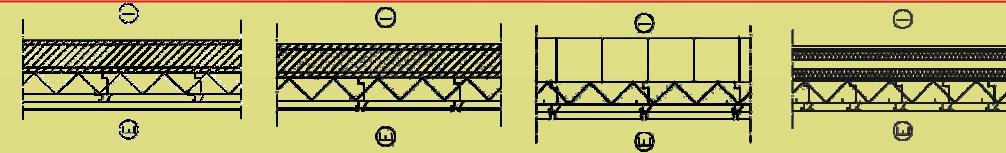
Materiale isolante: lana di vetro meno impattante

Rivestimento esterno: Tavella in cotto meno impatto

Processi: trasporto poco incidente

LCA – comparazione dei componenti

		fase esplorativa	fase applicativa	fase analitico- critica
TIPO A-C	1,15 Pt	Tavelle In cotto		
TIPO B	2,33 Pt	Lastre Fibrocemento		
TIPO D	3,09 Pt	Lastre Acciaio		
TUTTI	8,86 Pt	Isoparète		
TIPO C	10,67 Pt	Blocchi in Gasbeton		
TIPO A-B	11,6 Pt	Pannello sandwich		
TIPO D	0,42 Pt	Lana di vetro	11,71 Pt	
	8,98 Pt	Cartongesso		
	2,31 Pt	Lastre Fibrocemento		



- Alcuni materiali ad alto contenuto energetico → se previsto il riciclo presentano un vantaggio
- Il fine-vita incide molto
- Isolanti sintetici > impatto Isolante di natura minerale
- Il sistema a parete ventilata con tavelle in cotto è il più performante

Confronto con
EcoIndicator99

LCA di confronto delle 4 chiusure verticali esterne

E199

Confronto con
EcoIndicator99
EP-S2000
Edip96

fase esplorativa

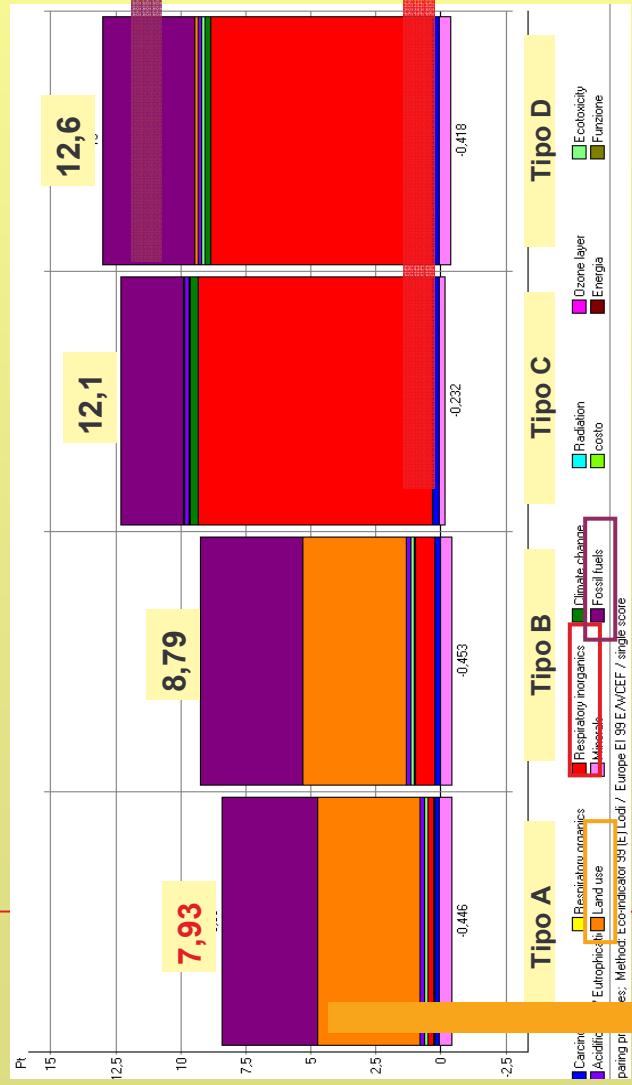
fase applicativa

fase analitico- critica

Valutazione

	A	B	C	D
Total (Pt)	7,93	8,79	12,1	12,6
Human health (Pt)	8,4	9,79	21,71	21,64
Eco. Quality (Pt)	4,26	4,3	0,27	0,4
Resources (Pt)	3,2	3,48	2,18	3,13

EPS EDIP



Risorse:

Tipo D (molti componenti)
> consumo di energia per prod. del fibrocemento
→ per l'39% a consumo di crude oil / DEMAT (petrolio grezzo) (48-24% prod. di kerosene)

Salute umana:

Tipo C
dust (polveri), dannose alla salute umana,
→ per l'86.7% a *Limestone IVAM* (gesso) nel processo di produzione del Gasbeton
Tipo D
dust (polveri), dannose alla salute umana,
→ per l'56% a *Gypsum Ore* (estrazioni nel gesso) nel processo di produzione del Cartongesso

Qualità dell'ecosistema:
Tipo A - Tipo B
Uso del suolo nel processo *Wood spruce logs* (pannello profilato in legno di abete)

LCA di confronto delle 4 chiusure verticali esterne

EPS2000

Confronto con
Eco/Indicator99
EPS2000
Edip96

fase esplorativa

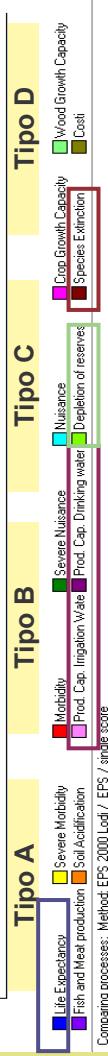
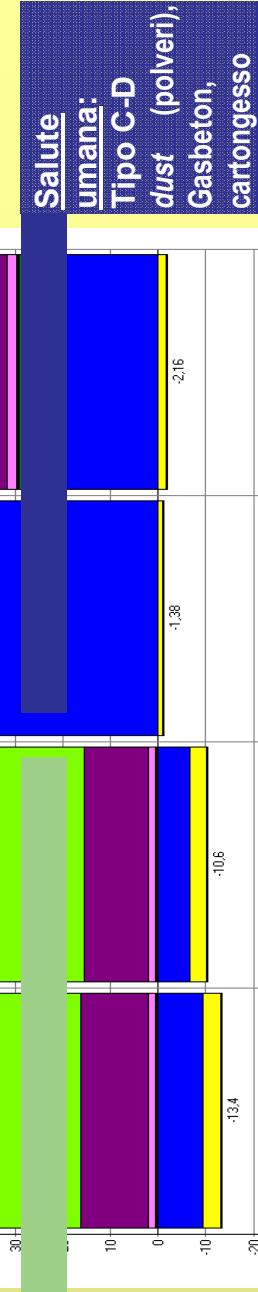
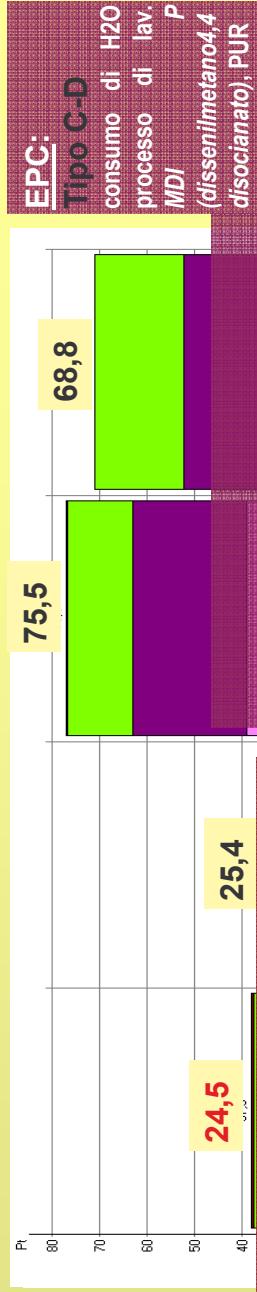
E99

Valutazione

	A	B	C	D
Totale (Pt)	24,5	25,4	75,5	68,8
Human health (Pt)	-12,8	-9,85	35,3	27,6
Eco. Prod. Cap. (Pt)	15,6	14,9	26,2	22,6
Abiotic Stock Res. (Pt)	21,4	20	13,9	18,6
Biodiversity (Pt)	0,312	0,342	0,072	0,084

EDIP

fase applicativa



Biodiversity:

Tipo B (A)
uso del suolo nel
processo Wood spruce
logs (pannello profilato
in legno di abete)

fase analitico- critica

Abiotic S.R.:

Tipo B (A)
Alti consumi di
energie (gas
naturale) per prod.
Al e PUR (MDI P)

fase analitico- critica

Tipi A
Life Expectancy
Lifist and Meat production
Soil acidification

Tipi B
Severe Mortality
Soil acidification
Prod. Cap. Irrigation Water
Prod. Cap. Drunking water

Tipi C
Severe Nuisance
Prod. Cap. Irrigation Water
Prod. Cap. Drunking water

Tipi D
Crop Growth Capacity
Species extinction

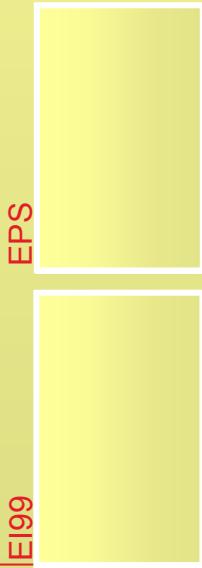
Comparing processes, Method: EPS 2000 Lcf / EPS / single score

LCA di confronto delle 4 chiusure verticali esterne

Confronto con
EcoIndicator99
EP-S2000
Edip96

fase esplorativa

E99



VALUTAZIONE

	A	B	C	D	
Global warming (GWP 100)	Pt	1,71	2,84	12,4	8,72
Ozone depletion	Pt	1,99	1,76	-0,971	-0,385
Acidification	Pt	2,36	4,22	3,85	3,63
Eutrophication	Pt	1,32	2,08	1,38	1,92
Photochemical smog	Pt	-1,04	-0,961	-0,4	-0,114
Ecotoxicity water chronic	Pt	443	444	669	444
Ecotoxicity water acute	Pt	44,6	44,8	67,7	44,8
Ecotoxicity soil chronic	Pt	0,0203	0,0176	0,0182	0,018
Human toxicity air	Pt	-0,0743	-0,0994	-0,165	-0,0786
Human toxicity water	Pt	35,9	35,3	49,3	35,1
Human toxicity soil	Pt	6,27	5,89	6,35	5,75
Bulk waste	Pt	-0,036	-0,0132	-0,142	-0,0133
Hazardous waste	Pt	0,00485	0,00472	0,00372	0,00189
Radioactive waste	Pt	x	x	x	x
Slags/ashes	Pt	0,0021	0,00132	0,00233	0,00397
Resources (all)	Pt	0	0	0	0

Edip96

EPS

fase applicativa

Human Toxicity Water:

Tipo C max impatto

metallic ions (ioni metallici) in acqua (49,3 Pt) dovuto alla sintesi di poliestere polioli, semilavorato del PUR

Ecotoxicity Water Acute:

Tipo C max impatto

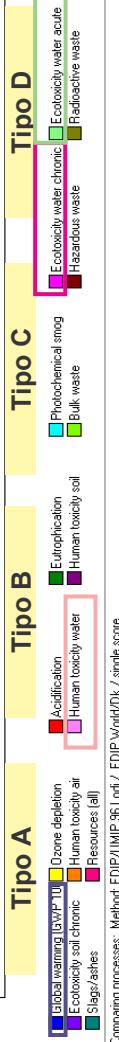
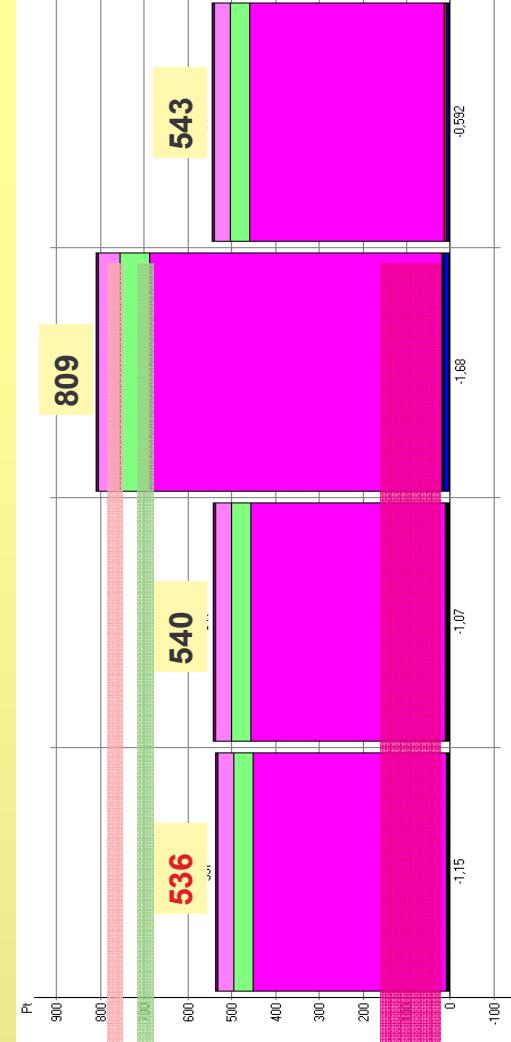
metallic ions (ioni metallici) in acqua (66,7 Pt) dovuto alla sintesi di poliestere polioli, semilavorato del PUR

GWP (100):
Tipo C CO₂ (10,1 Pt) Aluminium rec. 50% B250

Ecotoxicity Water Chronic:

Tipo C max impatto

metallic ions (ioni metallici) in acqua (669 Pt) dovuto alla sintesi di poliestere polioli, semilavorato del PUR



Comparing processes: Method: EDIP/JMIP 96 Ld/L / EDIP/World/Dk / single score

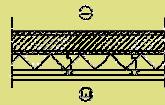
Legend:
█ Global warming (GWP 100)
█ Ozone depletion
█ Acidification
█ Eutrophication
█ Human toxicity air
█ Human toxicity water
█ Photochemical smog
█ Photochemical smog
█ Bulk waste
█ Slags/ashes
█ Hazardous waste
█ Radioactive waste

...la miglior performance

Chiusura verticale esterna perimetrale **TIPO A**

I componenti e i prodotti:

- sono **stratificati**, possono essere rimossi (disassemblati) e sostituiti nella vita dell'edificio
- leggeri, a breve durata (rispetto ai tradizionali), ma **altamente riciclabili**
- hanno **alto contenuto energetico**, con il riciclaggio come fine vita, presentano un impatto ridotto
- gli isolanti scelti utilizzano quantità di risorse non rinnovabili e nella prod. rilasciano sostanze nocive all'ecosistema e all'uomo
- richiedono notevoli quantità di energie, con le relative emissioni, per essere prodotti, ma nella **fase di vita** (R alte) offrono un **contributo positivo** in termini di risparmio energetico per la climatizzazione dell'edificio



Riduzione risorse consumo

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Discomfort interno
in regime estivo

NON HANNO UNA MASSA EFFICACE

BASSA INERZIA TERMICA

...la 'miglior' **massa frontale**

Una grande massa frontale (es. 1000kg/m²) consente di godere dei benefici effetti dell'azione combinata di:

- Capacità termica
- Resistenza termica
- "inerzia termica"

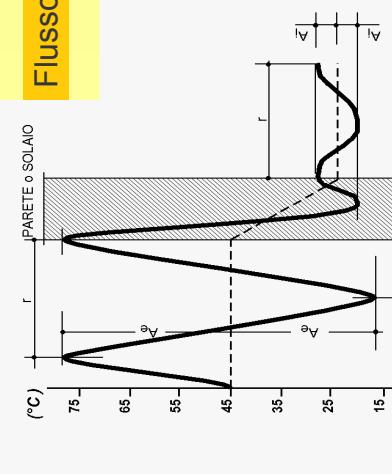
Queste influiscono sul comfort interno mediante due effetti:
Sfasamento dell'onda di calore

Il D.M. 27-07-05 prevede che la trasmittanza venga corretta con un coefficiente che tiene conto dell'inerzia termica, funzione della massa frontale

Massa frontale [kg/m ²]	100	150	200	250	300	350	400
Coefficiente c_m	0.98	0.97	0.95	0.92	0.88	0.84	0.8

A	99,23 kg/m ²	B	67,37 kg/m ²	C	186,25 kg/m ²	D	77,5 kg/m ²
	0.98				0.95		Massa troppo bassa

Flusso di calore attraverso la chiusura verticale opaca $Q_{(k=0,109 \text{ W/mqK}^0)} = 2,725 \text{ W/mq}$



Schema dell'onda termica attraverso una parete

fase esplosiva

fase applicativa

fase analitico-critica

Ideale:
 Esterno: materiali con debole effusività [W/cmq] (EPS)
 Interno: materiali con alta diffusività [mq/h10⁻⁴]
 (Al, acciaio, gesso, Gasbeton, mattone)

Le chiusure verticali esterne in un LCA completo

edificio sperimentale "casa famiglia per minori" a Lodi
IN FASE DI REALIZZAZIONE

DEFINIZIONE DELL'UNITÀ FUNZIONALE (quantificazione delle funzioni desiderate)

m² di superficie calpestabile complessiva dell'edificio Su
adibito a residenza (2 p.)

$$Su = 505 \text{ mq}$$

Volume tot.= 1968,77 mc Sup.totali disperdenti 1150,35 mq

Fattore di forma S/V= 0,584

FUNZIONE DEL SISTEMA - EDIFICIO Verifica F.E.P. D.L.n.192 < 40 kWh/mqanno

residenziale e di mantenere le condizioni di comfort interno

Utilità della funzione (sociale) (grado di necessità sociale)

(da 0 a 100 Pt) 80 punti (centro di recupero per giovani disadattati)

CONFINI DEL SISTEMA

Vanno dall'estrazione delle materie prime dei componenti al fine vita – ciclo
completo (**25 anni di funzione**)
E' stato introdotto lo scenario, di tipo previsionale, della **fase d'uso** con la stima
dei consumi energetici complessivi dell'edificio

SCOPO DELL'LCA

- VERIFICA DELL'EFFICIENZA DEL TIPO DI INVOLUCRO SCELTO
- IMPATTO AMB. CHIUSURE VERTICALI **VS** IMPATTO AMB. CONSUMI ENERGETICI PER IL RISCALDAMENTO



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Estrazione



Produzione

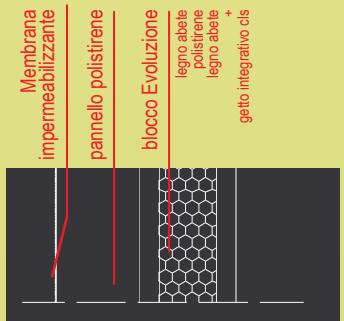


uso
25 anni

+

Fine vita

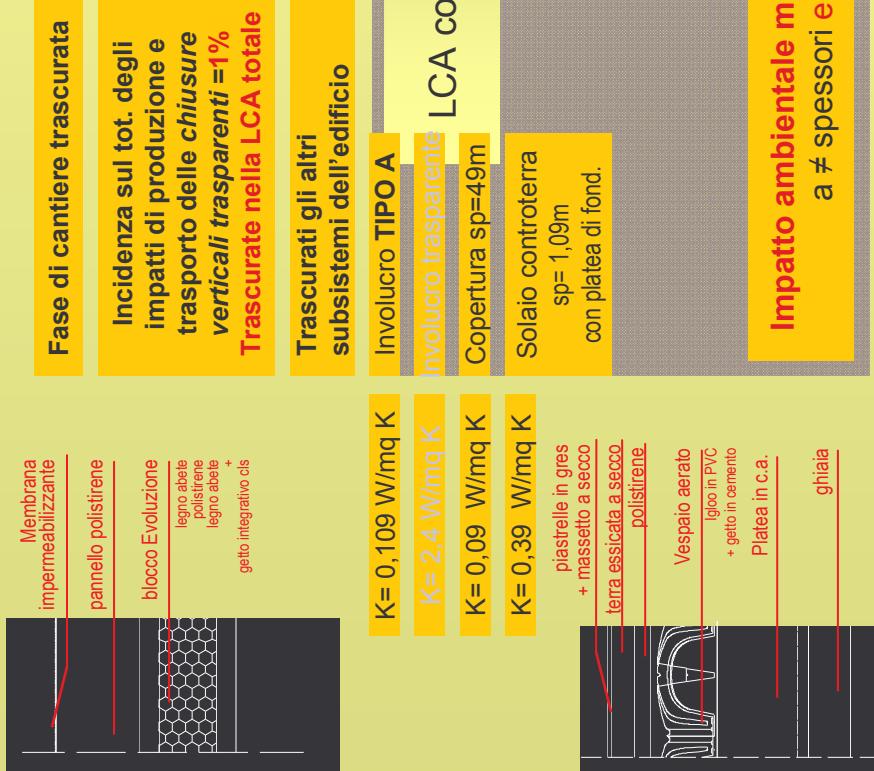
LCIA complessiva



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



Calcolo F.E.P. e
 Q_p
con lo strumento
RECAL 10
(legge 10/91)

Consumi energetici richiesti da impianto di riscaldamento termico (gas metano) per mantenere le condizioni di comfort interno all'edificio, in condizioni invernali a Lodi, in un periodo di 25 anni e contrastare le dispersioni termiche di 1150 mq di Sup.disperdente

Fabbisogno annuo di energia primaria

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Verifiche energetiche sistema 'edificio-impianto'

3 verifiche della L 10/91, al fine del rilascio di C.E.:

$$C_d < C_d \text{ lim}$$

(coefficiente volumico di dispersione) [W/m³K]

$$\eta_g > \eta_g \text{ min}$$

(rendimento globale medio stagionale dell'impianto nel periodo di riscaldamento)

$$F.E.N. < F.E.N. \text{ lim}$$

(fabbisogno energetico normalizzato) [KJ/m³GG]

Casa – famiglia a Lodi: principali risultati con una caldaia a gas

	Verifiche Legge 10	Valore calcolato	Valore limite	Verifica
CD (W/m ³ K)	0,153	<=	0,463	POSITIVA
FEN (kJ/m ³ GG)	11,26	<=	60,21	POSITIVA
Rendimento globale	η_g	>=	0,686	POSITIVA
Rapporto apporti/abbisogno	1,695	>	0,2	Obligo valvole termostatiche: Sì!

Impianto Pompa di calore

67489 [MJ/anno]	Q primaria/mq Su.	29 [kWh/mq anno]
18747 [kWh/mq anno]	Q primaria per 25anni	vs 37 1.687.225 [MJ]

LCA dell'edificio

EI99

Confronto con
EcoIndicator99

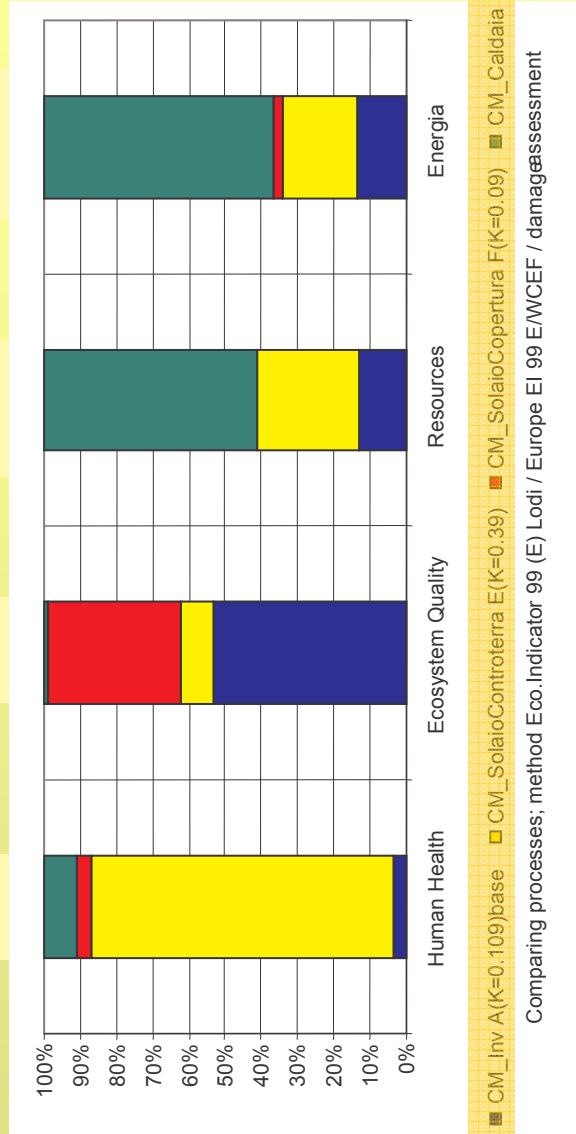
Caratterizzazione

	solaioCont.	Copertura	Caldaia
Human health (DALY)	0,0124	0,313	0,0345
Eco. quality (PDF*m2a)	37400	6220	25700
Resources(MJsurplus)	32600	72000	362
Energia (MJ)	365000	569000	59900

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



■ CM_Inv A(K=0,109)base ■ CM_SolaioContoterra E(K=0,39) ■ CM_SolaioCopertura F(K=0,09) ■ CM_Caldaia

Comparing processes; method Eco.Indicator 99 (E) Lodi / Europe EI 99 EI/WCEF / damagessment

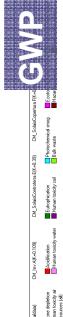
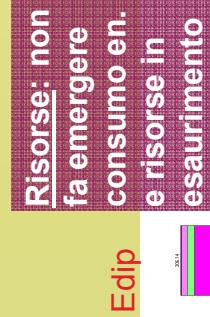
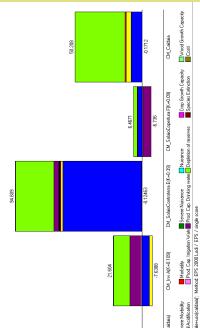
Incidenza dei componenti considerati dell'edificio sulle Categorie di danno



LCA dell'edificio

Confronto con
EcoIndicator99

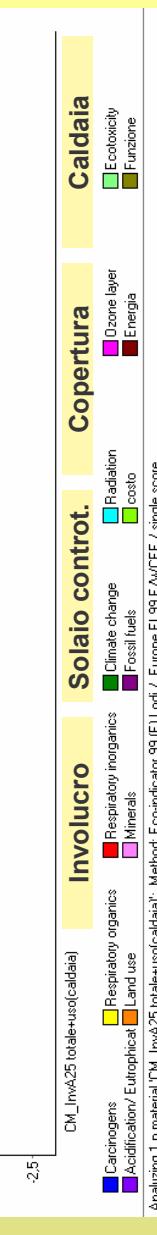
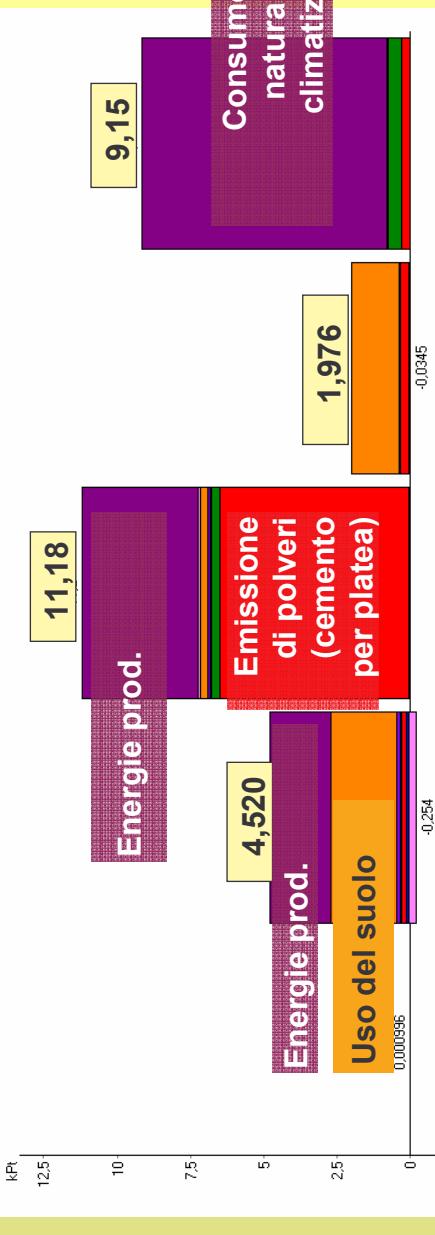
EPS



E199

Valutazione	
Total	Totale
(Pt)	26829
Human health	Involucro
(Pt)	4520,5
Ecosist. Quality	solaioCont.
(Pt)	11180
Resources	Caldaia
(Pt)	1976,2
	9151,9
	289
	743
	404
	1670
	46,2
	4030
	20,2
	8360

Energia (MJ)	
(Pt)	2723900
	365000
	569000
	59900
	1730000



Risorse: maggior impatto (53,05%)

Risorse: maggior impatto (53,05%)

Risorse: maggior impatto (53,05%)

SUL TOTALE: 41,67% al processo di realizzazione del solaio controterra
34,11% alla fase d'uso dell'edificio (consumi energetici)
16,85% al processo di prod. delle chiusure verticali perimetrali opache

Valutazione del ciclo di vita completo (25 anni)

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Confronto di differenti fasi d'uso

E99

Confronto con
EcoIndicator99

Ipotesi di durata di tali
componenti stratificati
a secco

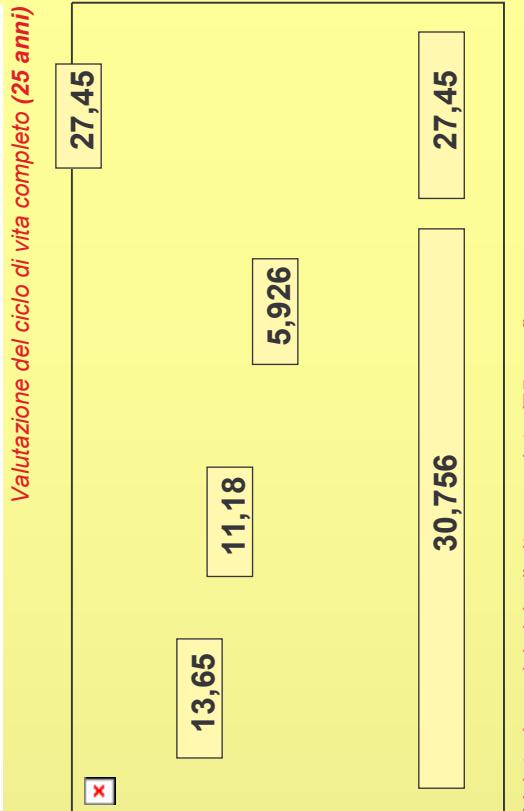
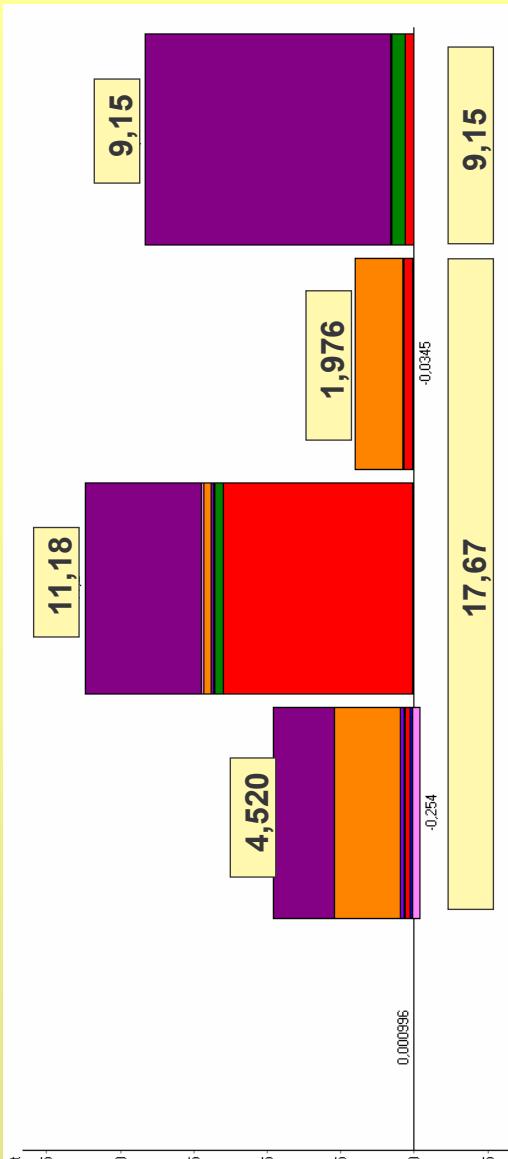
1
Service life di 50 anni:
Con previsione di un
ciclo di sostituzione di
copertura e involucro

2
Service life di 75 anni:
Con previsione di due
cicli di sostituzione di
copertura e involucro

fase esplorativa

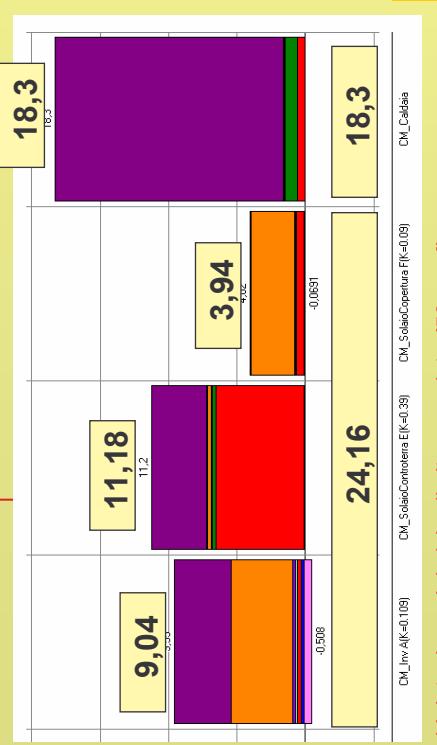
fase applicativa

fase analitico- critica



Valutazione del ciclo di vita completo (25 anni)

2



Valutazione del ciclo di vita completo (75 anni)

1

Analisi dell'andamento degli impatti ambientali dei componenti edili nell'edificio e della fase d'uso dell'edificio

Variazione dello spessore di isolante e di K per tipo A – B – C - D

Obiettivo: somma minima degli impatti di prod. e d'uso
Valutazione complessiva → un mq di involucro con la miglior performance, se integrato nella vita di un edificio, potrebbe avere effetti differenti...

K= **0,06 W/mq K**
K= **0,1 W/mq K**
K= **0,2 W/mq K**
K= **0,4 W/mq K**

Involucro TIPO A
Involucro TIPO B con
Involucro TIPO C
Involucro TIPO D

Copertura invariata
Solaio controterra invariato

Calcolo F.E.P. e Qp
con lo strumento **RECAL 10**
(legge 10/91)
per ogni Tipo e K

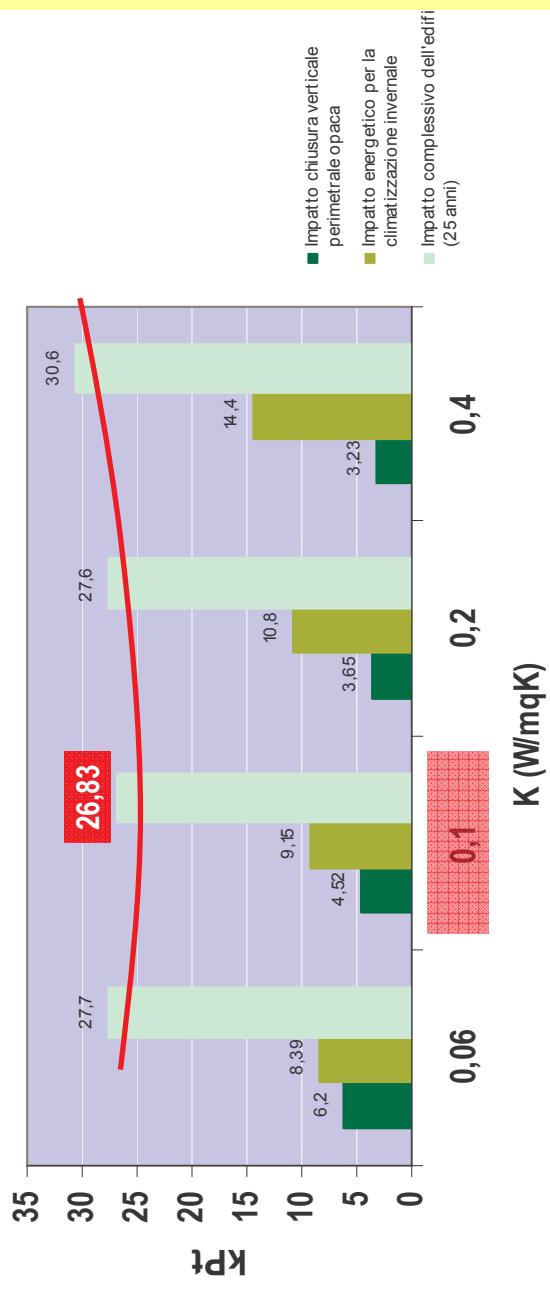
LCA fase d'uso
(modificata)
↓
LCA costruzione (modificata)
per ogni K
↓
Analisi LCA completo
Per ogni tipo (modificato)
25 anni

Analisi dell'andamento degli impatti ambientali dei componenti edilizi nell'edificio e della fase d'uso dell'edificio tipo A

CASO
ESEMPLIFICATIVO
EcoIndicator99

LCA edificio con chiusura verticale di TIPO A	Impatti costanti (kPt)	Impatti delle chiusure verticali esterne modificate (kPt)
Spessore isolante (cm)	48	25
Trasmissitanze (W/mqK)	0,06	0,1
Impatto chiusura verticale perimetrale opaca	6,2	4,52
Impatto fondazione indiretta e solaio controterra	11,2	3,23
Impatto chiusura superiore opaca	1,98	
Impatto energetico per la climatizzazione invernale	8,39	9,15
Impatto complessivo dell'edificio (25 anni)	27,7	26,83
	27,6	27,6
	30,6	30,6

Eco-Indicator 99



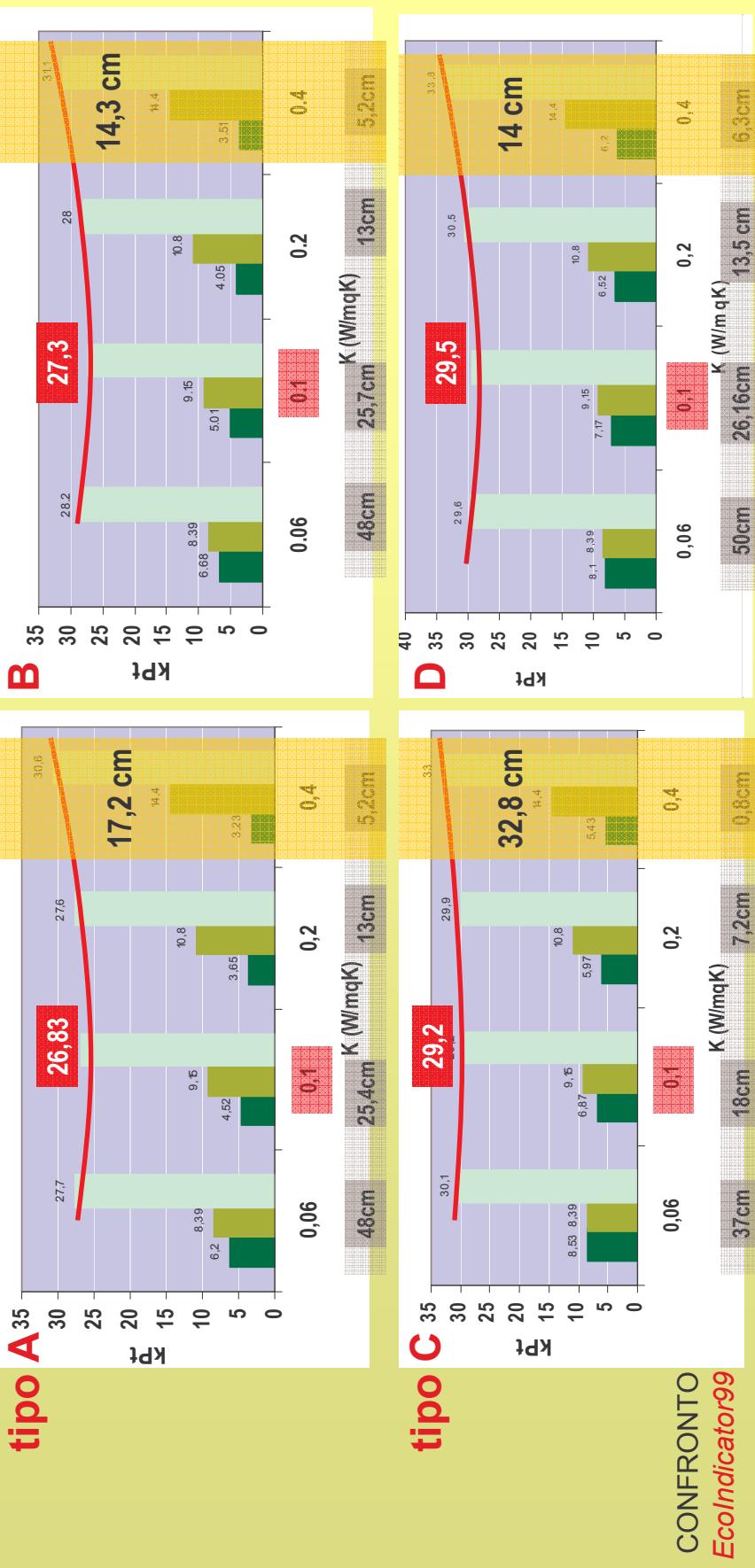
Il tipo A presenta il minimo impatto effettivamente con un isolante di sp. 25 cm e una trasmissanza di 0,1 W/mq K

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Confronto del minimo impatto delle quattro chiusure verticali



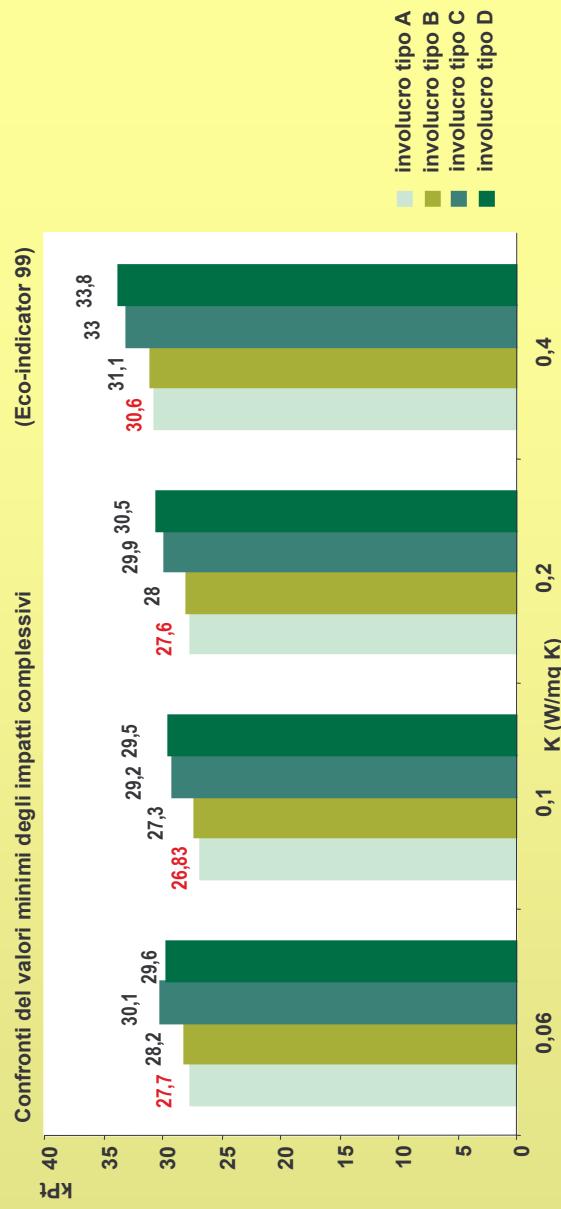
Considerazioni da fare nella fase progettuale: complessità del progetto
Evidenziare l'obiettivo da raggiungere con la realizzazione di un progetto
Valutare complessivamente, attraverso l'LCA, sia l'incidenza dei consumi energetici che gli impatti di produzione delle chiuse esterne

fase esplorativa

fase applicativa

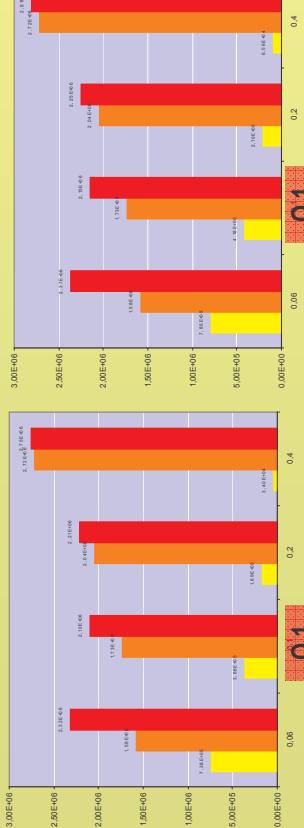
fase analitico- critica

Confronto dei minimi impatti con le diverse K



Consumi di energia: produzione vs fase di gestione

tipo A

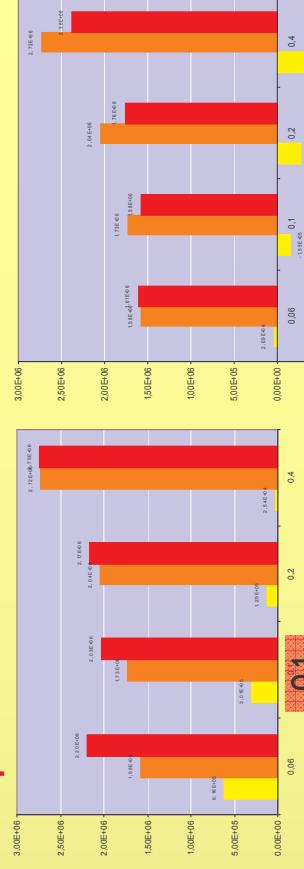


Energia incorporata nell'involucro (GER) (MJ)

Impatto energetico in fase d'uso (MJ)

Totale (MJ)

tipo B



Energia incorporata nell'involucro (GER) (MJ)

Impatto energetico in fase d'uso (MJ)

Totale (MJ)

tipo C



Energia incorporata nell'involucro (GER) (MJ)

Impatto energetico in fase d'uso (MJ)

Totale (MJ)

tipo D

Considerazioni conclusive

Gli aspetti da considerare nella progettazione sono sempre maggiori e indispensabili: **si punta ad una qualità totale**

Coscienza diffusa che gli effetti ambientali di un prodotto/edificio siano da formulare sulla **considerazione dell'intero ciclo di vita**

Complessità del processo progettuale e molteplicità di attori

Life Cycle Assessment

Metodo valido per quantificare gli impatti ambientali ed energetici

Un LCA non dichiara una verità assoluta, ma offre delle indicazioni (*range*) importanti per un progettista

Utile in fase progettuale per prevedere gli impatti e ottimizzare le scelte, confrontando sistemi alternativi (Qualità del progetto)

Utile nell'intero processo edilizio per stabilire quali stadi siano da migliorare per ridurre gli impatti (Qualità del processo)

Assistenza al processo decisionale di PA (appalti pubblici)

E' un **approccio multidisciplinare**: fondamentale la collaborazione di addetti al settore con esperti di questa metodologia, appartenenti ad discipline diverse

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Matrice per la valutazione degli impatti ambientali di un edificio – iter processuale

LCIA

Fase di costruzione

1. Redazione dei processi di produzione dei componenti (con prodotti e materiali edili) dell'edificio, quantificati con la relativa U.F.
2. \sum LCA dei sub-sistemi tecnologici:
 - a. vengono richiamati gli LCA dei componenti * quantità totali di ognuno
 - b. si richiamano i relativi trasporti/componente (da azienda a cantiere) * **peso totale** di ogni componente (t^{km})
 - c. si definisce il processo di fine vita/componente 'processo'

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica

Fase di cantiere

Fase di manutenzione

3. Processi per i cicli di manutenzione per ogni subsistema, componente o eventualmente prodotto per U.F.
4. Si richiamano n. cicli di manut. * quantità totali di ogni componente

Matriçce per la valutazione degli impatti ambientali di
un edificio - iter processuale

LCA

Fase di
costruzione +
manutenzione

LCA - valutazione degli impatti legati alla produzione di materiali

**VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO PRIMARIO PER LA
CLIMATIZZAZIONE DELL'EDIFICIO SCELTA E VALUTAZIONE
DELL'IMPIANTO**



Fase di
costruzione +
manutenzione

LCA dell'impianto (processo costruttivo e trasporto + fine vita)
+
LCA della manutenzione dell'impianto

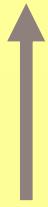
Fase di
gestione

LCA della climatizzazione (invernale ed ev. estiva) dell'edificio
LCA del consumo di acqua ad uso sanitario
LCA del consumo elettrico

fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico- critica



Matrice per la valutazione degli impatti ambientali di un edificio – iter processuale

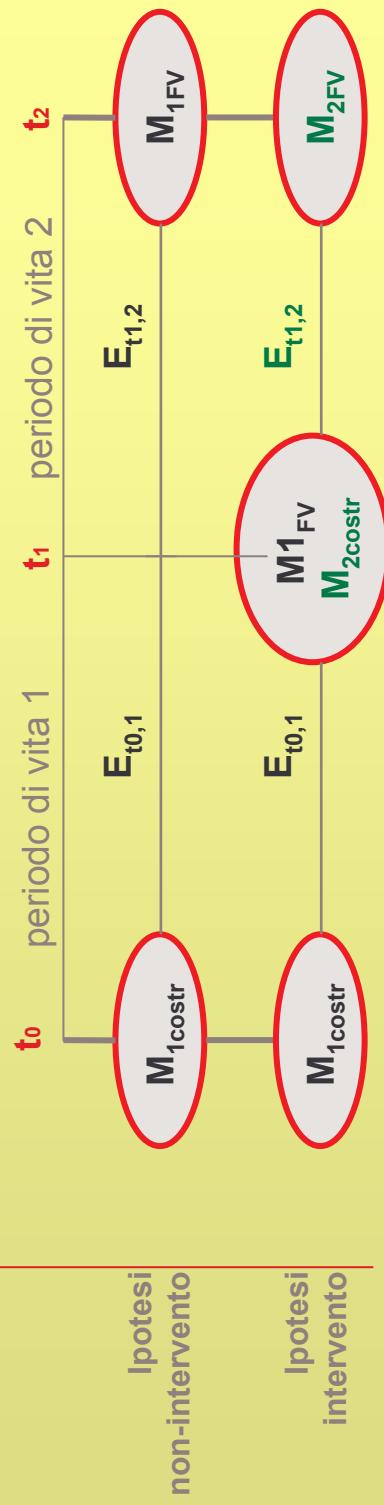
Analisi di sensibilità

Per una nuova costruzione

LCA totale → quantificazione del danno ambientale

- A. Ricerca di riduzione del danno:**
attraverso confronto con materiali/componenti e impianti differenti
- B. Ricerca del valore minimo del danno complessivo dell'edificio come:**
 - Σ del LCA totale dei componenti
 - Σ dell'energia totale consumata (produzione +uso)
 - Σ del costo esternalizzato (costo ambientale)
- C. Valutazione della convenienza in termini ambientali dell'intervento di ristrutturazione:**

$$E_{t1,2} > (M_{2costr} + M_{2FV}) + E_{2,2}$$



fase esplorativa

fase applicativa

fase analitico-critica

Grazie per l'attenzione