



edifici a  
**energia  
QUASI ZERO**

 **editale**  
il motore di ricerca dell'edilizia

 **archiportale**  
architecture, design, interiors

 **agora**

case passive • sostenibili • in classe A

**Ancona, 18 aprile 2012**

**Auditorium G. Mantovani**

**Ex Ente Fieristico Regionale**

Analisi economico-energetica per  
la determinazione del livello  
ottimale in funzione dei costi

**Ing. Roberto Fioretti**

*Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche  
Università Politecnica delle Marche*

# Sommario

---

- Direttiva Europea 2010/31/CE
- Regolamento Delegato 244/2012
- LCC (Life Cycle Cost)
- Strumenti economici
- Esempio di analisi energetico-economica



**livello di prestazione energetica che comporta il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato**

Il livello ottimale in funzione dei costi si situa all'interno della scala di livelli di prestazione in cui l'analisi costi-benefici calcolata sul ciclo di vita economico è positiva.

## Livello ottimale in funzione dei costi

---



il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei **costi di manutenzione** e di **funzionamento** (compresi i costi e i risparmi energetici, la tipologia edilizia interessata e gli utili derivanti dalla produzione di energia), se del caso, e degli eventuali **costi di smaltimento**;

## Livello ottimale in funzione dei costi

---



il ciclo di vita economico stimato è determinato da ciascuno Stato membro. Esso si riferisce al ciclo di vita economico stimato rimanente:

- di un **edificio** nel caso in cui siano stabiliti requisiti di prestazione energetica per l'edificio nel suo complesso oppure al ciclo di vita economico stimato
- di un **elemento edilizio** nel caso in cui siano stabiliti requisiti di prestazione energetica per gli elementi edilizi.



Gli Stati membri calcolano livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica [...] e comparano i risultati di tale calcolo con i requisiti minimi di prestazione energetica in vigore.

Per gli edifici di nuova costruzione gli Stati membri garantiscono che, prima dell'inizio dei lavori di costruzione, sia valutata e tenuta presente **la fattibilità** tecnica, ambientale ed **economica** di sistemi alternativi ad alta efficienza come quelli indicati di seguito, se disponibili:



## Art. 10

Gli Stati membri tengono conto dei livelli di prestazione energetica ottimali in funzione dei costi in sede di **concessione di incentivi per la costruzione o l'esecuzione di ristrutturazioni importanti di edifici.**

## Art. 11

L'attestato di prestazione energetica comprende raccomandazioni per il **miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi** della prestazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare, a meno che manchi un ragionevole potenziale per tale miglioramento rispetto ai requisiti di prestazione energetica in vigore.



## **Quadro metodologico sull'ottimalità dei costi**

### **Prospettiva finanziaria**

considera solamente i costi e i benefici dell'investimento stesso (costi che deve sostenere il cliente)

### **Prospettiva macroeconomica**

considera i costi e i benefici per tutta la società degli investimenti di efficienza energetica (escluse imposte ma compreso valore della riduzione del gas serra)



## **Costi globali**

**Costo dell'investimento iniziale**

**Costo di gestione**

**Costi energetici**

**Costi di smaltimento**

**Costo delle emissioni di gas a effetto serra**

**Valore residuo**



## **Periodo di calcolo**

30 anni per residenziali e pubblici  
20 anni per edifici commerciali

## **Tasso di sconto**

Gli stati membri determinano il tasso di sconto da applicare dopo aver svolto un'analisi di sensibilità su almeno due tassi diversi. (nel calcolo macroeconomico, uno di questi è il 3%)

# Regolamento delegato 244/2012

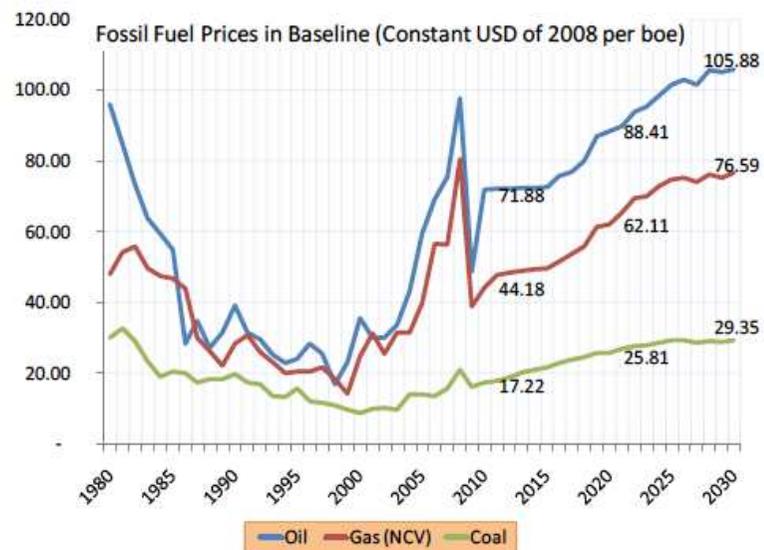
---



## Costo delle emissioni di carbonio

- 20 €/ton fino al 2025**
- 35 €/ton fino al 2030**
- 50 €/ton dopo il 2030**

## Prezzi dell'energia



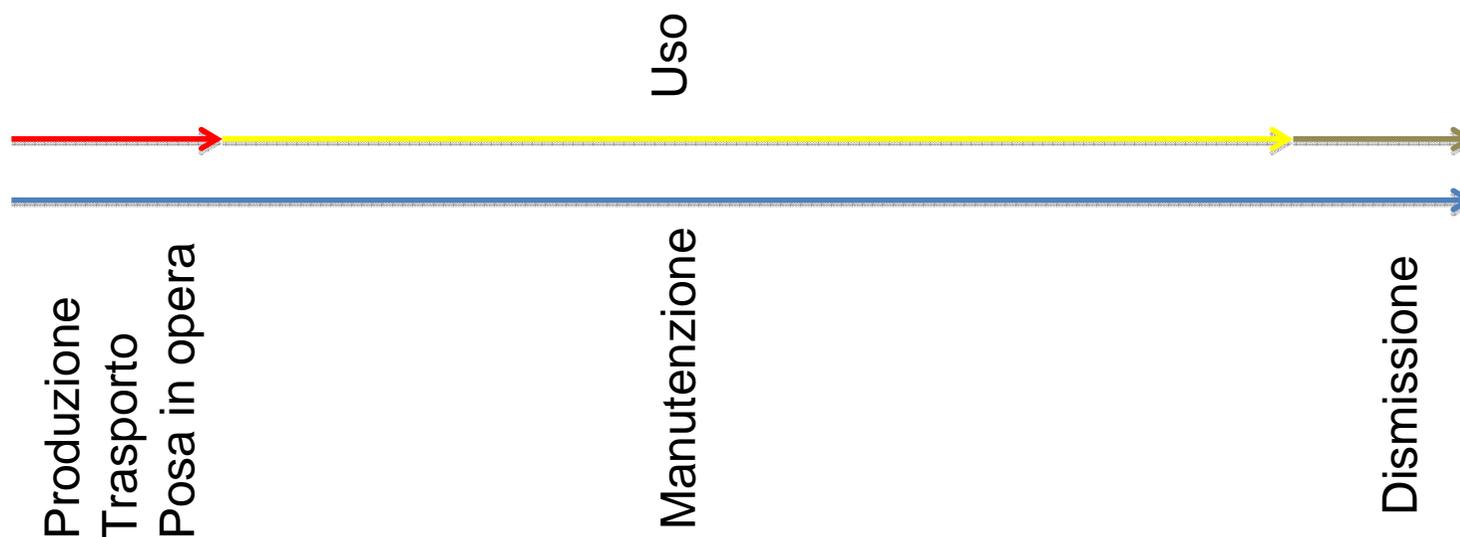
# LCC Life Cycle Cost

---



Il LCC (Life Cycle Costing) è una metodologia di valutazione dei costi legati all'intero ciclo di vita di un'opera, dalla culla alla tomba.

L'approccio LCC si discosta quindi da quello tradizionale, in cui vengono analizzati esclusivamente i costi diretti per la costruzione e la manutenzione, permettendo di verificare l'effettiva economicità dell'investimento.



# LCC Life Cycle Cost



Produzione  
Trasporto  
Posa in opera



Costi noti

Uso



Risparmi stimati

Manutenzione



Costi noti per T=0

Dismissione



Costi e scenari noti per T=0

Uso



Produzione  
Trasporto  
Posa in opera

Manutenzione

Dismissione

# LCC Life Cycle Cost



Durate del ciclo di vita

Tasso di sconto

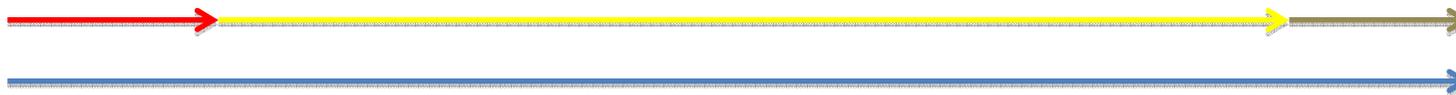
Tasso di crescita prezzi  
combustibili

Numero, momento e  
entità della manutenzioni

Modalità di utilizzo



Uso



Produzione  
Trasporto  
Posa in opera

Manutenzione

Dismissione

# VALUTAZIONE ECONOMICA

---

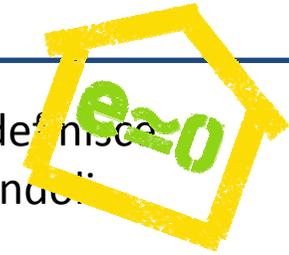


- **Un intervento per l'efficienza è considerato economicamente conveniente per un utente, se comporta una riduzione dei costi a parità di servizi finali richiesti, cioè se i risparmi economici che derivano dai minori consumi sono maggiori degli investimenti sostenuti.**
- **Gli indicatori economici normalmente impiegati sono:**
  - valore attuale netto (VAN);
  - indice di profitto (IP)
  - rapporto Benefici / Costi (B/C);
  - tasso interno di rendimento (TIR);
  - tempo di ritorno (TR) o "*Pay-back Time*" (PBT);
  - il costo dell'energia risparmiata (CER).

# Valore attuale netto

---

Più precisamente, il valore attuale netto è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale (VAN) di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli contabilmente ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento.



$$VAN = -C_o + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+r)^k}$$

$$VAN = -C_o + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k (1+g)^k}{(1+r)^k}$$

VAN valore attuale netto

$C_o$  investimento iniziale

$FC$  flusso di cassa

$r$  tasso di sconto

$g$  tassi di crescita flussi di cassa

## Valore attuale perpetuo

---

Il valore di una tale sequenza di flussi di cassa tutti uguali e percepiti per sempre



$$VA_0 = -C_0 + \frac{FC}{i}$$

-Si può utilizzare se si ipotizza che l'edificio o la componente che si sta valutando non si deteriori nel tempo e abbia una vita infinita.

## Tempo di recupero – Pay back time

---



-Il tempo di recupero di un'operazione consiste nel numero di anni necessari affinché i flussi di cassa cumulati previsti eguagliano l'investimento iniziale.

-La regola del recupero sostiene che un progetto debba essere accettato se l'investimento iniziale è recuperabile entro un certo periodo di tempo prefissato (cutoff period).

$$PBT = \frac{C_o}{FC}$$

# TIR Tasso interno di rendimento

---



## **Tasso Interno di Rendimento (TIR)**

**Il TIR di un progetto d'investimento è il *tasso si sconto* che annulla il VAN, ossia:**

$$VAN_{@r\%} = 0 \quad \Rightarrow \quad r \equiv \text{TIR}$$

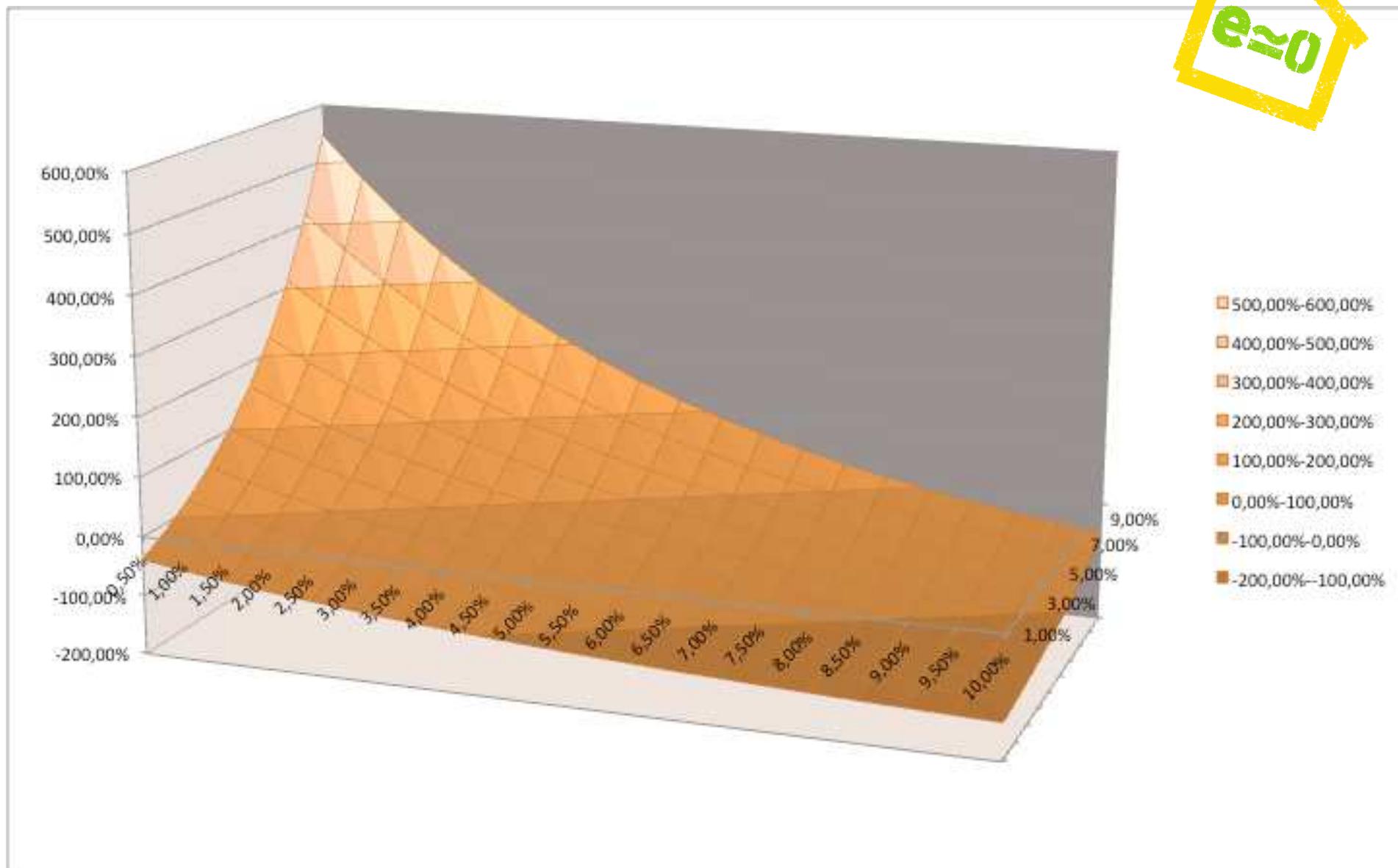
# Analisi sensibilità



	tasso di crescita prezzo combustibile									
	1,00%	2,00%	3,00%	4,00%	5,00%	6,00%	7,00%	8,00%	9,00%	10,00%
0,50%	-38,43%	-13,15%	17,64%	55,21%	101,18%	157,53%	226,72%	311,79%	416,52%	545,56%
1,00%	-49,34%	-26,53%	1,18%	34,93%	76,13%	126,53%	188,30%	264,12%	357,30%	471,96%
1,50%	-59,16%	-38,54%	-13,56%	16,80%	53,79%	98,94%	154,17%	221,85%	304,88%	406,88%
2,00%	-68,01%	-49,34%	-26,78%	0,58%	33,84%	74,35%	123,81%	184,31%	258,40%	349,28%
2,50%	-76,01%	-59,07%	-38,65%	-13,96%	15,99%	52,40%	96,76%	150,92%	217,13%	298,21%
3,00%	-83,24%	-67,85%	-49,34%	-27,02%	0,00%	32,77%	72,62%	121,18%	180,44%	252,87%
3,50%	-89,79%	-75,78%	-58,98%	-38,76%	-14,35%	15,20%	51,05%	94,64%	147,76%	212,57%
4,00%	-95,74%	-82,97%	-67,69%	-49,34%	-27,25%	-0,57%	31,74%	70,94%	118,61%	176,69%
4,50%	-101,14%	-89,48%	-75,56%	-58,89%	-38,87%	-14,73%	14,42%	49,73%	92,59%	144,69%
5,00%	-106,07%	-95,40%	-82,70%	-67,53%	-49,34%	-27,48%	-1,13%	30,72%	69,30%	116,13%
5,50%	-110,57%	-100,79%	-89,18%	-75,35%	-58,81%	-38,97%	-15,11%	13,66%	48,45%	90,58%
6,00%	-114,68%	-105,70%	-95,07%	-82,44%	-67,37%	-49,34%	-27,71%	-1,67%	29,74%	67,71%
6,50%	-118,45%	-110,19%	-100,44%	-88,88%	-75,13%	-58,72%	-39,07%	-15,48%	12,92%	47,20%
7,00%	-121,90%	-114,30%	-105,34%	-94,75%	-82,18%	-67,22%	-49,34%	-27,93%	-2,20%	28,77%
7,50%	-125,08%	-118,06%	-109,81%	-100,09%	-88,59%	-74,92%	-58,64%	-39,17%	-15,84%	12,20%
8,00%	-128,00%	-121,51%	-113,91%	-104,98%	-94,43%	-81,93%	-67,07%	-49,34%	-28,15%	-2,73%
8,50%	-130,69%	-124,69%	-117,67%	-109,44%	-99,75%	-88,30%	-74,72%	-58,56%	-39,27%	-16,19%
9,00%	-133,18%	-127,61%	-121,12%	-113,53%	-104,62%	-94,11%	-81,68%	-66,92%	-49,34%	-28,36%
9,50%	-135,49%	-130,31%	-124,30%	-117,29%	-109,07%	-99,41%	-88,01%	-74,51%	-58,48%	-39,37%
10,00%	-137,62%	-132,81%	-127,23%	-120,74%	-113,16%	-104,27%	-93,80%	-81,43%	-66,77%	-49,34%

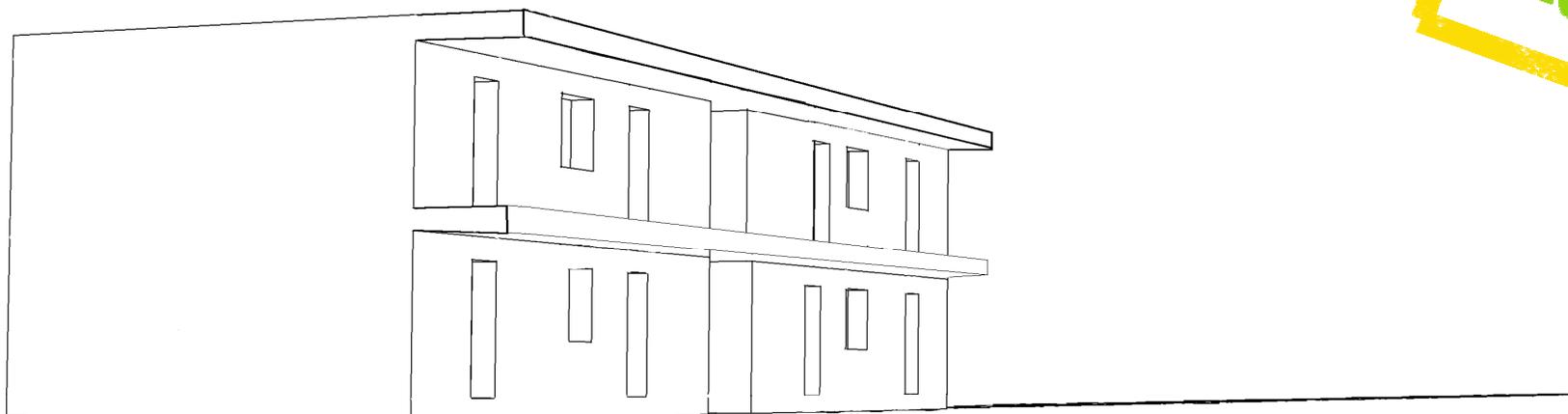
tasso di sconto

# Analisi sensitività



# Esempio di valutazione economica

---



s/v	0,57
Superficie utile	262.42 m <sup>2</sup>
Numero alloggi	4
Superficie disperdente	910,06 m <sup>2</sup>
Volume lordo riscaldato	1.283,98 m <sup>3</sup>
Località - Zona climatica – Gradi Giorno	Ancona – D - 1688
Numero anni VAN	30
Manutenzione	no
Tasso di crescita prezzo combustibili	5 %
Tasso di sconto	3%

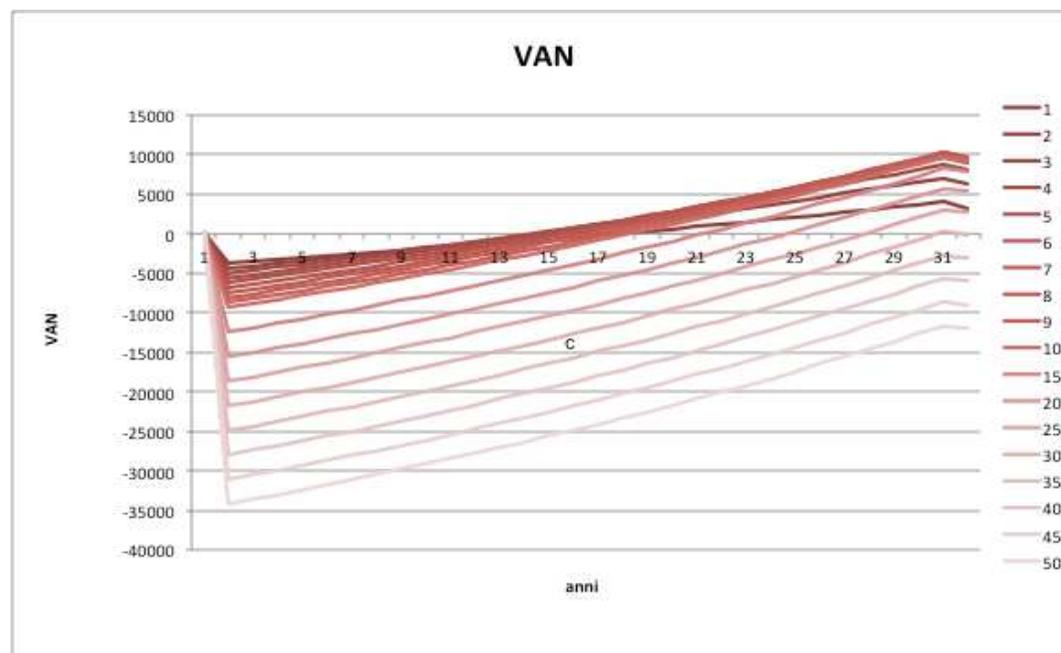
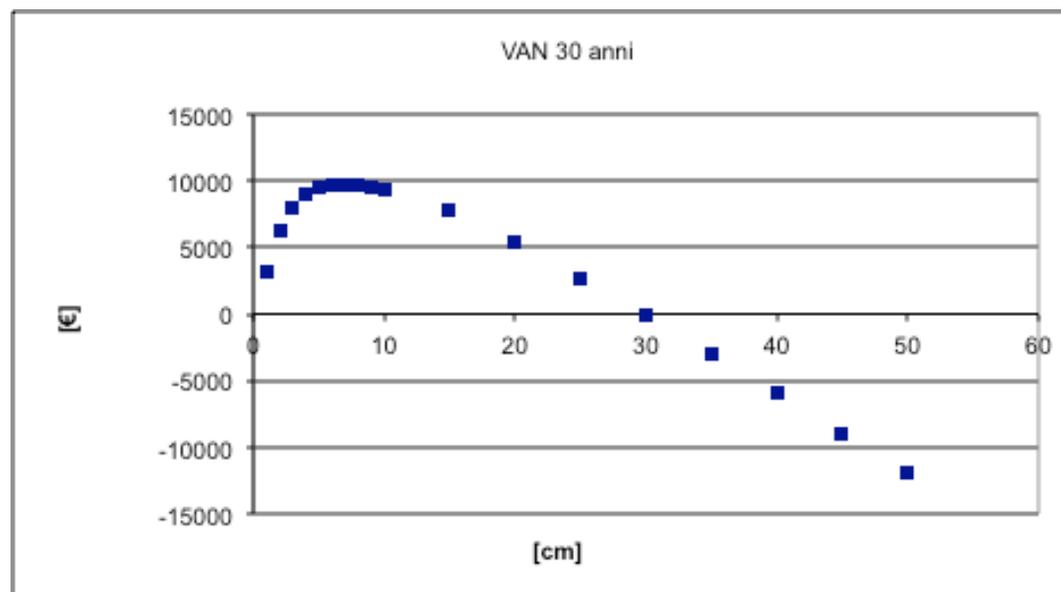
# Isolamento copertura



<b>Costo base</b>	<b>4 €/mq</b>
Per ogni cm. di isolante	2 €/mq

cm	Epi	U [W/m2K]	ΔEpi [kWh/m2K]	ΔEpi [kWh]	€/anno	Co [€/mq]	Co [€]	PBT [anni]	VAN [€]
1	81,4	1,073	11,39	2989,18	199,28	12	3.731,88	18,73	3.122,58
2	76,11	0,821	16,68	4377,36	291,82	14	4.353,86	14,92	6.293,17
3	72,87	0,665	19,92	5227,59	348,51	16	4.975,84	14,28	7.994,05
4	70,68	0,559	22,11	5802,28	386,82	18	5.597,82	14,47	8.942,15
5	69,09	0,482	23,70	6219,52	414,63	20	6.219,80	15,00	9.460,09
6	67,88	0,424	24,91	6537,04	435,80	22	6.841,78	15,70	9.705,59
7	66,93	0,378	25,86	6786,34	452,42	24	7.463,76	16,50	9.764,70
8	66,174	0,341	26,62	6984,73	465,65	26	8.085,74	17,36	9.684,72
9	65,55	0,311	27,24	7148,47	476,56	28	8.707,72	18,27	9.510,10
10	65,026	0,285	27,77	7285,98	485,73	30	9.329,70	19,21	9.263,79
15	62,677	0,203	30,11	7902,40	526,83	40	12.439,60	23,61	7.837,97
20	61,748	0,157	31,04	8146,18	543,08	50	15.549,50	28,63	5.394,09
25	61,16	0,128	31,63	8300,48	553,37	60	18.659,40	33,72	2.705,75
30	60,755	0,108	32,04	8406,76	560,45	70	21.769,30	38,84	-113,79
35	60,458	0,094	32,33	8484,70	565,65	80	24.879,20	43,98	-3.010,76
40	60,231	0,083	32,56	8544,26	569,62	90	27.989,10	49,14	-5.957,92
45	60,053	0,074	32,74	8590,98	572,73	100	31.099,00	54,30	-8.940,21
50	59,909	0,067	32,88	8628,76	575,25	110	34.208,90	59,47	-11.946,87

# Isolamento copertura



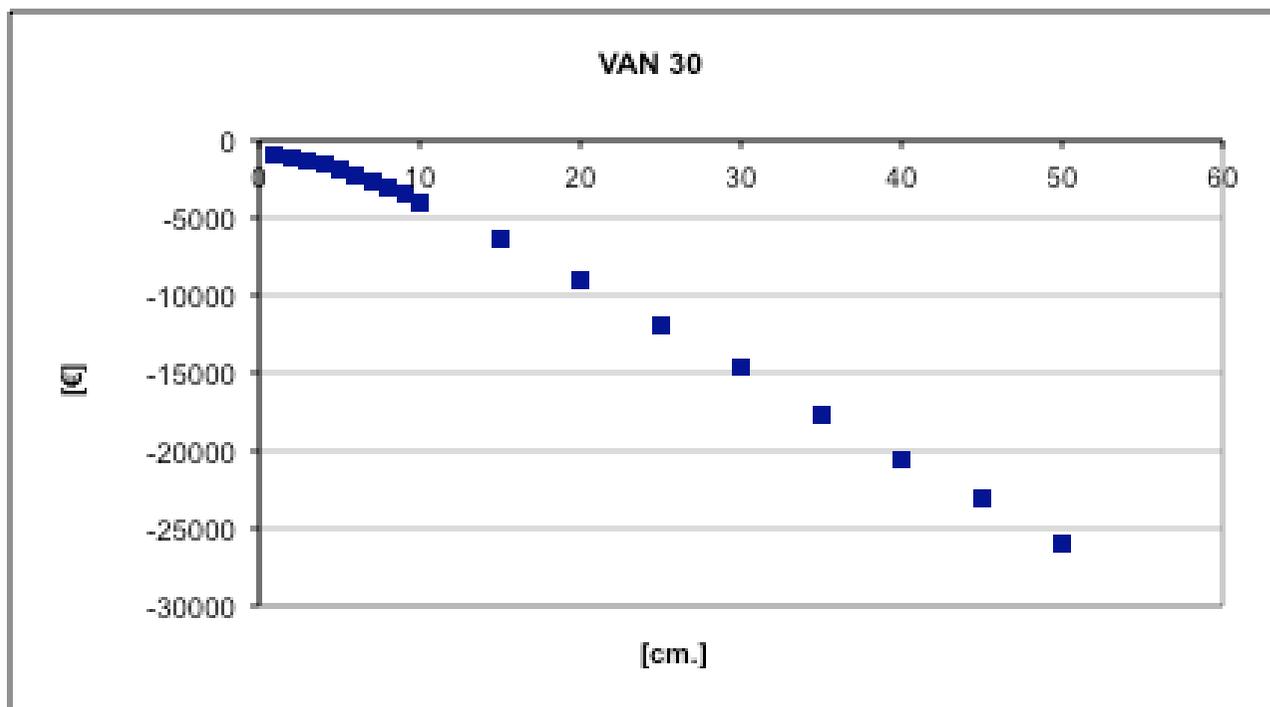
# Isolamento pavimento controterra



<b>Costo base</b>	<b>2 €/mq</b>
Per ogni cm. di isolante	2 €/mq

cm	Epi	U [W/m2K]	ΔEpi [kWh/m2K]	ΔEpi [kWh]	€/anno	Co [€/mq]	Co [€]	PBT	VAN [€]
0	92,791	0,692	0	0	0	2	621,98		
1	92,28	0,6	0,511	201,1419	13,40946	4	1.243,96	92,77	-956,85
2	91,847	0,529	0,944	371,5811	24,77207	6	1.865,94	75,32	-1.113,19
3	91,475	0,474	1,316	518,0092	34,53395	8	2.487,92	72,04	-1.335,12
4	91,153	0,428	1,638	644,7561	42,98374	10	3.109,90	72,35	-1.610,82
5	90,871	0,391	1,92	755,7581	50,38387	12	3.731,88	74,07	-1.929,54
6	90,622	0,36	2,169	853,7705	56,91803	14	4.353,86	76,49	-2.283,74
7	90,4	0,333	2,391	941,155	62,74367	16	4.975,84	79,30	-2.666,99
8	90,202	0,31	2,589	1019,093	67,9395	18	5.597,82	82,39	-3.076,04
9	90,024	0,29	2,767	1089,158	72,61051	20	6.219,80	85,66	-3.506,60
10	89,862	0,273	2,929	1152,925	76,86165	22	6.841,78	89,01	-3.954,36
15	89,241	0,209	3,55	1397,365	93,15768	32	9.951,68	106,83	-6.396,44
20	88,82	0,17	3,971	1563,081	104,2054	42	13.061,58	125,34	-9.053,60
25	88,515	0,143	4,276	1683,136	112,2091	52	16.171,48	144,12	-11.835,50
30	88,285	0,123	4,506	1773,67	118,2446	62	19.281,38	163,06	-14.698,06
35	88,105	0,108	4,686	1844,522	122,9681	72	22.391,28	182,09	-17.614,39
40	87,96	0,097	4,831	1901,598	126,7732	82	25.501,18	201,16	-20.568,36
45	87,331	0,087	5,46	2149,187	143,2791	92	28.611,08	199,69	-23.001,83
50	87,233	0,08	5,558	2187,762	145,8508	102	31.720,98	217,49	-26.006,34

# Isolamento pavimento controterra



# Isolamento pareti opache

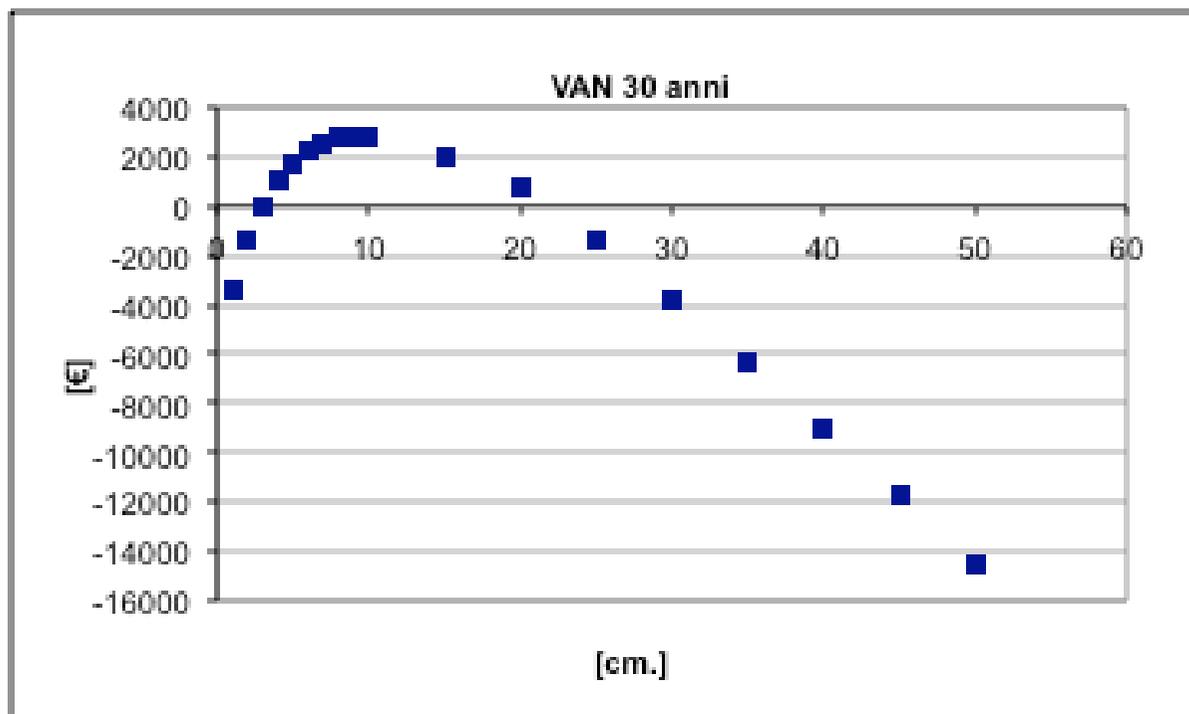


<b>Costo base</b>	<b>16 €/mq</b>
Per ogni cm. di isolante	2,€/mq

cm	Epi	U [W/m2K]	ΔEpi [kWh/m2K]	ΔEpi [kWh]	€/anno	Co [€/mq]	Co [€]	PBT	VAN [€]
0	92,791	0,721	0	0	0	16	4.975,84		
1	87,936	0,621	4,855	1274,02968	84,935312	18	5.597,82	65,91	-2.117,12
2	84,322	0,546	8,469	2222,4011	148,160074	20	6.219,80	41,98	-148,11
3	81,5	0,487	11,291	2962,93906	197,52927	22	6.841,78	34,64	1.253,09
4	79,227	0,439	13,564	3559,41062	237,294042	24	7.463,76	31,45	2.260,69
5	77,357	0,4	15,434	4050,12854	270,00857	26	8.085,74	29,95	2.979,38
6	75,791	0,368	17	4461,072	297,4048	28	8.707,72	29,28	3.480,11
7	74,475	0,34	18,316	4806,41146	320,42743	30	9.329,70	29,12	3.801,61
8	73,342	0,316	19,449	5103,72878	340,248586	32	9.951,68	29,25	3.991,91
9	72,355	0,295	20,436	5362,73338	357,515558	34	10.573,66	29,58	4.077,55
10	71,488	0,277	21,303	5590,24805	372,683203	36	11.195,64	30,04	4.077,14
15	68,353	0,212	24,438	6412,92221	427,528147	46	14.305,54	33,46	3.214,82
20	65,705	0,171	27,086	7107,79978	473,853318	56	17.415,44	36,75	2.003,36
25	64,352	0,144	28,439	7462,84862	497,523242	66	20.525,34	41,26	-136,53
30	63,35	0,124	29,441	7725,78946	515,05263	76	23.635,24	45,89	-2.528,07
35	62,573	0,109	30,218	7929,68669	528,645779	86	26.745,14	50,59	-5.080,91
40	61,948	0,097	30,843	8093,69669	539,579779	96	29.855,04	55,33	-7.742,73
45	61,431	0,088	31,36	8229,36576	548,624384	106	32.964,94	60,09	-10.481,98
50	60,994	0,08	31,797	8344,04155	556,269437	116	36.074,84	64,85	-13.278,58

# Isolamento pareti opache

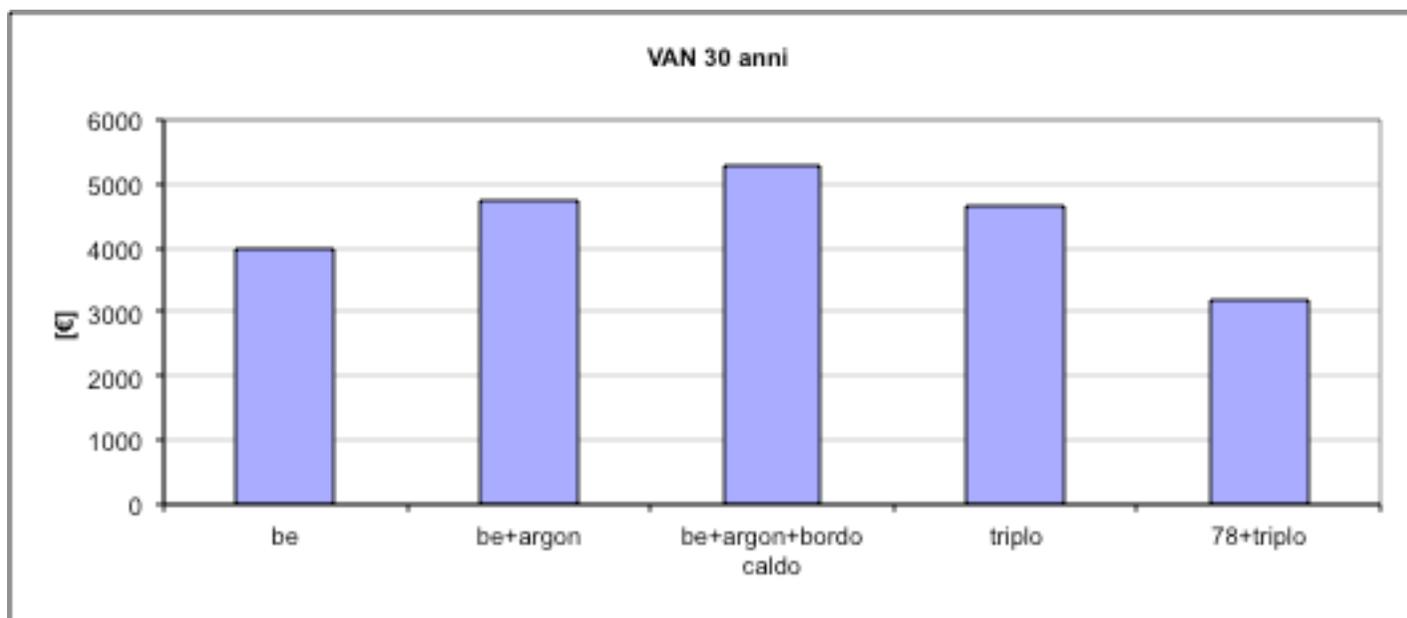
---



# Superfici finestrate



<b>Basso emissivo</b>	<b>6,5 €/mq</b>	<b>Uw=1,8</b>
Basso emissivo + argon	13,5 €/mq	Uw=1,6
Basso emissivo + argon + bordo caldo	19,5 €/mq	Uw=1,4
Triplo vetro	74 €/mq	Uw=1,2
Triplo vetro infisso maggiorato	74 €/mq 55 €/mq	Uw=1,0





edifici a  
**energia  
QUASI ZERO**



case passive • sostenibili • in classe A

**Ancona, 18 aprile 2012**

**Auditorium G. Mantovani**

**Ex Ente Fieristico Regionale**

Analisi economico-energetica per  
la determinazione del livello  
ottimale in funzione dei costi

**Ing. Roberto Fioretti**

*Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche  
Università Politecnica delle Marche*