

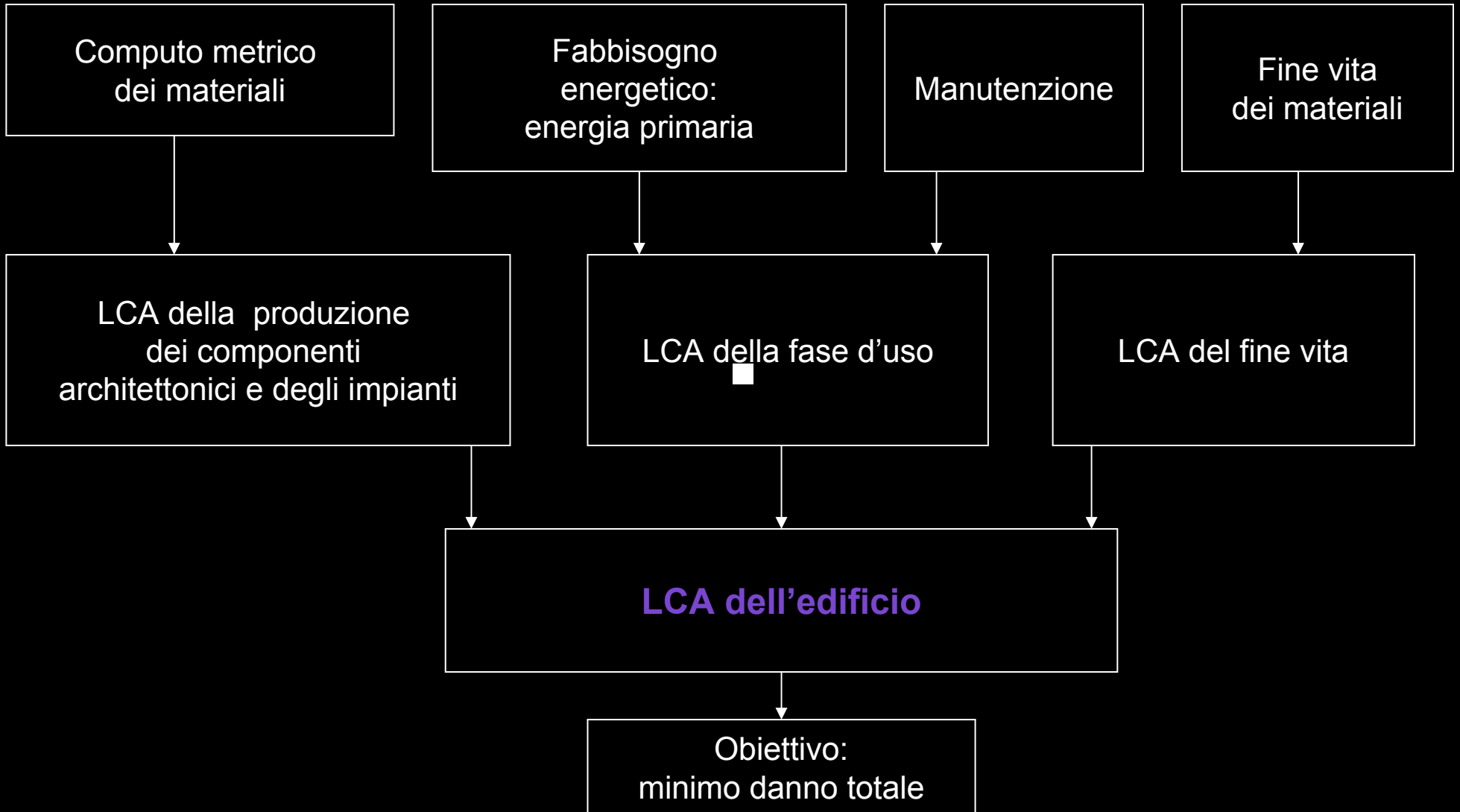
## Obiettivi della ricerca

- I. **Valutazione dell' impatto ambientale e del costo economico del ciclo di vita di un edificio per abitazioni di edilizia economica e popolare**
- II. **Recupero e riqualificazione energetica/tecnica dell'edificio degradato**
- III. **Dimostrazione del vantaggio ambientale della ristrutturazione, ispirata a criteri di eco-design, rispetto a qualsiasi altro trattamento di fine vita**

## Strumento

**LCA** - Analisi del Ciclo di Vita (*LIFE CYCLE ASSESSMENT*)

# LCA dell'EDIFICIO



## Fasi del lavoro di tesi

esame degli elaborati grafici relativi ai progetti architettonico e strutturale dell'edificio

rilevamento dello stato di fatto, ridisegno degli elaborati grafici e produzione di quelli mancanti

studio preliminare ed esame delle prescrizioni del Capitolato Speciale di Appalto e della normativa inerente lo specifico progetto

stima di massima dei fabbisogni termici (verifica legge 10 con Recal) per le condizioni reali dell'edificio

analisi dell'impianto

inserimento dei processi relativi ad ogni materiale utilizzato e del valore di Q(energia primaria) fornita da Recal 10 nel codice di calcolo SimaPro5.0 e prima LCA, estesa dal 1980 (costruzione) sino all'anno 2005 (data dell'intervento di ristrutturazione dell'appartamento)

progetto di ristrutturazione di un appartamento: descrizione ed elaborazione dei disegni

stima di massima dei fabbisogni termici (verifica legge 10 con Recal) per le condizioni di progetto

scelta del nuovo impianto

verifica del progetto

inserimento dei processi relativi ad ogni materiale utilizzato e del valore di Q(energia primaria) fornita da Recal10 nel codice di calcolo SimaPro5.0 e seconda LCA, estesa dal 2005 (data dell'intervento di ristrutturazione dell'appartamento) sino all'anno 2055 (fine vita)

valutazione della convenienza ambientale dell'intervento, mediante il metodo del  $\Delta$ LCA, applicato al confronto tra LCA(1980-2055) completa dell'appartamento non ristrutturato e LCA(1980-2055) completa dell'appartamento ristrutturato

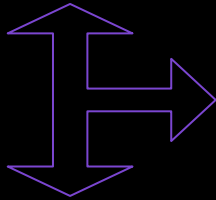
stima dei costi esterni

# I termini del confronto

Vita dell'edificio:  $T = T1 + T2$

LCA E1 relativo all'intera  
vita dell'edificio non  
ristrutturato

impatto dei componenti prop. a T



$$\Delta LCA = LCAE_1 - LCAE_2$$

LCA E2 relativo all'intera  
vita dell'edificio  
ristrutturato

=

LCA dell'edificio  
dalla nascita alla  
ristrutturazione  $t = T1$

+

LCA dell'edificio  
dalla ristrutturazione  
al suo fine vita  $t = T2$

componenti recuperati:  
impatto prop. a  $T1/T$

componenti eliminati:  
impatto prop. a  $T1/T1$

componenti recuperati:  
impatto prop. a  $T2/T$

componenti nuovi:  
impatto prop. a  $T2/T2$

# Ristrutturare o non ristrutturare?

Per dimostrare la convenienza ambientale della ristrutturazione, l'impatto derivante dalla conservazione dello stato di fatto e l'uso dovrà risultare superiore a quello dovuto all'intervento con l'uso.

$$\Delta LCA = LCAE1 - LCAE2 > 0$$

**P** = parte della struttura modificata o sostituita durante l'intervento di ristrutturazione;

**I1** = impianto dell' edificio (che in prima analisi non venga sostituito);

**Q1** = energia spesa per il riscaldamento prima della ristrutturazione;

**Q2** = energia spesa per il riscaldamento a seguito della ristrutturazione;

**PR** = parte restante;

**LCA P1,2** = (costruzione + fine vita) dei componenti che vengono sostituiti o eliminati (P1) e dei componenti di progetto (P2);

**25/75** = la porzione dei primi 25 anni, in rapporto al totale;

**50/75** = la porzione degli altri 50 anni di vita, in rapporto al totale;

LCA edificio(1980/2055) senza intervento: **LCA E1** = f {P1, I1, Q1, PR}

LCA edificio(1980/2055) con intervento di ristrutturazione: **LCA E2** = f {P1, P2, I1, Q1, Q2, PR}

$$LCAE1 = 25/75 LCAP1 + LCAI125anni + 25/75 LCAPR + LCA Q125anni + 50/75 LCAP1 + LCAI150anni + 50/75 LCAPR + LCAQ150anni$$

$$LCAE2 = 25/25 LCAP1 + LCAI125anni + 25/75 LCAPR + LCAQ125anni + 50/50 LCAP2 + LCAI150anni + 50/75 LCAPR + LCAQ250anni$$

$$\Delta LCA = LCA Q150anni - LCAP2 - LCA Q250anni > 0$$

## Metodi assegnati a ciascuna fase



$LCA E_1 = LCA (1980-2005) + LCA(2005-2055)$   
edificio con ristrutturazione  
metodo: Eco-Indicator 99



$LCA E_2 = LCA (1980-2055)$   
edificio senza ristrutturazione  
metodo: Eco-Indicator 99

$\Delta LCA = LCA E_1 - LCA E_2$   
metodi: Eco-Indicator 99, EPS 2000, EDIP 96

## Chiarimenti sul metodo ed ipotesi preliminari

### I processi relativi ad ogni materiale utilizzato comprendono:

- a) l'estrazione delle materie prime;
- b) la produzione-lavorazione;
- c) il trasporto in cantiere;
- d) il fine vita (riciclo, se possibile).

### Inoltre:

- a) non vengono considerate le strutture e le macchine per l'allestimento del cantiere e quelle per l'estrazione e la produzione delle materie prime;
- b) la maggior parte delle informazioni, che riguardano i trasporti sono approssimative;
- c) per facilitare il calcolo, l'impianto di riscaldamento centralizzato a termosifone è stato sostituito con un modello autonomo, assegnato al singolo alloggio oggetto dello studio;
- d) l'analisi non prende in considerazione i processi relativi alla fase di gestione (manutenzione) dell'edificio.

## Inventario dell'appartamento esistente

Copertura piana: SOLAIO IN LATERO-CEMENTO GETTATO IN OPERA (CM 28)

Solaio di calpestio: SOLAIO IN LATERO-CEMENTO GETTATO IN OPERA (CM 22)

Balcone: SOLETTA A SBALZO (cm 15)

Muratura esterna: MURO DI TAMPONAMENTO IN LATERIZIO "A CASSETTA" (CM 30)

Muratura interna: MURI DIVISORI TRA ALLOGGI IN LATERIZIO "A CASSETTA" (cm 20)

Tramezze: MURI IN LATERIZIO (cm 10)



Infissi esterni: PROFILATO SPECIALE DI ACCIAIO VERNICIATO AD OLIO

Impianto di riscaldamento: A TERMOSIFONE CON CALDAIA A GASOLIO



# Isolamento termico e risparmio energetico

La capacità termoisolante (*conduttività*) di un materiale da costruzione è inversamente proporzionale a:

$\lambda$  (W/m°k) = *conducibilità termica* = attitudine a trasmettere calore per conduzione



elemento costruttivo dell'involucro edilizio =  $\sum$  strati di materiali diversi



La conduttività termica globale (*conduttanza*) di ogni elemento dipende dallo spessore  $s$  e da  $\lambda$  di ciascuno strato:

$U$  o  $K$  (W/m<sup>2</sup>°k) =  $\lambda/s$  = *trasmittanza termica* = quantità di calore che passa nell'unità di tempo (h) attraverso un m<sup>2</sup> dell'elemento costruttivo, quando la differenza di temperatura dell'aria aderente alle due facce è di un °k.



1) + Coibentazione = - Energia termica necessaria al riscaldamento

2) Vita del materiale isolante > Vita dell'impianto



Un kWh risparmiato mediante un efficace isolamento dell'involucro vale di più e costa di meno di un kWh prodotto dalla più efficiente caldaia

# L'EDIFICIO



**Q**(energia primaria complessivamente impiegata per mantenere la temp. Int. pari a 20°C dal 1 dic. al 31 mar.):

**12637 MJ/anno**

L'energia dispersa per conduzione attraverso l'involucro edilizio proviene:  
dal **solaio di copertura** per il 47,4%, dalle **porte e finestre** per il 30%  
dalle **pareti di tamponamento** per il 15,5%, dai **ponti termici** per il 7,1%

Per soddisfare tale fabbisogno termico, occorrerà utilizzare una caldaia a gasolio con potenza utile pari a:

**6200 W**

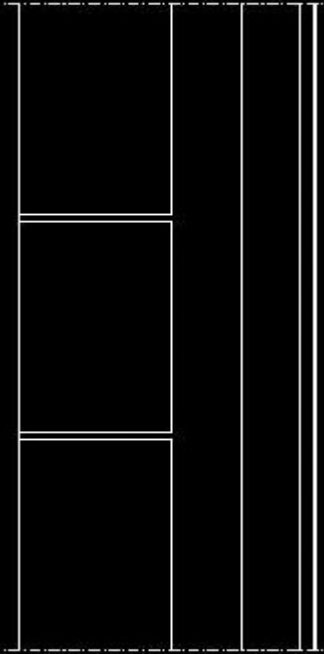
$$FEN < FEN_{lim}$$

$$Cd < Cd_{lim}$$

$$\eta_g > \eta_{g,lim}$$

# I componenti opachi dell'involucro

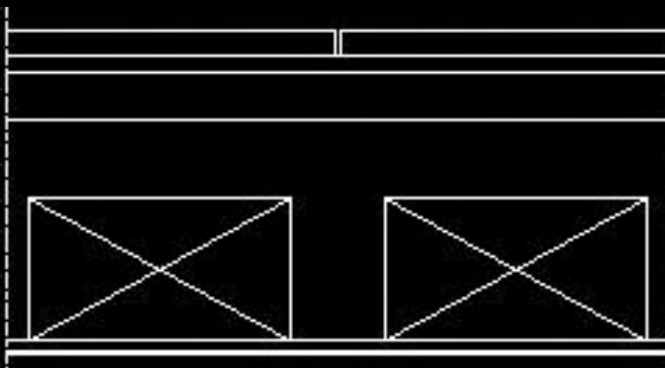
Parete di tamponamento



	DESCRIZIONE STRATO	S(m)	$\lambda$ (W/mk)	m(kg/mc)	R(mqk/W)
1	Intonaco di calce e gesso	0,003	0,7	1400	0,004
2	Malta di cemento	0,012	1,4	2000	0,009
3	Tavellone per divisori	0,06	0,462	1800	0,13
4	Intercapedine d'aria 70mm	0,07	0,44	1	0,159
5	Mattone forato	0,155	0,333	1800	0,465
6	Resina acrilica	0,001	0,2	1450	0,005

Trasmittanza totale = 1.062 W/m<sup>2</sup>K

Solaio di copertura



	DESCRIZIONE STRATO	S(m)	$\lambda$ (W/mk)	m(kg/mc)	R(mqk/W)
1	Intonaco di calce e gesso	0,003	0,7	1400	0,004
2	Malta di cemento	0,012	1,4	2000	0,009
3	Blocco da solaio	0,18	0,6	1800	0,3
4	Soletta in laterocemento	0,1	0,39	2400	0,256
5	C.I.s. di vermiculite	0,06	0,14	250	0,429
6	Imp. in cartone bitumato	0,002	0,23	1200	0,009
7	Malta di cemento	0,02	1,4	2000	0,014
8	Piastr.in cemento e marmo	0,03	1,5	2200	0,02

Trasmittanza totale = 0.826 W/m<sup>2</sup>K

# L'EDIFICIO RISTRUTTURATO



**Q**(energia primaria complessivamente impiegata per mantenere la temp. int. pari a 20°C dal 1 dic. al 31 mar.):

**6113 MJ/anno**

L'energia dispersa per conduzione attraverso l'involucro edilizio proviene:  
dalle **porte e finestre** per il 53,6%, dal **solaio di copertura** per il 26,4%  
dai **ponti termici** per il 10,6%, dalle **pareti di tamponamento** per il 9,4%

Per soddisfare tale fabbisogno termico, occorrerà utilizzare una caldaia a gasolio con potenza utile pari a:

**4500 W**

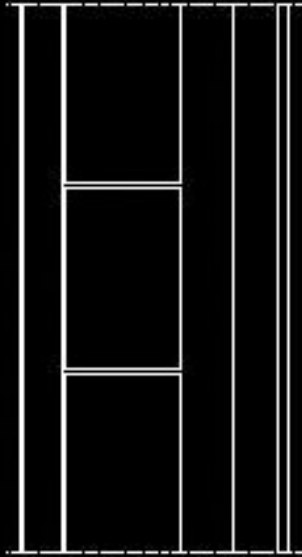
$$FEN < FEN_{lim}$$

$$Cd < Cd_{lim}$$

$$\eta_g > \eta_{g,lim}$$

# I componenti opachi dell'involucro dopo il 2005

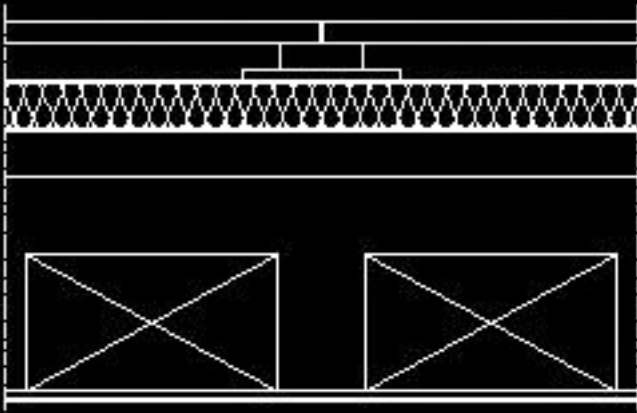
Parete di tamponamento



	DESCRIZIONE STRATO	S(m)	$\lambda$ (W/mk)	m(kg/mc)	R(mqk/W)
1	Latte di calce	0,002	0,9	1200	0,002
2	Intonaco d'argilla per interni	0,013	0,47	1700	0,028
3	Tavellone per divisori	0,06	0,462	1800	0,13
4	Intercapedine d'aria 70 mm	0,07	0,44	1	0,159
5	Mattone forato	0,155	0,333	1800	0,465
6	Collante cementizio	0,005	1,4	1900	0,004
7	Pannello Corkpan	0,05	0,037	120	1,351
8	Fibra di vetro-Feltro resinato	0,002	0,048	14	0,042
9	Rasante	0,003	1,4	1900	0,002

Trasmittanza totale = 0,425 W/m<sup>2</sup>K

Solaio di copertura



	DESCRIZIONE STRATO	S(m)	$\lambda$ (W/mk)	m(kg/mc)	R(mqk/W)
1	Latte di calce	0,002	0,9	1200	0,002
2	Intonaco d'argilla per interni	0,013	0,47	1700	0,028
3	Blocco da solaio	0,18	0,6	1800	0,3
4	Soletta in laterocemento	0,1	0,39	2400	0,256
5	C.I.s. in vermiculite	0,06	0,14	250	0,429
6	Barr.al vap.in velo di vetro	0,003	0,23	1200	0,013
6	Sarnafil TG 66-15	0,0015	0,348	900	0,004
7	ALGOPAN HBT	0,06	0,033	32	1,818
8	Tessuto non tessuto	0,0015	0,05	1	0,03
9	Intercapedine d'aria	0,05	0,22	1	0,227
10	Piastr. in cemento e marmo	0,03	1,5	2200	0,02

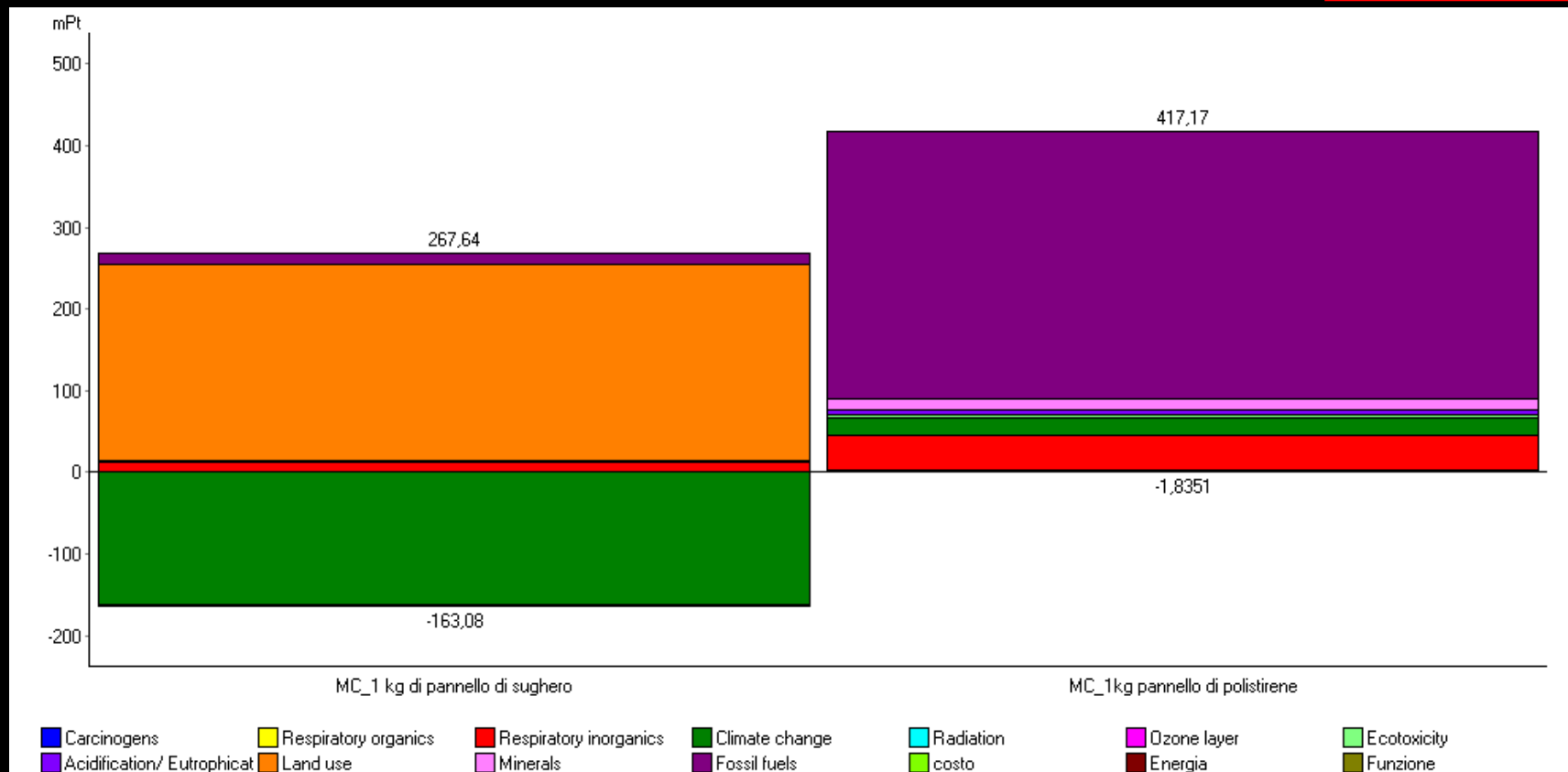
Trasmittanza totale = 0,303 W/m<sup>2</sup>K

# Materiali a confronto: pannello di sughero e polistirene

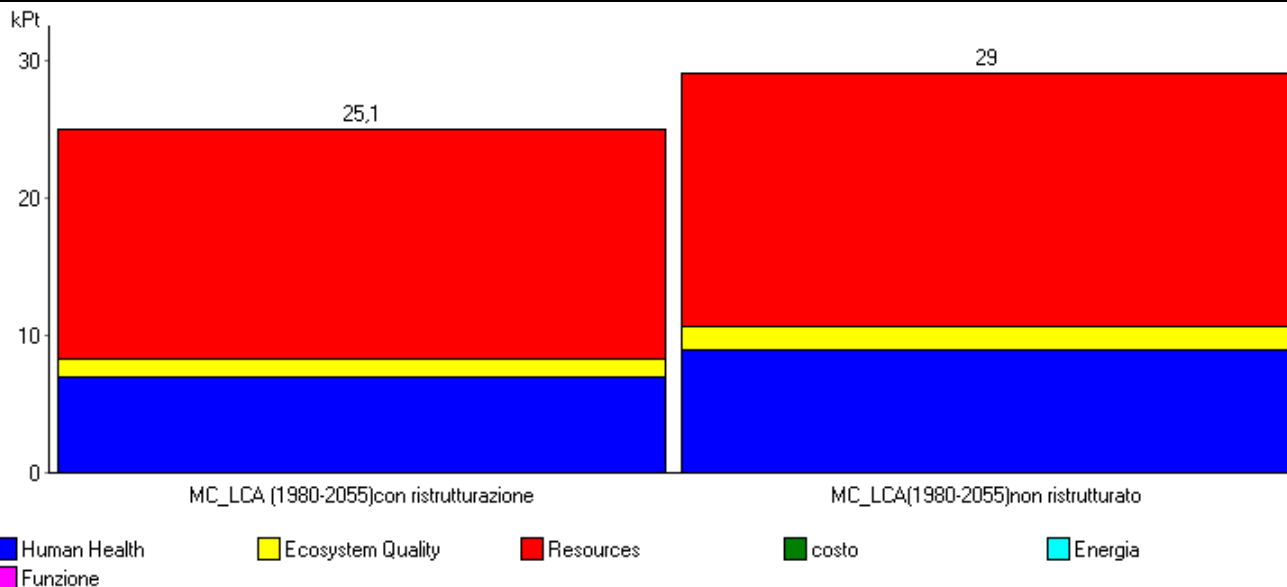


Dall'analisi con Eco-Indicator 99 risulta che il pannello di sughero ( $\lambda=0,037$  W/mK) ha il vantaggio di produrre un danno evitato, dovuto all'assorbimento della  $CO_2$ , che lo rende più "ecologico" del pannello di polistirene ( $\lambda=0,033$  W/mK).

Il polistirene estruso è, però, insostituibile, in tutti gli impieghi in cui l'isolante è permanentemente a contatto con acqua o umidità e possiede un'elevata resistenza alla compressione.



# Confronto tra LCA(1980-2055) dell'edificio ristrutturato ed LCA(1980-2055) di quello non ristrutturato con Eco-Indicator 99.

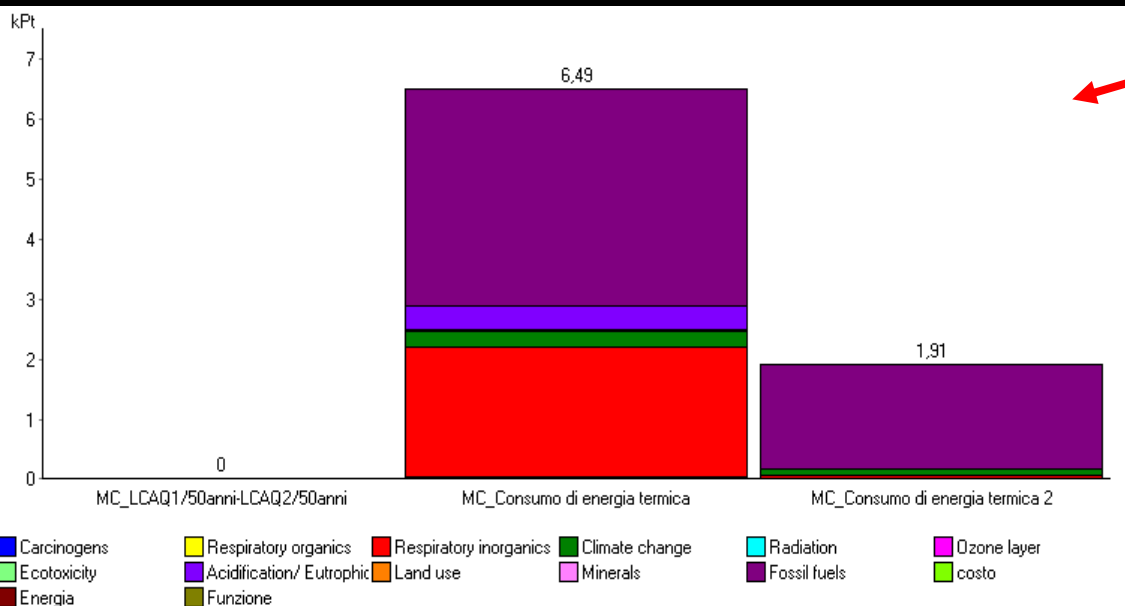


## VALUTAZIONE:

la vita dell'alloggio ristrutturato produce un danno (25,1E3 Pt), che è inferiore del 15% c.ca rispetto al danno dell'edificio non ristrutturato (29E3 Pt).

Per quanto riguarda il consumo di energia termica, valutato, in entrambi i casi, tra il 2005 ed il 2055, la ristrutturazione provoca in cinquanta anni una riduzione del danno del **71%**.

Comparing 1 p processing 'MC\_LCA (1980-2055) con ristrutturazione' with 1 p processing 'MC\_LCA(1980-2055) non ristrutturato'; Method: Eco-indicator 99 (E) Cf



Il danno causato dai nuovi materiali usati per la ristrutturazione si ottiene sostituendo i valori nell'equazione:

$$\Delta LCA = LCA Q150anni - LCA P2 - LCA Q250anni$$

$$\Delta LCA = 3,96E3 Pt$$

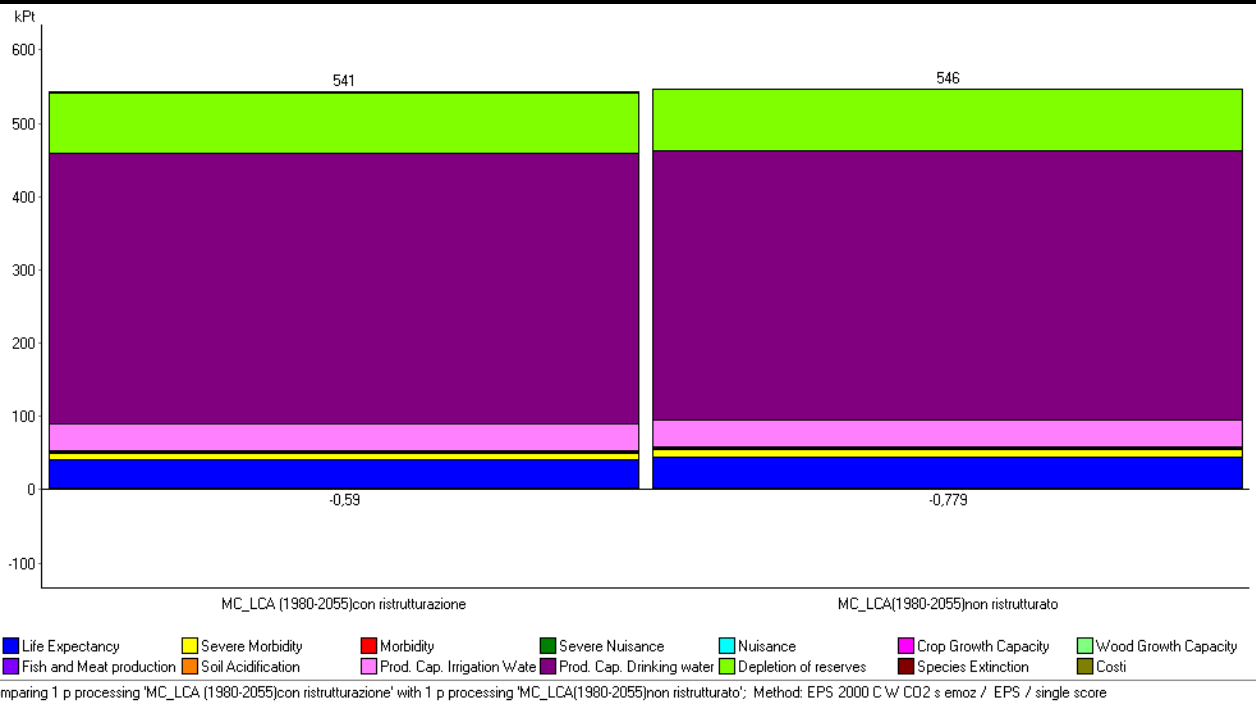
$$Q150anni = 6,49E3 Pt$$

$$Q250anni = 1,91E3 Pt$$

$$LCA P2 = (-3.96E3 + 6.49E3 - 1.91E3) = 0.62E3 Pt$$

Analyzing 1 p processing 'MC\_LCAQ1/50anni-LCAQ2/50anni'; Method: Eco-indicator 99 (E) CEFwgsnrcodbodemoz / Europe EI 99 E/WCEF / single score

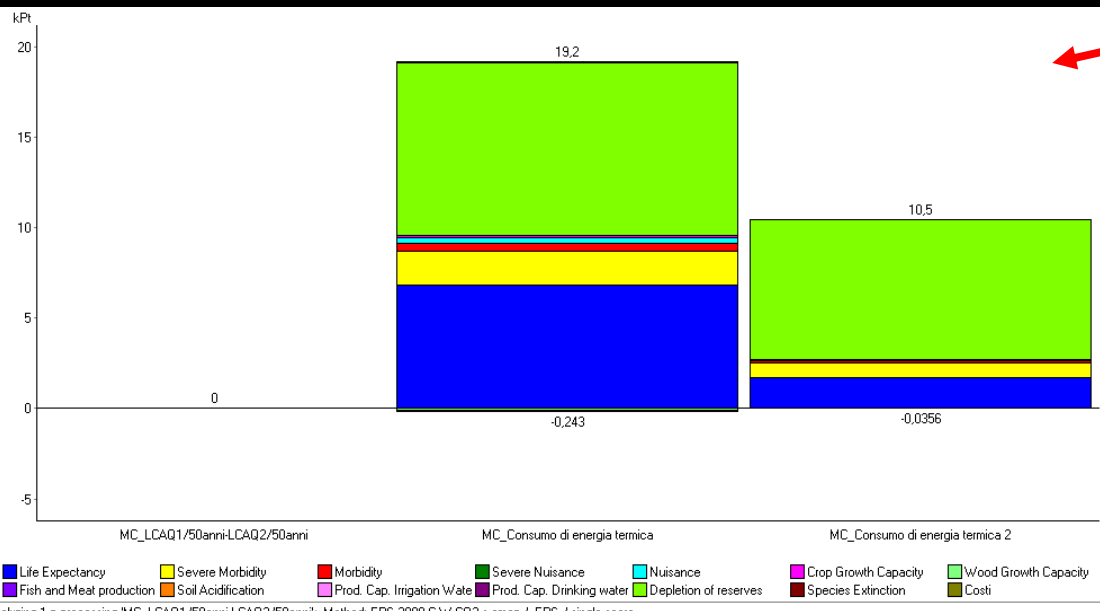
# Confronto tra LCA(1980-2055) dell'edificio ristrutturato ed LCA(1980-2055) di quello non ristrutturato con EPS.



## VALUTAZIONE:

la vita dell'alloggio ristrutturato produce un danno (5.41E5 Pt), che è inferiore del 1% c.ca rispetto al danno dell'edificio non ristrutturato (5.46E5 Pt).

Per quanto riguarda il consumo di energia termica, valutato, in entrambi i casi, tra il 2005 ed il 2055, la ristrutturazione provoca in cinquanta anni una riduzione del danno del 45%.



Il danno causato dai nuovi materiali usati per la ristrutturazione si ottiene sostituendo i valori nell'equazione:

$$\Delta LCA = LCA Q150anni - LCA P2 - LCA Q250anni$$

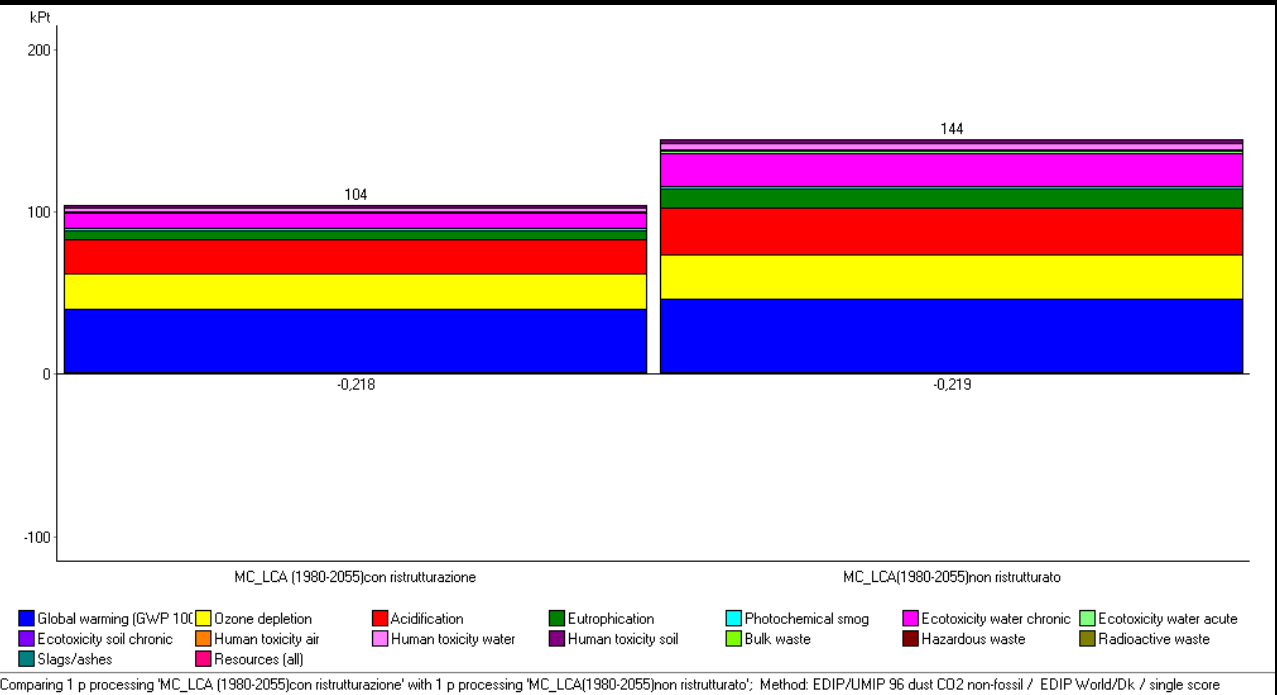
$$\Delta LCA = 4.82E3 Pt$$

$$Q150anni = 18.95E3 Pt$$

$$Q250anni = 10.42E3 Pt$$

$$LCA P2 = (-4.82E3 + 18.95E3 - 10.42E3) = 3.71E3 Pt$$

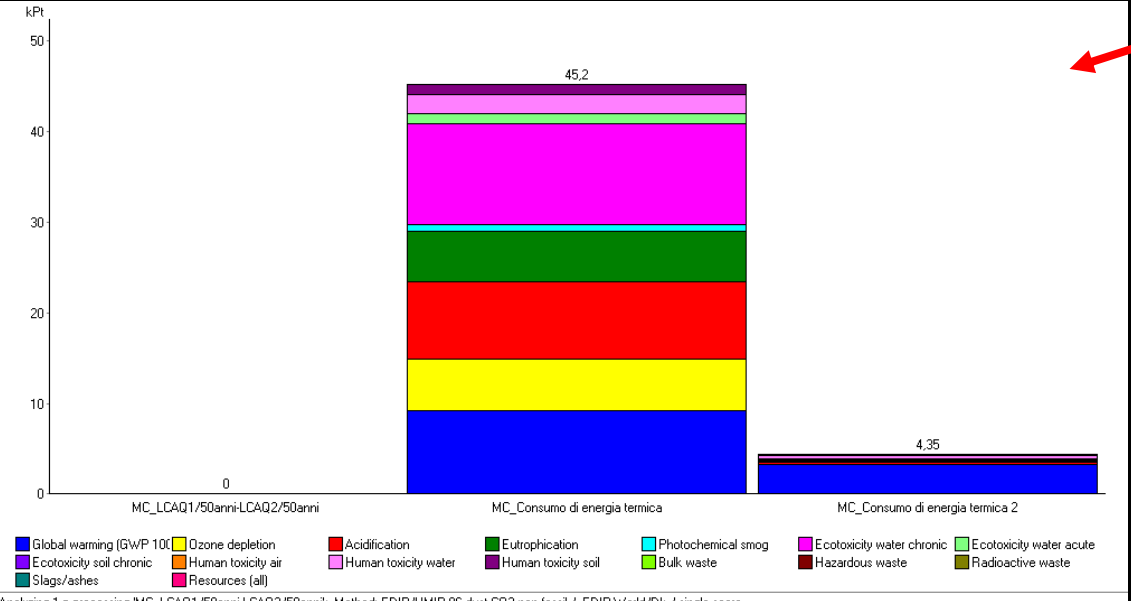
# Confronto tra LCA(1980-2055) dell'edificio ristrutturato ed LCA(1980-2055) di quello non ristrutturato con EDIP 96.



## VALUTAZIONE:

la vita dell'alloggio ristrutturato produce un danno (1.44E5 Pt), che è inferiore del 30% c.ca rispetto al danno dell'edificio non ristrutturato (1.04E5 Pt).

Per quanto riguarda il consumo di energia termica, valutato, in entrambi i casi, tra il 2005 ed il 2055, la ristrutturazione provoca in cinquanta anni una riduzione del danno del 90%.



Il danno causato dai nuovi materiali usati per la ristrutturazione si ottiene sostituendo i valori nell'equazione:

$$\Delta LCA = LCA \text{ Q150anni} - LCA \text{ P2} - LCA \text{ Q250anni}$$

$$\Delta LCA = 40.36E3 \text{ Pt}$$

$$Q150anni = 45.17E3 \text{ Pt}$$

$$Q250anni = 4.35E3 \text{ Pt}$$

$$LCA \text{ P2} = (-40.36E3 + 45.17E3 - 4.35E3) = 0.46E3 \text{ Pt}$$

# VALUTAZIONE DEI COSTI

costi esterni		LCA(1980-2055) edificio non ristrutturato	LCA(1980-2055) edificio ristrutturato
<b>Eco-Indicator 99</b>	<b>Europa</b>	€HH = 12958,4	€HH = 10092,6
		€EQ = 155,45	€EQ = 122,76
		€R = 12703,6	€R = 11583,33
		<b>€TOT = 25816,91</b>	<b>€TOT = 21798,69</b>
<b>EPS</b>	<b>Mondo</b>	€HH = 58100	€HH = 52400
		€EQ = 650	€EQ = 590
		€R = 83600	€R = 82700
		<b>€TOT = 142350</b>	<b>€TOT = 135690</b>
<b>Eco-Indicator 99</b>	<b>Mondo</b>	€HH = 202475	€HH = 157696,87
		€EQ = 2428,96	€EQ = 1918,11
		€R = 171354,17	€R = 156250
		<b>€TOT = 376258,13</b>	<b>€TOT = 315864,98</b>

## costi interni

LCA(1980-2055) edificio non ristrutturato

€TOT = 42134

LCA(1980-2055) edificio ristrutturato

€TOT = 64811

## Conclusioni

L'oggetto della mia ricerca, un edificio per abitazioni di edilizia economica e popolare degli anni '80 situato a Reggio Calabria, è uno di tutti quei vecchi stabili, che sono i maggiori responsabili dello spreco di energia e della caduta di qualità del patrimonio immobiliare delle nostre città: modesti interventi di riduzione delle dispersioni termiche diminuiscono il fabbisogno energetico ed incrementano il valore ambientale degli edifici esistenti, mentre per quanto riguarda le nuove costruzioni, è già in atto un processo innovativo delle tecniche e dei materiali costruttivi tradizionali.



I costi ambientali globali di ogni edificio fanno ormai parte della contabilità privata e pubblica ed il consumo energetico di gestione rappresenta un fondamentale parametro di valutazione: il metodo LCA è oggi lo strumento più idoneo per effettuare una progettazione integrata e quantificare i benefici dovuti al miglioramento delle prestazioni dell'involucro degli edifici ed, in un secondo momento, all'uso di fonti di energia rinnovabile.

*Grazie per l'attenzione...*