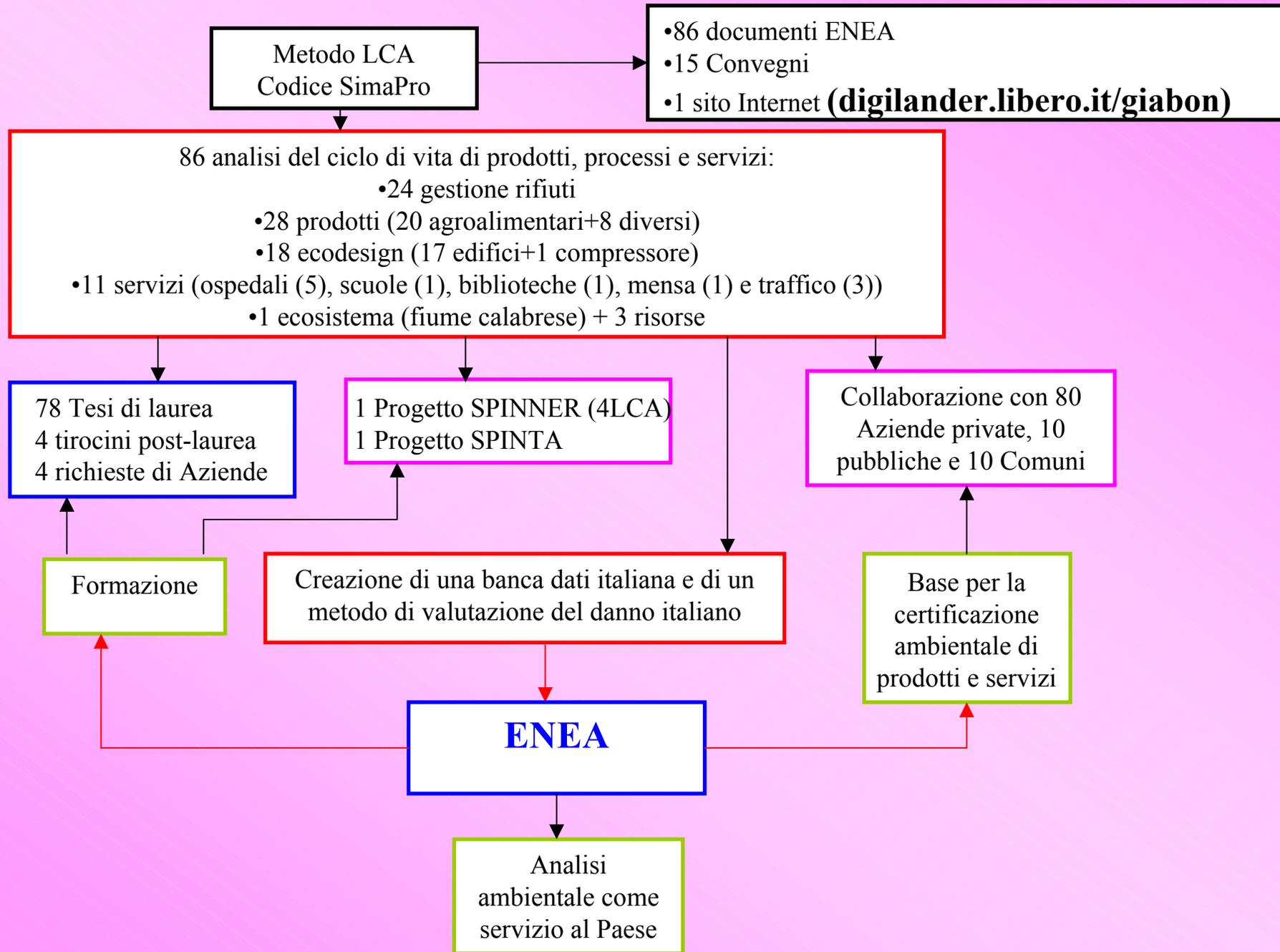


# L'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) e la sua applicazione all'edilizia



***Risultati di 4 studi LCA su edifici in collaborazione con le Università di Architettura di Firenze, Pescara e Reggio Calabria, e di Ingegneria di Cosenza***

# RISULTATI OTTENUTI DAL 1997 NEL PROGETTO PROECO



# La Metodologia LCA

**OBIETTIVO**  
**UNITA' FUNZIONALE**  
**FUNZIONE DEL SISTEMA**  
**CONFINI DEL SISTEMA**  
ISO 14041

**MATERIALI**

**PROCESSI**

**INVENTARIO**  
ISO 14041

**ENERGIE**

**EMISSIONI E RISORSE**

Competenze: INGEGNERIA,  
FISICA, SC. AMBIENTALI, SC.  
NATURALI, BIOLOGIA,  
ARCHITETTURA, CHIMICA,  
MEDICINA, STORIA, ECONOMIA

**CLASSIFICAZIONE**

**CARATTERIZZAZIONE**

**NORMALIZZAZIONE**

**VALUTAZIONE  
DEL DANNO**

**VALUTAZIONE DEL DANNO AMBIENTALE ISO 14042**

**Metodi ECO-INDICATOR 99, EPS 2000 e EDIP 96**

**ANALISI DI SENSIBILITA' E VALUTAZIONE DEI MIGLIORAMENTI**  
**ISO 14043**

# Applicazioni LCA

Strumento di informazione rivolto al Cittadino per:

- ✓ una sua migliore conoscenza dei danni dovuti alle attività umane
- ✓ una scelta cosciente del prodotto e del servizio
- ✓ una sua azione rivolta alla Pubblica Amministrazione per una legislazione volta alla difesa dell'ambiente
- ✓ la riduzione delle spese dovute ai costi ambientali
- ✓ la difesa della vita sua e delle generazioni future

# Applicazioni LCA

Strumento a supporto delle Aziende e degli Studi professionali per:

- ✓ un'etica d'impresa che tenga conto sia dei costi economici che di quelli ambientali del prodotto o del servizio
- ✓ una riduzione dell'impatto ambientale a beneficio delle persone che lavorano nell'Azienda
- ✓ un miglioramento della qualità del prodotto o del servizio
- ✓ una riduzione del costo di produzione conseguente alla riduzione del consumo di energia e di materiali
- ✓ la definizione della prima e più importante fase per la certificazione ambientale
- ✓ un aumento della loro competitività
- ✓ un rapporto di trasparenza con il cittadino utente e consumatore

# Applicazioni LCA

Strumento a supporto della Publicazione Amministrazione per:

- ✓ la definizione della legislazione in campo ambientale
- ✓ la sensibilizzazione dei cittadini e delle aziende (tale compito deve essere svolto dagli Enti di ricerca e dalle Università)
- ✓ la riduzione delle spese sanitarie conseguenti ai danni subiti dall'uomo a causa delle emissioni inquinanti
- ✓ la riduzione dei danni prodotti dai servizi pubblici
- ✓ la riduzione delle spese sostenute dall'Italia per il consumo di energia prodotta da combustibili fossili
- ✓ la certificazione ambientale dei prodotti e dei servizi

# Applicazioni LCA

Strumento di informazione rivolto al Cittadino

Strumento a supporto delle Aziende e degli Studi professionali

Strumento a supporto della Pubblicazione Amministrazione



**Obiettivo comune a tutti:**

**per perseguire un modello di sviluppo  
sostenibile e contribuire allo sforzo nazionale  
per il raggiungimento degli obiettivi del  
Protocollo di Kyoto**

# Il Metodo LCA

## Condizioni necessarie per la validità dei risultati

- ✓ **trasparenza e modificabilità delle Banche-Dati**
- ✓ **rappresentatività da parte delle Banche-Dati della realtà che si vuole studiare**
- ✓ **trasparenza e modificabilità dei Metodi per la valutazione del danno**
- ✓ **adeguatezza dei Metodi ai problemi che devono essere studiati**
- ✓ **stretta correlazione tra Metodi e Banche-Dati**
- ✓ **trasparenza per l'utente del percorso che ha condotto lo studio ad un risultato numerico**

# Il Metodo LCA

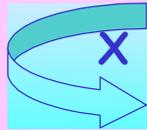
## Proposte per una maggiore affidabilità dei risultati

- ✓ costruzione di una Banca-Dati italiana che rappresenti la gestione dei rifiuti, la progettazione degli edifici (ecodesign), la produzione agro-alimentare, i trasporti, i servizi sanitari
- ✓ definizione di un Metodo italiano per la valutazione del danno
- ✓ scelta di un Metodo straniero col quale confrontare i risultati
- ✓ costruzione di un Codice italiano che utilizzi la Banca-Dati e il Metodo italiano
- ✓ scelta per la Certificazione ambientale delle procedure che fanno uso dell'LCA come primo passo per la valutazione del danno
- ✓ scelta di un LCA dettagliato, trasparente e basato su indicatori scientifici.

# **Metodi di calcolo e dati per un LCA** **dettagliato**

- ✓ Codice di calcolo: SimaPro5
- ✓ Banche-Dati: ETH, Idemat, Buwal, Archive, Ivam, Eco-invent,
- ✓ Metodi: Eco-Indicator99, EPS 2000, EDIP96
- ✓ Dati raccolti in tutta Italia
- ✓ in tutti i metodi sono stati apportati modifiche
- ✓ sono stati considerati i costi di produzione
- ✓ sono stati calcolati i costi esterni per le 3 categorie di danno del Metodo Eco-Indicator 99 e messi a confronto con quelli calcolati da EPS
- ✓ è stata considerata e caratterizzata l'utilità della funzione

# Il Metodo di Valutazione Eco-Indicator 99



1 kg di SOSTANZA PRODOTTA

## fattori di CARATTERIZZAZIONE

### SALUTE UMANA:

(DALY: Disability  
Adjusted Life Years )

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

**QUALITA' dell'ECOSISTEMA**  
(PDF\*m2\*anno: Potentially  
Disappeared Fraction )

- ∅ acidificazione/eutrofizzazione
- ∅ ecotossicità
- ∅ uso del territorio

**IMPOVERIMENTO :  
delle RISORSE**  
(MJ Surplus)

- ∅ minerali
- ∅ combustibili fossili

## 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

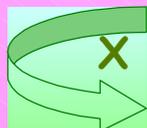
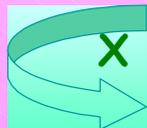
1 kg CO<sub>2</sub>

2,1E-7 DALY

64,7 DALY<sup>-1</sup>  
(salute umana)

333 Pt  
(salute umana)

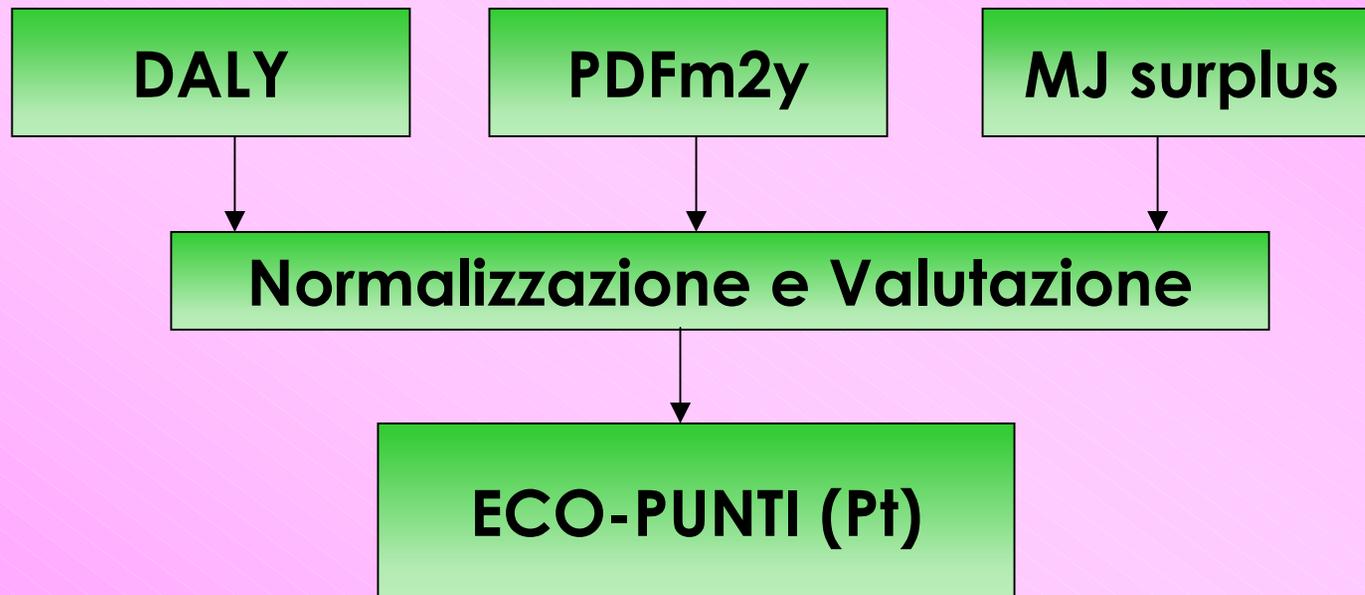
0,00452 Pt/kg



# Le categorie di danno e di impatto in Eco-Indicator 99

Human Health (DALY)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sostanze cancerogene</li><li>• Malattie respiratorie (sost. Inorganiche)</li><li>• Malattie respiratorie ( sost. Organiche)</li><li>• Cambiamenti climatici</li><li>• Impoverimento dello strato di ozono stratosferico</li><li>• Radiazioni ionizzanti</li></ul>
Ecosystem Quality (PDFm2y)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Acidificazione \ eutrofizzazione</li><li>• Ecotossicità</li><li>• Uso del territorio</li></ul>
Resources (MJ Surplus)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Minerali</li><li>• Combustibili fossili</li></ul>

# Valutazione dell'impatto ambientale con Eco Indicator 99

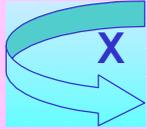


Gli impatti vengono normalizzati e valutati per ricavare un parametro univoco di valutazione dell'impatto

# Modifiche al metodo Eco-Indicatore 99

- **Consumo di acqua:** si considera 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 quello del '90. Si è inserita la sostanza Water nella categoria di impatto Minerals
- **Ptot e Ntot** nella categoria Eutrofizzazione
- **Utilità della funzione:** si considera la reale utilità della funzione ( o prodotto ) per la vita dell'uomo. E' stata creata la categoria di danno Funzione
- **Energia:** si considera separatamente il fabbisogno energetico del processo. E' stata creata la categoria di danno Energia
- **Costi:** si considerano anche gli aspetti economici del processo

# Il metodo di valutazione EPS 2000



1 kg di sostanza emessa

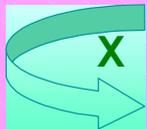
1kg di CO<sub>2</sub>

**Fattori di caratterizzazione:** la CO<sub>2</sub> è considerata solo in alcune categorie di impatto con fattori differenti:

<b>Human Health (YOLL, Person yr)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Life expectancy</li> <li>➤ Severe morbidity</li> <li>➤ Morbidity</li> <li>➤ Severe nuisance</li> <li>➤ Nuisance</li> </ul>
<b>Ecosystem Production Capacity (kg o H<sup>+</sup>eq)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Crop Growth Capacity</li> <li>➤ Wood Growth Capacity</li> <li>➤ Fish and Meat Production</li> <li>➤ Soil Acidification</li> <li>➤ Prod. Cap. Irrigation Water</li> <li>➤ Prod. Cap. Drinking water</li> </ul>
<b>Biodiversity</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Species Extinction</li> </ul>
<b>Abiotic Stock Resources (ELU)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resources</li> </ul>

Prendiamo il valore della caratterizzazione per Human Health:

7.93E-7 Person yr  
3.53E-7 Person yr  
6.55E-7 Person yr



**Fattori di valutazione:** rappresentano 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.

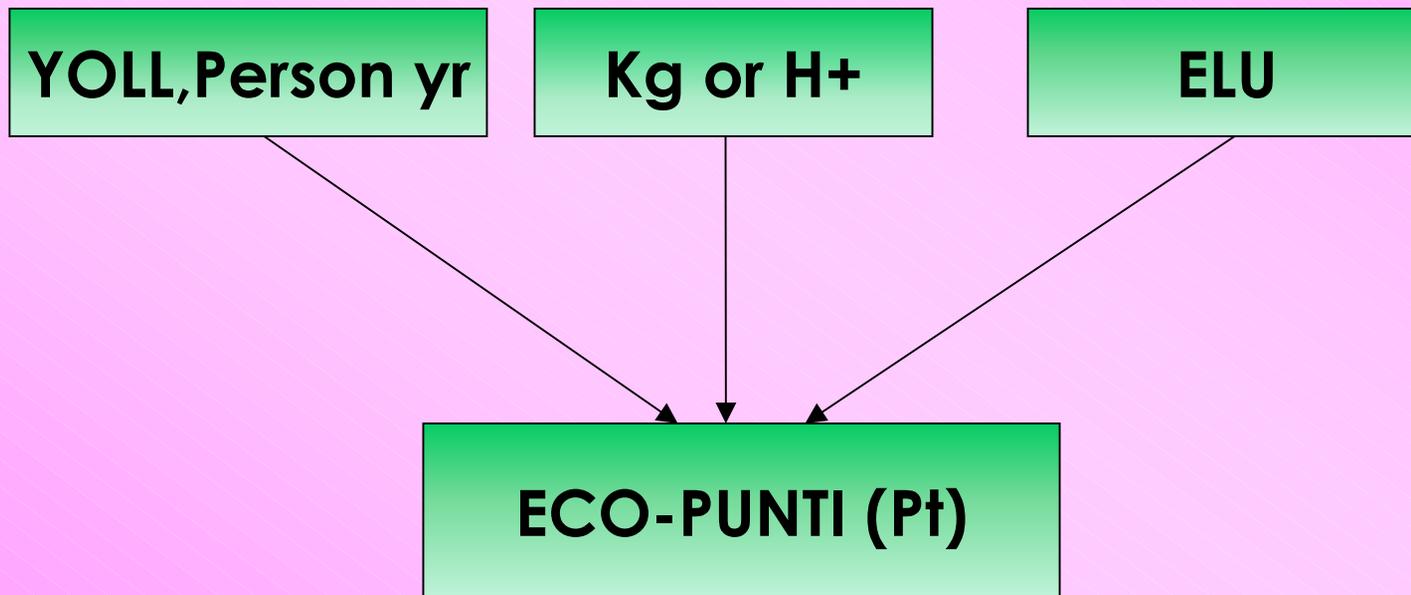
85000 ELU \ Person yr  
100000 ELU \ Person yr  
10000 ELU \ Person yr

**0.109 ELU=0.109 Pt**

# Le categorie di danno e di impatto in EPS 2000

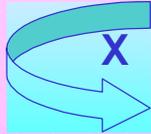
<b>Human Health</b> (YOLL, Person Year)	<ul style="list-style-type: none"><li>•Aspettativa di vita</li><li>•Malattie grave</li><li>•Malattia</li><li>•Disturbi gravi</li><li>•Disturbi</li></ul>
<b>Ecosystem Production Capacity</b> (kg or H+eq.)	<ul style="list-style-type: none"><li>•Capacità di crescita dei cereali</li><li>•Capacità di crescita del legno</li><li>•Produzione di pesce e bestiame</li><li>•Acidificazione del suolo</li><li>•Sottrazione di acqua per irrigare</li><li>•Sottrazione di acqua all'uso potabile</li></ul>
<b>Abiotic Stock Resources</b> (ELU)	<ul style="list-style-type: none"><li>•Esaurimento delle risorse</li></ul>
<b>Biodiversity (NEX)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Estinzione delle specie</li></ul>

# Valutazione dell'impatto ambientale con EPS 2000



**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**

# Il metodo di valutazione EDIP 96



1 kg di sostanza emessa

1000g di CO<sub>2</sub>

**Fattori di caratterizzazione:** la CO<sub>2</sub> è considerata solo in Global Warming:

<b>Categorie di danno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Global Warming</li> <li>➤ Ozone Depletion</li> <li>➤ Acidification</li> <li>➤ Eutrophication</li> <li>➤ Photochemical Smog</li> <li>➤ Ecotoxicity water chronic</li> <li>➤ Ecotoxicity water acute</li> <li>➤ Ecotoxicity soil chronic</li> <li>➤ Human toxicity air</li> <li>➤ Human toxicity water</li> <li>➤ Human toxicity soil</li> <li>➤ Bulk Waste</li> <li>➤ Hazardous Waste</li> <li>➤ Slag/Ashes</li> </ul>
<b>Consumo di risorse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resources</li> </ul>

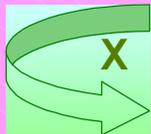
Prendiamo il valore della caratterizzazione per la CO<sub>2</sub> in Global Warming espressa in grammi equivalenti di CO<sub>2</sub>: 1 gCO<sub>2</sub>eq

1.15E-4 gCO<sub>2</sub>eqE-1



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

1,3 Pt



**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)

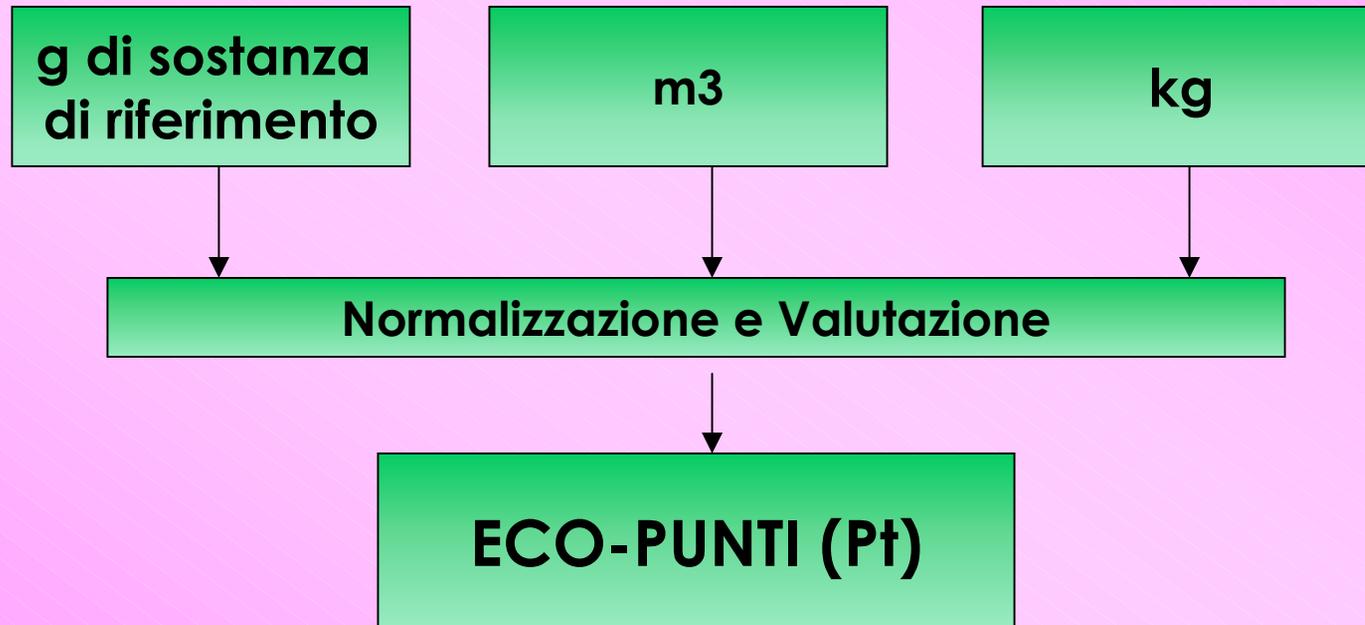
0.149 Pt

# Le categorie di danno in

## EDIP 96

<p><b>Impatto ambientale</b> g sostanza di riferimento</p> <p>m<sup>3</sup></p> <p>kg</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Global Warming [CO<sub>2</sub>eq]</li><li>• Ozone depletion [CFC-11eq]</li><li>• Acidification [SO<sub>2</sub>eq]</li><li>• Eutrophication [NO<sub>3</sub>eq]</li><li>• Photochemical Smog [etheneeq]</li><li>• Ecotoxicity Water Chronic, Water acute, Soil Chronic</li><li>• Human Toxicity air, water and soil</li><li>• Bulk, Hazardous, Radioactive Waste</li><li>• Slag\Ashes</li></ul>
<p><b>Risorse (kg)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Resources(all)</li></ul>

# Valutazione dell'impatto con EDIP 96



Gli impatti vengono valutati per ricavare un valore univoco di danno in particolare facendo riferimento a delle previsioni

# Modifiche al metodo EDIP 96

**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

# Confronto tra i metodi di valutazione

## Eco-Indicator99

- CO2 solo in Climate Change
- Forte caratterizzazione del Land use
- Valutazione secondo prospettive culturali

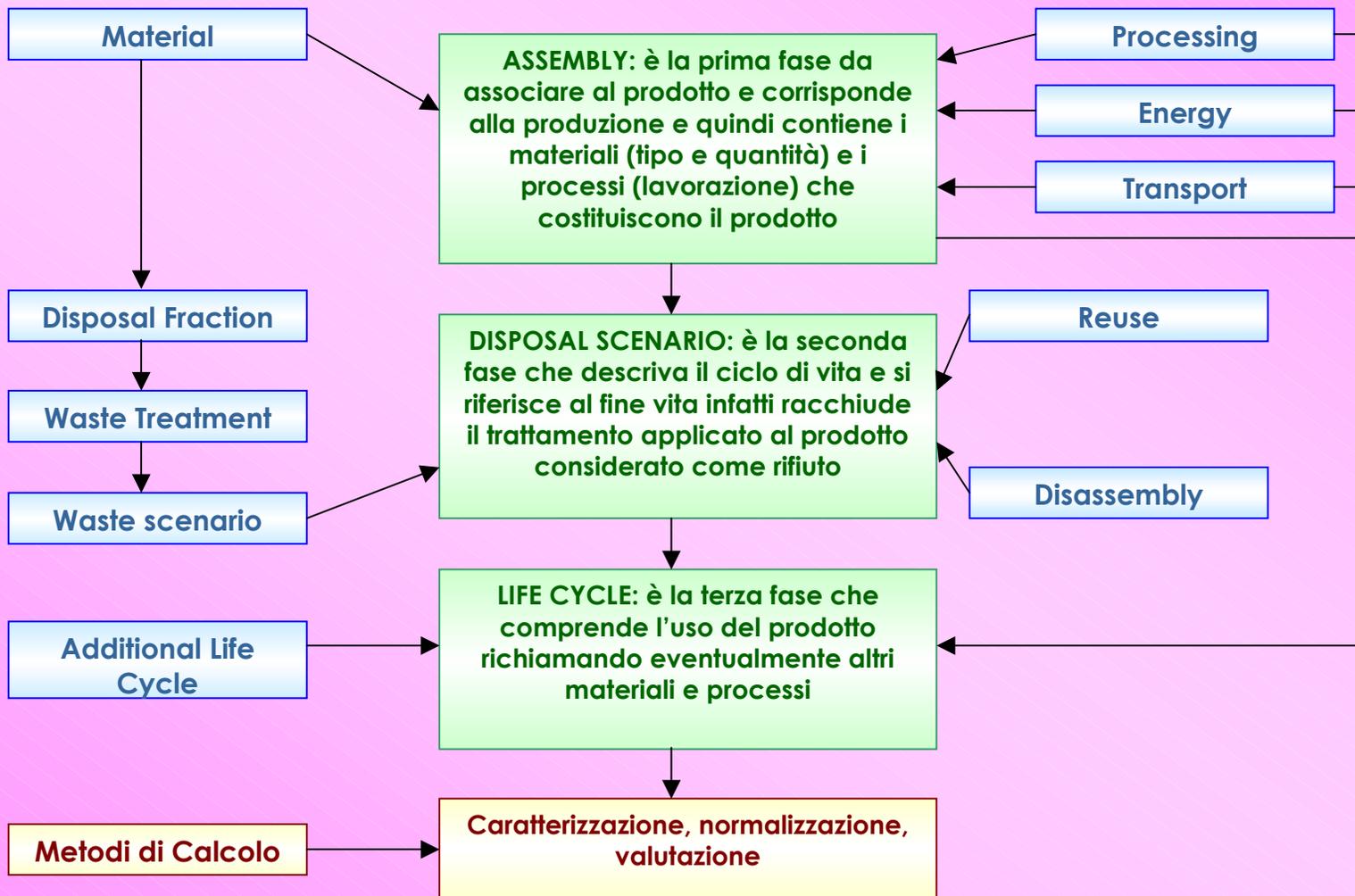
## EPS 2000

- CO2 in Human Health e in Biodiversity
- Forte caratterizzazione dell'uso dell'acqua
- Valutazione secondo i costi esterni

## EDIP 96

- Categorie di danno misurate mediante emissioni equivalenti
- Manca il land use
- Minore valutazione delle risorse
- Valutazione secondo criteri indicati dalla Comunità internazionale

# Il codice di calcolo SimaPro 5.0



# Il trattamento di Fine vita

**Riciclo**

**Incenerimento**

**Danno del processo +**

**Danno del processo +**

**Prodotto  
primario evitato**

**Co-prodotto  
e allocazione**

**Energia da  
combustibili  
fossili evitata**

**Co-prodotto  
e allocazione**

**Danno negativo**

**Danno minore**

**Danno negativo**

**Danno minore**

# EDILIZIA SOSTENIBILE

L'attività edilizia è uno dei settori a più alto impatto ambientale, che si esplica attraverso l'inarrestabile consumo del territorio, l'alto consumo energetico e le emissioni in atmosfera ad esso connesse

Il settore Edilizio incide per il 40% nella produzione dei materiali e per un terzo sul consumo totale di energia nel mondo

L'edilizia eco-compatibile nasce come reazione alla grave crisi ambientale in cui attualmente ci troviamo

## L'OBIETTIVO

progettare e costruire edifici che riducano al minimo l'impatto ambientale e il consumo energetico.

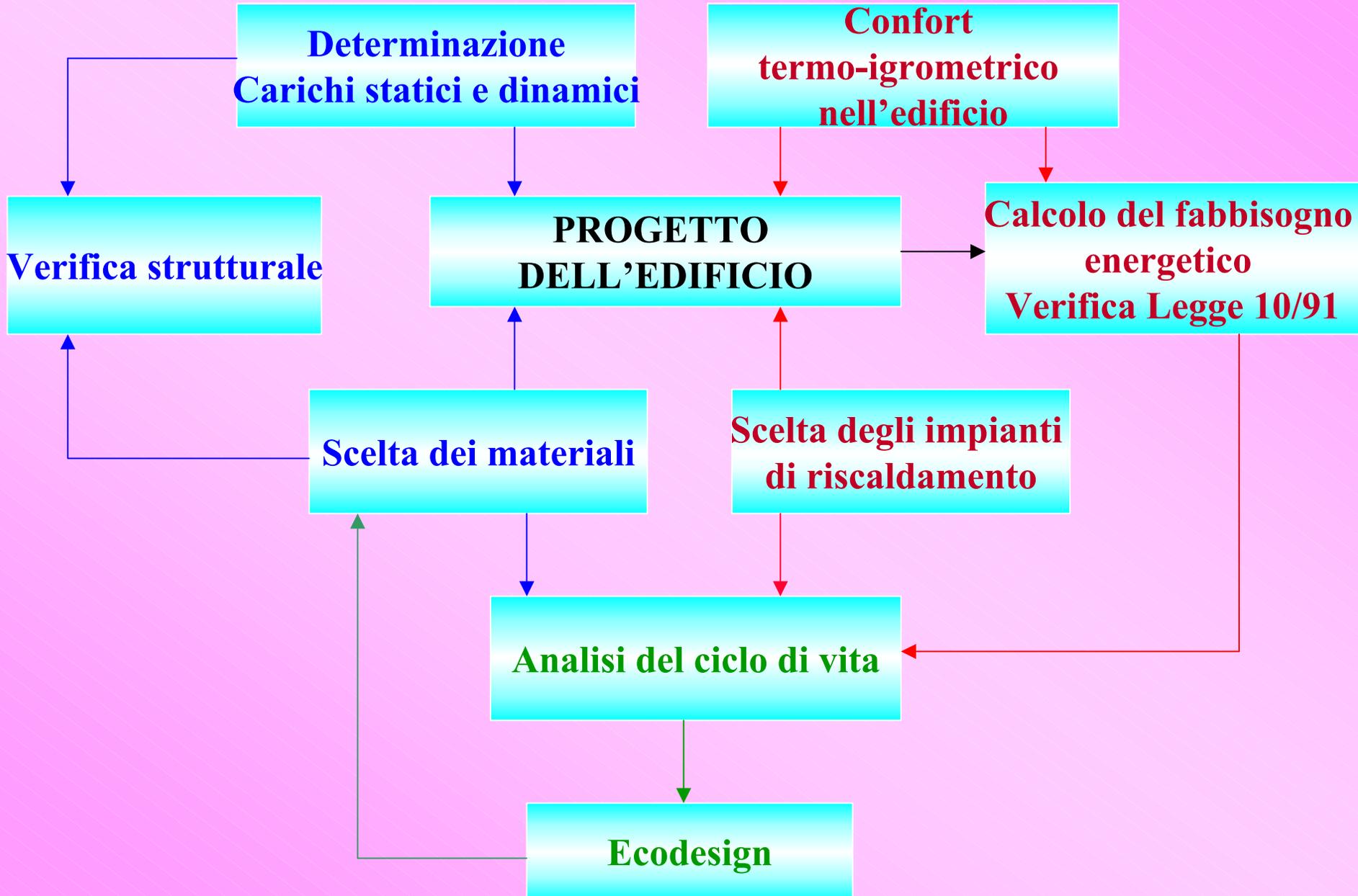
**ARCHITETTURA SOSTENIBILE**

# Applicazione del Metodo LCA agli Edifici

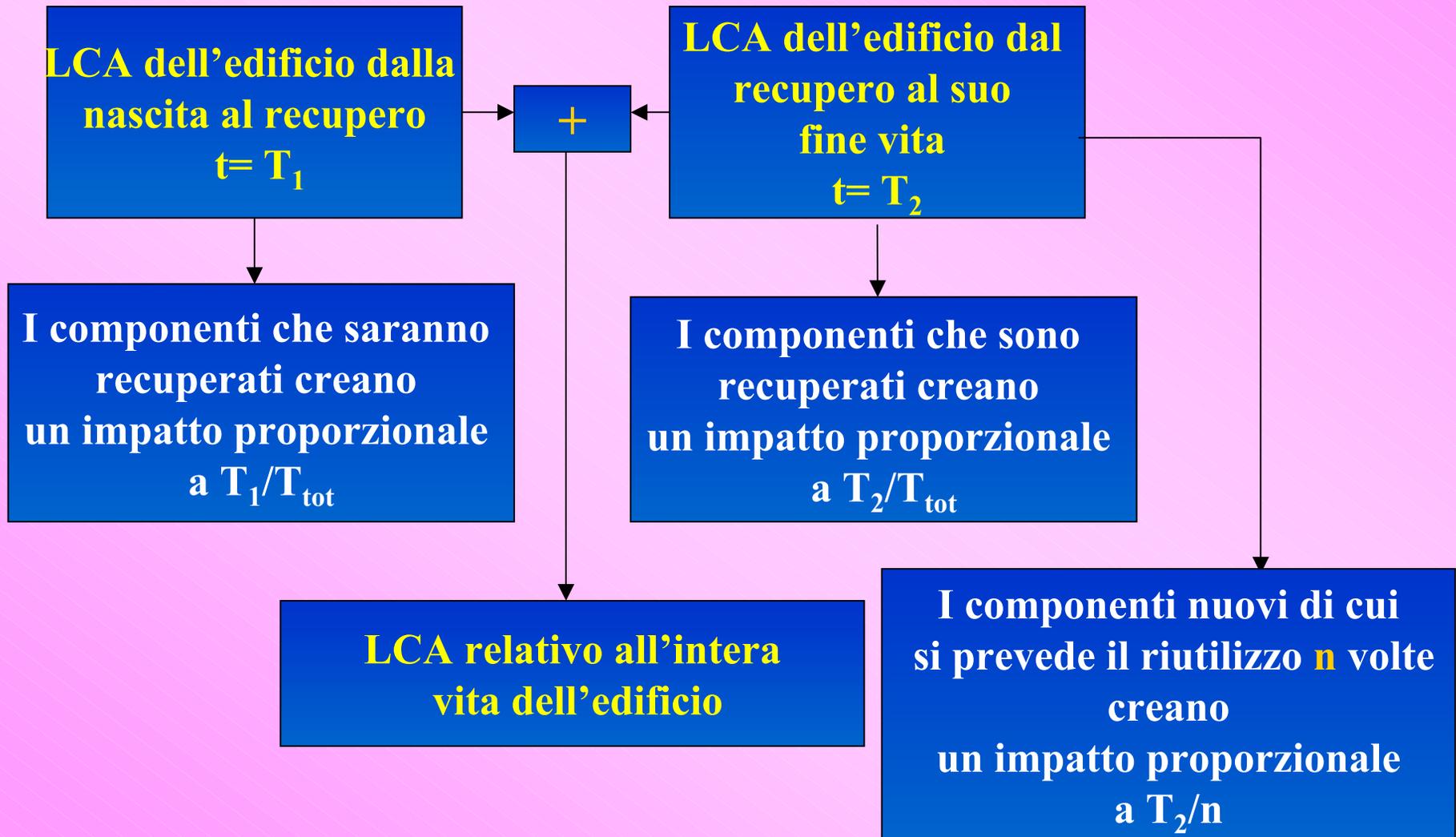
## Punti fondamentali

- ✓ il **processo iterativo** tra analisi strutturale, analisi energetica e analisi ambientale
- ✓ le **scelte architettoniche** volte al risparmio energetico
- ✓ la progettazione dei componenti in modo da rendere possibile **il fine vita più eco-compatibile** dei materiali di cui sono costituiti
- ✓ la **scelta di materiali** con minore impatto ambientale
- ✓ la **scelta di fonti di energia rinnovabili**
- ✓ la valutazione della **funzione** dell'edificio

# Progettazione ecosostenibile



# LCA applicato al recupero



# ***Il problema energetico***

## **Il sistema edificio-impianto**

L'attenzione al problema energetico si concretizza con l'emanazione della legge n°10 del 1991, che detta prescrizioni in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico, di sviluppo delle fonti rinnovabili.

**La legge impone 3 verifiche, al fine della certificazione energetica:**

- $C_d < C_d \text{ lim}$  (coefficiente di dispersione volumico di progetto dell'involucro edilizio)
- $\eta_g > \eta_g \text{ min}$  (valore limite del rendimento globale medio stagionale nel periodo di riscaldamento)
- $F.E.N. < F.E.N. \text{ lim}$  (fabbisogno energetico normalizzato)



**Calcolo fabbisogno energetico**

**software ENEA RECAL 10**

# ENERGIA PRIMARIA

AUSILIARI

GENERATORE

$Q$

$FEN < FEN_{lim}$

Perdite

$\eta_g \geq \eta_{g\ min}$

Produzione  
Distribuzione  
Regolazione  
Emissione

Apporti energetici gratuiti

$Q_i$

$Q_{se}$

$Q_{si}$

$Q_h$

Energia utile

$Q_L$  (Energia termica dispersa)

ventilazione

trasmissione

$Q_v$

(verso l'esterno)

$V_u$

(verso locali non riscaldati)

$Q_{va}$

(verso locali a temp. Fissa)

$Q_t$

(verso l'esterno)

$Q_g$

(verso il terreno)

$Q_{tu}$

(verso locali non riscaldati)

$Q_{ta}$

(verso locali a temp. Fissa)

# Calcolo fabbisogno energetico software ENEA RECAL 10

$Q_L =$  energia dispersa

$Q_{hsv} = K * (Fi1(Q_L - Q_{se}) - \eta_u * Fig(Q_{si} + Q_i))$  fabbisogno energetico utile mensile in funzionamento discontinuo

Quando il funzionamento è continuo:  
 $K=1; Fi1=1; Fig=1$

$$Q_h = (Q_L - Q_{se}) - \eta_u * (Q_{si} + Q_i)$$

$$Q_{hr} = Q_{hsv} / (\eta_e * \eta_c)$$

Fabbisogno energetico utile di ogni singola zona

$$Q_p = Q_{hsv} / (\eta_e * \eta_c * \eta_d)$$

Energia termica fornita dal sistema di produzione

$$Q = Q_p / \eta_p$$

Energia primaria

$$Q = Q_p / \eta_p$$

$$Q_p = Q_u + Q_{aux}$$

L'energia prodotta  $Q_p$  è uguale alla somma di quella utile  $Q_u$  del generatore e di quella fornita dagli ausiliari  $Q_{aux}$

$$Q_u = Q_p - Q_{aux}$$

$$Q_c = Q_u / \eta_{tu}$$

Energia richiesta per la combustione

$$Q_e = Q_{br} + Q_{po}$$

Energia richiesta per gli ausiliari

$$Q = Q_c + Q_e$$

$$\eta_p = Q_p / Q$$

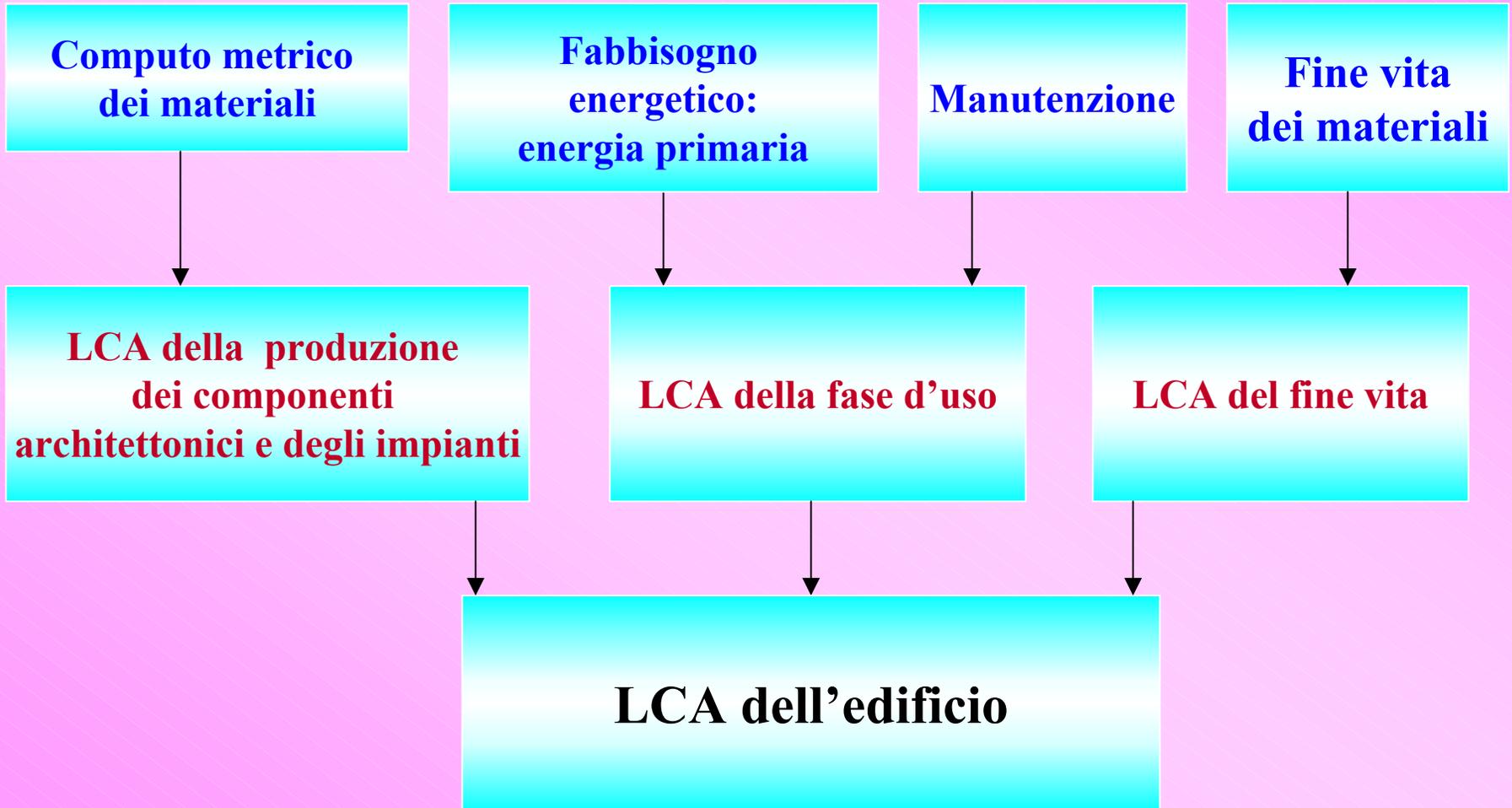
**Verifiche:**

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

$$\eta_g = \eta_p * \eta_c * \eta_d * \eta_e \geq \eta_g \text{ lim}$$

$$FEN = Q / ((t_i - t_{em}) * N * V) < FEN$$

# LCA dell'EDIFICIO



# PERCORSO DEI LAVORI SVOLTI

## **Analisi del ciclo di vita** (LCA, *Life Cycle Assessment*)

utilizzo del codice di calcolo olandese SimaPro 5.0

**Uso razionale  
dell'energia**

**Legge 10 del 1991**  
Codice di calcolo RECAL  
10

norme in materia di risparmio energetico e  
di sviluppo di fonti rinnovabili

**PROGETTAZIONE ECOCOMPATIBILE  
(ECODESIGN)**

# Ringraziamenti

- a Daniela Di Croce, Patrizia Milano, Simona Sarli e Mariolina Pastore che hanno effettuato gli studi LCA presentati
- ai 78 laureandi e ai 4 tirocinanti post-laurea che con le loro raccolte dati, il loro studio, il loro interesse per la comprensione dei problemi ambientali, le loro proposte, il loro entusiasmo hanno arricchito l'ENEA nel campo dell'analisi ambientale
- Alle Aziende che hanno fornito le informazioni per l'inventario dell'LCA
- ai tre laureati dei progetti SPINNER e SPINTA che, grazie al supporto dell'ENEA, si preparano a costituire un'Azienda per l'attuazione dell'LCA a favore delle Aziende e della Pubblica Amministrazione