EP IQ

Collana Tecnica

Compendio
Energia Solare

Autore: Stella Silvio Rudi

Prima Edizione Maggio 2018

Energia Solare

1 COS'E' L'ENERGIA SOLARE

Il Sole è la fonte energetica più importante per la vita sulla Terra ed è anche quella più pulita dal punto di vista ambientale. La vita del Sole è stimata in circa 5 miliardi di anni e la quantità di energia che arriva annualmente sulla superficie terrestre corrisponde ad alcune migliaia di volte il consumo energetico mondiale nello stesso periodo: l'energia solare, pertanto, può essere considerata una fonte energetica abbondante e praticamente inesauribile.

La quantità di energia solare incidente nell'unità di tempo su una superficie orizzontale unitaria posta sulla Terra, viene definita *irradianza*: in condizioni ottimali, a mezzogiorno in una giornata serena, può raggiungere un valore massimo intorno ai 1.000 W/m^2.

Si definisce invece *irradiazione* solare o, più comunemente *radiazione solare*, l'energia solare che raggiunge la superficie terrestre in uno specifico intervallo temporale. Misurata in MJ/m^2 o in kWh/m^2 si distingue in *diretta* e *diffusa*: mentre la radiazione diretta colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben preciso angolo di incidenza, quella diffusa incide su tale superficie con vari angoli. Occorre ricordare che quando la radiazione diretta non può colpire una superficie a causa della presenza di un ostacolo, l'area ombreggiata non si trova completamente oscurata grazie proprio al contributo della radiazione diffusa.

Una superficie inclinata può ricevere, inoltre la radiazione solare riflessa dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici riflettenti (chiamata *albedo*).

Le proporzioni di radiazione diretta, diffusa e d'albedo ricevute da una superficie comunque orientata e inclinata dipendono:

1. dalle *condizioni meteorologiche* (in una giornata nuvolosa, ad esempio, la radiazione è pressoché totalmente diffusa mentre in una giornata serena con clima secco, invece, predomina la componente diretta);
2. dall'*inclinazione* della superficie rispetto al piano orizzontale;
3. dalla presenza di *superfici riflettenti*.

Per massimizzare la quantità di energia solare captata da un impianto solare è conveniente orientare i collettori a Sud mantenendo una inclinazione che tenga conto della posizione del sole (altezza solare) che varia nella stagione estiva ed in quella invernale. Per un uso prevalentemente estivo dell'impianto l'inclinazione ottimale è quella della latitudine del luogo meno 10÷15° (per le località italiane l'inclinazione media è intorno ai 30°). Inclinazioni diverse che meglio si adattano al piano della copertura così come orientamenti diversi fino a Sud-Est o Sud-Ovest tuttavia non penalizzano in modo sensibile la captazione solare. Le superfici degli impianti solari, quindi, ben si adattano a soluzioni di integrazione che risultano di minore impatto estetico.

1.1 Quanto sole abbiamo in Italia?

Se il nostro Paese viene definito il "Paese del Sole" un motivo ci deve pure essere: l'Italia infatti offre condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli per l'uso dell'energia solare. Il valore medio annuo della radiazione globale sul piano orizzontale, o *irraggiamento*, varia in funzione della località considerata passando dai valori minimi di 1.200 kWh/m^2 della Provincia di Bolzano ai valori massimi intorno ai 1.700 kWh/m^2 della Provincia di Trapani.

I valori dell'irraggiamento possono essere desunti da mappe di radiazione solare, come quella riportata in figura 1 (radiazione media mensile in MJ/m^2 giorno), o dall'Atlante Solare Europeo delle Radiazioni.

La Norma UNI 10339 riporta i valori della radiazione solare sul piano orizzontale relativi alle principali località italiane, scomposti nelle due componenti di radiazione diretta e diffusa in MJ/m^{2}giorno. Una procedura di calcolo consente di calcolare i valori della radiazione solare incidente su piani variamente inclinati e orientati partendo da quelli disponibili sul piano orizzontale.

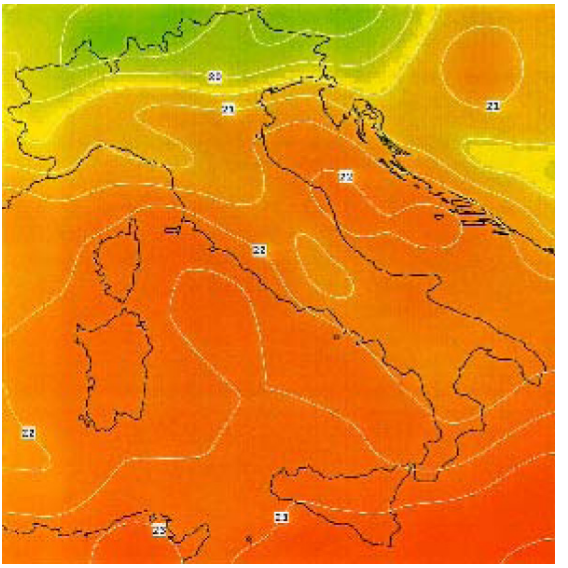

fig. 1 Mappa della radiazione solare in Italia relativa al mese di maggio del 1999 (Fonte: ___)

Della radiazione solare complessiva, la componente diffusa è praticamente costante durante tutto l'anno, mentre varia molto la componente della radiazione diretta (grafico 1).

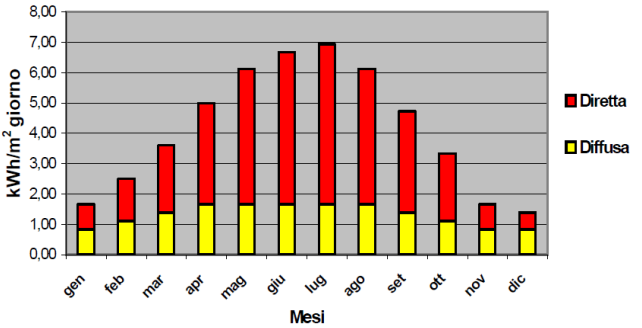

Grafico 1 - Radiazione solare globale giornaliera media mensile su piano orizzontale e sue componenti diretta e diffusa. Sito di installazione: Roma.

Il grafico 2, invece, evidenzia come l'inclinazione della superficie captante influenzi la quantità di energia captata.

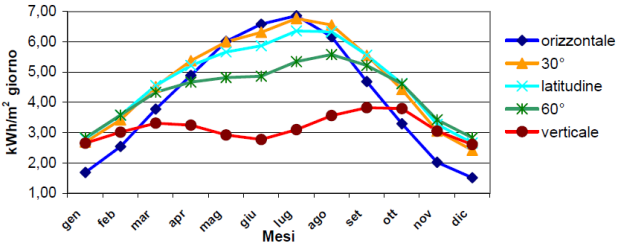

Grafico 2 - Valori della radiazione solare globale giornaliera media mensile (in kWh/m2 giorno) per diverse inclinazioni della superficie captante orientata a sud. Sito di installazione: Roma.

1.2 Come si può utilizzare l'energia solare?

L'energia solare può essere utilizzata essenzialmente per produrre:

- Calore, mediante gli *impianti solari termici,* che consentono di sfruttare l'energia irraggiata dal sole per riscaldare direttamente un fluido caldo che può essere acqua o aria;

- Elettricità, mediante gli *impianti fotovoltaici* (FOTOVOLTAICI), che consentono di trasformare l'energia solare incidente in energia elettrica.

Nel seguito saranno approfonditi in modo separato aspetti tecnici, applicativi ed economici di entrambe queste tecnologie.

1.3 Aspetti caratteristici delle tecnologie di sfruttamento dell'energia solare

L'energia solare è una fonte energetica rinnovabile diffusa su tutto il territorio nazionale. Il suo sfruttamento, oltre ad evitare l'utilizzo di combustibili fossili (con la dipendenza anche economica dal petrolio), consente di alimentare le utenze in una logica di *produzione distribuita* evitando i problemi connessi alla produzione centralizzata e alla trasmissione dell'energia.

Gli impianti solari sono per loro natura modulari: per aumentare la quantità di energia generata basta aumentare l'area della superficie captante installata.

I collettori solari oggi disponibili sul mercato sono affidabili anche per l'assenza di parti in movimento: la loro vita utile, superiore ai 20 anni, è di gran lunga superiore al periodo di ammortamento.

Una larga diffusione delle tecnologie solari, oltre a contribuire alla diminuzione della dipendenza energetica del nostro Paese, può diventare un interessante elemento di sviluppo occupazionale ai vari livelli (progettisti, produttori, installatori e manutentori).

L'impatto visivo delle tecnologie solari può essere ridotto o addirittura annullato ricorrendo ad una progettazione integrata nella quale l'elemento captante si adatta alla struttura esistente oppure, nel caso di edifici nuovi, può addirittura svolgere anche altre funzioni (ad esempio collettori solari come elementi di copertura).

Se confrontiamo un impianto solare con uno tradizionale dobbiamo considerare, ovviamente, un maggiore investimento iniziale. Nelle

applicazioni correnti un impianto solare non riesce comunque a garantire una completa indipendenza energetica, specialmente durante i mesi invernali caratterizzati da una minore insolazione: ne deriva che un sistema di integrazione tradizionale è quasi sempre necessario. Nonostante questo per alcune applicazioni, ad esempio la produzione di acqua calda ad usi sanitari o la produzione di acqua calda per usi a bassa temperatura, esistono delle condizioni economiche favorevoli (periodo di ammortamento stimato intorno ai 6÷7 anni anche senza considerare eventuali contributi disponibili).

Gli impianti fotovoltaici rappresentano una tecnologia interessante che però richiede ancora, al momento, un supporto economico. Uno di questi è il meccanismo del cosiddetto Conto Energia, del quale parleremo in modo dettagliato più avanti.

2 IL SOLARE TERMICO

2.1 Gli impieghi degli impianti solari termici

L'energia termica derivante dall'irraggiamento solare può essere "catturata" in molti modi ed avere diverse finalità, in funzione delle esigenze dell'utenza: come energia termica utile alla produzione di acqua calda per usi sanitari e per riscaldamento, ma anche per ottenere energia frigorifera, energia elettrica o energia meccanica (produzione di vapore con energia solare).

La produzione di acqua calda sanitaria, utilizzata per docce, bagni e igiene personale in genere, lavaggio stoviglie oppure utilizzi vari in cucina, è senza dubbio l'applicazione più comune e diffusa. Per questa applicazione, infatti, le condizioni operative particolarmente favorevoli (richiesta di acqua calda a bassa temperatura e sfruttamento degli impianti anche durante il periodo estivo, caratterizzato da livelli più alti di insolazione) consentono di coprire circa il 60 ÷ 70 % del fabbisogno energetico domestico annuo di acqua calda sanitaria.

L'utilizzo del solare termico per il riscaldamento invernale degli edifici può risultare interessante se l'edificio è progettato in modo da

minimizzare la richiesta termica (elevata prestazione energetica dell'involucro), se l'impianto di riscaldamento è a bassa temperatura (ad esempio pannelli radianti) e se i collettori solari sono ad alte prestazioni. E' inoltre opportuno disporre di un sistema di utilizzo del calore anche nella stagione estiva, quale una piscina o un sistema di climatizzazione.

L'utilizzo degli impianti solari termici per la climatizzazione estiva attraverso l'impiego di macchine frigorifere ad assorbimento costituisce inoltre una alternativa interessante ai sistemi tradizionali, in quanto si ha un'ottima coincidenza tra la domanda di energia (richiesta di freddo) e l'offerta di energia (radiazione solare).

Molte sono quindi le applicazioni che consentono un utilizzo conveniente degli impianti solari termici, in pratica tutte quelle, sia in ambito civile che in ambito industriale, che richiedono vettori termici a bassa entalpia.

2.2 Le diverse tipologie di impianti solari termici

Gli impianti solari possono essere classificati sia in base alle finalità applicative, sia per tipo di circolazione sia per tipo di fluido termovettore.

Gli impianti finalizzati alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS) possono essere :

- impianti a circolazione naturale;
- impianti a circolazione forzata.

Nei primi, il trasferimento di calore dai pannelli all'accumulo è affidato ai naturali moti convettivi derivanti dal riscaldamento del fluido; non essendovi pompe né collegamenti elettrici, si avrà un'applicazione molto semplice ed affidabile, oltre che meno costosa, anche se con l'unico vincolo di posizionare il serbatoio al di sopra dei pannelli.

Negli impianti a circolazione forzata, invece, la circolazione del fluido dai pannelli all'accumulo è assicurata da una pompa ad azionamento elettrico (circolatore) e da una centralina di regolazione. L'impianto risulta, quindi, più complesso, ma in compenso la posizione del bollitore non è obbligata, per cui questo può essere installato anche inferiormente ai pannelli e, quindi, non necessariamente all'aperto o sul tetto (con conseguente riduzione dell'impatto visivo).

In figura 9 sono riportati gli schemi di impianto per la produzione di ACS rispettivamente a circolazione naturale e forzata.

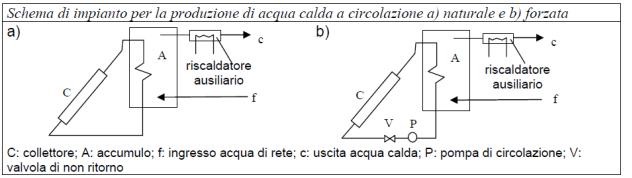

fig. 2 Schema di impianto per la produzione di acqua calda a circolazione a) naturale e b) forzata

Gli scaldaacqua solari monoblocco sono dei tipici esempi di impianti a circolazione naturale. Prevalentemente composti da un serbatoio in acciaio installato all'esterno, solitamente sono asserviti a un collettore piano integrato.

Il serbatoio, solitamente dipinto di nero e coperto da una lastra di materiale trasparente termoisolante; può anche essere montato direttamente in una cavità del tetto in cui si trova uno specchio solare concavo che riflette la luce. Il collegamento alla rete dell'acqua calda sanitaria è diretto, senza l'ausilio di scambiatori di calore e pompe; alla rete può essere collegata una caldaia a gas ausiliaria, che interviene automaticamente quando la temperatura scende al di sotto di quella richiesta.

Tali impianti hanno un costo modesto, sono compatti, facili da installare e occupano poco spazio; sono tuttavia molto visibili e generalmente il loro uso è limitato alla sola produzione di acqua calda

sanitaria e, inoltre, durante la notte o nei giorni con scarsi apporti solari possono raffreddarsi facilmente. Si possono trovare in commercio anche collettori monoblocco con resistenza elettrica per il riscaldamento dell'acqua in periodo di scarso irraggiamento, alternativi all'impianto assistito da una caldaia integrativa.

I sistemi monoblocco generalmente utilizzano collettori piani, esistono però anche collettori monoblocco in versione a tubi sottovuoto.

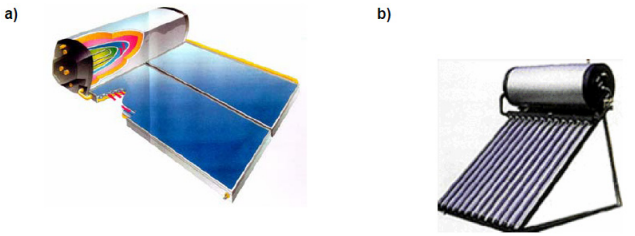

fig. 3 Esempi di sistemi monoblocco con a) collettori piani e b) tubi sottovuoto (fonte: ____)

E' possibile distinguere gli impianti solari termici anche in funzione del fluido termovettore e cioè:

- impianti ad acqua;
- impianti ad aria.

Nel primo caso viene utilizzata, infatti, acqua che può essere additivata con antigelo, mentre nel secondo caso il fluido termovettore è l'aria, riscaldata da appositi pannelli ed inviata mediante ventilatori all'utilizzazione o ad un accumulatore (realizzato generalmente con un letto di pietre)

Gli impianti ad acqua hanno, inoltre, rispetto a quelli ad aria, il vantaggio di prevedere tubazioni di minori dimensioni, un volume dell'accumulatore considerevolmente minore ed un minor consumo energetico per la circolazione; di contro si possono avere problemi di gelo e corrosione.

Gli impianti solari con collettori ad aria vengono in genere utilizzati per integrazione al sistema di riscaldamento (ad esempio per riscaldare l'aria esterna di ventilazione) o per tutte le utenze, civili e industriali, che richiedono in modo specifico aria calda.

2.3 Come è fatto un impianto solare termico?

Il principio di funzionamento di un impianto solare termico è molto semplice. Lo schema tipico di un impianto solare è illustrato in figura 4 nella quale si distinguono i componenti principali:

- i collettori solari;
- il sistema di accumulo del calore;
- il sistema di regolazione;
- il sistema integrativo.

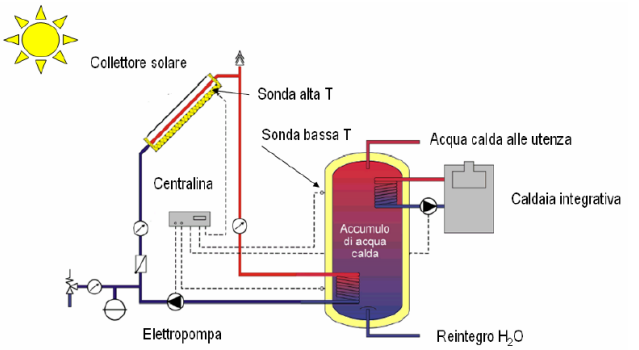

fig. 4 Schema tipico di un impianto solare termico con sistema integrativo

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* da cui viene prelevato in funzione delle necessità. Nel caso di impianti a circolazione naturale, la circolazione

del fluido avviene grazie al posizionamento in alto dell'accumulo, mentre in quelli a circolazione forzata (cui si riferisce lo schema di fig. 2) questa è garantita da una *pompa,* che viene attivata dalla *centralina di controllo* solo nel caso in cui la temperatura nell'acqua nei collettori sia 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 un *doppio scambiatore*. Quello posizionato in basso è collegato al *circuito solare* (all'interno del quale circola una miscela di acqua con antigelo), mentre quello posizionato 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*.

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.

Si descrivono nel seguito le caratteristiche dei principali componenti.

1.1.1 I collettori solari

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 de collettore

solare è quello di ottimizzare questa trasformazione catturando, a parità di radiazione solare, più calore possibile.

Esistono diverse tipologie di collettori, con prestazioni e costi variabili a seconda del tipo di utilizzo.

Per la caratterizzazione delle proprietà dei collettori si fa riferimento a due parametri caratteristici: la superficie captante e l'efficienza di captazione.

La superficie captante (espressa in m^2) a sua volta si distingue in:

- *superficie del collettore* corrispondente alla dimensione esterna del collettore (ingombro);
- *superficie di apertura* ossia l'area trasparente attraverso la quale passa la radiazione solare;
- *superficie effettiva* corrispondente all'area della superficie della piastra captante.

L'*efficienza di captazione* è un elemento importante per una corretta scelta del collettore in quando definisce le prestazioni in funzione delle condizioni operative. Definita dal rapporto tra la potenza termica trasferita all'impianto (calore utile nell'unità di tempo) ed il flusso solare incidente, consente di determinare la quota parte di radiazione solare effettivamente trasformata in calore utile

L'efficienza di captazione dipende sia dalle caratteristiche costruttive del collettore (caratteristiche e colore della piastra captante, della copertura trasparente, dell'isolamento termico, ecc.), sia dalle condizioni operative (temperatura media di funzionamento del collettore, temperatura esterna, flusso solare).

La norma EN 12975, che definisce le procedure per la determinazione delle prestazioni del collettore, stabilisce come riferimento la superficie di apertura. Nel seguito si definiscono le caratteristiche delle principali tipologie di collettori presenti sul mercato: collettori piani vetrati, collettori sotto vuoto, collettori non vetrati.

Collettori solari piani vetrati

I collettori solari piani vetrati rappresentano la tipologia più diffusa nelle applicazioni civili. Gli elementi che li costituiscono, con riferimento alla figura 5, sono i seguenti:

- La piastra captante, 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.

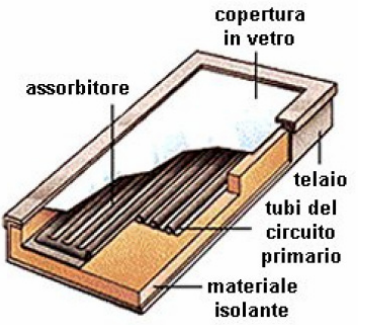

fig. 5 Schema di un collettore solare piano vetrato

- 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 (effetto serra): una trappola, insomma, che consente al collettore di assorbire, e poi di cedere all'acqua, una quantità maggiore di energia.

- L'isolamento termico, posto al di sotto e lateralmente alla piastra, ha la funzione di ridurre le perdite per conduzione

della piastra con la struttura sottostante, per convezione con l'aria o per irraggiamento.

- L'Involucro (telaio), di forma parallelepipeda, con funzione di contenimento e di protezione da polvere, umidità, sollecitazioni esterne ed agenti atmosferici; sono costruiti con materiali non metallici per diminuire al minimo le trasmissioni di calore indesiderate.

Collettori solari sottovuoto

Sono progettati con lo scopo di ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno e sono, quindi, caratterizzati da un'efficienza maggiore.

Il calore raccolto da ciascun elemento (tubo sottovuoto), infatti, viene trasferito alla piastra, generalmente in rame, presente all'interno del tubo, e che fa capo ad un bulbo terminale collegato ad un collettore comune esterno.

Il fluido termovettore (generalmente una miscela di acqua ed antigelo), che scorre solo all'interno del collettore comune, raggiunge temperature più elevate e si minimizzano le dispersioni di calore verso l'esterno in quanto si hanno quasi solo perdite per irraggiamento (grazie al vuoto non ci sono praticamente perdite per conduzione o convezione).

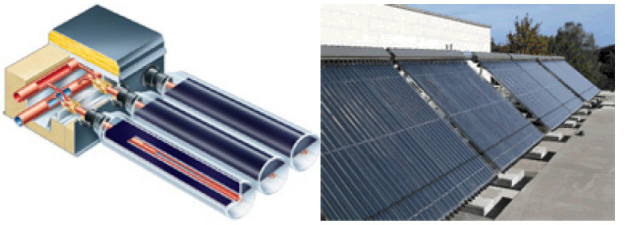

fig. 6 Schema di un collettore solare sotto vuoto e, a destra, collettori solari sottovuoto installati in batteria (fonte: documentazione tecnica Viessman)

Collettori solari non vetrati

Sono collettori solari scoperti, cioè privi di lastra di copertura trasparente; l'acqua da riscaldare passa direttamente all'interno dei tubi dell'assorbitore. La maggiore semplicità costruttiva consente di ridurre in modo considerevole i costi e, in alcuni casi, l'installazione è molto semplice, al punto da poter essere fatta senza ricorrere a personale specializzato.

Rispetto ai collettori vetrati hanno un'efficienza inferiore, e per poter funzionare con prestazioni accettabili richiedono temperature dell'aria esterna non troppo basse. Per questo motivo sono adatti per gli utilizzi nella stagione estiva (stabilimenti balneari, alberghi stagionali, campeggi, seconde case, piscine, ecc.).

I collettori solari non vetrati possono essere realizzati con materiali plastici, in genere PVC, neoprene o polipropilene, oppure in metallo. Nel primo caso sopportano una pressione massima di 1 atmosfera e sono adatti per il riscaldamento di piscine; quelli in polipropilene fino a 6 atmosfere e sono, quindi, idonei a tutti gli altri usi sopra elencati.

I collettori non vetrati in metallo sono realizzati con piastra in acciaio, e vengono utilizzati con la doppia funzione di elemento di captazione e di copertura. Il trattamento superficiale selettivo consente di migliorare le prestazioni rispetto ai modelli in materiale plastico ed inoltre, in questo caso, non si hanno i sopra citati problemi di limite di pressione. I collettori solari non vetrati in acciaio, che possono essere realizzati su richiesta con raggi di curvatura, ben si prestano ad una perfetta integrazione con la struttura di copertura.

Nota di approfondimento: le curve caratteristiche dei collettori

Consideriamo un collettore piano. L'irraggiamento E [kWh/m^2], che colpisce la copertura vetrata del collettore, viene in parte riflessa (Er) e in parte tramessa (Et). Dell'aliquota Et (proporzionale alla trasmittanza τ del vetro) una parte Q diventa calore utile ed aumenta la temperatura del fluido termovettore (in percentuale proporzionale

alla assorbanza α della piastra) mentre una parte (Ep) viene dispersa per convezione conduzione e irraggiamento ed è proporzionale alla differenza di temperatura ΔT tra piastra e ambiente esterno.

Si definisce efficienza istantanea η del collettore il rapporto Q/E, tra il calore utile e la radiazione incidente.

Tale valore di η, a parità di E, è legato alla differenza di temperatura ΔT tra piastra e ambiente esterno o, anche, alla differenza di temperatura tra fluido termovettore e ambiente esterno, divisa per il valore di R, ΔT. Nella figura sottostante sono riportati andamenti qualitativi delle curve di efficienza relative alle tipologie di collettori considerati.*

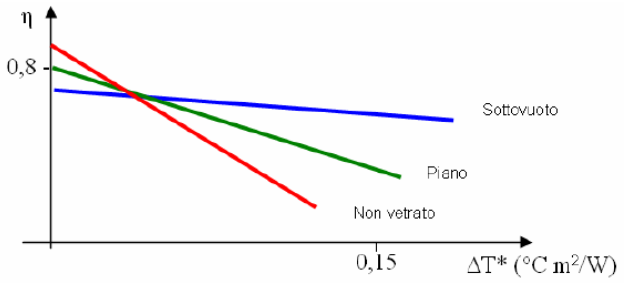

Grafico 3 -Curve di efficienza a confronto.

Un fenomeno da evitare: la stagnazione!

Come si vede dal grafico 3, all'aumentare della differenza di temperatura tra fluido del collettore e aria ambiente, si ha una riduzione dell'efficienza del collettore: si può arrivare alla situazione per cui l'efficienza risulta nulla, cioè l'energia incidente sul collettore non si trasforma in energia utile (produzione di acqua calda) ma rimane all'interno del fluido, determinando l'ebollizione dello stesso. La temperatura per la quale si verifica questo fenomeno è detta temperatura di stagnazione e si può raggiungere in situazioni in cui si ha un mancato utilizzo dell'impianto solare per molto tempo (ad esempio nel periodo estivo). Onde evitare tale fenomeno si può prevedere la disposizione di una valvola di sicurezza o la disposizione di una

copertura del collettore, quando si prevede un lungo periodo di non utilizzo dell'impianto.

1.1.2 I serbatoi di accumulo di calore

I materiali utilizzati per la costruzione dei serbatoi comprendono:

- *Acciaio inossidabile*. È la soluzione più affidabile, ma anche la più costosa; in presenza di acqua ricca di cloro bisogna prevedere l'utilizzo di un anodo al magnesio (da sostituire periodicamente) per ridurre il rischio di corrosione.
- *Acciaio smaltato o con rivestimento in plastica*. Soluzione più economica, ma meno affidabile; il rivestimento in plastica non resiste a temperature oltre gli 80°C.

Un importante aspetto da considerare per determinare la qualità del serbatoio è l'isolamento termico delle pareti, necessario a ridurre le dispersioni termiche e mantenere la temperatura dell'acqua ad un valore accettabile per un tempo superiore.

I serbatoi di accumulo degli impianti solari (un esempio è riportato in figura 8) sono in genere dotati di due serpentine di scambio termico: quella posta nella parte bassa è collegata al circuito solare mentre quella posta nella parte alta è collegata al circuito di integrazione, alimentato dalla caldaia. Una caratteristica importante dei sistemi di accumulo è la capacità di garantire una stratificazione delle temperature dell'acqua: una differenza apprezzabile della temperatura tra la parte alta, più calda, e quella bassa, più fredda, consente infatti di avere acqua calda all'utenza alla massima temperatura, di limitare l'intervento del sistema di integrazione e di far lavorare i collettori solari a bassa temperatura, quindi con migliori prestazioni.

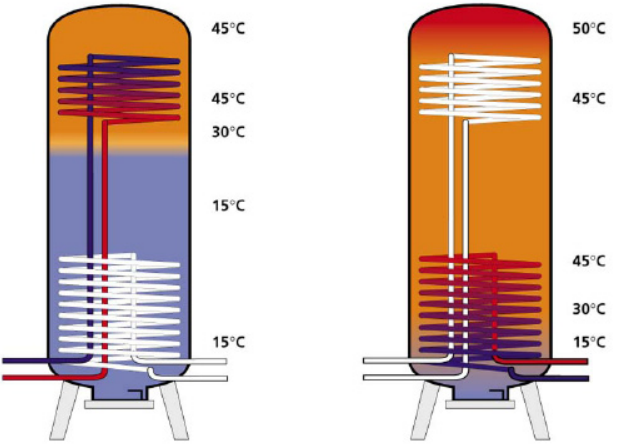

fig. 7 Schema di funzionamento di un sistema di accumulo solare: funzionamento esclusivo del sistema di integrazione a sinistra e funzionamento esclusivo dell'impianto solare a destra (fonte: documentazione tecnica _____)

1.1.3 altri componenti dell'impianto solare termico

Il circuito solare, di collegamento tra il collettore ed il serbatoio d'accumulo, è composto dai seguenti elementi:

- *Le tubazioni (coibentate)*: hanno la funzione di collegare i collettori con il serbatoio di accumulo;
- *Il fluido termovettore*: è il fluido di lavoro che trasporta il calore del collettore al serbatoio di accumulo o all'utenza (aria, acqua o miscela di acqua e antigelo);
- *La pompa*: garantisce la circolazione forzata del fluido all'interno del circuito qualora l'impianto non sia a circolazione naturale;
- *Lo scambiatore di calore* del circuito solare: è il mezzo grazie al quale il calore passa dal fluido di lavoro all'acqua ad uso sanitario;

- *Gli elementi di raccordo* e le *attrezzature* per il riempimento, lo svuotamento e lo scarico;
- *Il sistema di sicurezza*: il vaso di espansione e la valvola di sicurezza preservano il sistema dal rischio di guasto derivante dall'aumento di volume del fluido nel circuito al crescere della temperatura;
- *La valvola di non ritorno.* Durante le giornate nuvolose o di notte, il fluido termovettore all'interno del collettore diventa più freddo di quello all'interno dello scambiatore di calore. Si crea, quindi, una circolazione naturale di fluido dallo scambiatore al collettore: tale circolazione tenderebbe a disperdere il calore accumulato nel serbatoio. Per evitare ciò è necessario inserire tra la pompa e il collettore una valvola di non ritorno, dimensionata in modo che la forza di spinta del fluido termovettore non possa aprirla;
- *La centralina di regolazione*: ha fondamentalmente il compito di gestire la pompa di circolazione per uno sfruttamento ottimale dell'energia solare. Nella maggior parte dei casi si tratta di semplici centraline elettroniche basate sulla differenza di temperature misurate da due sensori: il primo è all'interno del collettore nel punto più caldo del circuito solare e il secondo è nel serbatoio di accumulo all'altezza dello scambiatore di calore del circuito solare. Al fine di evitare il raffreddamento dell'accumulo, la centralina comanda l'avvio della pompa solo quando tale differenza di temperatura è maggiore di 6 - 8 °C.
- *I sistemi di monitoraggio (richiesti da alcuni bandi di finanziamento)*: per i sistemi a circolazione naturale o monoblocco ed i sistemi a circolazione forzata di taglia inferiore ai 20 m^2 è indicata l'installazione, sul lato utenza, di un contabilizzatore di calore. Per i sistemi a circolazione forzata di taglia superiore ai 20 m^2 potranno essere montati sull'impianto due contabilizzatori di calore: il primo sul lato campo solare, per misurare l'energia estratta dai pannelli

e il secondo sul lato utilizzo, per misurare l'energia fornita all'utilizzatore.

2.4 Le applicazioni e i possibili sviluppi tecnologici

Le applicazioni più comuni dei pannelli solari termici sono relative ad impianti per produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento degli ambienti nel residenziale e per il riscaldamento dell'acqua delle piscine; sono in aumento i casi di utilizzo nell'industria, nell'agricoltura (processi d'essiccazione di prodotti agricoli) e per la refrigerazione solare.

Il riscaldamento degli ambienti rappresenta una grande potenzialità di sviluppo del solare termico. Attualmente tale finalità si ottiene con sistemi a bassa temperatura, cioè impianti a pavimento oppure a parete, che portano gli ambienti alla temperatura di 20 °C utilizzando acqua a 40°C (i sistemi tradizionali di riscaldamento con radiatori, per ottenere lo stesso risultato, in termini di comfort termico, hanno la necessità di portare, invece, l'acqua a temperature molto più elevate). Va tuttavia sempre ricordato come sia necessario prevedere anche un utilizzo estivo al calore prodotto dall'impianto, ad esempio per riscaldare una piscina o per il raffrescamento.

Nelle piscine, l'integrazione del sistema di riscaldamento tradizionale con un impianto solare termico è particolarmente adatta, in virtù di una temperatura dell'acqua compresa tra i 24 e i 28°C. Inoltre, la combinazione di un sistema di riscaldamento solare e l'utilizzo di una copertura notturna può accrescere sensibilmente la durata della stagione balneare con un incremento dei costi gestionali molto contenuto. Se l'utilizzo della piscina è prettamente estivo possono essere utilizzati collettori solari non vetrati (impianto a circuito aperto), mentre per piscine che lavorano sull'arco dell'intero anno vanno utilizzati collettori piani o sottovuoto (impianto a circuito chiuso).

Quella del raffrescamento degli ambienti d'estate è senza dubbio un'applicazione ricca di potenzialità anche per la domanda di

climatizzazione che è maggiore, ovviamente, quando l'energia solare è più disponibile. In figura 10 è riportato un tipico schema di impianto di climatizzazione ad energia solare (Solar Cooling). L'acqua calda prodotta dall'impianto solare alimenta attraverso un accumulo una macchina frigorifera ad assorbimento, che genera acqua refrigerata che a sua volta alimenta i terminali dell'impianto di condizionamento (ventilconvettori, unità di trattamento aria, ecc.). Il funzionamento di una macchina ad assorbimento richiede una temperatura relativamente elevata, intorno agli 85 °C, che può essere raggiunta solo utilizzando collettori solari ad alte prestazioni (piani vetrati selettivi o sottovuoto). Utilizzando collettori solari ad aria è invece possibile realizzare impianti di climatizzazione solare che utilizzano il principio del dessicant cooling.

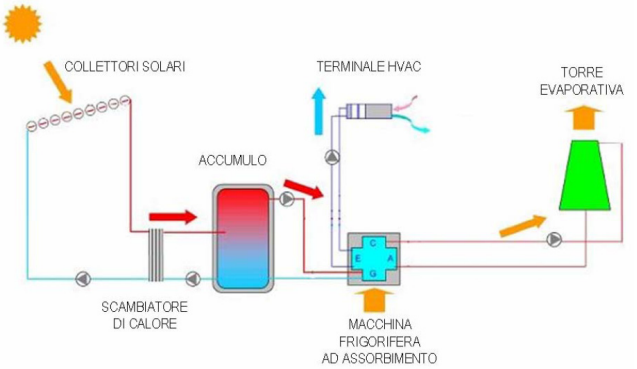

fig. 8 Schema di funzionamento di un impianto di climatizzazione ad energia solare.

Un'altra applicazione con notevoli prospettive è legata alla costruzione di centrali elettriche ad energia solare termica a concentrazione, che utilizzano per la produzione del vapore o un complesso di specchi (eliostati) che, comandati da appositi sensori, seguono il sole nel suo movimento e focalizzano i raggi in una "camera di focalizzazione" montata alla sommità di una torre, oppure sistemi a collettori parabolici lineari collegati in serie e disposti in file parallele

con nel loro fuoco tubi assorbitori. Iin entrambi i casi, il calore concentrato si trasferisce al fluido termovettore e viene utilizzato per la produzione di vapore, a temperature superiori a 500°C. L'energia del vapore è sfruttata in una turbina, come avviene anche in una centrale termoelettrica tradizionale.

2.5 Quadro riassuntivo applicazioni solare termico

Tipologia di impianto	Utilizzazione	Vantaggi e svantaggi
Impianti monoblocco a circolazione naturale con collettori solari e bollitore. Circuito chiuso	Produzione di acs in immobili residenziali, piccoli edifici mono e plurifamiliari, uffici, piccole utenze pubbliche, strutture turistiche, pensioni, campeggi	▪ Rendimenti buoni in tutte le stagioni ▪ Semplicità di montaggio e manutenzione ▪ Costi medi
Impianti monoblocco a circolazione naturale con collettori solari e bollitore. Circuito aperto	Utenze stagionali: case di vacanza, seconde case.	▪ Semplicità di montaggio e manutenzione ▪ Costi medio - bassi ▪ Rese decrescenti nel tempo ▪ Pericolo di gelo nel circuito
Impianti a circolazione forzata con collettori solari piani vetrati	Impianti di taglia medio - grande: edifici plurifamiliari o condominiali, alberghi, centri sportivi, scuole, riscaldamento di ambienti. Edifici con vincoli architettonici sulla posizione del bollitore	▪ Posizione del bollitore indipendente dai pannelli ▪ Rendimenti buoni ▪ Costi medi
Impianti a circolazione forzata con collettori solari piani non vetrati	Campeggi estivi, piscine scoperte, Alberghi estivi, Stabilimenti balneari, Case per vacanze	▪ Montaggio facile ▪ Costi minimi ▪ Affidabilità intrinseca ▪ Rese basse nelle mezze stagioni
Impianti con collettori solari piani selettivi o sottovuoto	Climatizzazione estiva, Riscaldamento ambientale Utilizzo medio stagionale o invernale	▪ Buona resa anche con alte temperature ▪ Costi più elevati

Tabella 1 -tipologie di impianti e utilizzazioni, con vantaggi e svantaggi

2.6 Come dimensionare un impianto solare

Per calcolare la superficie di pannelli solari termici da installare, si deve tener conto del prevedibile consumo di acqua calda della famiglia o di altre utenze da servire.

Per avere una stima del fabbisogno medio giornaliero di acqua calda per persona si può far riferimento alla tabella 13:

Utenza	Litri giornalieri di ACS procapite
Abitazione	50
Hotel	da 100 a 160
Scuole e uffici	5
Palestre	35
Industrie	20
Campeggi	30 (a persona)
Lavanderie	6 (per kg lavato)
Ospedali	60 (per posto letto)
Ristoranti	10 (per pasto)
Bar	2 (per consumazione)

fig. 9 Fabbisogni medi giornalieri per persona ACS (fonte

Relativamente all'ambito domestico, nella tabella 14, per le differenti zone d'Italia, sono riportati i litri di ACS producibili a 45°C per unità di superficie di collettore solare e la superficie minima di collettore da installare per ottenere la produzione di 50 litri di ACS a 45°C (*consumo pro-capite* medio di ACS)

	Zona d'Italia								
	Nord			***Centro***			***Sud***		
Irraggiamento medio giornaliero tra marzo e maggio (kWh/m²giorno)	*4,5*			*5,0*			*5,5*		
Efficienza dei collettori	*Alta*	*Media*	*Bassa*	*Alta*	*Media*	*Bassa*	*Alta*	*Media*	*Bassa*
Litri di ACS a 45°C producibili per unità di superficie di collettore (l/m²)	*64*	*51*	*39*	*71*	*57*	*43*	*79*	*63*	*47*
Superficie da installare (m²/persona)	*0,8*	*1*	*1,3*	*0,7*	*0,9*	*1,2*	*0,6*	*0,8*	*1,1*
Rendimenti ipotizzati per i collettori: ▪ *0,5 per pannelli a alta efficienza* ▪ *0,4 per pannelli a media efficienza* ▪ *0,3 per pannelli a bassa efficienza*									

Tabella 2 - dimensionamento di massima degli impianti solari (fonte

Per ottenere la superficie complessiva necessaria a soddisfare le esigenze di una famiglia, è sufficiente moltiplicare per il numero di componenti della famiglia il valore ricavato dall'ultima riga della precedente tabella.

Per il dimensionamento di massima del serbatoio di accumulo si può considerare, per un'utenza domestica e per la produzione della sola acqua calda sanitaria, un valore di riferimento utile pari a circa 50 - 80 litri per m² di collettore installato.

Nella valutazione della possibilità di utilizzare impianti solari termici per la produzione di ACS e supporto al riscaldamento ambientale, si

deve tenere conto che, nella gran parte degli edifici esistenti, il fabbisogno annuo di energia termica per il riscaldamento è dell'ordine dei 200 - 250 kWh/m^2. In tal caso l'apporto di energia da sistemi solari termici al riscaldamento diviene poco significativo.

Migliorando l'isolamento termico dell'edificio e portando la richiesta di energia termica annua per il riscaldamento a valori inferiori a 50 kWh/m^2, si ottengono consumi per il riscaldamento paragonabili a quelli per la produzione di acqua calda sanitaria e, quindi, l'energia solare può dare un contributo rilevante.

Per evitare di sovradimensionare l'impianto, è necessario imporre che sia possibile ottenere, tra i mesi di marzo e maggio, tutta l'acqua calda col solo impianto solare (senza, quindi, avere necessità di integrazione del sistema tradizionale di riscaldamento).

Ipotizzando una temperatura dell'acqua proveniente dalla rete idrica pari a 15 °C si può calcolare il quantitativo pro capite, Q, di energia termica necessaria alla produzione di tale quantitativo di acqua calda:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{G} \bullet \mathbf{c_s} \bullet (\mathbf{T_u} - \mathbf{T_a}) = 50 \text{ litri} \bullet 4{,}186 \text{ kJ/litro °C} \bullet 30 \text{ °C} = 6300 \text{ kJ} \approx 1{,}75 \text{ kWh}_{\text{termici}}$$

in cui:

G, massa d'acqua da scaldare (l)

$\mathbf{c_s}$, calore specifico dell'acqua (kJ/litro°C)

$\mathbf{T_u}$, temperatura di utilizzo, pari a 45°C

$\mathbf{T_a}$, temperatura acqua dell'acquedotto, pari a 15°C.

Per il dimensionamento di un impianto solare di integrazione a sistemi tradizionali per il riscaldamento dell'acqua delle piscine, che, come si è detto, è una applicazione particolarmente adatta al solare

termico a causa delle non elevate temperature in gioco, si ricorda che l'adozione di un telo di protezione (azzerando quasi le perdite per evaporazione nei periodi di non utilizzo della piscina) riduce del 60 - 70% il carico termico.

Per una determinazione della superficie captante necessaria si può procedere nel seguente modo semplificato (nell'ipotesi di piscine ad uso continuativo):

- Si determina il fabbisogno termico, Q (kWh), per il riscaldamento della piscina, calcolato nel mese di aprile;
- Si calcola l'insolazione, I (kWh/m^2), media mensile in aprile;
- Si valuta una efficienza media dell'impianto, η_m, in funzione della tipologia di collettori da installare;
- Si ricava la superficie A (m^2) da installare dalla formula: $A = Q/(I \bullet \eta_m)$.

In generale, si può dire che il rapporto tra la superficie dei collettori e quello dello specchio d'acqua deve essere intorno a 0,5.

Dimensionare il sistema solare termico in modo da poter integrare il sistema tradizionale per il riscaldamento ambientale, comporta un sovradimensionamento dell'impianto nei mesi estivi, cioè l'impianto sarebbe adeguato a produrre più energia termica di quanta effettivamente possa servire (c'è solo il consumo di ACS). Tale tipo di applicazione è, quindi, favorevole se si provvede all'installazione di un serbatoio ad accumulo stagionale o se sia richiesto un carico termico elevato anche nel periodo estivo (riscaldamento di acqua per piscine o climatizzazione estiva).

2.7 I costi

I costi di impianto

Generalmente il costo di un impianto solare termico "chiavi in mano" ovvero installazione e collaudo inclusi, è variabile tra 600 € a 1.000 € per ogni metro quadro di collettore installato, in funzioni sia della superficie (i costi per unità di superficie sono più alti per impianti di piccole dimensioni) e della tipologia di impianto o del collettore utilizzato

Nella tabella 15 sono riportati dei costi unitari medi di riferimento, ottenuti da indagine di mercato, per alcune tipologie di impianto.

Tipo di circolazione	Tipologia di collettori	Superficie totale dei collettori (m^2)	Volume del serbatoio (litri)	Costo* (€)	Costo per unità di superficie* (€/m^2)
Naturale	Piani	2	150	1.900	950
Naturale	Piani	4	300	3.000	750
Forzata	Piani	10	500	6.000	600
Forzata	Sottovuoto	5	200	5.000	1.000
Forzata	Sottovuoto	8	500	7.100	890
I costi sono da considerarsi IVA esclusa					

Tabella 3 -Costi di alcuni impianti presenti sul mercato (fonte ANEA)

I costi dell'unità di calore prodotto

Per determinare il costo dell'unità di energia termica prodotta dall'utilizzo di energia solare, si può considerare che un collettore solare dura all'incirca 20 anni e che, in questo periodo di tempo, produce 14.500 kWh di energia termica al metro quadro (considerando un irraggiamento medio pari a 1.800 kWh/m^2 anno).

Per produrre tale quantità di energia termica, è stato necessario sostenere una spesa iniziale media di 800 € per l'acquisto e l'installazione del collettore. Una unità di energia termica prodotta in tal modo costa, quindi, all'incirca 0,06 €/kWh, ovvero un prezzo inferiore a quello necessario alla produzione di 1 kWh termico con scaldacqua elettrico (circa 0,20 €/kWh) o tramite caldaia a metano (circa 0,075 €/kWh). Inoltre, va evidenziato che tale "tariffa solare" non è influenzata dagli incrementi del prezzo del petrolio.

Nel considerare l'impegno economico nell'utilizzo dell'impianto solare bisogna tenere conto anche dei costi legati alla manutenzione

dell'impianto, che si aggirano intorno a 100 € all'anno per impianti di piccola taglia.

2.8 Esempi di realizzazione

Luogo di installazione	Casa di riposo S. Rita (Villa del Bosco - Biella)
Agenzia locale responsabile	Agenbiella
Tipo di impianto	Circolazione forzata ad acqua con collettore solare
Tipologia di collettore	Piani vetrati
Applicazione	Produzione di acqua calda sanitaria (ACS)
Superficie collettore e volume del bollitore	30 m^2 e 1000 litri
Costo impianto	939 €/m^2
Peculiarità dell'impianto	Misuratore di energia termica per contabilizzare l'energia prodotta dall'impianto solare termico. È stato predisposto un capitolato per la vendita di energia termica con sistema del finanziamento tramite terzi.

Impianto solare a circolazione forzata per il riscaldamento dell'acqua per la piscina comunale di Molfetta (BA)

Impianto solare per il riscaldamento ambientale di una fabbrica sita in Airola (Benevento)

2.9 I benefici derivanti dall'utilizzo del solare termico

Per la valutazione dei vantaggi energetici, ambientali ed economici, si considera il caso di un impianto solare per produzione di ACS ad uso domestico, con le seguenti ipotesi:

1. Consumo di ACS: 50 l/persona;
2. Incremento della temperatura dell'acqua rispetto a quella di rete: 30°C;
3. Numero di componenti della famiglia: 4;
4. Rendimento del boiler elettrico: 90%;

5. Rendimento della caldaia autonoma: 80%;

In tali ipotesi, l'energia termica richiesta per la produzione di acqua calda risulta di circa 1,74 kWh/giorno a persona, cioè pari a circa 2.600 kWh/anno per famiglia.

Tale consumo corrisponde a:

- 2.820 kWh di energia elettrica a famiglia (705 kWh/persona);
- 330 m^3 di gas metano (82 m^3/persona).

Risparmio energetico

L'utilizzo del solare termico permette di ottenere risparmi di energia, legati al ridotto utilizzo del sistema tradizionale comunque presente e al grado di integrazione tra i due impianti. Si può ipotizzare che tale integrazione sia compresa tra il 60 e il 70%, in funzione della zona climatica in cui l'impianto è installato.

Con queste ipotesi, i risparmi medi di energia elettrica e gas metano ottenibili sono riportati nella tabella 16:

		Scaldacqua elettrico		Caldaia autonoma a metano	
Zona climatica di riferimento	**Percentuale di integrazione del sistema tradizionale con il solare termico**	**Risparmio kWh/a a famiglia**	**Risparmio kWh/a a persona**	**Risparmio m^3/a di metano a famiglia**	**Risparmio m^3/a di metano a persona**
Nord	60	1.694	423	199	50
Centro	65	1.835	459	215	54
Sud	70	1.976	494	232	58

Tabella 4 -Energia risparmiata in un anno (fonte

Risparmi economici

Per la valutazione dei risparmi economici derivanti dalla integrazione dei sistemi tradizionali di produzione di ACS, si devono fare opportune ipotesi sulle tariffe dell'energia elettrica e del gas metano. I valori riportati nella tabella 17 sono stati ottenuti utilizzando una tariffa dell'energia elettrica pari a 0,18 €/kWh (famiglia con con-

sumi elevati di energia elettrica, per la presenza dello scaldacqua elettrico) e una tariffa del gas metano pari a 0,65 €/m^3.

		Scaldacqua elettrico		Caldaia autonoma a metano	
Zona climatica di riferimento	**Percentuale di integrazione del sistema tradizionale con il solare termico**	**Risparmio €/anno a famiglia**	**Risparmio €/anno a persona**	**Risparmio €/anno a famiglia**	**Risparmio €/anno a persona**
Nord	60 %	305	77	129	32
Centro	65 %	330	83	140	35
Sud	70 %	356	89	151	38

Tabella 5 - Risparmi economici annui (fonte

Se, quindi, l'impianto solare integra la caldaia per un 60÷70% il risparmio medio annuo si aggira intorno a € 250 ed in 6 ÷ 8 anni si ammortizza una spesa di € 1.500÷2.000, che generalmente è sufficiente per installare un sistema solare termico per la produzione di acqua calda sanitari al servizio di una famiglia di 4 persone (tenendo conto delle incentivazioni di cui al successivo paragrafo).

Vantaggi ambientali

L'utilizzo di un impianto solare termico consente, inoltre, di evitare l'immissione in atmosfera di gas inquinanti e dannosi per l'ambiente, tra cui l'anidride carbonica CO_2.

In Italia, per produrre un kWh di ACS con uno scaldabagno elettrico, le centrali termoelettriche emettono nell'atmosfera in media 0,58 kg di CO_2, uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra.

La combustione di un m^3 di metano determina, invece, l'immissione in atmosfera di circa 2 kg di CO_2.

Tenendo conto di ciò, nelle ipotesi prima menzionate, si evita di immettere in atmosfera i quantitativi indicati in tabella 6:

		Scaldacqua elettrico		Caldaia autonoma a metano	
Zona climatica di riferimento	**Percentuale di integrazione del sistema tradizionale con il solare termico**	**Kg/anno CO_2 evitati a famiglia**	**Kg/anno CO_2 evitati a persona**	**Kg/anno CO_2 evitati a famiglia**	**Kg/anno CO_2 evitati a persona**
Nord	60	982	246	245	61
Centro	65	1.064	266	266	66
Sud	70	1.146	287	286	72

Tabella 6 -Emissioni annue di CO_2 evitate (fonte

2.10 La gestione e la manutenzione degli impianti

Negli impianti solari a circolazione forzata è necessario far eseguire periodicamente la manutenzione ad imprese qualificate.

La pompa e la centralina di regolazione che regola il flusso del liquido nel circuito solare (o primario) devono essere sempre efficienti. Il blocco della circolazione, infatti, può provocare l'ebollizione del liquido primario con danni al pannello solare.

In caso di guasto alla centralina o di blocco della pompa, occorre coprire subito le superfici dei collettori e chiamare il tecnico. Anche in caso di prolungate assenze, è consigliabile coprire i pannelli.

Gli impianti solari a circolazione naturale sono meno soggetti a malfunzionamenti. Servono soltanto periodici controlli, che possono essere fatti direttamente dal proprietario, per verificare il corretto funzionamento dell'impianto.

Il circuito primario di un sistema solare, pur essendo sigillato, può avere perdite accidentali (difetti di caricamento, sfiati per sovrappressioni, allentamento dei giunti in ragione del gelo o del surriscaldamento, ecc.). In questi casi occorre rabboccare il liquido con miscela antigelo.

Il liquido antigelo andrebbe cambiato almeno una volta ogni 5 anni e almeno una volta all'anno bisogna pulire dalla polvere le superfici dei collettori solari.

Negli ultimi anni gli impianti solari si sono dimostrati affidabili e di norma necessitano solo di un minimo impegno di manutenzione. Tuttavia bisogna in ogni caso verificare di tanto in tanto il buon funzionamento dell'impianto.

Per la manutenzione e gestione dell'impianto solare esiste la possibilità di stipulare un contratto di Garanzia del Risultato Solare (GRS): è un contratto per il quale l'offerente si impegna verso il cliente committente a progettare, realizzare, consegnare e monitorare per la durata del contratto un impianto di produzione di acqua calda

sanitaria solare di cui garantisce e dimostra sul posto la capacità di assicurare una produzione energetica annuale minima d'origine solare durante un certo periodo di tempo.

In tabella 7 viene riportato un protocollo tipo di verifica in cui sono elencate le principali voci da controllare per eseguire una adeguata manutenzione degli impianti:

VOCE	VALUTAZIONE
Circuito del collettore	
Pressione di esercizio dell'impianto .....bar a .....°C di temperatura di mandata	
Verifica tenuta del circuito dei collettori	
Verifica valvola di sicurezza	
Antigelo verificato fino a - .....°C	
valore pH del fluido termovettore	
Sfiatamento circuito collettori	
Verificato flusso ..... l/h	
Valvola di non ritorno funzionante	
Pulizia filtro (se esiste)	
Collettori solari	
Verifica a vista dei collettori	
Pulizia dei collettori, se necessaria	
Verifica a vista dell'ancoraggio dei collettori	
Verifica a vista dell'impermeabilità del tetto	
Verifica a vista della coibentazione	
Serbatoio di accumulo	
Corrente di protezione dell'anodo anticorrosione .....mA	
Luce di controllo dell'anodo anticorrosione verde	
Centralina di regolazione	
Verifica funzionamento della pompa nelle posizioni On/Off/Automatico	
Verifica dei display di tutti i sensori della temperatura	
Temperatura nominale desiderata nella parte di serbatoio a disposizione	
Verifica del funzionamento del miscelatore dell'acqua sanitaria	
Contatore di calore/Controllo di funzionamento	
Produzione del circuito solare ..... kWh dal ..... al	
Numero di ore di esercizio ..... h dal ..... al	
Note	

Tabella 7 -Protocollo di manutenzione (fonte

3 IL SOLARE FOTOVOLTAICO

3.1 Cos'è e a cosa serve un sistema fotovoltaico

L'effetto fotovoltaico (FOTOVOLTAICI) è noto fin dal secolo scorso, quando si scoprì che era possibile trasformare direttamente

l'energia solare in energia elettrica tramite una cella elettrolitica senza passare per processi termodinamici. La prima applicazione commerciale si ebbe nel 1954 negli Stati Uniti, quando i laboratori Bell realizzarono la prima cella fotovoltaica utilizzando il silicio monocristallino.

3.2 Quali sono i componenti principali dell'impianto fotovoltaico

Un impianto fotovoltaico è un sistema per la produzione di energia elettrica da energia solare composto da diversi componenti, di seguito descritti.

Celle

La cella è il componente base dei sistemi fotovoltaici, un dispositivo costituito da una sottile fetta (wafer) di materiale semiconduttore, in genere silicio, opportunamente trattata per migliorarne le caratteristiche di conduttività.

Essa, generalmente di forma quadrata, ha una superficie compresa tra 100 e 225 cm^2 e produce, in condizioni standard (irraggiamento di 1 kW/m^2 , temperatura di 25°C), una corrente compresa tra i 3 e i 4 A e una tensione di circa 0,5 V, con una potenza corrispondente di 1,5 - 2 Wp.

Poiché la potenza di una cella fotovoltaica varia al variare della sua temperatura e della radiazione, per poter fare dei confronti sono state definite delle condizioni standard di riferimento, che sono alla base del "Watt di piccoW (Wp), relativo alla potenza fornita dalla cella alla temperatura di 25°C sotto una radiazione di potenza per unità di superficie pari a 1.000 W/m^2.

L'energia effettivamente utilizzabile dipende dalle caratteristiche del materiale di cui è costituita la cella: *l'efficienza di conversione* (percentuale di energia contenuta nelle radiazioni solari che viene trasformata in energia elettrica disponibile ai morsetti) per celle commerciali al silicio è, in genere, compresa tra il 7 - 10 % per le

celle al silicio amorfo e il 12 - 16 % per le celle a silicio monocristallino, mentre realizzazioni speciali di laboratorio hanno raggiunto valori del 32,5 % (celle con semiconduttori all'arsenuro di gallio, GaAs).

La figura 21 mostra come l'efficienza delle celle è legata, oltre che al materiale di base (silicio amorfo, policristallino o monocristallino) anche alla temperatura della cella: l'efficienza più elevata si ha per le temperature più basse.

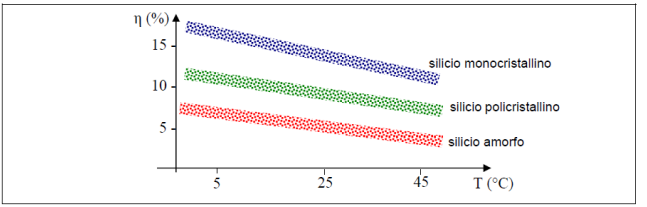

fig. 10 Curve di efficienza a confronto (fonte

Un insieme di celle costituisce i moduli fotovoltaici, che possono avere dimensioni diverse: i più diffusi sono costituiti da 36 celle collegate in serie, con una superficie che varia tra 0,5 e 1,3 m^2; più moduli sono poi collegati in parallelo.

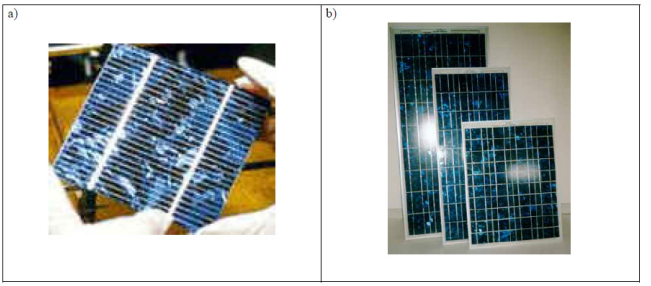

fig. 11 Cella fotovoltaici in silicio policristallino e b) Alcuni moduli fotovoltaici (fonte

Le celle sono assemblate tra uno strato superiore di vetro ed uno strato inferiore che può essere sia di vetro sia di materiale plastico (Tedlar o Noet). Il semilavorato così preparato è posto in un forno ad alta temperatura, sotto vuoto spinto. Il risultato è un blocco unico laminato in cui le celle sono annegate nel materiale plastico fuso. A questo punto i moduli vengono incorniciati, generalmente in alluminio, in modo da conferire adeguata resistenza meccanica, durata negli anni e limitare eventuali infiltrazioni di umidità.

Più celle collegate insieme formano una serie, più serie un pannello, mentre un insieme di pannelli o moduli collegati in serie formano una stringa. Le stringhe collegate in serie e/o in parallelo costituiscono il generatore fotovoltaico di determinata potenza.

L'efficienza dei moduli diminuisce di circa l'1% all'anno, ma molte case produttrici garantiscono che l'efficienza resta superiore all'80% di quella iniziale per oltre 25 anni.

Nel grafico 4 è riportata la massa di moduli fotovoltaici di diverse potenze. Come si vede, in prima approssimazione, si può affermare che il valore in kg della massa dei moduli è circa un decimo del valore della potenza espressa in Wp.

Tale indicazione è utile per valutare i carichi agenti sulla struttura di supporto dei moduli: ad esempio, un impianto con 10 moduli da 100 Wp (1 kWp complessivi), comporta una massa di 100 kg, distribuiti su una superficie di circa 10 m^2.

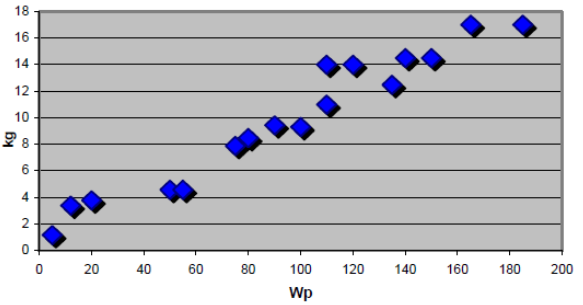

Grafico 4 - Massa (kg) dei moduli fotovoltaici in funzione della potenza (Wp)

Gli inverter

Un generatore fotovoltaico produce elettricità sotto forma di corrente continua (CC), dovendola immettere in rete o qualora si debbano alimentare i normali apparecchi domestici, che funzionano con corrente alternata (AC), è necessario introdurre nel sistema un dispositivo elettronico, detto inverter, che provvede alla conversione da CC a AC.

L'inverter è un elemento essenziale negli impianti collegati alla rete elettrica, ma può non esserci se il sistema è isolato (in tal caso tutte le apparecchiature presenti dovranno funzionare in corrente continua).

fig. 12 Alcuni modelli di inverter

Le batterie di accumulo

L'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico, essendo legata alla presenza della luce solare, non è costante né programmabile; inoltre l'utilizzo di energia non è necessariamente contemporaneo alla produzione. Quando l'utenza è isolata, cioè il collegamento alla rete di distribuzione di energia elettrica non esiste, è necessario prevedere la presenza di una batteria di accumulo, dimensionata in modo da garantire una sufficiente autonomia per i

periodi in cui il sistema fotovoltaico non produce corrente. La tecnologia attuale permette di avere a disposizione batterie di lunga vita (oltre i 5 anni), con esigenze di manutenzione quasi nulle. Per preservare la batteria da un eccesso di carica (dovuto al generatore fotovoltaico) e ad un eccesso di scarica (dovuto ad una forte richiesta dell'utenza) è necessario installare anche un regolatore di carica. La tipologia di accumulatori elettrici maggiormente utilizzata è quella delle batterie al piombo acido (analoghe, in linea di principio, a quelle utilizzate per applicazioni automobilistiche). Tali batterie, però, non sono indicate per erogare basse correnti per un numero elevato di ore (carico tipico servito da un impianto stand-alone). Sono state sviluppate, quindi, le cosiddette batterie al piombo acido ad uso "solare" o "stazionarie.

Contatori di energia elettrica

In generale, gli impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica, devono presentare dei contatori di energia elettrica opportunamente predisposti.

Con delibera 224/00 dell'AEEG, si è stabilito che gli impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica di distribuzione di energia elettrica, con potenza nominale non superiore a 20 kW, possono accedere ad un meccanismo di "scambio sul posto" di energia elettrica con il Distributore di energia. Tale meccanismo (net-metering) permette l'utilizzo dell'energia da parte dell'utenza e la cessione alla rete elettrica locale dell'energia in esubero rispetto alle necessità istantanee dell'utenza stessa (eccedenze), che vengono poi scontate dalle bollette successive.

Per potenze comprese tra 20 e 1.000 kWp è, invece, prevista la vendita delle eccedenze alla rete locale, secondo quanto regolamentato dalla Delibera n. 34/05 del 23 febbraio 2005 (pubblicata sulla G.U. n. 61 del 15.03.2005),

Lo strumento di misura, utilizzato per misurare tali eccedenze, è il meter ed è installato al fianco ("in serie") al contatore esistente presso tutte le utenze.

Recentemente, con l'introduzione del sistema di incentivazione in "conto energia" (da cumulare con i precedenti) per i nuovi impianti fotovoltaici, con potenza nominale non superiore a 1.000 kW, entrato in vigore a settembre 2005 con la Delibera AEEG n.188/05, si prevede l'installazione (da parte del distributore locale di energia elettrica) di un ulteriore contatore fiscale a valle dell'inverter. È così misurata tutta l'energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico (e non solo quella immessa in rete) sulla quale si calcolerà l'incentivo del "conto energia".

3.3 Tipologie di impianti

I sistemi fotovoltaici si classificano fondamentalmente in sistemi isolati (stand-alone) e sistemi connessi alla rete (grid-connected).

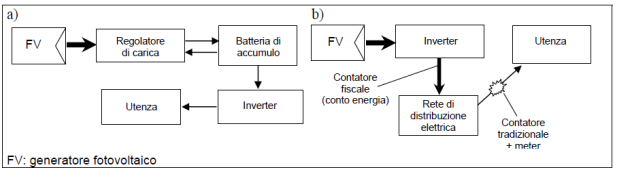

fig. 13 Schema a blocchi di un impianto a) stand-alone e b) grid-connected

Nel primo caso l'energia prodotta in eccesso rispetto alla richiesta dell'utenza viene accumulata in apposite batterie. L'impianto fotovoltaico non è connesso alla rete e può essere integrato con altri sistemi di generazione come, ad esempio, gruppi elettrogeni o generatori eolici. I sistemi stand-alone costituiscono una valida soluzione quando, per ragioni logistiche, paesaggistiche o economiche, non sia vantaggioso o praticabile il collegamento alla rete di distribuzione dell'energia elettrica.

I sistemi fotovoltaici connessi in rete, invece, riversano l'energia prodotta nella rete elettrica cui sono allacciati. Gli impianti fotovoltaici connessi alla rete possono essere suddivisi anche in base al tipo di installazione: si può avere, infatti, l'installazione in retrofit o in integrazione.

Nel primo caso i moduli sono "appoggiati" sull'edificio e sistemati su apposite strutture di sostegno che permettono di inclinare i moduli dell'angolo desiderato rispetto ad una superficie piana: è un sistema conveniente quando si opera con un edificio o un'abitazione esistente per i quali non sono previsti interventi significativi di ristrutturazione.

Nel secondo caso (impianti ad integrazione), invece, i moduli sono parte integrante dell'edificio (tetto o facciata), direttamente installati a filo di tegola o della parete verticale; rappresentano la migliore soluzione nel caso di nuova costruzione o di ristrutturazione dell'involucro abitativo.

3.4 Le applicazioni e i possibili sviluppi tecnologici

Il primo oggetto in grado di funzionare grazie al fotovoltaico è stato il satellite Vanguard, lanciato nel 1958 dalla base di Cape Canaveral. Tale applicazione spaziale del fotovoltaico è stata scelta in quanto un generatore fotovoltaico presenta un rapporto molto favorevole fra energia prodotta e massa.

Naturalmente per una applicazione spaziale la riduzione della massa ha una importanza cruciale, tanto da giustificare il maggior costo della sorgente di energia.

Un modulo fotovoltaico commerciale della potenza nominale di 100 W ha una massa di circa 10 kg e, se installato sulla terra in un sito a clima mediterraneo, è in grado di erogare una energia elettrica 110÷150 kWh in un anno; quindi nelle condizioni peggiori il rapporto energia/massa = 11 kWh/kg.

Nel caso poi di un modulo fotovoltaico utilizzato nello spazio, la stima di energia prodotta è ancora più vantaggiosa, per la assenza di nuvole.

Per gli impianti connessi in rete, attualmente, la grande versatilità di un generatore fotovoltaico rende possibili molteplici soluzioni in termini di installazione. Possono, infatti, sostituire elementi architettonici tradizionali, quali il tetto, le facciate, le vetrate, le verande, gli elementi frangisole. I moduli, inoltre, possono essere inseriti come elementi strutturali in elementi di arredo urbano come le pensiline alle fermate degli autobus, le coperture di parcheggio o le barriere anti-rumore.

Nel caso di sistemi fotovoltaici isolati le applicazioni più diffuse sono le seguenti:

- Nei Paesi in via di sviluppo, dove il fotovoltaico è particolarmente competitivo rispetto ai sistemi convenzionali, in quanto il trasporto in loco del poco combustibile è difficile e costoso;
- In sistemi mobili come caravan, imbarcazioni, ecc.;
- In rifugi di montagna e villaggi rurali;
- Per apparecchi telefonici di soccorso, boe, parcometri, lampioni stradali, centraline per il rilievo di dati meteorologici, ecc.;
- Per il pompaggio dell'acqua per l'irrigazione dei terreni coltivati;
- Per apparecchi di refrigerazione specie per il trasporto dei medicinali.

Alcuni impianti fotovoltaici (impianti ad inseguimento) hanno la caratteristica di avere le superfici dei moduli inclinabili progressivamente, attraverso un sistema elettrico o termoidraulico, per

mantenere una corretta inclinazione rispetto ai raggi solari. Ciò determina un incremento della producibilità dell'impianto, che, tuttavia, spesso non giustifica l'aumento di costo per ottenere tale prestazione.

La Commissione Europea ha come obiettivo, col finanziamento di progetti per lo sviluppo del settore, di produrre moduli di efficienza pari al 17% con silicio a basso costo.

I possibili sviluppi del settore fotovoltaico sono legati anche alle ricerche nel campo di nuovi materiali da utilizzare al posto del silicio. In particolare alcuni ricercatori stanno sviluppando una cella fotovoltaica a base di vernici organiche, che permetterebbero di avere un costo per unità di energia prodotta pari a circa la metà di quello delle celle al silicio e una ampia possibilità di applicazione sulle più svariate superfici.

3.5 Esempi di realizzazione

Luogo di installazione	Palazzetto dello Sport Palapiacco , Vercelli
Nome dell'agenzia locale responsabile	A.P.E.V.V. – Agenzia Provinciale per l'Energia del Vercellese e della Valsesia
Tipo di impianto	Grid-connected
Tipo di moduli	Silicio policristallino
Superficie e potenza installata	160 m^2 e 19.7 kW
Applicazione	Produzione di energia per il palazzetto
Peculiarità dell'impianto	L'impianto è stato finanziato per il 70% dal Programma 10.000 Tetti Fotovoltaici. L'impianto è soggetto a monitoraggio da parte di A.P.E.V.V..

Luogo di installazione	Ridracoli (Forlì-Cesena).
Nome dell'agenzia locale responsabile	**AGESS** – Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile della Provincia di Forlì-Cesena.
Tipo di impianto	Grid-connected
Tipo di moduli	30 moduli in silicio amorfo a tripla La potenza del singolo modulo è di 116 kwatt a norme STC
Superficie e potenza installata	60 m^2 ca. e 3.480 Wp
Applicazione	Alimentazione dell'area sosta dei camper presso l'idromuseo di Ridracoli (Provincia di Forlì-Cesena)
Peculiarità dell'impianto	L'impianto è sito in prossimità della Diga di Ridracoli e dell'adiacente Idromuseo; un percorso didattico illustra il funzionamento della tecnologia solare e di altre fonti rinnovabili a beneficio di turisti e scolaresche.

Luogo di installazione	Plesso scolastico "Vico Lepre ai Ventaglieri", Napoli
Nome dell'agenzia locale responsabile	**ANEA** – Agenzia Napoletana Energia e Ambiente
Tipo di impianto	Grid-connected
Tipo di moduli	44 moduli in silicio policristallino
Potenza impianto	La potenza massima dell'impianto è di 2.200 watt.
Peculiarità dell'impianto	E' il primo impianto FOTOVOLTAICI grid-connected realizzato a Napoli. La perfetta integrazione architettonica dell'impianto nella struttura edilizia lo rende ancora più singolare in quanto svolge una funzione di "frangisole"

3.6 Come dimensionare l'impianto fotovoltaico

Quale potenza installare

Un dimensionamento di massima di un sistema FV può essere fatto a partire da un valore di soleggiamento, detto "ore di generazione equivalente" o, più semplicemente, "ore sole equivalenti, h_{eq}". Le h_{eq} sono definite come il numero di ore di funzionamento nelle quali i moduli produrrebbero energia elettrica al valore di massima potenza (valore di picco). In pratica un impianto da 1 kWp produrrebbe una quantità di energia (espressa in kWh) uguale, numericamente, ad h_{eq}.

La valutazione dell'energia fornita dall'impianto deve, però, tenere conto di alcune perdite, in parte dovute all'accoppiamento elettrico dei moduli e stringhe, alle perdite per riscaldamento e sporcizia sui moduli, alle perdite per condizioni di radiazioni non ideali e al condizionamento della potenza (nell'inverter).

Allo stato attuale della tecnologia, per moduli standard e nelle condizioni geo-climatiche medie dell'Italia, si può in prima approssimazione assumere che tali perdite siano, complessivamente, dell'ordine del 20-25%, ovvero l'efficienza ρ del sistema è di circa 75-80%.

In definitiva l'energia E_{FV} producibile da un impianto FV di potenza nominale P è, dunque:

$$E_{FV} = h_{eq} \bullet P \bullet \rho$$

Per determinare la potenza P di un impianto FV da installare al servizio di un'utenza tipo, connessa alla rete elettrica (ad esempio una famiglia), occorre imporre che il consumo medio annuo E di energia elettrica sia pari all'energia producibile dall'impianto $E_{FV.}$

Rilevazioni statistiche dei consumi di una famiglia italiana di composizione tipica, cioè costituita da tre - quattro persone, hanno valutato in circa 2.500 kWh il consumo medio annuo E di energia elettrica. Orientativamente, quindi, si ha il seguente dimensionamento per 3 diverse zone d'Italia:

	Nord	Centro	Sud
Ore sole equivalenti (valori medi), h_{eq}/anno	1.282	1.567	1.852
Potenza P da installare: $E/(h_{eq} \bullet \rho)$ (kW)	2,43	2,00	1,69
Nota: *I valori di ore sole equivalenti annue, h_{eq}/anno, dei capoluoghi di provincia italiani sono stati ricavati dalla Scheda Tecnica n. 7 - Impiego di impianti fotovoltaici di potenza inferiore a 20 kW, allegata alla Delibera n. 111/04 dell'AEEG, per la quantificazione dei risparmi di energia primaria relativi agli interventi previsti dai Decreti Ministeriali 20 luglio 2004.*			

Tabella 9 - Dimensionamento impianto fotovoltaico: moduli correttamente posizionati, consumo medio E di 2.500 kWh/anno e efficienza del sistema ρ = 0,80

Supponendo di scegliere pannelli fotovoltaici con potenza pari a 175 Wp, tensione massima (a -10°C) a circuito aperto pari a 38 V e corrente di corto circuito di 5 A, si potranno installare (ad esempio per un impianto al centro Italia) 2.000/175 = 12 moduli; è possibile ipotizzare di realizzare 2 stringhe in parallelo, ognuna costituita da 6 moduli posti in serie, che determinano una tensione massima in uscita di 6 • 38 = 228 V e una corrente massima in uscita di 2 • 5 = 10 A.

Tali valori devono essere utilizzati per la scelta dell'inverter.

Negli impianti "stand-alone", invece, occorre tener presente che, non essendo disponibile la rete elettrica, il sistema deve garantire, anche nei mesi di minor irraggiamento, il soddisfacimento dell'utenza elettrica. Di conseguenza è necessario dimensionare l'impianto in modo che, nei mesi invernali, si ottenga l'opportuna quantità di energia.

Bisogna, inoltre, considerare che la presenza della batteria di accumulo determina una ulteriore riduzione dell'efficienza complessiva ρ del sistema, che risulta in questi casi all'incirca 65 - 75%.

La batteria deve essere dimensionata tenendo conto di alcuni aspetti importanti:

- garantire, nei giorni di assenza di sole (NSD, No Solar Days) l'alimentazione dei carichi: stabilendo dei valori elevati per i NSD si hanno batterie con maggiori capacità, ma più costose. Un valore di compromesso, alle latitudini italiane, può essere NSD = 3 - 5 giorni;
- evitare problemi legati all'eccessiva scarica tenendo conto che la capacità disponibile della batteria è solo una percentuale CD (non superiore all'80%) della capacità nominale;
- il processo di carica e scarica degli accumulatori ad uso solare è caratterizzato da un'efficienza R_{cs} compresa tra 70 e 95%;
- la tensione nominale T della batteria deve essere scelta tra i valori standard tipici, ad esempio 12, 24 o 48 V.

I parametri da ricavare per eseguire un dimensionamento di massima di un generatore FV "stand alone" e della batterie sono quelli riportati nella tabella seguente (a lato sono riportati i valori di esempio nel caso di un impianto di illuminazione esterno di potenza pari a 1 kW funzionante per 8 ore al giorno in località del centro Italia):

	Parametri	Valori da esempio
1	Consumo giornaliero medio, C_m, di energia elettrica dell'utenza	8 kWh/giorno
2	Irraggiamento medio giornaliero, E_g, nel mese più sfavorito	2,5 kWh/m^{2}giorno (dicembre)
	Per il dimensionamento dei moduli	
3	Efficienza dei moduli fotovoltaici, η	14%
4	Efficienza del sistema, ρ	70%
5	Superficie dei moduli: $S = C_m/(E_g \cdot \eta \cdot \rho)$	32 m^2
6	Potenza dell'impianto: $P_p = S \cdot \eta$	4,5 kW$_p$
	Per il dimensionamento della batteria	
7	Giorni di assenza di sole per i quali garantire il soddisfacimento del carico, NSD	3
8	Massimo livello di scarica della batteria, CD	80%
9	Efficienza del processo di carica e scarica della batteria, R_{cs}	80%
11	Energia fornita dalla batteria: $E_b = C_m \cdot NSD \cdot 1.000/(CD \cdot R_{cs})$	37.500 Wh
10	Tensione nominale della batteria, T	24 V
11	Capacità della batteria: $C = E_b/T$	1.570 Ah

Tabella 10 - Parametri per il dimensionamento di massima di un impianto fotovoltaico stand - alone

Qual superficie impegnare

La potenza solare totale, P_{in}, che incide su una superficie S è pari a 1 [kW/m^2] • S [m^2]. Se la potenza elettrica prodotta dal generatore fotovoltaico, P_{out}, è 1 kW, l'efficienza η del generatore di superficie S è:

$$\eta = P_{out}/P_{in} = 1\ [kW]/(1[kW/m^2] \bullet S[m^2])\ \text{e, quindi, } S = 1/\eta$$

Dato che η è circa 0,1 si ha che S è circa 10 m^2. Il valore di S, ovviamente, è tanto minore quanto maggiore è l'efficienza dei moduli costituenti il generatore.

La superficie da impegnare (terreno, tetto, ...) è, in realtà, maggiore di quella dei moduli, perché bisogna tenere in conto gli spazi necessari tra i moduli per consentire la manutenzione e per evitare l'ombreggiamento reciproco tra i moduli stessi. Si può, in prima approssimazione, affermare che la distanza tra due file di moduli deve essere almeno pari a 2 - 3 volte la distanza massima del modulo dal piano d'appoggio.

3.7 I costi

I costi di impianto

Un impianto FV richiede un discreto impegno di capitale iniziale, anche se successivamente le spese di gestione e manutenzione sono molto basse (circa 1% del costo iniziale).

L'analisi di tutti gli aspetti economici relativi all'impianto FV è assai complessa. In particolare ogni applicazione deve essere valutata nel suo specifico contesto, tenendo conto soprattutto dell'energia elettrica prodotta e della durata dell'impianto (stimata intorno ai 25 anni), delle difficoltà di collegamento alla rete elettrica, degli incentivi disponibili, ecc.

Per una indicazione di massima dei costi di un impianto FV, si può considerare che essi siano pari, per kWp installato, a:

- 6.000 - 7.500 € (IVA esclusa), per impianti connessi in rete
- 8.000 - 10.000 € (IVA esclusa) per impianti per utenze isolate

I costi dell'unità di energia elettrica

Nella maggiore parte dei casi un impianto FV ha un costo per kWh prodotto superiore al costo del kWh acquistato dalla rete (circa 0,18 €/kWh): infatti, riprendendo l'esempio visto nel paragrafo sul dimensionamento, per un impianto FV da un 1 kWp del costo di 8.000 € (IVA inclusa), per i 25 anni di vita utile stimata dell'impianto, si ha quanto riportato nella seguente tabella:

	Nord	Centro	Sud
Irraggiamento (kWh/m²anno)	1.282	1.567	1.852
Energia prodotta annualmente dall'impianto (kWh)	1.025	1.254	1.482
Energia prodotta dall'impianto in 25 anni (kWh)	22.294	27.275	32.234
Costo unitario dell'energia (€/kWh)	0,36	0,29	0,25

Tabella 11 - Costi dell'unità di energia prodotta da un impianto fotovoltaico: potenza installata pari a 1 kW, moduli correttamente posizionati e efficienza del sistema ρ = 0,80

Considerando che i costi unitari calcolati sono superiori alla tariffa media dell'energia sul territorio nazionale, ne consegue che la convenienza all'installazione di un impianto fotovoltaico dipende fortemente dall'incentivazione pubblica.

La speranza per un maggiore abbattimento dei costi è riposta, oltre che sulla crescita della produzione su scala industriale, anche nelle nuove tecnologie in fase di sperimentazione; le più promettenti sono quelle relative allo sviluppo di celle polimeriche-organiche, che risultano di minor rendimento (maggior superficie necessaria), ma che presentano un costo del kWp installato molto inferiore.

3.8 I benefici derivanti dal solare fotovoltaico

Risparmio energetico

La quantità di energia prodotta da un generatore FV, come precedentemente detto, varia nel corso dell'anno e dipende da una serie di fattori.

A titolo indicativo alle latitudini dell'Italia centro meridionale, un metro quadrato di moduli può produrre quotidianamente, in media, 0,3 ÷ 0,4 kWh di energia elettrica al giorno nel periodo invernale e 0,6 ÷ 0,8 kWh di energia elettrica al giorno nel periodo estivo. L'energia generata dall'impianto FV corrisponde al risparmio di energia prodotta con fonte convenzionale.

Vantaggi economici

La valutazione dei risparmi economici e del recupero dell'investimento deve essere, necessariamente, effettuata tenendo conto del tipo di incentivazioni previste.

In taluni casi (utenze isolate, baite di montagna, …) l'investimento iniziale è già ammortizzato, poiché il costo per l'allacciamento elettrico alle rete di distribuzione dell'energia elettrica sarebbe superiore a quello dell'installazione di un impianto solare fotovoltaico.

Viene riportata nel seguito una valutazione di massima (nell'ipotesi di utilizzare in loco l'energia elettrica prodotta) del ritorno economico del capitale investito, con opportune ipotesi di base (riportate in tabella 14), per la realizzazione di tre impianti FV grid-connected con potenze diverse (2, 15 e 50 kW):

Caratteristiche dell'impianto	**Esempio 1**	**Esempio 2**	**Esempio 3**
Potenza impianto [kWp]	2	15	50
Grado di integrazione dell'impianto	Parzialmente integrato		
Efficienza complessiva ρ del sistema	0,80		
Vita utile dell'impianto [anni]	25		
Tariffa energia elettrica [€/kWh]	0,18 (settore residenziale)	0,14 (settore terziario o industriale)	
Tariffa incentivante (conto energia) [€/kWh]	0,44	0,42	0,40

Tabella 14 – Ipotesi di base per il calcolo del ritorno economico dell'investimento

Nei calcoli seguenti il tempo di ritorno dell'investimento (SPB, simple pay-back) è calcolato, in maniera semplice, come rapporto tra l'investimento iniziale e l'introito annuo. Tale procedura non è, tuttavia, corretta perché non si tiene conto né della variazione del costo del denaro nel tempo né degli oneri di manutenzione: per poter ottenere una valutazione più preciso del tempo di ritorno (TRA, tempo di ritorno attualizzato) è possibile entrare nella tabella 15 con il valore del SPB calcolato e ricavare il valore del TRA corrispondente:

SPB, in anni	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
TRA, in anni (con tasso di interesse reale al 5%)	**1**	**2,1**	**3,3**	**4,5**	**6,0**	**7,4**	**9,0**	**10,6**	**12,1**	**14,0**	**16,5**	**19,0**	**21,8**	**24,9**	**28,9**

Tabella 15 – Corrispondenza tra il SPB e TRA

	Città rappresentative di zone d'Italia		
	Milano	Roma	Trapani
Costo dell'impianto [€]	**15.000**		
Ore di sole equivalenti [h_{eq}/anno]	1.282	1.567	1.852
Energia prodotta dall'impianto [kWh/anno]	2.051	2.507	2.963
Risparmio annuo da mancato utilizzo dell'energia della rete [€]	369	451	533
Contributo annuo dal conto energia [€]	903	1.103	1.304
Introito annuo complessivo [€]	**1.272**	**1.554**	**1.837**
Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	**11,8**	**9,6**	**8,2**

Tabella 16 - Esempio 1: Caso di impianto fotovoltaico da 2 kWp

	Città rappresentative di zone d'Italia		
	Milano	Roma	Trapani
Costo dell'impianto [€]	**100.000**		
Ore di sole equivalenti [h_{eq}/anno]	1.282	1.567	1.852
Energia prodotta dall'impianto [kWh/anno]	15.384	18.804	22.224
Risparmio annuo da mancato utilizzo dell'energia della rete [€]	2.154	2.633	3.111
Contributo annuo dal conto energia [€]	6.461	7.898	9.334
Introito annuo complessivo [€]	**8.615**	**10.530**	**12.445**
Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	**11,6**	**9,5**	**8,0**

Tabella 17 - Esempio 2: Caso di impianto fotovoltaico da 15 kWp

	Città rappresentative di zone d'Italia		
	Milano	Roma	Trapani
Costo dell'impianto [€]	**300.000**		
Ore di sole equivalenti [h_{eq}/anno]	1.282	1.567	1.852
Energia prodotta dall'impianto [kWh/anno]	51.280	62.680	74.080
Risparmio annuo da mancato utilizzo dell'energia della rete [€]	7.179	8.775	10.371
Contributo annuo dal conto energia [€]	20.512	25.072	29.632
Introito annuo complessivo [€]	**27.691**	**33.847**	**40.003**
Tempo di ritorno dell'investimento [anni]	**10,8**	**8,9**	**7,5**

Tabella 18 - Esempio 3: Caso di impianto fotovoltaico da 50 kWp

Vantaggi ambientali

I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di sistemi FV sono direttamente proporzionali alla quantità di energia prodotta.

Per produrre un kWh elettrico con centrali tradizionali viene, infatti, bruciato mediamente l'equivalente di 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili e, di conseguenza, vengono emessi nell'aria circa 0,58 kg di anidride carbonica (CO_2). In altre parole si può affermare quindi che ogni kWh prodotto dal sistema FV evita l'emissione in atmosfera di 0,58 kg di anidride carbonica.

Per meglio quantificare il beneficio che tale tecnologia ha per l'ambiente è opportuno riferirsi ad un esempio pratico. Si considerino degli impianti FV con una potenza di picco di 1 kWp installati sui tetti di abitazioni rispettivamente a Nord, Centro e Sud Italia (orientati a Sud con inclinazione di 30° rispetto al piano orizzontale). Per stimare l'emissione evitata nel tempo di vita dall'impianto FV è suf-

ficiente moltiplicare la quantità annua di anidride carbonica non emessa in atmosfera per i 25 anni di vita stimata degli impianti.

L'energia prodotta e l'emissione di anidride carbonica evitata in un anno da un impianto di potenza di picco pari ad 1 kW, con superficie dei moduli correttamente installate ed orientate, sono riportate nella tabella 19:

Zona d'Italia	Energia prodotta dall'impianto (kWh/anno)	Emissioni di CO_2 evitate (kg/anno)	Emissioni di CO_2 evitate (tonnellate) nella vita utile
Nord	1.025	595	14
Centro	1.254	727	17
Sud	1.482	860	20

Tabella 19 - Tabella dei benefici energetico-ambientali. Potenza installata pari a 1 kWp, moduli correttamente posizionati e efficienza del sistema ρ = 0,80

3.10 Gestione e manutenzione

Di norma, quando si realizza un impianto fotovoltaico, si posano i moduli ed in cascata segue un quadro di controllo, l'inverter, un'altro quadro e il contatore: il secondo quadro rappresenta il confine tra la rete propria e la rete del gestore.

In queste sezioni di impianto, elemento essenziale per il dimensionamento è sicuramente l'inverter, in quanto i moduli e i quadri sono dispositivi standard anche in dimensioni mentre l'inverter rappresenta una variabile sia in prestazioni che in dimensioni.

Statisticamente risulta che il componente più affidabile dell'impianto è il generatore e comunque i principali guasti che possono riguardarlo sono di scarsa rilevanza per lo più riferiti ai diodi di bypass o problemi riconducibili ai cavi elettrici per il tratto in corrente continua.

Invece il componente più soggetto ai guasti è l'inverter e le principali cause del malfunzionamento sono riconducibili a disturbi elettromagnetici o al guasto di qualche componente interno, per questo motivo nelle consegne trifasi a volte si preferisce utilizzare tre inverter monofase piuttosto che un singolo trifase.

Molti inverter hanno grado di protezione IP21: in tal caso, per il loro alloggiamento, sono da preferire luoghi riparati ed asciutti.

Il sistema fotovoltaico non richiede manutenzioni eccessiva, salvo una saltuaria pulizia, della superficie anteriore dei moduli. Questa pulizia serve per ripristinare la trasparenza originaria del vetro che può essere offuscata dalla polvere. Nel caso di sistemi isolati, non collegati quindi alla rete, la batteria di accumulo, se di tipo a piombo-acido non sigillata, deve avere un opportuno livello del liquido e quindi controllato una volta all'anno. Occorre anche mantenere una buona pulizia dei contatti tra i morsetti ed i capicorda dei cavi di collegamento, applicando periodicamente un velo di vaselina. La batteria va installata in luoghi sufficientemente ombreggiati e ventilati.

Bisogna, infine, controllare periodicamente che i cavi di collegamento fra il generatore fotovoltaico, la batteria ed il regolatore siano in perfetto stato.

EPIQ S.r.l.
mail info.epiq@gmail.com; cell. +39 335 7616360
Via Soella n.21 36066 Sandrigo (VI) - Italia