

L'impianto fotovoltaico: aspetti economici e incentivi

Questo corso intende presentare inizialmente i costi legati all'installazione di un impianto fotovoltaico e la ripartizione dell'investimento tra le differenti componenti dell'impianto. Quindi vengono illustrati i prezzi passati e attuali dell'energia fotovoltaica così come la loro tendenza. Infine vengono presentati i tipi di incentivo esistenti per la promozione in campo fotovoltaico.

1. Costi di un impianto fotovoltaico

1.1 Ripartizione dei costi di un impianto fotovoltaico

Un impianto fotovoltaico è costituito da differenti componenti (modulo, supporto, ondulatore, ecc.) che determinano il valore complessivo dell'investimento. In genere, sia per impianti di piccole, medie o grandi dimensioni, il costo dei moduli rappresenta la principale spesa d'investimento. Anche il sistema di fissaggio, l'ondulatore e il montaggio, con un costo di poco inferiore a 1 CHF al W, rappresentano, dopo i moduli, le unità di costo con la maggiore incidenza sul prezzo dell'impianto. Inoltre, è importante notare che tra l'installazione di un impianto fotovoltaico su un tetto a falda e su un tetto piano si possono avere importanti differenze nel costo del sistema di fissaggio e di montaggio. In particolare, su un tetto a falda si necessiterà di un sistema di montaggio meno complesso e quindi meno costoso (fissaggio alla carpenteria del tetto tramite strutture più semplici). In questo caso è però necessario un tempo di montaggio maggiore (levare la copertura del tetto). Invece, nel caso del tetto piano la situazione è inversa, con un maggior costo del sistema di fissaggio e un minor costo per il montaggio. Nei singoli casi si assiste pertanto ad una compensazione delle variazioni del prezzo delle due unità di costo.

Tabella 1: Esempio di ripartizione dei costi per un impianto di piccole dimensioni (4 kW).

Unità di costo	Costo al W (CHF)	Costo impianto 4kW (CHF)
Moduli	6.0	24'000
Sistema di fissaggio	0.6	2'400
Ondulatore	0.8	3'200
Cavi e altro	0.4	1'600
Progettazione	0.2	800
Montaggio e trasporto	1.0	4'000
Totale	9.0	36'000

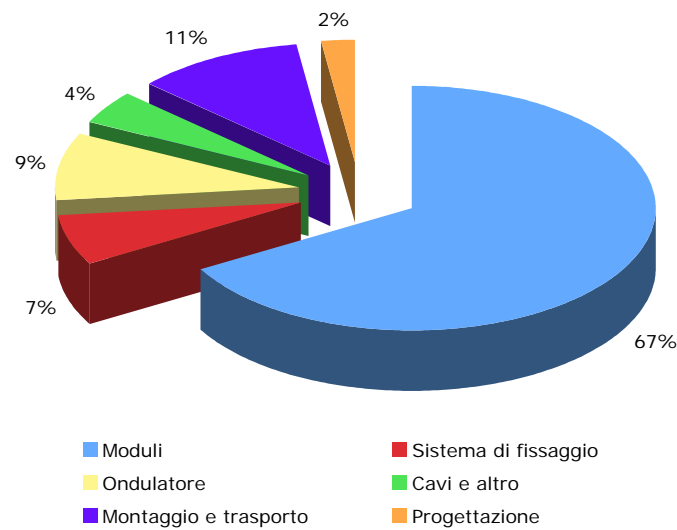


Figura 1: Ripartizione dei costi di investimento per un impianto fotovoltaico di piccole dimensioni (1-10 kW).

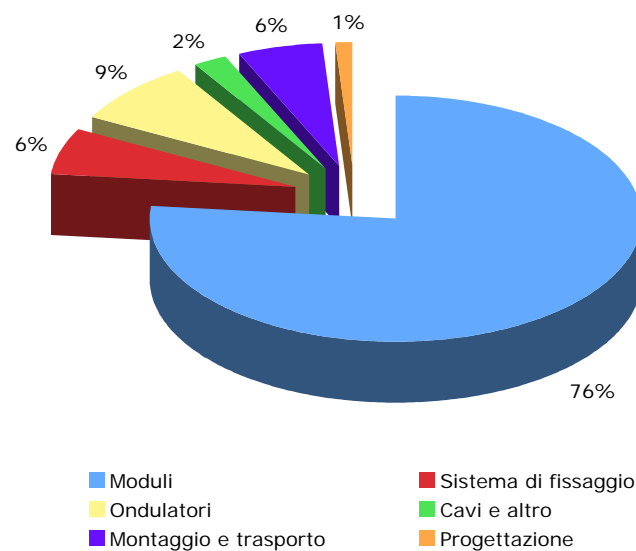


Figura 2: Ripartizione dei costi di investimento per un impianto fotovoltaico di grandi dimensioni (100-1'000 kW).

In genere, il costo dell'installazione al W o al kW diminuisce con l'aumentare della dimensione dell'impianto. Per quanto concerne la ripartizione dei costi in un impianto di piccole dimensioni (cfr. figura 1) e in uno di grandi dimensioni (cfr. figura 2) si può notare, con l'aumento della dimensione dell'impianto, una maggiore incidenza dei moduli (in percentuale!) sul costo complessivo dell'impianto. La maggiore incidenza dei moduli in un impianto di grandi dimensioni è dovuta ad una riduzione della percentuale delle altre unità di costo e non ad un aumento effettivo del costo dei moduli, il quale, con l'aumentare delle dimensioni dell'impianto, decresce invece sensibilmente.

Passando da un impianto piccolo ad uno più grande si verifica una riduzione della percentuale dei costi dovuti al montaggio e alla progettazione. Questo è dovuto al fatto per cui i costi legati al montaggio e alla progettazione non aumentano in maniera proporzionale alle dimensioni dell'impianto.

Il costo annuo di manutenzione dell'impianto è abbastanza basso. Normalmente nelle analisi economiche si stima in circa lo 0.5% del costo complessivo dell'impianto, da conteggiare su tutto l'arco di vita del sistema (convenzionalmente fissato in 20-25 anni). In questo valore sono anche compresi eventuali costi di manutenzione straordinaria, dovuti alla sostituzione di qualche componente dell'impianto.

1.2 Andamento e tendenza dei costi di un impianto fotovoltaico

Negli ultimi anni l'incremento della produzione di moduli fotovoltaici ha permesso di ridurre i costi di produzione. Dato che i moduli costituiscono una parte essenziale di un sistema fotovoltaico, questa riduzione si ripercuote sul costo dell'intero impianto, che tende così a diminuire.

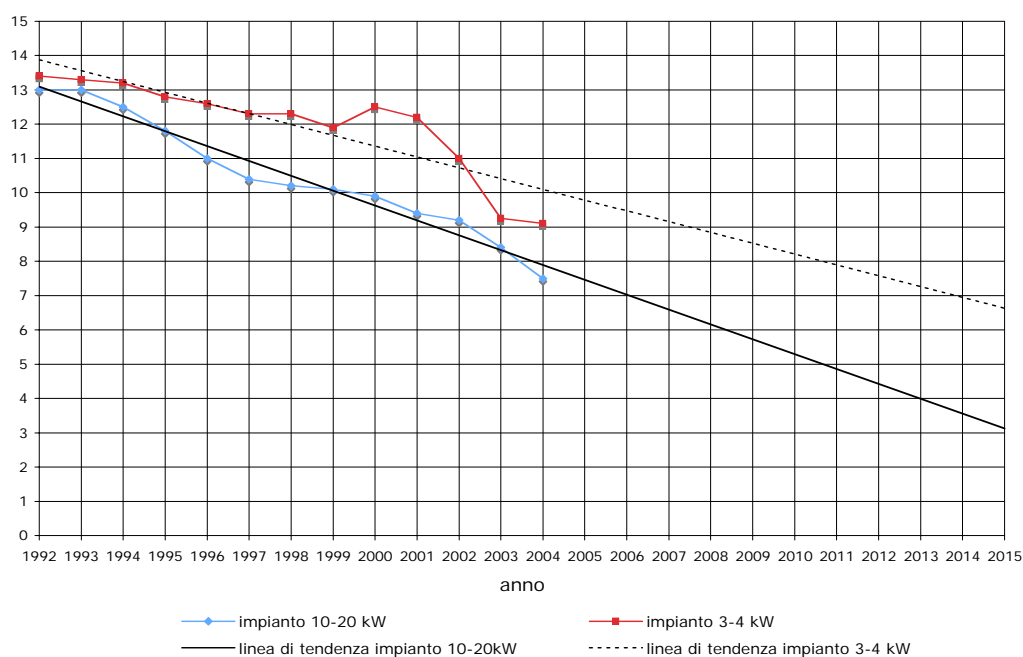


Figura 3: Evoluzione dei prezzi in Svizzera per installazioni fotovoltaiche allacciate alla rete elettrica (costi in CHF/w per impianti su tetto piano di 10-20 kW e per sistemi residenziali da 3-4 kW) con previsione della tendenza fino al 2015 (periodo 1992-2004 secondo UFE 2004¹).

Oggi si hanno in media costi al W di ca. 9 CHF per un impianto di piccole dimensioni (3-4 kW) e di ca. 7.5 CHF per un impianto di medie dimensioni (10-20 kW). Considerati i valori iniziali (1992) di 13,4 CHF per un'installazione piccola e

¹ Ufficio federale dell'energia (2004). National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2004. Prepared by Nova Energie GmbH, Aarau. Documento disponibile all'indirizzo: <http://www.oja-services.nl/iea-pvps/countries/switzerland/index.htm>

13 CHF per un'installazione media, si ottiene, nel periodo 1992-2004, una riduzione dei costi del 33% per impianti piccoli (3-4kW) e del 42% per impianti medi (10-20kW). Considerata la tendenza attuale, per impianti di piccole e medie dimensioni si prospetta nel 2015 un costo di ca. 6-7 CHF/W, rispettivamente ca. 3 CHF/W (cfr. figura 3). Di conseguenza, anche il costo di produzione del kWh, il quale dipende dalla posizione, dalla grandezza dell'impianto e dal tipo di celle, nei nuovi impianti risulta sempre più basso.

2. Costo dell'energia fotovoltaica

Il prezzo dell'energia fotovoltaica dipende sostanzialmente dall'ammontare dell'investimento, dal tasso d'interesse del prestito, dalla durata di vita e dal potenziale di produzione dell'impianto. In genere si considera una durata di vita di 20-25 anni. La potenza di produzione di un impianto varia invece con la latitudine e l'orizzonte (ore di sole) e con la posizione dei moduli (angolo di incidenza dei raggi solari). Anche il tasso di interesse del prestito può variare. Di conseguenza la sua incidenza sul prezzo dell'energia risulta differente a seconda del suo valore.

Il costo complessivo dell'impianto comprende l'ammontare dell'investimento iniziale (costo iniziale) sommato all'importo totale degli interessi da pagare sul prestito. La somma degli interessi (I) da pagare sull'arco del periodo di ammortamento del prestito possono essere calcolati nel seguente modo:

$$I = C \cdot i + [(C - t_1 \cdot A) \cdot i + (C - t_2 \cdot A) \cdot i + (C - t_3 \cdot A) \cdot i \dots + C - (t_n \cdot A) \cdot i] = C \cdot i + \sum_{t=1}^n (C - t \cdot A) \cdot i$$

dove C = capitale prestato

i = tasso d'interesse del prestito

t_n = anni d'ammortamento

A = ammortamento annuo del prestito, corrispondente a $\frac{C}{t_n}$

Si ha quindi: $I = C \cdot i - t_1 \cdot A \cdot i + C \cdot i - t_2 \cdot A \cdot i + C \cdot i - t_3 \cdot A \cdot i \dots + C \cdot i - t_n \cdot A \cdot i$

$$= C \cdot i + [t_n \cdot C \cdot i - A \cdot i \cdot (t_1 + t_2 + t_3 \dots + t_n)]$$

Se si considera che $t_1 + t_2 + t_3 \dots + t_n = \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) \cdot t_n$, si ottiene:

$$C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - A \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) \cdot t_n \right]$$

Considerato che $A = \frac{C}{t_n}$, si ottiene: $C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - \frac{C}{t_n} \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) \cdot t_n \right]$

$$= C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) \right] = C \cdot i + t_n \cdot C \cdot i - C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) = C \cdot i \cdot (t_n + 1) - \left(\frac{C \cdot i \cdot (t_n + 1)}{2}\right)$$

$$= C \cdot i \cdot (t_n + 1) \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right)$$

Ossia:

$$I = C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) \quad (1)$$

Esempio

Determinare l'importo in CHF degli interessi da pagare per un prestito di 100'000 CHF da ammortare in 5 anni con un tasso di interesse del 5%.

C = capitale prestato (100'000 CHF)

i = tasso d'interesse del prestito (5%)

t_n = anni d'ammortamento (5 anni)

A = ammortamento annuo del prestito (20'000 CHF), corrisponde a $\frac{C}{t_n}$

Anno d'ammortamento	Interessi da pagare annualmente
anno 0	$C \cdot i$
1° anno	$(C - A) \cdot i$
2° anno	$((C - A) - A) \cdot i = (C - 2 \cdot A) \cdot i$
3° anno	$((C - 2A) - A) \cdot i = (C - 3 \cdot A) \cdot i$
4° anno	$((C - 3 \cdot A) - A) \cdot i = (C - 4 \cdot A) \cdot i$
5° anno	$((C - 4 \cdot A) - A) \cdot i = (C - 5 \cdot A) \cdot i$

L'importo complessivo degli interessi da pagare è uguale alla somma degli interessi da pagare annualmente:

$$I = C \cdot i + [(C - t_1 \cdot A) \cdot i + (C - t_2 \cdot A) \cdot i + (C - t_3 \cdot A) \cdot i + (C - t_4 \cdot A) \cdot i + (C - t_5 \cdot A) \cdot i], \text{ ossia:}$$

$$I = C \cdot i + \sum_{t=1}^n (C - t_n \cdot A) \cdot i$$

Inserendo i dati relativi al prestito si ottiene:

$$I = 100000 \cdot 0,05 + [(100000 - 1 \cdot 20000) \cdot 0,05 + (100000 - 2 \cdot 20000) \cdot 0,05 + \dots + (C - 5 \cdot 20000) \cdot 0,05]$$

$$I = 5000 + 4000 + 3000 + 2000 + 1000 + 0 = \mathbf{15\ 000}$$

L'importo complessivo degli interessi è quindi di 15'000 CHF. La somma da rimborsare ammonta così a 115'000 CHF.

Il medesimo calcolo può essere effettuato, in maniera più semplice, con l'ausilio della formula (1):

$$I = C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n + 1}{2}\right) = 100000 \cdot 0,05 \cdot \left(\frac{5 + 1}{2}\right) = \mathbf{15\ 000}$$

La figura seguente mostra un tool di calcolo che permette di ottenere, con il semplice inserimento dei dati richiesti, il costo dell'energia prodotta. In

particolare, nella figura è rappresentato il risultato del calcolo effettuato per condizioni tipiche del Cantone Ticino.

Terminologia "fotovoltaica"		Terminologia finanziaria
Costo al Wp installato [fr/Wp]	9	C , capitale [fr]
Durata di vita dell'impianto PV [anni]	25	t , durata ammortamento [anni]
	3.00	t_i , tasso d'interesse del prestito [%]
Indice di produzione impianto [Wh/Wp]	1100	
	4%	t_a = 1/t , tasso ammortamento [%]
	0.36	A = C · t_a = C/t , ammortamento annuo [fr/a]
	3.51	I , interessi totali pagati [fr]
Costo totale reale al Wp installato [fr/Wp]	12.51	C_{tot} , costo totale prestito [fr]
Produzione totale energia, arco vita impianto [KWh/Wp]	27.5	
Costo energia prodotta [fr/kWh]	0.45	

Figura 4: Modello di calcolo del costo dell'energia fotovoltaica con ammortamento costante a fine anno (versione semplice). Tool disponibile sul sito del Laboratorio energia ecologia economia (LEEE) all'indirizzo <http://www.lee.e.supsi.ch> nella rubrica software.

La figura 5 mostra il costo dell'energia fotovoltaica prodotta a differenti latitudini. Le differenze di costo sono determinate dalle variazioni delle ore di sole dovute alla latitudine e all'orizzonte.

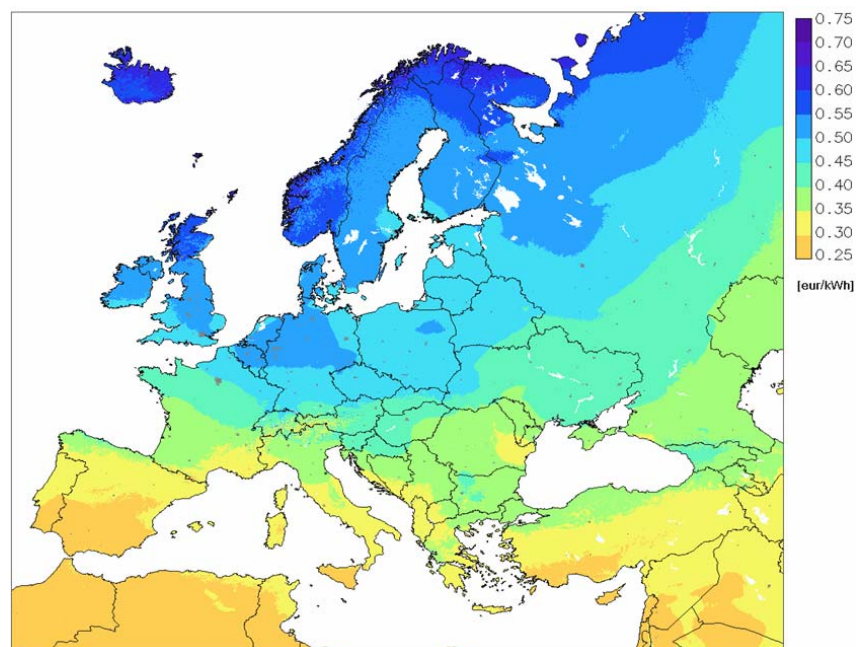


Figura 5: Prezzo di produzione dell'energia fotovoltaica (euro/kWh) a differenti latitudini (EPIA 2005²).

² European Photovoltaic Industry Association (www.epia.org, 2005)

Questa simulazione (cfr. figura 5) è stata ottenuta utilizzando i parametri seguenti:

- Dimensione impianto: < 5kWp
- Costo impianto: 6 Euro/Wp
- Periodo necessario per l'ammortamento: 20 anni
- Tasso d'interesse: 4%
- Tasso d'inflazione: 2%
- Costi annuali di manutenzione: 1% dell'investimento
- Installazione dell'impianto con un angolo ottimale

Per quanto concerne l'evoluzione futura del costo dell'energia fotovoltaica, le informazioni oggi a disposizione permettono di prevedere una sempre maggiore competitività rispetto al prezzo dell'energia derivante da altre fonti (cfr. figura 6).

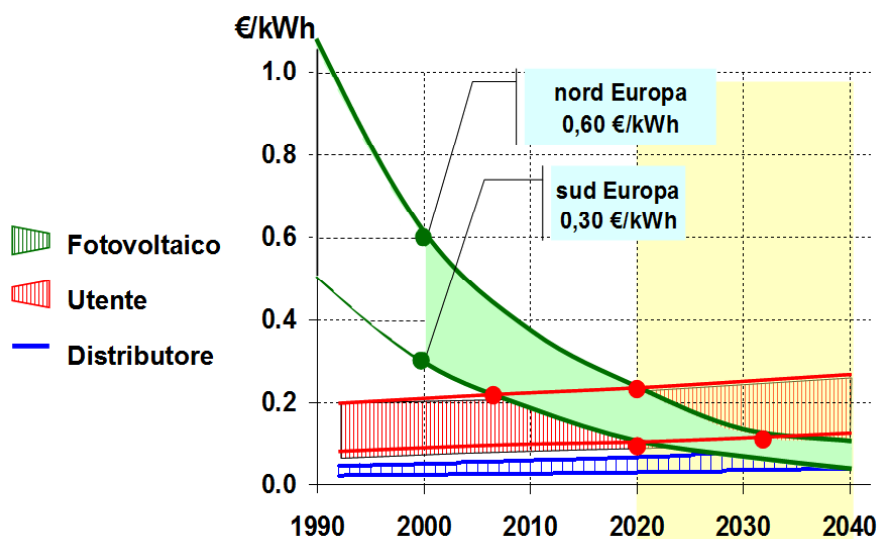


Figura 6: Tendenza del prezzo al kWh dell'energia fotovoltaica per differenti regioni europee. In regioni con maggiore soleggiamento (Europa del Sud) si raggiungerà più rapidamente una tariffa competitiva rispetto a regioni con minor soleggiamento (Europa del Nord) (EPIA 2005).

3. Incentivi e promozione

Nell'ambito fotovoltaico si distinguono due tipi di incentivo: l'incentivo sull'investimento iniziale e la tariffa incentivante (cfr. figura 7).

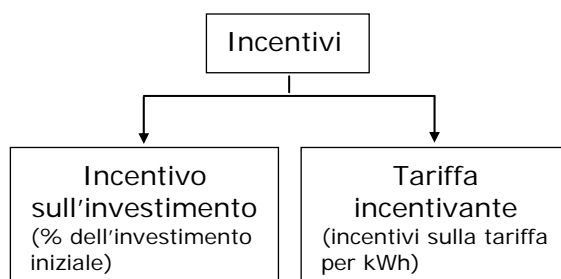


Figura 7: Schema rappresentante i tipi di incentivo esistenti in campo fotovoltaico.

L'incentivo sull'investimento prevede un sussidio iniziale che copre una percentuale dell'importo dell'investimento necessario alla realizzazione dell'impianto. Questo tipo di incentivo viene in genere diluito su pochi anni, fino ad esaurimento del credito. La tariffa incentivante prevede invece un incremento del prezzo pagato per l'energia prodotta. Questo tipo di incentivo interessa in genere un periodo di medio-lungo termine (10-20 anni) e spinge anche il proprietario ad un maggior controllo della qualità dell'impianto per mantenere alto il livello di produzione.

Nella maggior parte degli incentivi statali in campo fotovoltaico viene privilegiata la tariffa incentivante (cfr. tabella 2):

Tabella 2: Programmi di sostegno in ambito fotovoltaico in Europa.

Nazione	Metodo di incentivazione	Osservazioni
Germania	Tariffa incentivante	Riduzione della tariffa incentivante del 5% all'anno.
Italia	Tariffa incentivante	Raggiungere una capacità produttiva di 100 MW (obiettivo raggiunto dopo 15 giorni). Capacità produttiva di 200 MW entro il 2012.
Spagna	Tariffa incentivante	Raggiungere una capacità produttiva di 450 MW entro il 2015.
Portogallo	Tariffa incentivante	Raggiungere una capacità produttiva di 150 MW entro il 2010. La tariffa è riveduta costantemente. Questo impedisce una previsione a lungo termine da parte degli investitori.
Olanda	Incentivo sull'investimento iniziale	Installazione di 47 MW grazie a questi crediti. Nel 2003 sono stati esauriti i sussidi, provocando una netta riduzione delle nuove installazioni.
Grecia	Tariffa incentivante in discussione parlamentare	

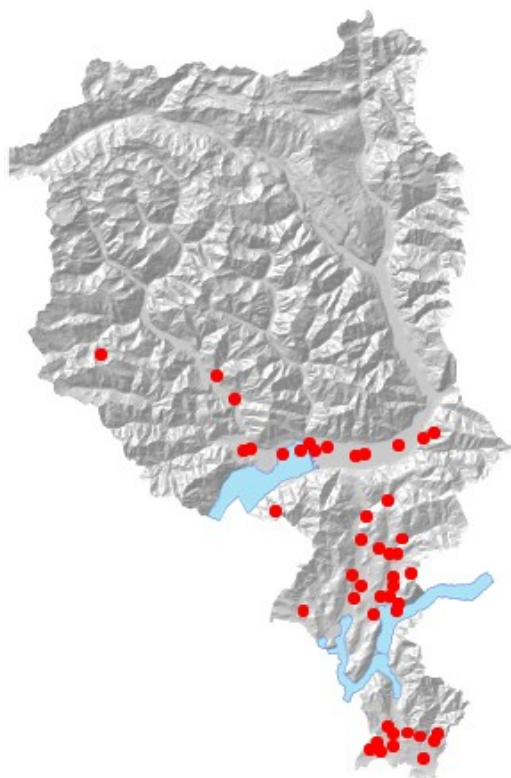
I vantaggi della tariffa incentivante sono i seguenti:

- favorisce il controllo della qualità dell'impianto da parte dell'investitore per un lungo periodo
- incentivo economicamente interessante per l'investitore
- non pesa eccessivamente sui fondi pubblici
- limita le difficoltà burocratiche
- rappresenta uno strumento attrattivo per investimenti a livello industriale

Anche in Svizzera è in corso una discussione a livello parlamentare per l'introduzione di una tariffa incentivante, per la quale non sono però ancora note delle coordinate temporali per una sua eventuale applicazione.

3.1 Esempio di incentivo sull'investimento iniziale (Cantone Ticino)

Per la prima volta nel 2002 il Cantone Ticino ha deciso lo stanziamento di sussidi per la promozione di impianti fotovoltaici allacciati alla rete (Decreto esecutivo del 3 luglio 2002). Il totale degli aiuti finanziari previsti ammontava a 1'200'000 CHF.



I sussidi prevedevano un sostegno finanziario fino ad un massimo dell'80% del costo dell'installazione, che corrispondeva in genere a 9'000.– CHF/kWp. Per impianto potevano essere stanziati un massimo di 36'000.– CHF. Come conseguenza, in Ticino sono stati realizzati tra il 2003 e il 2005 46 nuovi impianti. Questo ha permesso di incrementare il numero complessivo degli impianti fotovoltaici presenti sul territorio ticinese, passando da 31 impianti nel 2001 a 80 impianti nel 2004, con un incremento del 37.2% della potenza installata.

Figura 8: Ubicazione dei 46 nuovi impianti fotovoltaici realizzati in Ticino tra il 2003 e il 2005 grazie ai sussidi stanziati dal Cantone.

Recentemente è stato reso disponibile un credito quadro cantonale di fr. 4'800'000.–, per il periodo 2006-2009, allo scopo di promuovere il risanamento e la costruzione di edifici secondo gli standard Minergie® e lo **sfruttamento delle**

energie rinnovabili indigene. Parte di questo credito interesserà anche l'ambito fotovoltaico, ma la sua ripartizione risulta tuttora in discussione.

3.2 Esempio di tariffa incentivante (Italia)

Come già accennato in precedenza (cfr. tabella 2), in Italia è in vigore un sistema di incentivazione che interessa il prezzo dell'energia fotovoltaica e garantisce una tariffa maggiorata per un periodo di 20 anni.

Per calcolare il periodo di ammortamento del debito e il guadagno derivante dalla vendita dell'energia si fa capo al seguente procedimento.

Sono considerati i seguenti dati:

Potenza totale dell'impianto (kW):	P_{tot}
Produzione annua dell'impianto (kWh/kW):	Y_f
Ricavo per incentivo (Euro/kWh):	R_{inc}
Ricavo per vendita energia (Euro/kWh):	R_{ven}
Costo dell'impianto (Euro/kW):	C
IVA (%):	IVA
Tasso d'interesse del prestito (%):	t_i

Conoscendo questi valori, è quindi possibile risalire al flusso di cassa, ossia ai ricavi derivanti dalla produzione di energia, e al periodo necessario per recuperare il capitale investito.

Investimento complessivo (Euro)

$$I = C \cdot P_{tot} + (C \cdot P_{tot} \cdot IVA) = C \cdot P_{tot} \cdot (1 + IVA) \quad (2)$$

Flusso di cassa (Euro):

$$F_c = P_{tot} \cdot Y_f \cdot (R_{inc} + R_{ven}) \quad (3)$$

Il **valore attuale dell'impianto** viene calcolato con la seguente formula:

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_c}{(1+t_i)^t} \quad (4)$$

dove t corrisponde al momento (anno) nel quale si intende calcolare il valore dell'impianto.

Il **bilancio complessivo dell'investimento** si esprime dunque nel seguente modo:

$$I - \sum_{t=0}^n \frac{F_c}{(1+t_i)^t} \quad (5)$$

Con questa formula il debito (I) viene ammortato tenendo conto degli interessi $(1+t_i)^t$. Al debito viene in effetti sottratto il ricavo (flusso di cassa F_c) considerando l'importo annuale degli interessi. Il **periodo necessario per il recupero del capitale investito** corrisponde al momento t per cui vale:

$$I - \sum_{t=0}^n \frac{F_c}{(1+t_j)^t} = 0 \quad (6)$$

Qui di seguito viene presentato un caso concreto, in cui si considera la realizzazione di un'installazione fotovoltaica in presenza di una tariffa incentivante.

Tabella 3: dati per il calcolo del periodo di ammortamento dell'investimento in presenza di una tariffa incentivante.

Potenza impianto kW	kW	356
Produzione annua	kWh/kW	1124
Ricavo per incentivo €/kWh	€/kWh	0.49
Ricavo per vendita energia	€/kWh	0.09
Costo impianto €/kW	€/kW	4884
IVA	%	10
Costo del capitale	%	4.0

Utilizzando il procedimento indicato in precedenza (formule 2-6) è così possibile risalire al periodo necessario per il recupero del capitale investito (cfr. figura 9).

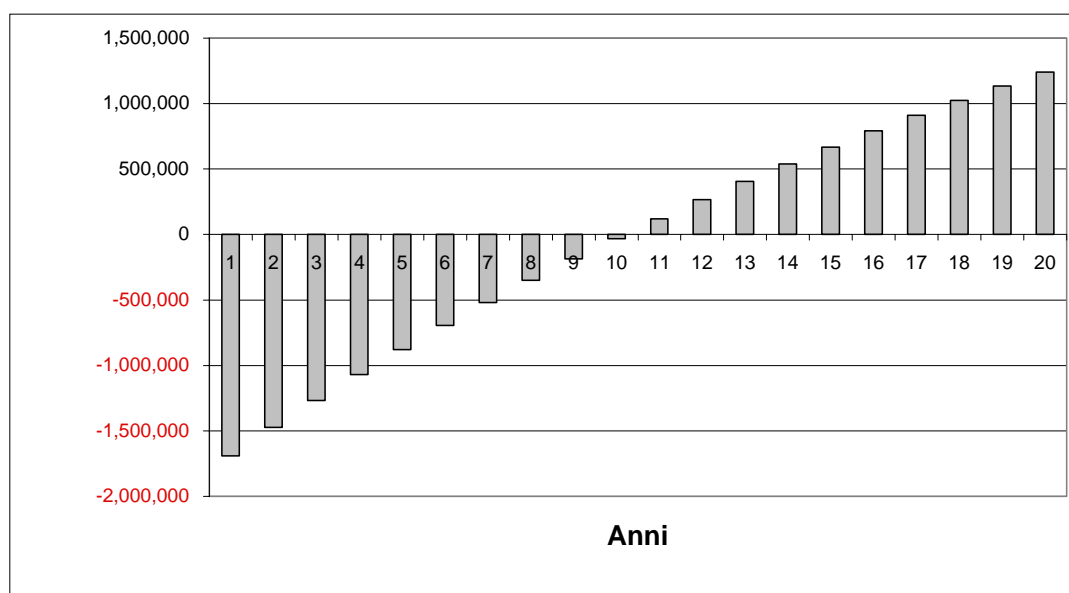


Figura 9: il grafico rappresenta il periodo necessario per il recupero del capitale investito nella realizzazione di un impianto fotovoltaico in presenza di una tariffa incentivante (ca. 10 anni).

La figura indica che l'importo dell'investimento (compresi gli interessi) vengono quindi recuperati dopo ca. 10 anni.

Anno d'ammortamento	Interessi da pagare annualmente
anno 0	$C \cdot i$
1° anno	$(C-A) \cdot i$
2° anno	$((C-A)-A) \cdot i = (C-2 \cdot A) \cdot i$
3° anno	$((C-2A)-A) \cdot i = (C-3 \cdot A) \cdot i$
4° anno	$((C-3 \cdot A)-A) \cdot i = (C-4 \cdot A) \cdot i$
... anno t_n	$((C-t_{n-1} \cdot A)-A) \cdot i = (C-t_n \cdot A) \cdot i$

$$C \cdot i + [(C-t_1 \cdot A) \cdot i + (C-t_2 \cdot A) \cdot i + (C-t_3 \cdot A) \cdot i + \dots + C-(t_n \cdot A) \cdot i] = C \cdot i + \sum_{t=1}^n (C-t_n \cdot A) \cdot i$$

$$C \cdot i + [(C-t_1 \cdot A) \cdot i + (C-t_2 \cdot A) \cdot i + (C-t_3 \cdot A) \cdot i + \dots + C-(t_n \cdot A) \cdot i]$$

$$= C \cdot i + [t_n \cdot C \cdot i - A \cdot i \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n)]$$

Se si considera che $t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = \left(\frac{t_n+1}{2}\right) \cdot t_n$, si ottiene:

$$C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - A \cdot i \cdot \left(\frac{t_n+1}{2}\right) \cdot t_n \right]$$

Considerato che $A = \frac{C}{t_n}$, si ottiene: $C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - \frac{C}{t_n} \cdot i \cdot \left(\frac{t_n+1}{2}\right) \cdot t_n \right]$

$$= C \cdot i + \left[t_n \cdot C \cdot i - C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n+1}{2}\right) \right] = C \cdot i + t_n \cdot C \cdot i - C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n+1}{2}\right) = C \cdot i \cdot (t_n+1) - \left(\frac{C \cdot i \cdot (t_n+1)}{2}\right)$$

$$= C \cdot i \cdot (t_n+1) \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) = C \cdot i \cdot \left(\frac{t_n+1}{2}\right)$$