

Corso
ARCHITETTURA E IMPIANTI

Impianti solari termici e fotovoltaici

Prof. Giuliano Dall'Ò

Indice

1	Le fonti energetiche rinnovabili.....	3
1.1	L'energia solare	3
2	Impianti solari termici.....	5
2.1	I collettori solari termici	5
2.2	Come funziona un impianto solare termico	7
2.3	L'installazione degli impianti solari termici in Regione Lombardia	9
2.4	Criteri e vincoli per l'installazione dei collettori solari.....	10
2.5	Dimensionamento di massima degli impianti solari termici	11
3	Impianti solari fotovoltaici	12
3.1	Il principio di funzionamento: la cella fotovoltaica.....	12
3.2	Dalla cella fotovoltaica al sistema.....	13
3.3	Le tipologie impiantistiche.....	13
3.4	Criteri e strategie per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici.....	16
3.5	Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico.....	19
3.6	Valutazioni economiche.....	21
3.7	Criteri di installazione dei moduli fotovoltaici	25
3.8	I benefici ambientali	27

1 Le fonti energetiche rinnovabili

Si definiscono rinnovabili quelle fonti di energia che possono essere considerate inesauribili, nel senso che il loro ciclo di produzione ha tempi compatibili con quelli del loro consumo; esse si contrappongono ai combustibili fossili e a quelli nucleari che sono destinati ad esaurirsi in un tempo finito.

La più importante fonte rinnovabile è rappresentata dall'energia solare, la cui entità è circa 15.000 volte superiore al consumo energetico annuale di tutto il mondo.

Dell'energia solare che raggiunge la superficie della Terra quasi metà viene riemessa nello spazio come radiazione infrarossa, una parte alimenta il ciclo idrologico, provoca gradienti termici dell'atmosfera e quindi i venti, e una percentuale molto piccola è assorbita dalle piante per i processi di fotosintesi.

L'energia solare è dunque l'origine di quasi tutte le altre fonti energetiche, rinnovabili e convenzionali, ad eccezione di quella geotermica, nucleare e gravitazionale (maree).

È evidente l'importanza delle fonti rinnovabili perché per l'uomo sono praticamente inesauribili e perché il loro uso per la produzione di energia comporta solitamente un minor impatto ambientale rispetto all'uso di combustibili fossili, soprattutto per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico.

Vi sono tuttavia alcuni aspetti che ne limitano le possibilità d'impiego:

- la natura molto dispersa di queste fonti di energia (densità molto bassa per unità di superficie) comporta dimensioni notevoli dei sistemi di conversione, con impiego talora molto rilevante del territorio;
- disponibilità limitata nel tempo e discontinuità della generazione (necessità di ricorrere a sistemi di accumulo o di integrazione con altre fonti);
- sviluppo tecnologico e commerciale in alcuni casi arretrato.

In Italia il contributo delle energie rinnovabili è rilevante, basti pensare che dei 200 miliardi di kWh elettrici immessi nella rete nazionale nel 1994 circa il 22% è di origine idroelettrica e geotermica; la produzione di energia elettrica da conversione fotovoltaica dell'energia solare, da eolico o da biomasse copre invece solo pochi punti percentuali del fabbisogno energetico.

1.1 L'energia solare

La radiazione solare può essere convertita, con differenti tecnologie, in energia termica e in energia elettrica.

I dispositivi utilizzati per la conversione termica dell'energia solare, *collettori*, hanno una superficie scura che assorbe gran parte della radiazione incidente; i *collettori piani* possono raggiungere temperature intorno ai 100 °C, quelli *a concentrazione* fino a 3.800 °C a seconda del rapporto di concentrazione utilizzato.

L'efficienza con la quale l'energia solare incidente viene trasformata in energia termica dipende da diversi fattori, quali il flusso solare, la temperatura esterna, la temperatura media del fluido termovettore che attraversa i collettori e, naturalmente, le caratteristiche del collettore.

L'energia solare può essere direttamente convertita in energia elettrica per mezzo di *celle fotovoltaiche*, che sfruttano con materiali semiconduttori il fenomeno della fotoelettricità. È una tecnologia sviluppata ed applicata con successo nei programmi spaziali, con efficienza teorica pari circa al 25% e pratica, con celle al silicio, di circa il 15%.

Le celle solari hanno una elevatissima affidabilità, ma attualmente un alto costo del kWh prodotto se confrontato con quello derivante da tecnologie tradizionali.

Il flusso di energia incidente su una superficie disposta normalmente ai raggi solari fuori dall'atmosfera è definita *costante solare* ed il suo valore è di circa 1.400 W/m^2 . La radiazione solare viene in parte riflessa e in parte assorbita dall'atmosfera; una parte raggiunge il suolo (*radiazione diretta*) insieme a quella diffusa dall'atmosfera (*radiazione diffusa*) e la loro somma è la *radiazione totale*, che dipende dalla posizione geografica del luogo considerato e dal microclima locale.

I valori della radiazione solare totale per i vari mesi dell'anno sono ricavati dalle medie dei rilevamenti di stazioni sperimentali (tab. 1).

Loc.	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
AN	4,3	7,6	12,1	18,3	23,1	24,1	26,0	22,0	16,0	10,5	5,5	4,1
AO	5,3	8,0	12,1	15,7	18,2	19,9	21,0	17,5	13,3	8,7	6,1	4,8
BA	6,6	9,1	14,5	20,6	25,3	28,0	28,6	25,2	19,0	13,2	8,0	5,7
BO	4,5	7,9	12,1	17,3	21,0	23,6	25,6	21,0	15,4	9,9	5,3	4,1
BZ	4,5	8,2	13,7	16,5	20,3	21,3	22,5	18,5	14,2	9,3	5,1	3,9
CA	7,3	9,8	14,4	18,5	22,5	25,0	27,3	23,9	17,6	12,2	8,1	6,4
FI	5,3	8,2	12,2	17,4	21,9	24,1	25,6	21,7	16,3	10,9	6,1	4,6
GE	5,3	8,2	12,5	16,9	20,6	22,7	24,8	20,5	15,4	10,6	5,8	4,9
MI	3,8	6,7	11,6	16,5	20,0	22,2	24,0	19,4	14,0	8,4	4,4	3,3
NA	6,7	9,6	13,9	18,9	23,7	26,3	27,2	23,9	17,8	12,8	7,6	5,8
PA	7,7	11,1	15,7	20,8	25,2	27,9	27,9	25,2	19,6	13,5	9,3	6,9
RC	7,5	11,4	14,7	20,6	24,7	27,9	27,5	24,9	19,1	12,8	9,0	6,8
RM	6,3	9,2	13,7	18,9	23,6	25,7	27,1	23,3	17,6	12,2	7,3	5,4
SA	6,0	8,2	11,9	15,7	19,7	22,8	23,8	20,7	15,5	11,1	6,9	5,2
TO	5,0	7,8	12,2	17,0	21,6	21,5	23,5	18,5	13,5	9,3	5,5	4,7
VE	4,5	8,1	12,5	16,9	21,9	25,8	27,1	22,1	15,8	9,8	5,3	4,1
VR	4,2	7,1	11,0	14,7	18,9	20,7	21,6	17,6	14,3	9,4	5,0	4,2

Tab. 1 Valori medi mensili della radiazione solare media incidente \bar{H}_h per alcune località del territorio nazionale espressi in MJ/m^2 giorno (fonte: UNI 10349)

2 Impianti solari termici

Un impianto solare termico è un sistema in grado di trasformare l'energia irradiata dal sole in energia termica, ossia calore, che può essere utilizzato negli usi quotidiani, quali ad esempio il riscaldamento dell'acqua per i servizi o il riscaldamento degli ambienti.

L'utilizzo di questa tecnologia non è una novità. La sua diffusione nel nostro Paese, come del resto negli altri paesi europei, in questi ultimi anni è in crescita, e questo è dovuto ad una serie di situazioni contingenti: l'esigenza di ridurre il consumo delle fonti energetiche tradizionali (gas, gasolio, ecc.) per problemi di approvvigionamento (nell'Ue l'attuale dipendenza energetica da paesi terzi è pari a circa il 50% e nel nostro Paese raggiunge l'80%), la necessità di limitare le emissioni di gas climalteranti e la disponibilità di tecnologie affidabili, quindi di impianti efficienti che durano a lungo.

2.1 I collettori solari termici

L'elemento principale di un impianto solare termico è il *collettore* o *pannello solare*. Il suo funzionamento è molto semplice. Ogni superficie esposta alla radiazione solare si riscalda: la trasformazione della radiazione solare in energia termica è fenomeno spontaneo che può essere verificato quotidianamente. Lo scopo del collettore solare è quello di ottimizzare questa trasformazione catturando, a parità di radiazione solare, più calore possibile.

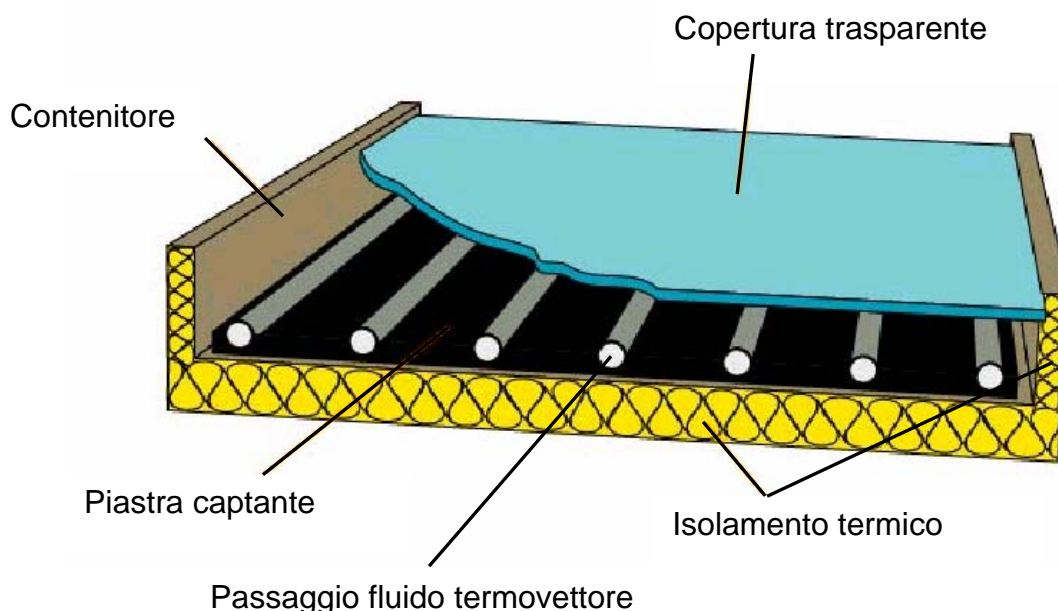


Fig. 1 Schema di un collettore solare piano

Il collettore solare aumenta le sue prestazioni grazie all'*effetto serra*. La copertura trasparente posta davanti alla piastra captante (in genere vetro) lascia passare la radiazione solare sotto forma di luce ma diventa opaca al calore emesso dalla piastra che in questo modo accumula più calore: una

trappola, insomma, che consente al collettore di assorbire, e poi di cedere all'acqua, una quantità maggiore di energia.

Per evitare di perdere calore nella parte retrostante e dai lati, il collettore viene isolato con uno strato di materiale coibente. Un robusto contenitore completa il collettore e consente un facile trasporto senza problemi. Il contenitore, spesso, è dotato di sistemi che agevolano il fissaggio del collettore solare alle strutture di supporto.

La piastra captante è in genere realizzata con materiali buoni conduttori di calore (rame, alluminio, acciaio). Per incrementare la quantità di energia solare assorbita, la piastra viene trattata nella parte esposta con vernici speciali, scure, o meglio ancora con trattamenti superficiali cosiddetti *selettivi* che contribuiscono ad aumentare ulteriormente le prestazioni.

La piastra captante è dotata di una serie di canalizzazioni all'interno delle quali scorre il fluido termovettore (normalmente una miscela di acqua con antigelo). La sua continua circolazione consente all'impianto di trasportare l'energia termica assorbita dal collettore solare al serbatoio di accumulo.



Fig. 2 Collettori solari piani (Jordano)



Fig. 3 Collettori solari sottovuoto (Jordano)

Oltre ai collettori solari piani cui si riferisce la descrizione precedente, si stanno affermando in questi ultimi anni i *collettori solari a tubi sottovuoto*. Sono costituiti da un certo numero di tubi in vetro sottovuoto all'interno dei quali è collocato l'assorbitore in rame con rivestimento superficiale selettivo. Il vuoto creato tra assorbitore e copertura trasparente tubolare consente di ridurre ulteriormente le dispersioni di calore del collettore verso l'esterno e quindi di aumentare il rendimento.

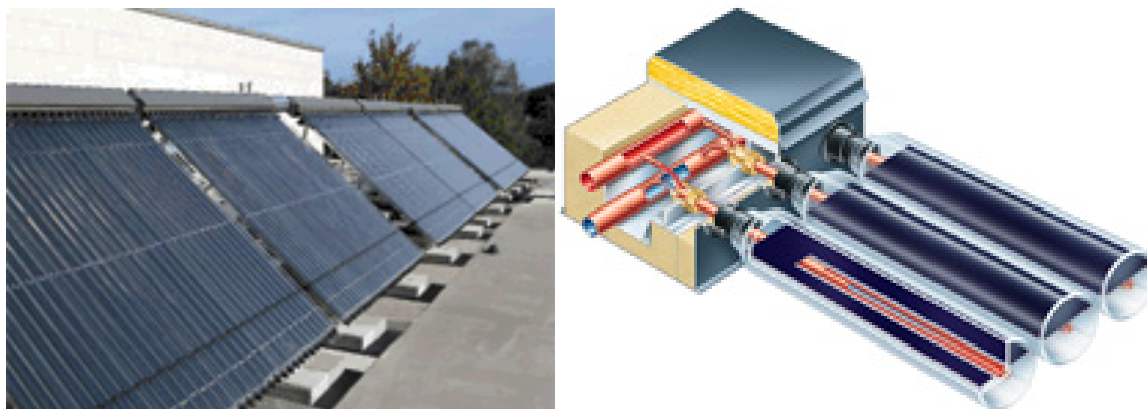


Fig. 4 Collettori solari a tubi sottovuoto (Viessmann)

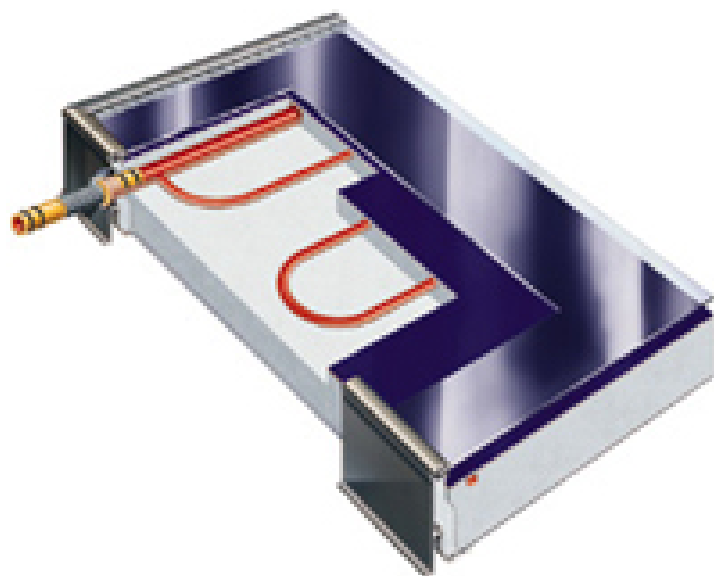


Fig. 5 Collettori solari piani (Viessmann)

2.2 Come funziona un impianto solare termico

In un impianto solare termico il fluido termovettore che circola all'interno dei collettori solari trasferisce tutto il calore captato ad un serbatoio di accumulo e, da questi, prelevato in funzione delle necessità. La circolazione del fluido è garantita da una elettropompa che viene attivata dalla centralina solo nel caso in cui la temperatura nell'acqua nei collettori è maggiore di quella all'interno dell'accumulo. Solo in questo modo si ha la garanzia che l'impianto funzioni solo quando è in grado di fornire realmente energia termica all'utenza ma, soprattutto, si evita che attraverso i collettori, in mancanza di soleggiamento, venga dissipata l'energia termica accumulata. I serbatoi di accumulo hanno in genere una doppia serpentina. Quella posizionata in basso è collegata al circuito solare (all'interno del quale circola una miscela di acqua con antigelo, mentre quella posizionata in alto è collegata alla caldaia. Se l'impianto solare non è in grado di portare l'acqua alla temperatura desiderata (circa 40 °C), il calore fornito dalla caldaia attraverso la serpentina (sistema ausiliario) garantisce all'utenza la giusta integrazione.

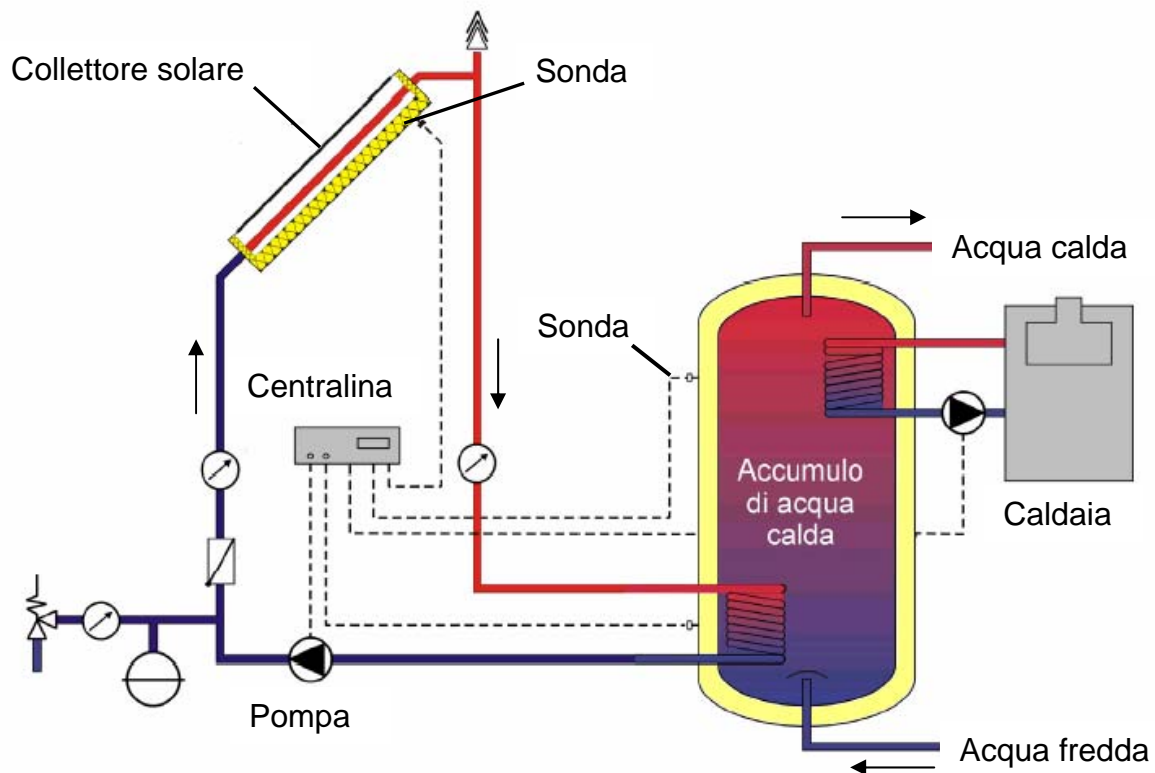


Fig. 6 Schema di un impianto solare termico

L'impianto solare fornisce energia solo in presenza di una buona o discreta insolazione. In giornate nuvolose, piovose o in presenza di forte foschia l'apporto energetico solare, non è sufficiente a coprire il fabbisogno. L'utenza, d'altra parte, deve essere soddisfatta indipendentemente dalla disponibilità della radiazione solare.

Due componenti impiantistici garantiscono la continuità del servizio di fornitura: il serbatoio di accumulo ed il riscaldatore ausiliario.

Il *serbatoio di accumulo* funziona da volano termico. Grazie a questo componente è infatti possibile immagazzinare del calore quando non serve (ad esempio durante il giorno) ed utilizzare l'acqua calda quando il circuito solare è fermo (di notte o in situazioni di mancanza di sole).

Nelle giornate con bassi livelli di insolazione, il *riscaldatore ausiliario*, costituito dalla serpentina collegata alla caldaia o da un sistema analogo, fornisce, o meglio integra, la giusta quantità di calore.

Negli impianti solari per la produzione di acqua calda ogni apporto energetico fornito dai collettori viene utilizzato e rappresenta quindi un risparmio. L'impianto solare, infatti, anche quando non riesce a fornire l'acqua alla giusta temperatura svolge comunque una azione di preriscaldamento.

Gli impianti solari hanno raggiunto da parecchi anni la maturità tecnologica. La loro diffusione in altri paesi europei quali ad esempio l'Austria, la Germania e la Grecia rappresenta una garanzia sulla qualità di questi sistemi. Le aziende attualmente presenti sul mercato non si limitano a fornire solo i collettori solari ma l'intero sistema (serbatoio, centralina, elettropompa, ecc.). Ciò rende questi impianti ancora più affidabili. Le stesse aziende, poi, non trascurano l'installazione

affidandosi a installatori che sono stati opportunamente istruiti sulle migliori tecniche di montaggio. Gli impianti solari, poi, hanno oramai raggiunto prestazioni difficilmente superabili.

Le aziende e gli installatori che aderiscono al bando della Regione Lombardia si impegnano a fornire sistemi efficienti che durano nel tempo. Sonni tranquilli, quindi, per chi ha intenzione di installare un impianto solare termico.

2.3 L'installazione degli impianti solari termici in Regione Lombardia

Potrà sembrare un paradosso, ma gli impianti solari termici si sono diffusi maggiormente in paesi nei quali la radiazione solare è inferiore rispetto a quella del nostro paese.

La Regione Lombardia è caratterizzata da buoni valori di insolazione, come illustrato dal grafico che riporta la radiazione solare media annua sul piano orizzontale per le città capoluogo.

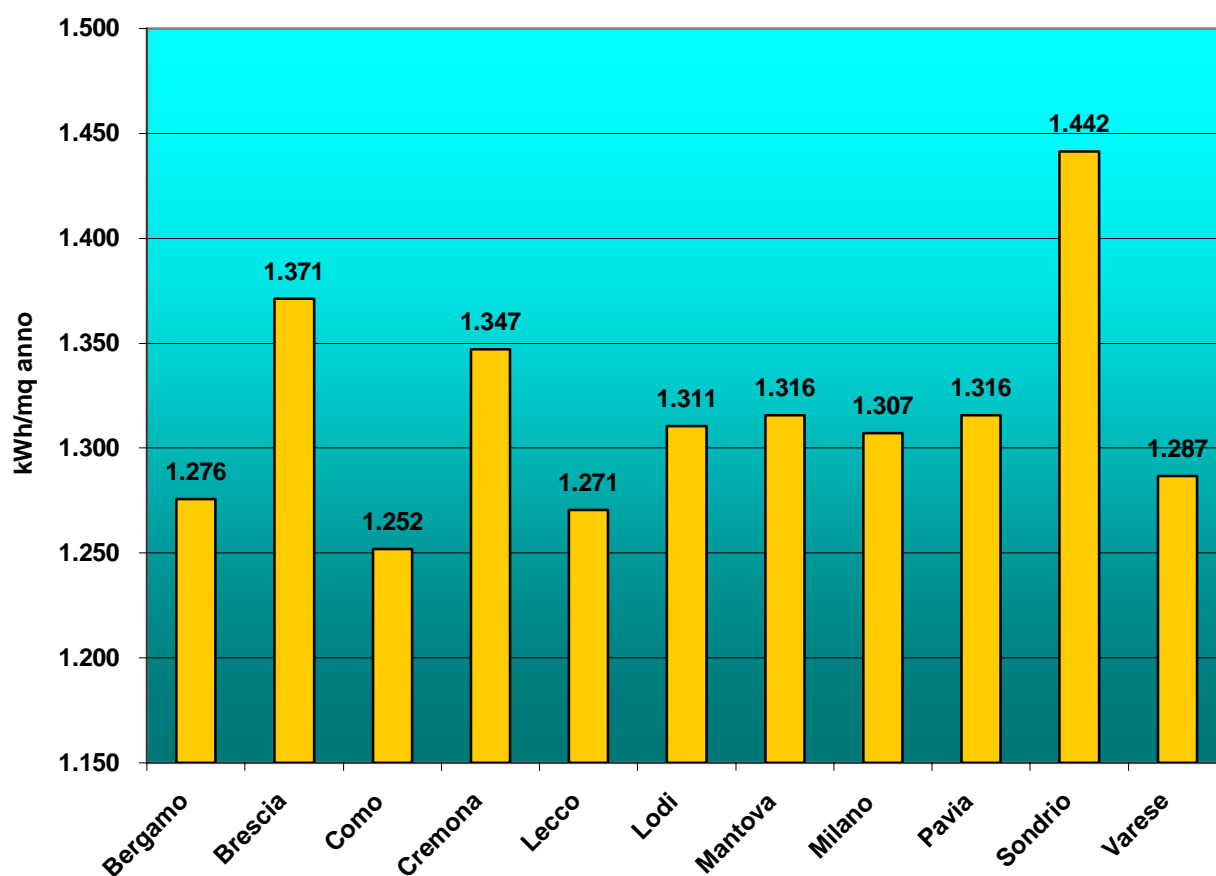


Fig. 7 Valori annui della radiazione solare sul piano orizzontale per i capoluoghi della Regione Lombardia in kWh/m² anno (fonte: elaborazione dati UNI 10349)

Le condizioni climatiche, quindi, sono più che favorevoli per l'installazione di impianti solari termici su tutto il territorio regionale. La radiazione solare si distribuisce in modo differente nei vari mesi dell'anno. Quelli estivi, naturalmente, sono i mesi più favoriti. Ed è proprio in questi mesi, caratterizzati anche da valori elevati della temperatura dell'aria esterna, che gli impianti solari offrono le migliori prestazioni energetiche garantendo una copertura pressoché totale dei fabbisogni di acqua calda.

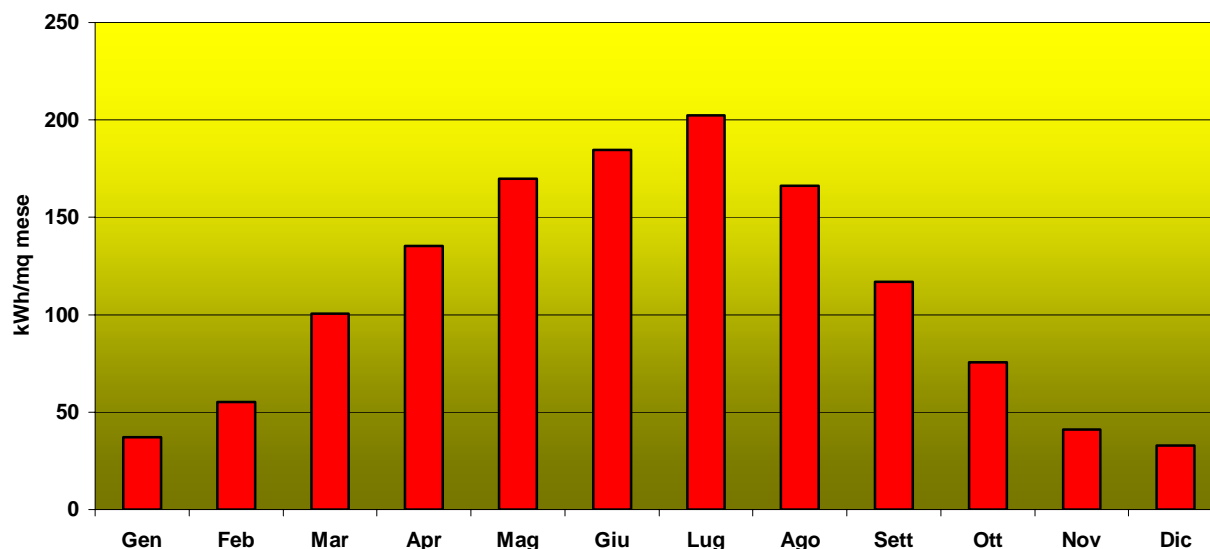


Fig. 8 Valori medi mensili della radiazione solare sul piano orizzontale in Regione Lombardia in kWh/m² mese (fonte: elaborazione dati UNI 10349)

2.4 Criteri e vincoli per l'installazione dei collettori solari

Il vincolo principale per l'installazione degli impianti solari è il reperimento della superficie sulla quale installare i collettori.

Se l'edificio ha una copertura a falde, occorre individuare quella più esposta verificando che durante il giorno non ci siano delle ombre portate da altri edifici, alberi, ecc.

L'orientamento ottimale è quello a Sud e l'inclinazione ottimale è 30°. Questa situazione, tuttavia, non si verifica spesso e si rendono disponibili superfici con altri orientamenti ed inclinazioni. Le penalizzazioni rispetto alla situazione ottimale possono essere trascurabili per orientamenti da SUD-EST a SUD-OVEST, come dimostrato nella tabella che riporta i coefficienti correttivi da applicare ai valori della radiazione solare sul piano orizzontale per tenere conto della effettiva collocazione dei collettori solari. I coefficienti tengono conto di inclinazioni comprese tra 20° e 90° (superfici verticali) e di orientamenti che vanno da 0° (corrispondente a SUD) a ±90° (orientamento a EST o a OVEST). Il valore positivo dell'orientamento corrisponde ad una esposizione verso OVEST mentre quello negativo corrisponde a una esposizione verso EST.

Orient. (gradi)	Inclinazione (gradi)				
	20	30	45	60	90
0	1,11	1,13	1,11	1,03	0,75
15	1,10	1,12	1,11	1,03	0,76
30	1,09	1,11	1,10	1,03	0,78
45	1,07	1,09	1,08	1,02	0,79
60	1,05	1,06	1,04	0,99	0,78
90	0,99	0,97	0,94	0,88	0,70

Coefficienti correttivi da applicare a superfici variamente inclinate e orientate

Facciamo un esempio. Supponiamo di voler calcolare il valore la radiazione solare annua incidente a Brescia per una superficie orientata a SUD con una inclinazione di 30°. Dal diagramma si ricava il

valore della radiazione solare sul piano orizzontale per Brescia è pari a 1.371 kWh/anno mentre dalla tabella si ricava che il coefficiente correttivo è pari a 1,13. Il valore della radiazione solare incidente sul piano considerato sarà pertanto pari a $1.371 \times 1,13 = 1.549 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$.

Se i collettori solari fossero installati su una superficie orientata a SUD-EST (45°), il valore della radiazione incidente si ridurrebbe a $1.371 \times 1,09 = 1.494 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ con una penalizzazione del tutto trascurabile.

I collettori solari possono anche essere installati su coperture piane. In questo caso occorre che siano fissati su tralicci di sostegno, disposti su file distanziate in modo da evitare che si vedifichino degli ombreggiamenti tra una fila e l'altra.

L'installazione di un impianto solare termico su un edificio esistente richiede, nel rispetto delle leggi vigenti in materia di edilizia, alcuni atti amministrativi (concessione lavori, autorizzazione ai lavori, dichiarazione inizio attività).

Uno degli ostacoli per ottenere l'autorizzazione all'installazione di collettori solari possono essere preoccupazioni, da parte dell'ente comunale di protezione storico-artistica e paesaggistico-ambientale, riguardo l'impatto visivo. Infatti, nel centro storico di molte città e nelle aree protette, è stata categoricamente vietata l'applicazione di collettori solari su edifici.

Un impianto solare come tutti gli impianti necessita una manutenzione. La pulizia dei vetri non è strettamente necessaria in quanto la pioggia garantisce un lavaggio continuo. Se l'accesso alla zona in cui sono installati i collettori solari non è difficoltosa è opportuno effettuare una pulizia delle superfici trasparenti almeno una volta all'anno.

Importante il controllo della presenza di antigelo nel circuito solare, controllo anche questo che può essere fatto una volta all'anno.

Queste sono le operazioni di manutenzione minime. Le case costruttrici forniscono comunque un manuale d'uso nel quale sono contenute indicazioni su cosa occorre fare per mantenere l'impianto efficiente per molti anni. Almeno per gli impianti di dimensioni medio-grandi è opportuno affidare la manutenzione ad un installatore.

2.5 Dimensionamento di massima degli impianti solari termici

L'impianto solare non è in grado di trasformare in calore utile tutta l'energia solare incidente sulla superficie dei collettori. Per una valutazione di massima si può stimare che il rendimento medio di un impianto intorno al 50%. Considerando un valore medio di insolazione per la Regione Lombardia di 1.318 kWh/m^2 ed un coefficiente correttivo pari a 1,13, un metro quadro di impianto solare è in grado di produrre annualmente $1.318 \times 1,13 \times 0,50 = 745 \text{ kWh}$ di energia termica utile.

I collettori solari a tubi sotto vuoto hanno una resa superiore rispetto a quelli piani. (almeno il 25% in più).

Per dimensionare un impianto solare, ossia per determinare la superficie di collettori solari da installare, è necessario valutare i fabbisogni energetici.

In mancanza di dati precisi, negli usi residenziali il consumo medio di acqua calda per persona può essere stimato in circa 50 litri/giorno. Il calcolo dell'impianto dovrà essere fatto rapportando il valore dell'energia richiesta per riscaldare l'acqua a quella fornita per metro quadro di superficie. Per una situazione con disposizione corretta dei collettori solari (orientamento SUD, inclinazione 30°) si può prevedere una superficie captante utile pari a 1 m^2 ogni 50 litri di consumo. Per una famiglia di 4 persone, con un consumo medio giornaliero di $4 \times 50 = 200$ litri/giorno, saranno pertanto necessari $200/50 =$ circa 4 m^2 di collettori solari. Un impianto solare così dimensionato riuscirà a coprire il 50÷60% del fabbisogno medio annuo di energia. L'integrazione offerta dall'impianto solare dipende dall'insolazione disponibile. Con i parametri di dimensionamento sopra indicati, l'impianto garantirà una copertura quasi totale nei mesi estivi, durante i quali la caldaia è normalmente spenta, mentre in inverno funzionerà con una resa inferiore preriscaldando l'acqua.

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'accumulo, si può stimare un valore medio di 50÷60 litri per metro quadro di collettori installati.

I valori di dimensionamento forniti sopra sono indicativi. Per impianti di dimensioni medio-grandi è comunque opportuno effettuare un calcolo analitico più dettagliato.

3 Impianti solari fotovoltaici

3.1 Il principio di funzionamento: la cella fotovoltaica

Le celle fotovoltaiche consentono di trasformare direttamente la radiazione solare in energia elettrica, sfruttando il cosiddetto "effetto fotovoltaico" che si basa sulla proprietà di alcuni materiali conduttori opportunamente trattati (tra i quali il silicio, elemento molto diffuso in natura), di generare direttamente energia elettrica quando vengono colpiti dalla radiazione solare. Una cella fotovoltaica esposta alla radiazione solare si comporta come un generatore di corrente con una curva caratteristica tensione/corrente che dipende fondamentalmente dalla intensità della radiazione solare, dalla temperatura e dalla superficie.

Essa è generalmente di forma quadrata con superficie di circa 100 cm^2 , si comporta come una minuscola batteria, producendo, nelle condizioni di soleggiamento tipiche italiane, una corrente di 3 A (Ampère) con una tensione di 0.5 V (Volt), quindi una potenza di 1.5 W (Watt).

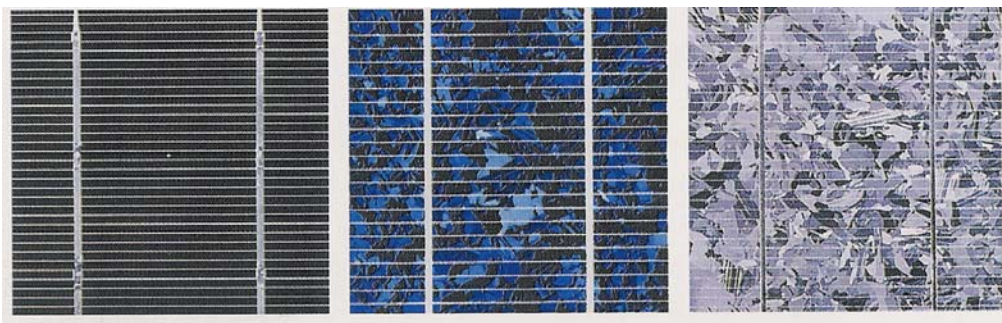


Fig. 9 Tipologie di celle fotovoltaiche: 1) celle monocristalline, 2) celle poli-multi cristalline, 3) celle amorfe

A seconda dei loro processi di produzione, si distinguono i seguenti tipi di celle fotovoltaiche:

- Celle monocristalline: vengono prodotte tagliando una barra monocristallina. Il vantaggio principale è un alto rendimento (fino al 16%). Questo tipo di celle è però molto costoso a causa del complicato processo di produzione. Le celle di tipo monocristallino sono caratterizzate usualmente da un'omogenea colorazione blu.
- Celle poli(multi-)cristalline: vengono colate in blocchi e poi tagliate a dischetti. Il rendimento è minore (10÷12%), ma anche il prezzo. Questo tipo di celle è riconoscibile da un disegno ben distinguibile (a causa dei vari cristalli contenuti).
- Celle amorfe: vengono prodotte mediante deposizione catodica di atomi di silicio su una piastra di vetro. Questo tipo di cella ha il rendimento minore (ca. 4÷8%), ma si adatta anche al caso di irradiazione diffuso (cielo coperto, ecc.). Le celle così prodotte sono riconoscibili

da un caratteristico colore scuro, inoltre sono realizzabili in qualsiasi forma geometrica (sono realizzabili forme circolari, ottagonali, irregolari, e persino convesse).

3.2 Dalla cella fotovoltaica al sistema

La singola cella solare, di dimensioni intorno ai 10 x 10 cm, costituisce il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico.

Un *modulo fotovoltaico* è costituito da un insieme di celle solari collegate tra loro in modo da fornire una potenza elettrica (per modulo) mediamente compresa tra i 50 e i 100 W.

Per aumentare la potenza elettrica è necessario collegare più moduli: più moduli formano un *pannello* e, analogamente, più pannelli formano una *stringa*.

I moduli fotovoltaici convertono l'energia luminosa in energia elettrica a corrente continua in "tempo reale", cioè la produzione di energia elettrica è contemporanea alla captazione dell'energia solare.

Per questi ed altro motivi, in un impianto fotovoltaico, oltre al generatore fotovoltaico sono necessari anche altri componenti che costituiscono l'impianto fotovoltaico.

3.3 Le tipologie impiantistiche

L'impianto fotovoltaico è l'insieme di componenti meccanici, elettrici ed elettronici che captano l'energia solare, la trasformano in energia elettrica, sino a renderla disponibile all'utilizzazione da parte dell'utenza.

Le tipologie impiantistiche sono essenzialmente due:

- impianti isolati (stand alone);
- impianti connessi ad una rete elettrica di distribuzione (grid –connected).

Impianti isolati (stand-alone)

In questi impianti l'energia generata alimenta direttamente il carico elettrico. Quella in eccesso viene accumulata nelle batterie che la rendono disponibile nei periodi in cui il generatore fotovoltaico non è in nelle condizioni di fornirla. Questi impianti rappresentano la soluzione più idonea a soddisfare utenze isolate che possono essere convenientemente equipaggiate con apparecchi utilizzatori che funzionano in corrente continua.

Un semplice impianto fotovoltaico isolato è composto dai seguenti elementi:

1. *Cella solare*: per la trasformazione di energia solare in energia elettrica. Per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle.
2. *Regolatore di carica*: è un apparecchio elettronico che regola la ricarica e la scarica degli accumulatori. Uno dei suoi compiti è di interrompere la ricarica ad accumulatore pieno.
3. *Accumulatori*: sono i magazzini di energia di un impianto fotovoltaico. Essi forniscono l'energia elettrica quando i moduli non sono in grado di produrne, per mancanza di irradiazione solare.
4. *Inverter (o convertitore)*: trasforma la corrente continua proveniente dai moduli e/o dagli accumulatori in corrente alternata convenzionale a 220V. Se l'apparecchio da alimentare necessita di corrente continua si può fare a meno di questa componente.

5. Utenze: apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.

Spesso vengono impiegati anche degli impianti composti. Per esempio impianti fotovoltaici in combinazione con gruppi elettrogeni a motore Diesel. In questo caso l'impianto fotovoltaico fornisce la potenza base utilizzata di solito. Per consumi elevati a breve durata (o in caso si emergenza) viene inserito il gruppo elettrogeno.

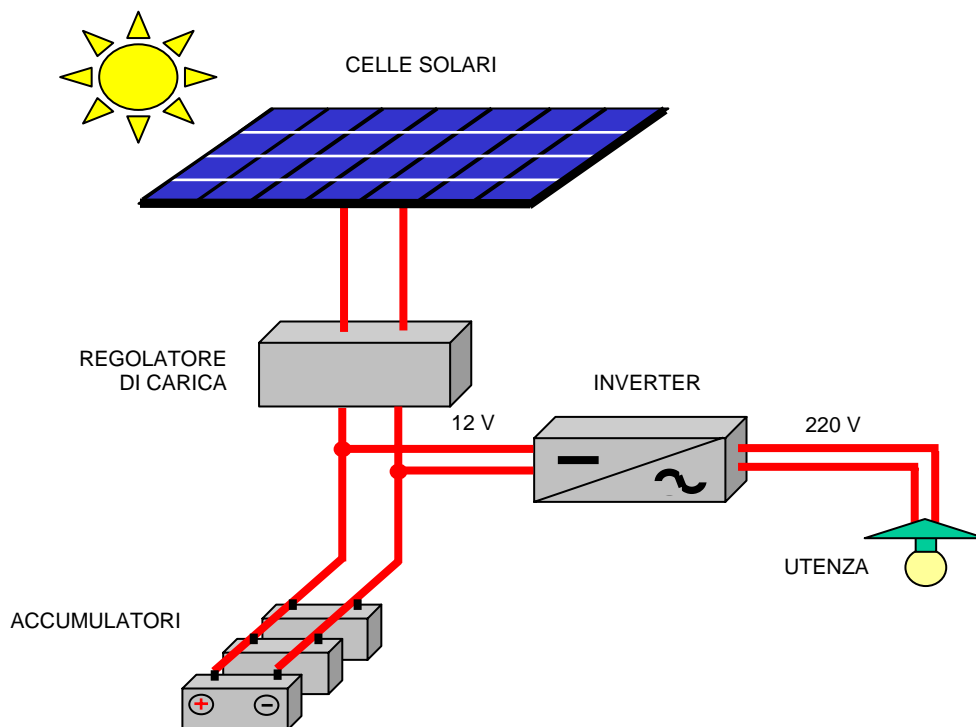


Fig. 10 Schema di un impianto isolato (stand-alone)

Impianti connessi con una rete elettrica

In questi impianti l'energia viene convertita direttamente in corrente elettrica alternata che può alimentare le normali utenze oppure essere immessa nella rete, con la quale lavora in regime di interscambio. In quest'ultimo caso presso l'utente sono installati due contatori: uno che contabilizza l'energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete ed uno che contabilizza l'energia elettrica che l'utente preleva dalla rete. Nell'ipotesi in cui le due tariffe coincidano, l'utente paga all'ente erogatore dell'energia elettrica solo la differenza tra l'energia consumata, prelevata dalla rete, e quella fornita alla rete.

Un impianto fotovoltaico a immissione in rete è principalmente composto dai seguenti componenti:

1. Cella solare: per la trasformazione di energia solare in energia elettrica. Per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle.
2. *Inverter*: trasforma la corrente continua proveniente dai moduli in corrente alternata convenzionale a 220V di tensione. Questo adattatore è assolutamente necessario per il corretto funzionamento delle utenze collegate e per l'alimentazione della rete.

3. *Quadro elettrico*: in esso avviene la distribuzione dell'energia. In caso di consumi elevati o in assenza di alimentazione da parte dei moduli fotovoltaici la corrente viene prelevata dalla rete pubblica. In caso contrario l'energia fotovoltaica eccedente viene di nuovo immessa in rete. Inoltre esso misura la quantità di energia fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete.
4. *Rete*: allacciamento alla rete pubblica dell'azienda elettrica.
5. *UtENZE*: apparecchi alimentati dall'impianto fotovoltaico.

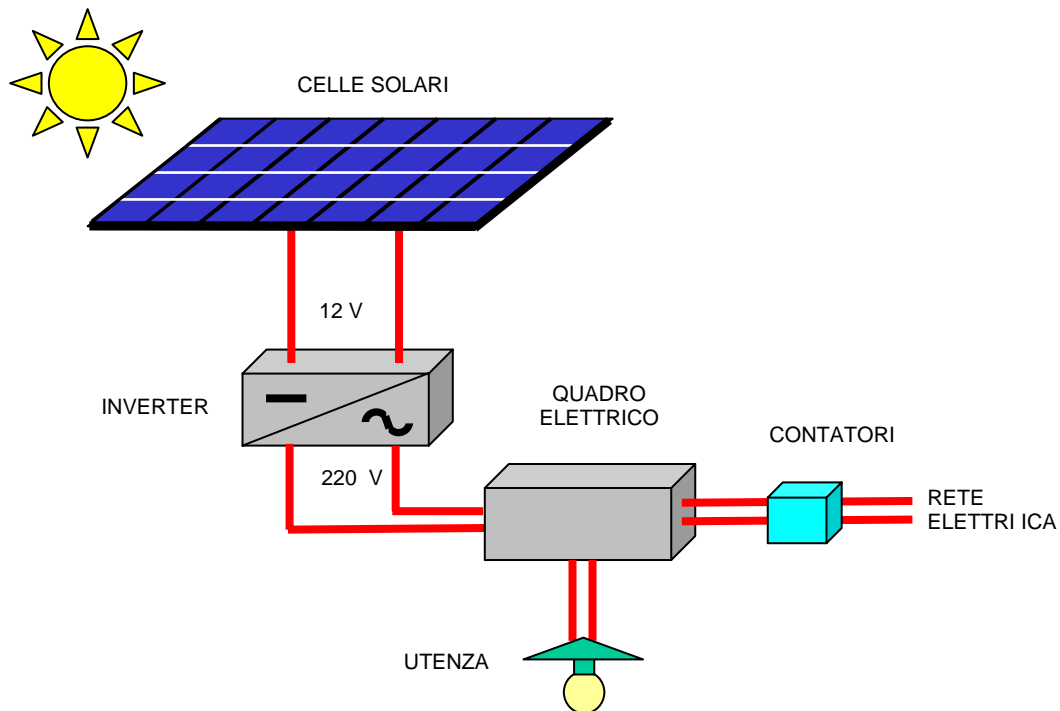


Fig. 11 Schema di un impianto connesso con la rete pubblica

Gli impianti fotovoltaici connessi alla rete rappresentano dal punto di vista applicativo la soluzione ideale in quanto tutta l'energia generata dall'impianto viene comunque utilizzata: o direttamente dall'utente o immessa nella rete elettrica che costituisce quindi un sistema di accumulo infinito.

La mancanza di un sistema di accumulo locale consente inoltre di ridurre sia i costi iniziali sia quelli di esercizio (le batterie di accumulo dopo un certo numero di anni devono infatti essere sostituite).

Per comprendere meglio la logica con la quale funzionano gli impianti fotovoltaici connessi alla rete è utile fare riferimento al grafico che riporta il bilancio energetico di un impianto fotovoltaico per una tipica utenza residenziale.

Le barre verticali gialle rappresentano le quote di energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico. Tale energia è proporzionale alla radiazione solare incidente e quindi segue un andamento con valori massimi nelle ore centrali della giornata.

Le barre rosse invece rappresentano le quote di energia elettrica richiesta dall'utenza presa come esempio. L'andamento dei consumi elettrici, pur essendo indicativo, evidenzia comunque una richiesta di energia elettrica concentrata nelle ore serali in cui l'impianto fotovoltaico non è in grado di erogare energia.

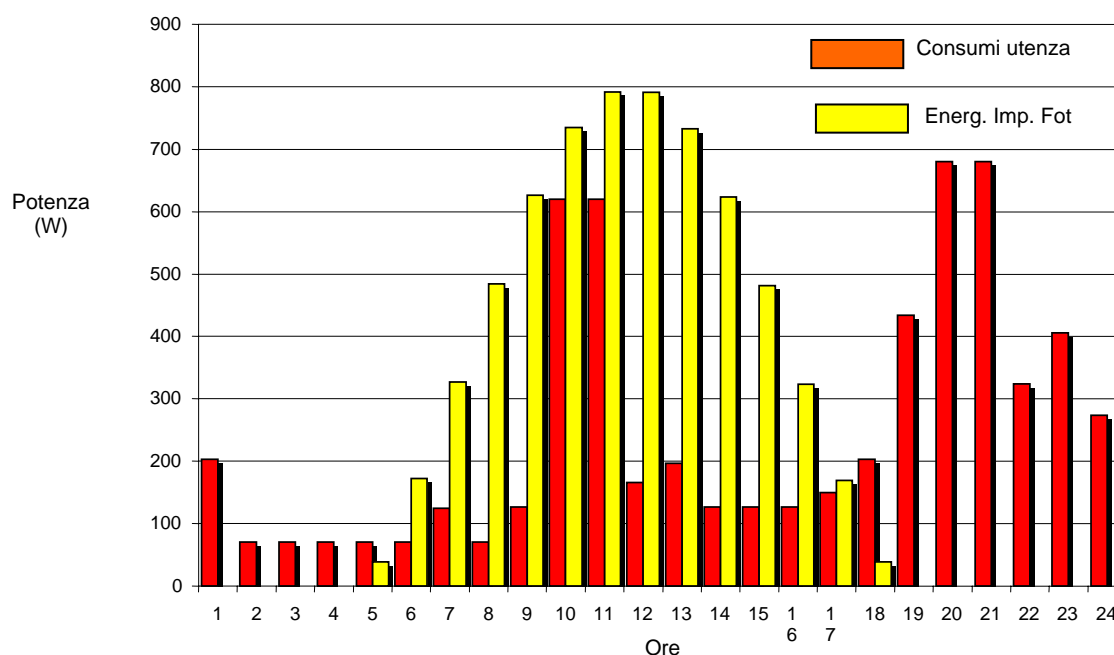


Fig. 11 Bilancio energetico di un impianto fotovoltaico per una tipica utenza residenziale

Quando l'energia elettrica richiesta è superiore a quella che l'impianto fotovoltaico è in grado di fornire, l'utenza preleva energia dalla rete.

D'altra parte quando l'energia elettrica richiesta è inferiore a quella disponibile, e quindi si verificano degli esuberi, l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico viene immessa in rete.

3.4 Criteri e strategie per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici

Come si calcola il fabbisogno di energia elettrica

La dimensione dell'impianto fotovoltaico è calcolata sulla base dell'energia consumata dall'utenza. Tale valore può essere ricavato dalla lettura dell'ultima bolletta elettrica o, meglio ancora, dalla media dei valori annui di consumo degli ultimi tre o quattro anni.

Il consumo di energia dipende da tanti fattori, tra i quali il comportamento dell'utenza e il numero e l'efficienza delle apparecchiature elettriche installate.

Dai dati statistici rilevati risulta che il consumo medio di una famiglia italiana è compreso tra i 3.000 e i 4.000 kWh/anno¹.

Come si può ridurre la domanda di energia

¹ I sistemi fotovoltaici collegati in rete ed integrati negli edifici, pubblicazione curata da ISES e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, 2001

L'impiego di fonti energetiche rinnovabili rappresenta una azione efficace se si adottano tutte le strategie per ridurre i consumi in quanto l'energia meno cara è proprio quella che non consumiamo. Il risparmio energetico, quindi, rappresenta una azione prioritaria rispetto all'impiego di fonti energetiche rinnovabili come quella solare e le utenze elettriche presentano dei notevoli potenziali di risparmio che possono essere ottenuti in due modi:

- modificando il comportamento dell'utenza (evitando gli sprechi);
- sostituendo apparecchiature poco efficienti con apparecchiature ad elevata efficienza che, a parità di servizio erogato, richiedono un consumo inferiore di energia.

Risparmi ottenibili attraverso la modifica del comportamento

Risparmi di energia considerevoli possono essere ottenuti attraverso un comportamento più consapevole da parte degli utenti e attraverso l'adozione delle cosiddette "buone pratiche". Riportiamo di seguito alcuni consigli generali:

- evitare di lasciare l'illuminazione accesa nelle stanze non occupate;
- scegliere lampadari con minor numero di lampade (a parità di illuminazione prodotta i lampadari con più lampade consumano più energia rispetto a quelli con una lampada sola);
- posizionare il frigorifero o il congelatore in luoghi aerati lontani da fonti di calore;
- regolare il termostato dei frigoriferi o dei congelatori su un livello intermedio (posizioni più fredde comportano un aumento inutile dei consumi del 10÷15%);
- per le lavatrici utilizzare ove possibile cicli di lavaggio a bassa temperatura;
- per televisori, videoregistratori ed apparecchi elettronici in genere evitare di mantenere acceso lo stand-by .

L'adozione di queste semplici regole, che non comportano investimenti economici, consente di ottenere risparmi nella gestione apprezzabili, nell'ordine del 10÷20%.

Risparmi ottenibili attraverso l'impiego di apparecchiature ad alta efficienza

Notevoli risparmi di energia si possono ottenere sostituendo le apparecchiature comuni con apparecchiature ad elevata efficienza. Gli interventi possono riguardare sia i sistemi di illuminazione, sia gli elettrodomestici.

- *sistemi di illuminazione*; la sostituzione delle lampadine ad incandescenza con lampadine a basso consumo energetico comportano una riduzione media dei consumi per l'illuminazione dell'80%. Le attuali lampadine ad alta efficienza sono prodotte in forme che ben si adattano alle lampade o ai corpi illuminanti esistenti. Il loro maggior costo, che negli ultimi anni grazie ad un aumento della produzione si è notevolmente ridotto, è compensato da una durata superiore, mediamente di 10 volte, rispetto a quella delle lampadine ad incandescenza.
- *elettrodomestici ad alta efficienza*; sono da tempo disponibili sul mercato elettrodomestici ad alta efficienza. Frigoriferi, congelatori, lavatrici e lavastoviglie in commercio sono dotati di una etichetta energetica, ossia una certificazione che riporta il consumo convenzionale dell'apparecchio e quindi la sua qualità energetica. Le etichette energetiche degli elettrodomestici, rese obbligatorie da una direttiva comunitaria, definiscono sette classi di efficienza energetica che vanno dalla A (basso consumo) alla G (alto consumo). Gli elettrodomestici ad alta efficienza possono consumare fino ad un terzo dell'energia elettrica

consumata dagli elettrodomestici di fascia più bassa. La scelta degli elettrodomestici più efficienti, quindi, comporta un risparmio energetico considerevole.

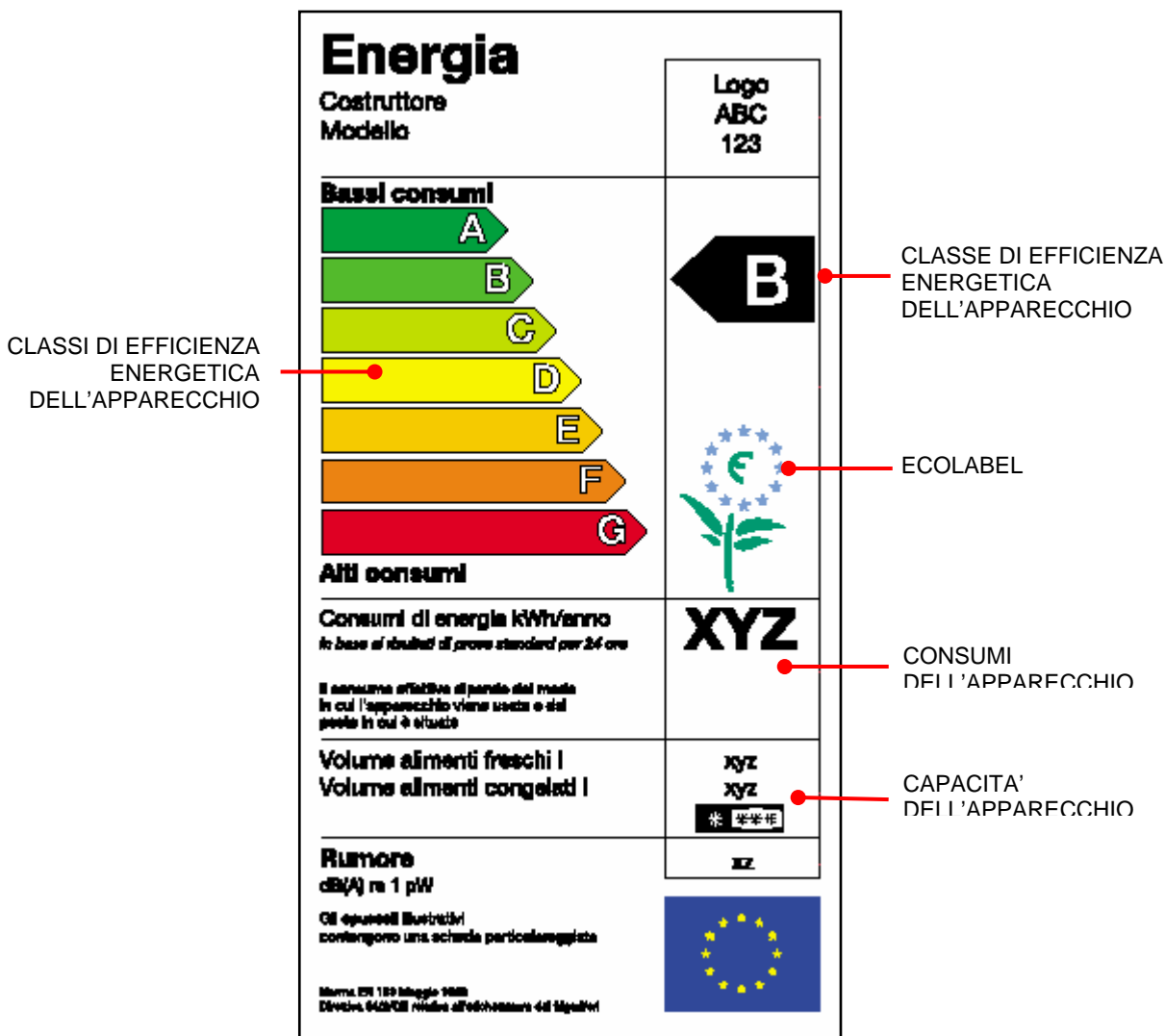


Fig. 12 Esempio di etichetta energetica di un elettrodomestico

Risparmi energetici ottenibili nei consumi elettrici: un caso esempio

Nella tabella 1 sono confrontati i bilanci energetici di una tipica utenza. Nella prima colonna sono riportati i valori di consumo massimi, ossia quelli di una utenza che non ha adottato strategie di risparmio energetico mentre nella seconda colonna sono riportati i consumi minimi, ossia quelli ottenibili attraverso alcune azioni di risparmio:

- spegnimento degli stand-by nelle apparecchiature elettroniche (televisore, videoregistratore, computer);
- sostituzione delle lampade ad incandescenza con lampade a basso consumo;
- sostituzione degli elettrodomestici tradizionali con elettrodomestici certificati ad alta efficienza.

<i>Elettrodomestico</i>	<i>Consumi massimi (kWh/anno) (apparecchi tradizionali)</i>	<i>Consumi minimi (kWh/anno) (apparecchi ad alta efficienza)</i>
Frigorifero	560	320
Congelatore	520	300
Illuminazione	420	84
Lavatrice	570	360
Lavastoviglie	672	504
Forno elettrico	156	78
Forno Microonde	0	39
Televisore funzionamento	130	130
Televisore stand-by	105	0
Videoregistratore funzionamento	55	55
Videoregistratore stand-by	110	0
Computer	160	160
Hi-Fi funzionamento	20	20
Hi-Fi stand-by	60	0
Altri apparecchi	423	265
	3961	2315

Tab. 1 *Consumi elettrici di una famiglia tipo (fonte: elaborazione dati ENEA)*

Adottando gli interventi sopra elencati, il consumo energetico annuo passa da 3.961 kWh a 2.315 kWh con una riduzione del 41,5%.

Il confronto tra i due casi è stato fatto mantenendo costanti le ore di impiego delle apparecchiature elettriche.

3.5 Il dimensionamento di un impianto fotovoltaico

I dati di progetto necessari sono i seguenti:

- la località nella quale è installato l'impianto;
- il consumo annuo di energia elettrica (kWh);
- l'inclinazione della superficie captante (gradi);
- l'orientamento della superficie captante.

Energia elettrica fornita per unità di superficie

Nella tabella 2 sono riportati i valori della radiazione solare media mensile e della radiazione solare media annuale in kWh/m² sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia della Regione Lombardia.

Per il calcolo di dimensionamento, eseguito su base annua, vengono utilizzati i valori di radiazione media annuale riportati nell'ultima colonna della tabella. Per Milano, ad esempio, su un metro quadro di superficie esposta sul piano orizzontale la radiazione solare annua è pari a 1307 kWh.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	Tot.
Bergamo	36,2	53,7	97,3	130,0	164,5	171,7	192,9	161,9	116,7	78,4	39,2	33,6	1.276

Brescia	39,6	60,7	106,8	134,2	175,7	187,5	210,1	173,9	122,5	79,2	44,2	37,0	1.371
Como	39,6	52,9	95,6	130,0	155,9	170,8	190,3	155,0	109,2	77,5	40,8	34,4	1.252
Cremona	33,6	52,9	99,0	140,0	176,5	198,3	215,3	173,9	119,2	72,3	37,5	28,4	1.347
Lecco	40,5	54,4	98,2	131,7	158,4	172,5	190,3	156,7	111,7	78,4	42,5	35,3	1.271
Lodi	31,9	51,3	97,3	136,7	172,2	191,7	211,0	168,8	115,0	70,6	36,7	27,6	1.311
Mantova	32,7	51,3	95,6	135,0	172,2	195,8	212,7	170,5	115,0	69,8	36,7	28,4	1.316
Milano	32,7	52,1	99,9	137,5	172,2	185,0	206,7	167,1	116,7	72,3	36,7	28,4	1.307
Pavia	31,9	50,6	95,6	135,8	173,1	197,5	213,6	171,4	114,2	68,9	35,8	27,6	1.316
Sondrio	47,4	69,2	122,3	148,3	184,3	188,3	192,9	173,1	132,5	87,0	55,8	40,5	1.442
Varese	43,1	56,8	98,2	128,3	164,5	170,8	189,4	156,7	114,2	77,5	46,7	40,5	1.287

Tab. 2 *Radiazione solare media mensile e radiazione solare annua sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia della Regione Lombardia (kWh/m²) (fonte: elaborazione dati UNI 10349)*

Se la superficie di captazione non è orizzontale è necessario moltiplicare questo valore di radiazione per un coefficiente correttivo che tenga conto dell'inclinazione e dell'orientamento della superficie. I coefficienti correttivi da applicare sono riportati in tabella 3 e tengono conto di inclinazioni da 20° a 90° (superfici verticali) e di orientamenti che vanno da 0 (corrispondente a SUD) a ±90° (orientamento a EST o a OVEST).

Il valore positivo dell'orientamento corrisponde ad una esposizione verso OVEST mentre quello negativo corrisponde ad una esposizione verso EST.

Orient. (gradi)	Inclinazione (gradi)				
	20	30	45	60	90
0 (Sud)	1,11	1,13	1,11	1,03	0,75
± 15	1,10	1,12	1,11	1,03	0,76
± 30	1,09	1,11	1,10	1,03	0,78
± 45	1,07	1,09	1,08	1,02	0,79
± 60	1,05	1,06	1,04	0,99	0,78
± 90 (Est-Ovest)	0,99	0,97	0,94	0,88	0,70

Tab. 3 *Coefficienti correttivi da applicare a superfici variamente inclinate e orientate*

L'energia solare incidente utile, calcolata moltiplicando la radiazione solare sul piano orizzontale per il coefficiente correttivo, non viene trasformata integralmente in energia elettrica utile. E' necessario considerare i vari rendimenti che ne riducono la potenzialità:

- il *rendimento delle celle fotovoltaiche* (dal 10 al 15% per le celle di silicio monocristallino e policristallino e dal 4 al 7% per le celle di silicio amorfo);
- il *rendimento di conversione* (cioè della restante parte del sistema) determinato dal rapporto tra l'energia elettrica disponibile in corrente alternata alle utenze e l'energia elettrica in corrente continua ai morsetti dei moduli fotovoltaici (dal 75 all'85%).

Il rendimento di conversione dipende da molti fattori tra i quali: le perdite per effetto del surriscaldamento dei moduli fotovoltaici, le perdite dell'inverter, le perdite per imperfetto accoppiamento dei moduli e le perdite dovute alla resistenza elettrica nei cavi.

² ibidem

L'energia elettrica fornita per unità di superficie, espressa in kWh/m² anno, è data dal prodotto dell'energia solare incidente utile per i due rendimenti.

Dimensionamento della superficie captante

Il dimensionamento della superficie complessiva dei moduli, può essere a questo punto effettuato dal rapporto tra il valore dell'energia elettrica richiesta dall'utenza e l'energia elettrica fornita per unità di superficie.

Spesso non è conveniente dimensionare gli impianti solari fotovoltaici per coprire l'intero carico. Si introduce quindi un ulteriore parametro: la *percentuale di integrazione* che si intende raggiungere con l'impianto solare, un valore che in genere non supera il 50÷60%.

Un impianto fotovoltaico è costituito un certo numero di moduli fotovoltaici che hanno una superficie unitaria compresa tra 0,5 e 1 m². La superficie di un modulo è rilevabile direttamente dal catalogo del produttore che fornisce tutte le specifiche tecniche.

Il numero dei moduli necessari per realizzare l'area di captazione calcolata si può ricavare semplicemente dal rapporto tra la superficie complessiva richiesta e la superficie unitaria di ciascun modulo.

Un dato caratteristico di un impianto fotovoltaico è la *potenza nominale* o *potenza di picco*, definita come la potenza che il sistema fotovoltaico è in grado di erogare quando opera in condizioni fissate da norme internazionali (condizioni standard):

- flusso solare: 1000 W/m²;
- temperatura delle celle: 25 °C.

E' opportuno sottolineare come le condizioni standard siano difficilmente riscontrabili durante il funzionamento reale di un sistema fotovoltaico. Il valore del flusso solare di 1000 W/m², infatti, corrisponde al valore massimo di irraggiamento sulla superficie terrestre e si verifica quindi in condizioni particolari e per brevi periodi durante l'anno.

Anche il valore della temperatura delle celle di 25 °C viene sempre superato dal momento che i moduli esposti alla radiazione solare sono soggetti a rapido riscaldamento.

In condizioni operative reali un impianto fotovoltaico fornisce una potenza elettrica inferiore rispetto alla potenza di picco: la potenza elettrica in uscita, infatti, decresce al diminuire dell'irraggiamento ed all'aumentare della temperatura (un modulo in esercizio può raggiungere valori di temperatura anche superiori ai 70÷80 °C).

Il valore della *potenza di picco* è solo un parametro di riferimento. Il suo calcolo può essere eseguito moltiplicando il valore della potenza di picco di ciascun modulo (valore fornito dai produttori) per il numero dei moduli installati.

3.6 Valutazioni economiche

Il costo dell'impianto può essere ricavato dal preventivo fornito dall'azienda installatrice.

Per una valutazione di massima si può fare riferimento ad un costo medio dell'impianto completo compreso tra i 7.000 e i 7.500 €/kW_p.

Con un contributo a fondo perduto del 75% (contributo massimo erogabile) la quota parte a carico dell'utente si riduce al 25%.

L'investimento dell'utente si ripaga in funzione dell'energia elettrica che l'impianto è in grado di erogare e quota di risparmio annuale è data dal prodotto del consumo energetico annuo per il valore medio dell'energia risparmiata.

La valutazione del costo medio dell'energia risparmiata è abbastanza complesso. Le tariffe di fornitura di energia elettrica per le tipiche utenze domestiche (in bassa tensione con potenza impegnata fino a 3 kW) variano in funzione del consumo.

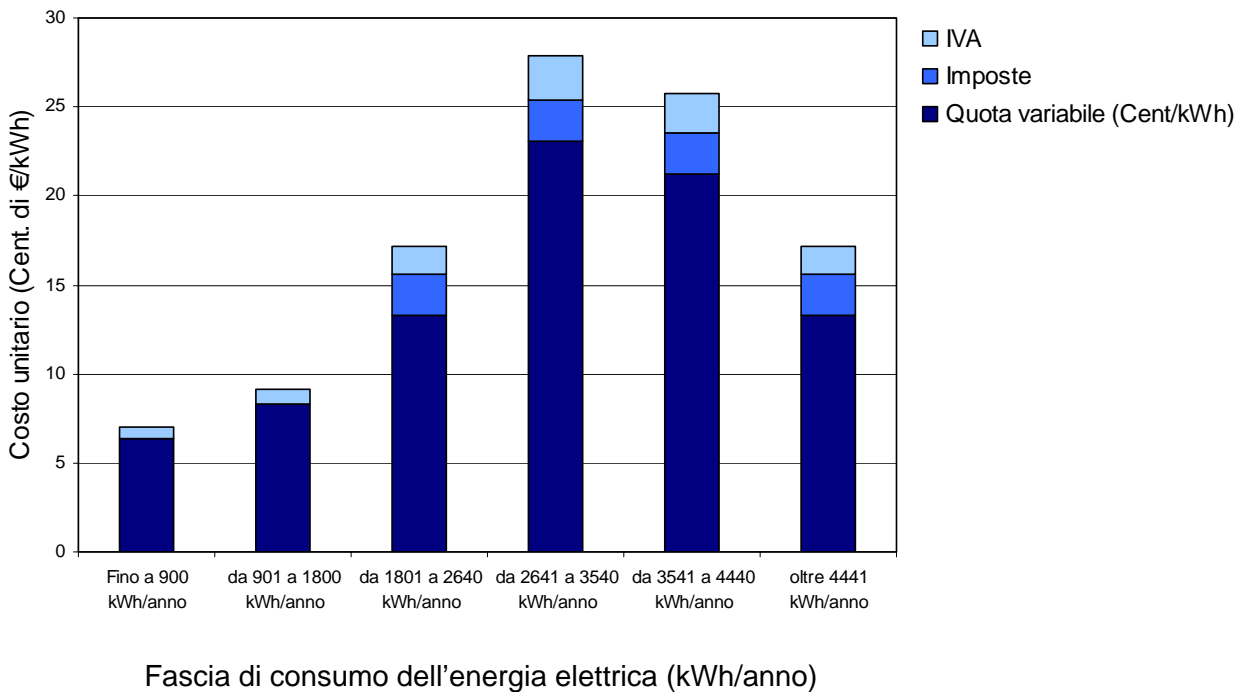


Fig. 13 Valori medi delle tariffe di fornitura dell'energia elettrica in bassa tensione per usi domestici residenti con potenza impegnata fino a 3 kW per le differenti fasce di consumo (fonte: dati Enel 2001)

Aumentando il consumo aumenta il costo per kWh secondo 6 classi. Nel grafico riportato sono indicati i valori medi di costo dell'energia (in centesimi di €/kWh) nelle differenti fasce di consumo³.

La riduzione dei consumi attraverso l'installazione di un impianto fotovoltaico consente di risparmiare l'energia elettrica a partire dal costo di fascia più alta pagata dall'utente sulla base dei suoi consumi. Per i consumi energetici di una utenza media è possibile ipotizzare un valore di costo medio dell'energia elettrica risparmiata di 0,16 €/kWh.

In prima approssimazione il periodo di ritorno dell'investimento può essere calcolato, in modo semplice, dal rapporto tra il costo dell'impianto a carico dell'utente e l'equivalente economico dell'energia elettrica prodotta dall'impianto.

Questo è il calcolo del pay-back semplice. Una analisi più dettagliata dovrebbe considerare almeno due aspetti: l'aumento del costo dell'energia e il costo del denaro. Il calcolo del pay-back semplice fornisce comunque all'utente una indicazione sulla convenienza economica di questo investimento.

Esempio di calcolo

³ il costo complessivo annuo dell'energia elettrica è dato dalla somma dei prodotti dei costi in funzione delle fasce di consumo. Se il consumo annuo ad esempio è pari a 2000 kWh, l'utente pagherà i primi 900 kWh al costo della prima fascia, i kWh compresi tra 901 e 1800 al costo della seconda fascia ed i restanti kWh al costo della terza fascia.

Nella tabella 4 è riportato un esempio di calcolo di dimensionamento.
I dati di progetto considerati sono i seguenti:

Località:	Milano
consumo energetico annuo:	2.500 kWh/anno di energia elettrica
inclinazione pannelli:	30°
orientamento pannelli:	SUD

Nella tabella sono riassunti tutti i passaggi ed i relativi calcoli.

Ipotizzando di voler garantire una integrazione solare pari al 50% del consumo energetico, con l'insolazione disponibile nella località considerata è necessario installare una superficie captante di 8,8 m².

Tale superficie può essere coperta utilizzando, ad esempio, 11 moduli fotovoltaici da 0,87 m² ciascuno (esigenze geometriche in funzione dello spazio disponibile possono richiedere un arrotondamento del numero dei moduli, arrotondamento che è meglio sia in eccesso).

L'impianto così dimensionato fornirà una potenza di picco di 1,21 kWp.

Nella stessa tabella è riportato il conto economico. Ipotizzando i seguenti valori:

costo dell'impianto (IVA esclusa):	7.250,00 €/kWp
costo dell'energia:	0,16 €/kWh

il periodo di ammortamento dell'impianto con il calcolo del pay-back semplice è di circa 13 anni⁴.

La quota finanziabile non è comprensiva dell'IVA che quindi deve essere pagata interamente dall'utente. L'utente, d'altra parte, per questo tipo di spesa può usufruire delle agevolazioni fiscali che consentono di dedurre nella dichiarazione dei redditi fino al 36% della parte di quota non finanziata (e quindi anche l'intera IVA) con un ammortamento della deduzione in 10 anni.

⁴ nel computo del periodo di ammortamento è stata considerata tra le spese la quota fissa di 30,99 €all'anno che l'utente deve riconoscere all'Ente fornitore di energia elettrica (oneri di misurazione).

Calcolo di dimensionamento impianto fotovoltaico

	U.m.	Rif.	Formula	
Dati di progetto				
Località				Milano
Consumo energetico annuo	kWh/anno		A	2.500
Inclinazione pannelli	gradi			30
Orientamento pannelli				SUD
Energia elettrica fornita per unità di superficie				
Energia solare incidente orizzontale	kWh/m ² anno	(tab. 2)	B	1.307
Coefficiente correttivo		(tab. 3)	C	1,13
Energia solare incidente utile	kWh/m ² anno		D = B x C	1.477
Efficienza pannelli			E	12%
Efficienza impianto			F	80%
Efficienza complessiva			G = E x F	9,6%
Energia elettrica fornita unitaria	kWh/m ² anno		H = D x G	141,81
Dimensionamento impianto fotovoltaico				
Integrazione impianto fotovoltaico		scelta	I	50%
Superficie impianto fotovoltaico	m ²		L = A x I / H	8,8
Superficie unitaria modulo fotovoltaico	m ²	da produttore	M	0,87
Massima potenza nominale modulo	W _p	da produttore	N	110,0
Numero di moduli necessari	n		O=L/M	11,0
Potenza di picco	kW _p		P=OxN	1,21
Costo impianto				
Costo unitario impianto	€/KW _p	da produttore	Q	7.250,00
Costo complessivo impianto	€		R=QxP	8.772,50
Conto economico				
Contributo richiesto (massimo 75%)			S	75%
Finanziamento richiesto	€		T=RxS	6.579,38
Importo a carico del contribuente	€		U=R-T	2.193,13
Costo energia elettrica	€/kWh	da bolletta	V	0,16
Risparmio primo anno annuo	€		Z=(GxLxV)- 30,99	169,01
Pay-back semplice	anni		Y=U/Z	13,0

Tab. 4 Schema di calcolo per il dimensionamento di un impianto fotovoltaico

3.7 Criteri di installazione dei moduli fotovoltaici

I pannelli fotovoltaici devono essere installati in una posizione bene esposta alla radiazione solare e, possibilmente, sfruttando una integrazione con gli elementi architettonici dell'edificio.

- *Installazione su tetto inclinato.* E' l'installazione più classica, i moduli vengono montati sulla falda più soleggiata dell'edificio, la loro inclinazione ed il loro orientamento quindi sono vincolati e la resa energetica può non essere ottimale. Dalla tabella 3 è possibile ricavare il valore del coefficiente correttivo e quindi valutare la eventuale penalizzazione. Si può osservare come, considerando come periodo di captazione l'intero anno, non si abbiano eccessive penalizzazioni per orientamenti differenti da sud se l'inclinazione dei moduli è piccola.
- *Installazione su tetto piano (terrazzo).* In questo caso i moduli devono essere montati su strutture portanti che garantiscono la più corretta inclinazione ed il più corretto orientamento. I moduli vengono montati in file che devono essere distanziate tra loro per evitare effetti di ombreggiamento. La distanza tra una fila e l'altra può essere notevolmente ridotta se l'inclinazione dei moduli non è eccessiva.
- *Installazione in facciata.* Le facciate dell'edificio offrono in genere ampie superfici che non vengono sfruttate. Costituiscono quindi elementi dell'edificio sui quali è possibile installare i moduli fotovoltaici. Questa soluzione, rispetto alle altre, presenta comunque degli inconvenienti tra i quali: effetto estetico non sempre accettabile, maggiore possibilità di ombreggiamenti da parte di altri edifici, penalizzazione a volte eccessiva nel caso di orientamenti non ottimali (dalla tabella 3 si può osservare come questa soluzione comporti una penalizzazione variabile dal 20 al 30 % rispetto al piano orizzontale.

Esempi di queste tipiche installazioni sono riportati in figura 14.

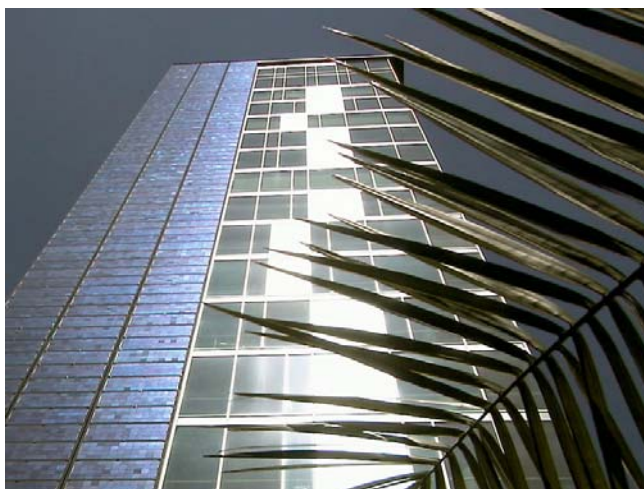


Fig. 14 *Tipici esempi di installazione di moduli fotovoltaici: su tetto inclinato, su tetto piano, in facciata*

3.8 I benefici ambientali

L'energia elettrica prodotta tramite sistemi fotovoltaici è rinnovabile e prodotta senza alcuna emissione inquinante. L'esercizio dei sistemi fotovoltaici ha un impatto ambientale nullo nel caso di sistemi collegati alla rete e un impatto minimo in caso di sistemi non allacciati, derivante esclusivamente dalla sostituzione delle batterie di accumulo.

I benefici ambientali derivanti dall'installazione di sistemi fotovoltaici possono essere espressi in termini di emissioni evitate: si quantificano, cioè, le emissioni che si sarebbero prodotte per la generazione di una pari quantità di energia elettrica tramite sistemi termoelettrici.

In campo energetico, è importante, data la rilevanza del problema cambiamento climatico e il peso che il settore energetico riveste in questo contesto, considerare le emissioni di gas climalteranti (*gas serra*) convenzionalmente espressi in termini di $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$.

L'energia prodotta in un anno è calcolata considerando una producibilità media lombarda pari a $175,70 \text{ kWh/m}^2$ (fonte ISES Italia). Il fattore di emissione medio per la produzione elettrica (calcolato secondo la metodologia suggerita dall'IPCC e a partire dai dati medi 1996 delle centrali termoelettriche lombarde) è pari a $64 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$.

Per ogni kW di picco installato, pari a 8 m^2 di pannelli (fonte ISES Italia), si valuta un risparmio pari a $1320 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$.

La produzione dei pannelli richiede consumi di energia elettrica, che, allo stato attuale dello sviluppo tecnologico, non sono trascurabili. Tuttavia i benefici ambientali generati nel tempo di vita di un sistema fotovoltaico, mediamente pari a 20-25 anni sono già ora largamente superiori al danno provocato nella fase di produzione dei pannelli.