

## CAPITOLO 6 – TEMPO DI RITORNO ECONOMICO

Un intervento di miglioramento dell'efficienza energetica ha un costo iniziale d'investimento  $C_0$  e produce, nell'anno  $k$ -esimo, un risparmio economico,  $R_k$ , rispetto alla situazione attuale o ad un altro intervento di minore qualità. Il risparmio economico è dato dalla minore spesa per l'acquisto di risorse energetiche.

### VALORE ATTUALE NETTO DI UN INVESTIMENTO

Consideriamo un ammontare finanziario  $V_0$ , disponibile immediatamente. Dopo  $n$  anni il valore sarà aumentato, per effetto dell'interesse  $i$  sul capitale, secondo l'espressione

$$V_n = V_0 (1+i)^n \quad (1)$$

Inversamente, il valore attuale  $V_0$  di una somma  $V_n$  che sarà disponibile dopo  $n$  anni, è dato da

$$V_0 = \frac{V_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

$$V_n = V_0 (1+i)^n \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{V_n}{(1+i)^n} \quad (2)$$

La (1) e la (2) vanno però corrette per tenere conto del tasso d'inflazione  $f$ . Il *tasso reale* d'interesse è dato da

$$i_{ef} = \frac{i-f}{1+f} \quad (3)$$

Si ha quindi:

$$V_n = V_0 (1+i_{ef})^n \quad (4)$$

$$V_0 = \frac{V_n}{(1+i_{ef})^n} \quad (5)$$

Se indichiamo con  $R_k$  il risparmio che si ha nell'anno  $k$ -esimo, il valore attuale di  $R_k$  è

$$R_{k0} = \frac{R_k}{(1+i_{ef})^k}$$

$$R_{k0} = \frac{R_k}{(1+i_{ef})^k}$$

Il risparmio  $R_k$  che si ha nell'anno  $k$ -esimo è legato a quello  $R_0$  che si avrebbe ai costi attuali delle risorse energetiche dalla relazione

$$R_k = R_0 (1+e_{ef})^k$$

Nella (1),  $e_{ef}$  è il tasso netto di incremento del costo delle risorse energetiche, cioè, se  $e$  è il tasso di incremento del costo

$$e_{ef} = \frac{e-f}{1+f}$$

Il valore attuale netto dell'investimento (intervento di risparmio energetico) effettuato, dopo  $n$  anni di esercizio,  $VAN_n$ , è dato da

$$VAN_n = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{(1+i_{ef})^k} - C_0 = R_0 \sum_{k=1}^n \frac{(1+e_{ef})^k}{(1+i_{ef})^k} - C_0$$

$$VAN_n = R_0 \sum_{k=1}^n \frac{(1+e_{ef})^k}{(1+i_{ef})^k} - C_0 \quad (1)$$

Nel caso particolare  $e_{ef} = i_{ef}$ , risulta:  $VAN_n = nR_0 - C_0$

La (1) vale, ovviamente, per  $k \geq 1$ . Si può agevolmente riscrivere la (1) in modo che valga anche per l'anno zero, come segue.

$$VAN_n = R_0 \left( \sum_{k=0}^n \frac{(1+e_{ef})^k}{(1+i_{ef})^k} - 1 \right) - C_0 \quad (2)$$

## TEMPO DI RITORNO DI UN INVESTIMENTO

Si chiama tempo di ritorno di un investimento (in anni) il numero minimo  $n_0$  di anni di esercizio per cui risulta  $VAN_n \geq 0$ .

$$VAN_n = R_0 \left( \sum_{k=0}^n \frac{(1+e_{ef})^k}{(1+i_{ef})^k} - 1 \right) - C_0 \quad e_{ef} = \frac{e-f}{1+f} \quad i_{ef} = \frac{i-f}{1+f}$$

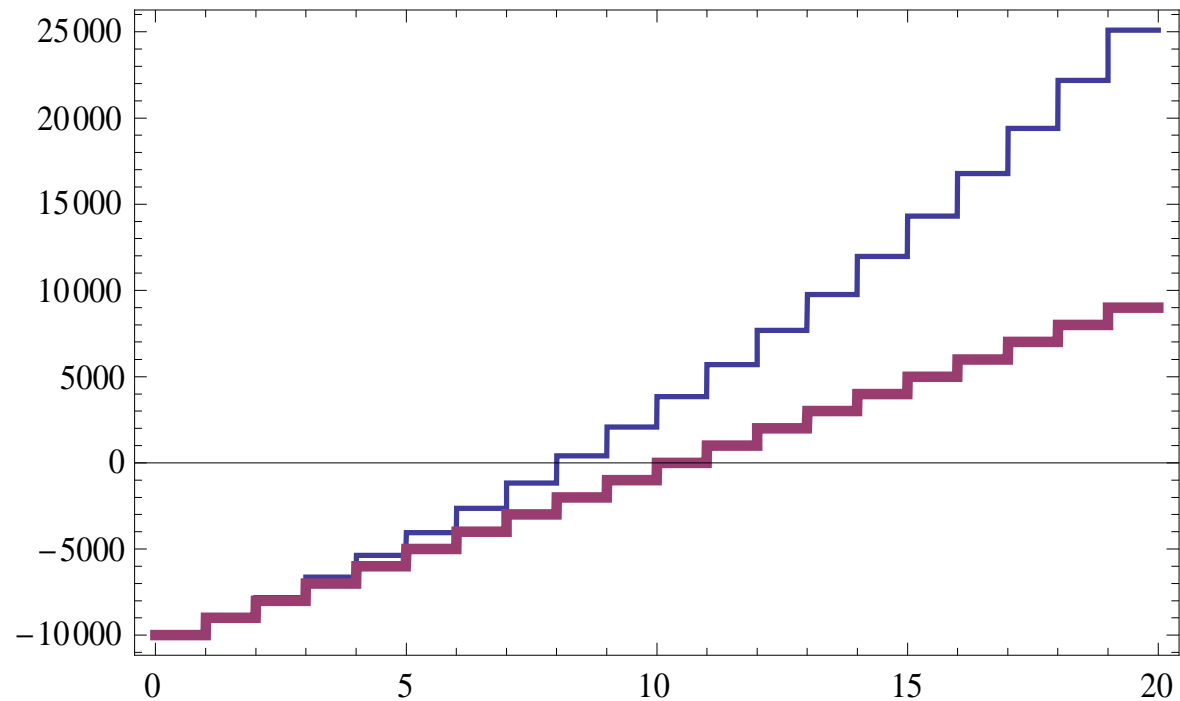
Il valore di  $VAN_n$  e, conseguentemente, del tempo di ritorno  $n_0$ , è fortemente dipendente dai tassi di interesse, di incremento del costo delle risorse energetiche, di inflazione. Questi tassi sono difficili da prevedere, nel lungo periodo.

Attualmente, i tassi di interesse, di inflazione e di incremento del costo delle risorse energetiche sono piuttosto bassi e simili tra loro;  $e_{ef}$  è, di norma, un po' maggiore di  $i_{ef}$ . Tranne nel caso in cui si faccia riferimento a un investitore ben preciso che intende contrarre un mutuo, si può considerare, per il calcolo di  $n_0$  la espressione del  $VAN_n$  semplificata, a tassi zero.

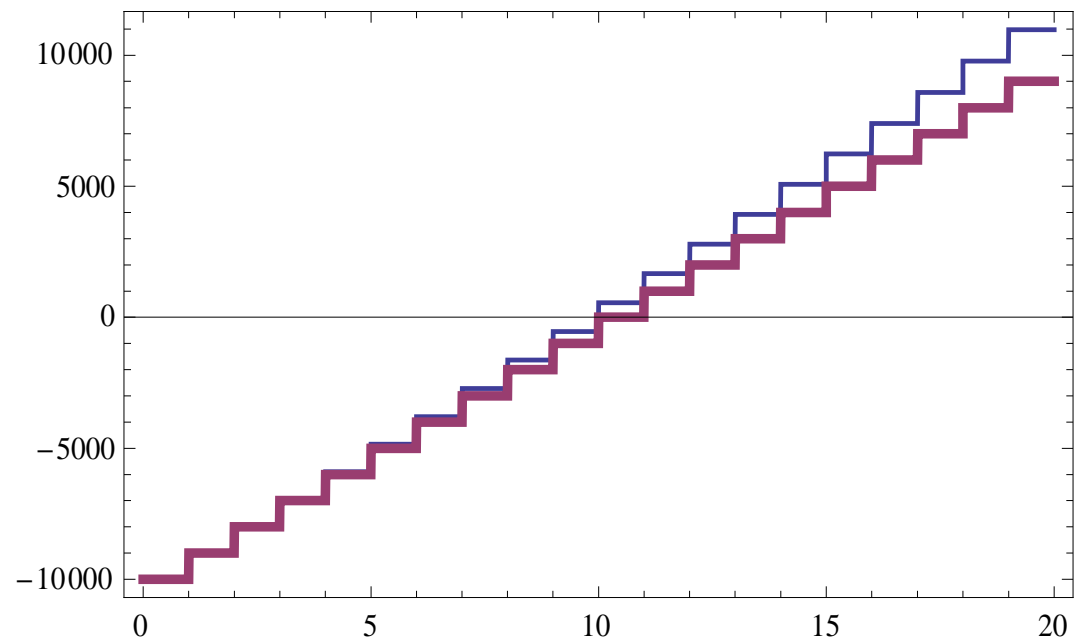
$$VAN_n = nR_0 - C_0 \quad \rightarrow \quad n_0 = C_0/R_0 \quad (1)$$

Usualmente, quando si usa la (1), la si considera valida per valori di  $n$  reali positivi, non necessariamente interi, e si ottengono valori di  $n$  non interi.

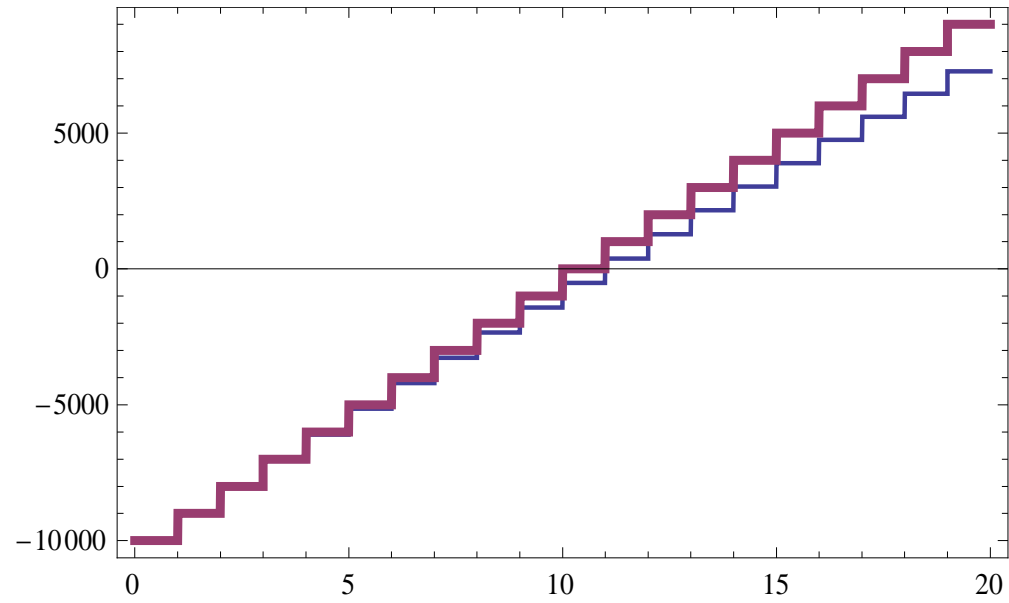
Consideriamo un intervento di risparmio energetico che ha un costo iniziale  $C_0 = 10\,000\text{ €}$  e un risparmio annuo, valutato all'istante iniziale,  $R_0 = 1000\text{ €}$ , con un tempo di ritorno a tassi zero di 10 anni. Confrontiamo i valori del  $VAN_n$  e di  $n_0$  che si ottengono con diverse scelte di  $e$ ,  $i$ ,  $f$ .



Confronto fra  $e = 0.09$ ,  $i = 0.03$ ,  $f = 0.015$  ( $e_{ef} = 0.074$ ;  $i_{ef} = 0.015$ )  
(blu,  $n_0 = 8$ ) e il caso a tassi nulli (viola,  $n_0 = 10$ )



Confronto fra  $e = 0.03$ ,  $i = 0.02$ ,  $f = 0.015$  ( $e_{ef} = 0.015$ ;  $i_{ef} = 0.005$ )  
(blu,  $n_0 = 10$ ) e il caso a tassi nulli (viola,  $n_0 = 10$ )



Confronto fra  $e = 0.03$ ,  $i = 0.04$ ,  $f = 0.015$  ( $e_{ef} = 0.015$ ;  $i_{ef} = 0.025$ )  
(blu,  $n_0 = 11$ ) e il caso a tassi nulli (viola,  $n_0 = 10$ )



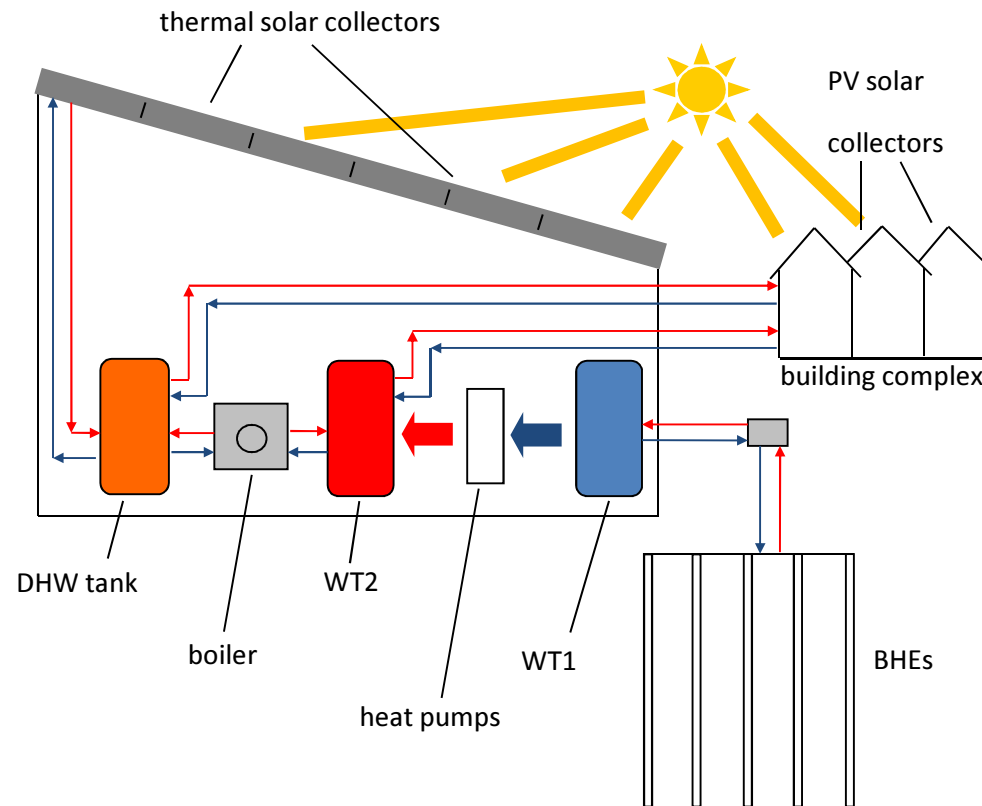
## ESEMPIO

Per un complesso residenziale di nuova costruzione con 38 appartamenti, si valuti il tempo di ritorno economico di un impianto di riscaldamento invernale e condizionamento estivo a pompa di calore accoppiata al terreno, rispetto ad un impianto a gas, con caldaia a condensazione, abbinato a pompe di calore per singoli ambienti per il condizionamento estivo (Dati da: T. Terlizzese, E. Zanchini, Energy and Buildings 43, 787-795, 2011).

I costi degli elementi comuni (pannelli radianti a pavimento, sistema di distribuzione dell'acqua ai pannelli radianti con serbatoio di accumulo, collettori solari termici e sistema di accumulo e distribuzione ACS) non sono considerati.

L'analisi viene effettuata con e senza i pannelli fotovoltaici previsti per alimentazione delle pompe di calore accoppiate al terreno, per valutare la convenienza economica intrinseca del sistema a pompa di calore.

Sistema a pompa di calore accoppiata al terreno: sonde geotermiche a doppio tubo ad U, 4000 m; serbatoio di accumulo fra sonde e pompe di calore; 2 pompe di calore con potenza nominale 79.5 kW ciascuna; caldaia a pellet per integrazione riscaldamento e ACS; deumidificatori d'aria (raffrescamento a pavimento mediante sonde in free cooling).



## COSTI DI IMPIANTO

IMPIANTO A POMPA DI CALORE	
Elemento	Costo €
Sonde	200000
Serbatoio freddo	2000
Tubi e pompe	2600
Mano d'opera e uso macchine	2600
Pompe di calore	40000
Deumidificatori	20500
Sistema fotovoltaico 51.2 kWp * 2500 €/kWp	128000
Caldaia a pellet	12000
<b>TOTALE</b>	<b>407700</b>

IMPIANTO TRADIZIONALE	
Elemento	Costo €
Caldaia a gas	11000
Pompe di calore aria-aria	114000
<b>TOTALE</b>	<b>125000</b>

DIFFERENZA: 282 700 €

## COSTI UNITARI RISORSE ENERGETICHE

COSTI UNITARI RISORSE ENERGETICHE		
Risorsa	Costo unitario	Unità di misura
Pellet	0.23	€/kg
Gas naturale	0.7	€/m <sup>3</sup>
Energia elettrica	0.2	€/kWh
Tariffa incentivante PV	0.233*	€/kWh

\* Primo semestre. 2012

## CONSUMI ANNUI DI ENERGIA

Impianto a pompa di calore: 52.25 MWh energia elettrica (fotovoltaico);  
24.56 MWh termica (21.29 per 30% ACS)  
Impianto tradizionale: 32.67 MWh energia elettrica, 153.04 MWh termica

## COSTO O RICAVO ANNUO DI ESERCIZIO

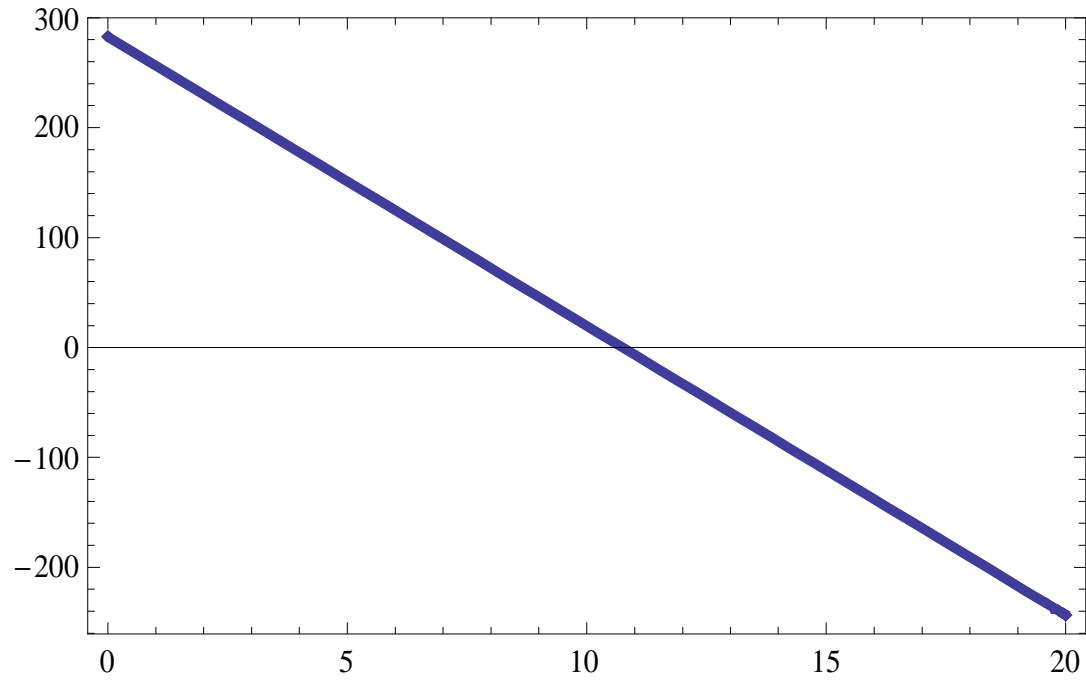
IMPIANTO A POMPA DI CALORE		
	Costo €	Ricavo €
Pellet	1200	
Energia PV		12200
Manutenzione	2400	
Ricavo netto		8600

IMPIANTO TRADIZIONALE		
	Costo €	Ricavo €
Metano	11200	
Energia elettrica	6500	
Costo totale	17700	

Risparmio annuo ottenuto con l'impianto a pompa di calore: 26300 €

## TEMPO DI RITORNO A TASSI ZERO

$$C_0 = 282\,700 \text{ €} ; R_0 = 26\,300 \text{ €} ; n_0 = 10.75 \text{ anni}$$



VAN dell'investimento in k€, per i primi 20 anni di funzionamento, a tassi zero.  
La durata delle sonde geotermiche è 50 – 60 anni

## COSTI DI IMPIANTO SENZA FOTOVOLTAICO

IMPIANTO A POMPA DI CALORE	
Elemento	Costo €
Sonde	200000
Serbatoio freddo	2000
Tubi e pompe	2600
Mano d'opera e uso macchine	2600
Pompe di calore	40000
Deumidificatori	20500
Caldaia a pellet	12000
<b>TOTALE</b>	<b>279700</b>

IMPIANTO TRADIZIONALE	
Elemento	Costo €
Caldaia a gas	11000
Pompe di calore aria-aria	114000
<b>TOTALE</b>	<b>125000</b>

**DIFFERENZA: 154 700 €**

COSTI UNITARI RISORSE ENERGETICHE		
Risorsa	Costo unitario	Unità di misura
Pellet	0.23	€/kg
Gas naturale	0.7	€/m <sup>3</sup>
Energia elettrica	0.2	€/kWh

## COSTO O RICAVO ANNUO DI ESERCIZIO

Consumo di energia elettrica pompe di calore 52.25 MWh

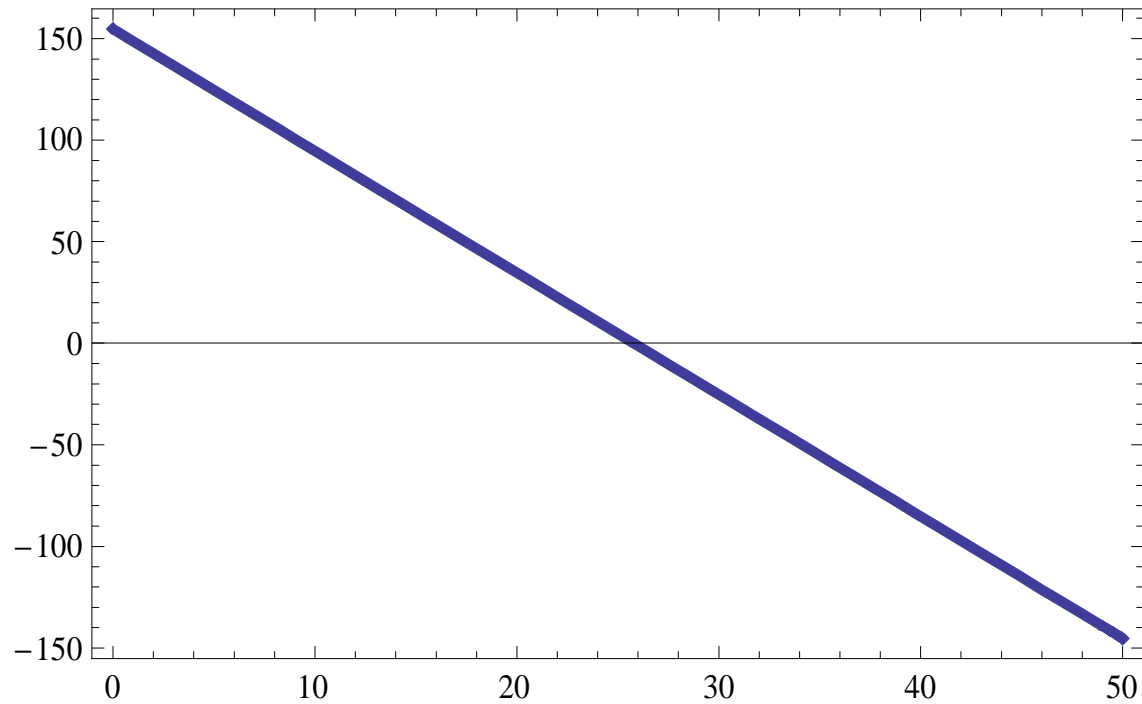
IMPIANTO A POMPA DI CALORE		
	Costo €	Ricavo €
Pellet	1200	
Energia elettrica	10500	
Costo totale	11700	

IMPIANTO TRADIZIONALE		
	Costo €	Ricavo €
Metano	11200	
Energia elettrica	6500	
Costo totale	17700	

Risparmio annuo ottenuto con l'impianto a pompa di calore: 6000 €

## TEMPO DI RITORNO A TASSI ZERO

$$C_0 = 154\,700 \text{ €} ; R_0 = 6\,000 \text{ €} ; n_0 = 25.78 \text{ anni}$$



VAN dell'investimento in k€ per 50 anni di funzionamento, a tassi zero.

In assenza dell'impianto fotovoltaico il tempo di ritorno è molto lungo.  
In mancanza di incentivi, non si prevedono investimenti consistenti.