



**RIPARTIZIONE
ACQUA
ED ENERGIA**

UFFICIO RISPARMIO ENERGETICO

Il futuro all'insegna dell'energia solare



- **Perchè energia solare**
- **L'offerta solare**
- **Le possibilità dell'uso diretto dell'energia solare**
- **L'uso indiretto dell'energia solare**
- **Possibilità e limiti dell'energia solare**



Provincia
Autonoma
Bolzano
Alto Adige

Sommario

1. Introduzione	p. 4
2. L'offerta solare	p. 6
L'insolazione sulla terra	p. 7
L'insolazione nella nostra regione	p. 9
3. Le possibilità dell'uso diretto dell'energia solare	p. 10
L'uso diretto dell'energia solare	p. 11
L'uso termico dell'energia solare	p. 11
Riscaldamento dell'acqua sanitaria	p. 11
L'uso dell'energia solare per l'integrazione del riscaldamento	p. 15
L'uso dell'energia solare per il condizionamento estivo	p. 16
L'uso passivo dell'energia solare nell'edilizia - l'architettura bioclimatica	p. 17
La produzione di corrente elettrica con energia solare	p. 22
Celle fotovoltaiche	p. 22
Tipi di celle solari e le loro applicazioni	p. 22
La tecnica dell'idrogeno	p. 25
Centrali termoelettriche ad energia solare	p. 27
Centrale a riflettori parabolici	p. 28
Centrale a torre	p. 28
Il motore Stirling	p. 29
Centrale a corrente ascendente	p. 30
4. L'uso indiretto dell'energia solare	p. 32
L'energia idrica	p. 33
Circuito dell'acqua e l'uso nelle centrali idriche	p. 33
Biomasse	p. 35
Il ciclo delle biomasse	p. 35
L'uso di legno e paglia	p. 37
Biogas	p. 37
Energia eolica	p. 38
I tipi di centrali eoliche	p. 39
Possibilità e limiti nella nostra regione	p. 40
5. Possibilità e limiti dell'energia solare	p. 41
L'energia solare: un'energia inesauribile, ma "diluita"	p. 42
L'accumulo di energia	p. 43
Stato attuale e prospettive per l'avvenire	p. 43

Impressum:

Ufficio risparmio energetico della

Provincia Autonoma di Bolzano/Alto Adige

Responsabile per il contenuto:

Dott. Ing. Norbert Klammsteiner

Elaborazione grafica:

Studio Creation Vipiteno



L'energia del sole arriva sulla terra gratis. Nessuna emissione tossica, nessun irraggiamento radioattivo.

L'energia solare può essere sfruttata in diversi modi: per riscaldare l'acqua ad uso domestico, per integrare il riscaldamento domestico e per produrre energia elettrica nelle centrali fotovoltaiche e solari. Se poi consideriamo anche le forme di energia solare indirette, ci rendiamo conto dell'ampiezza delle possibilità di sfruttamento dell'energia solare.

Il nostro scopo dev'essere quello di adoperarci al massimo per rendere accessibile all'intera popolazione questa fonte energetica rispettosa dell'ambiente che, se sfruttata opportunamente, rinchiude un enorme potenziale. In Alto Adige abbiamo delle buone premesse sia climatiche che di irraggiamento per ottenere ottimi risultati dall'installazione degli impianti solari.

Allora prepariamoci ad un futuro solare!

L'Assessore

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Michl Laimer'. The signature is fluid and cursive.

Dott. Michl Laimer

Il futuro all'insegna dell'energia solare

1. Introduzione

Per poter dare una risposta esauriente a questa domanda, è meglio chiedersi innanzi tutto "Perché energia"?

Per molti millenni all'uomo bastava l'energia che gli forniva il proprio corpo e che rigenerava tramite l'alimentazione. Col passare del tempo egli riuscì a utilizzare l'energia del fuoco. Quest'ulteriore fonte energetica gli sarebbe bastata poi per un altro lunghissimo periodo. Le grandi culture però, che si svilupparono nel tempo, come quella degli egiziani o dei romani, si resero ben presto conto che per realizzare imponenti progetti e per raggiungere un alto tenore di vita, tra l'altro, erano necessari ingenti quantitativi di energia. A quei tempi, il grande fabbisogno energetico venne soddisfatto grazie all'impiego massiccio di schiavi. Paragonando al giorno d'oggi il consumo energetico pro capite medio nei paesi industrializzati moderni con il rendimento di un operaio in buona salute, si deve constatare che ogni abitante consuma in media 70 volte l'energia che egli stesso sarebbe in grado di produrre prestando pesanti lavori manuali. Ciò significa che oggi ogni abitante avrebbe bisogno di 70 "schiavi" per appagare il suo fabbisogno energetico.

Sebbene la massima "la fonte energetica migliore è il risparmio" sia senz'altro molto saggia e ci sia ancora molto da fare in questo campo, nessuno mette in dubbio il fatto che nonostante una riduzione drastica del consumo energetico nei paesi industrializzati, ogni persona necessita di una quantità di energia assai superiore a quella che essa sarebbe in grado di produrre.

Da questa riflessione si può trarre la conclusione quasi banale che per poter garantire la sopravvivenza della civiltà umana si ha bisogno di quantitativi di energia molto elevati.

Visto che l'approvvigionamento energetico della terra continua a basarsi in gran parte sullo sfruttamento di risorse fossili come il petrolio e il gas naturale, in un prossimo futuro si devono trovare, sperimentare e realizzare delle fonti energetiche

integrative e alternative a quelle tradizionali. La fusione nucleare può essere una tale alternativa (in quanto può essere impiegata "in alternativa" ai combustibili fossili utilizzati attualmente per la produzione di energia elettrica). Già oggi essa contribuisce in maniera sostanziosa all'approvvigionamento energetico mondiale, e questo contributo è destinato, per lo meno nel prossimo futuro, ad aumentare ulteriormente. Ma i problemi inerenti all'impiego pacifico della fissione nucleare, in parte ancora irrisolti, si conoscevano già prima dell'incidente di Cernobyl.

La fusione nucleare, quel processo che nel sole è responsabile dell'enorme produzione energetica, è indubbiamente un fenomeno che in futuro potrà sopperire parzialmente alle esigenze energetiche della terra.

Fino ad oggi si è però riusciti soltanto a dimostrarne la fattibilità fisica sulla terra. Inoltre anche questo metodo di produzione energetica, che sulla terra è ancora ipotetico, comporta il problema della radioattività, anche se in misura molto minore della fissione nucleare. L'unica fonte energetica veramente "pulita", non nociva per l'uomo e l'ambiente, è il sole. Una delle più grandi sfide dei prossimi anni sarà quindi impiegare l'energia solare in maniera sempre più massiccia, non soltanto come integrazione, bensì in sostituzione (come vera "alternativa") delle fonti energetiche tradizionali, soprattutto quelle fossili. È di enorme importanza investire in questo progetto tutte le nostre risorse scientifiche, tecnologiche e finanziarie. Tutti dobbiamo renderci conto che l'utilizzo dell'energia solare è una necessità, adesso si tratta di metterla in pratica.

Il futuro all'insegna dell'energia solare

2. L'offerta solare

L'insolazione sulla terra

L'energia raggiante che dal sole arriva sulla terra e che colpisce l'atmosfera terrestre ammonta in media a 1.353 watt/m^2 su una superficie posizionata in senso verticale ai raggi del sole. Questo valore è abbastanza stabile nel tempo e viene anche definito come "costante solare". L'atmosfera terrestre e le sostanze in essa contenute (aria, ozono, vapore acqueo, polvere e altri componenti) assorbono e riflettono una parte dell'energia, in modo che sulla superficie terrestre arrivano ancora due terzi dell'energia raggiante. In una giornata limpida, una superficie orizzontale è colpita da circa 1000 watt/m^2 , quando il sole ha raggiunto il punto più alto. Se questa quantità di energia è messa in relazione all'intera superficie terrestre volta verso il sole (una superficie circolare con un diametro di quasi 14.000 km), nel corso di un anno si ottiene un'enorme quantità di energia pari a 10^{18} kWh . Essa corrisponde all'incirca a 13.000 volte l'energia consumata nell'arco di un anno in tutto il mondo. L'uso dell'energia solare è però limitato da alcuni fattori che in seguito spiegheremo in modo più dettagliato.

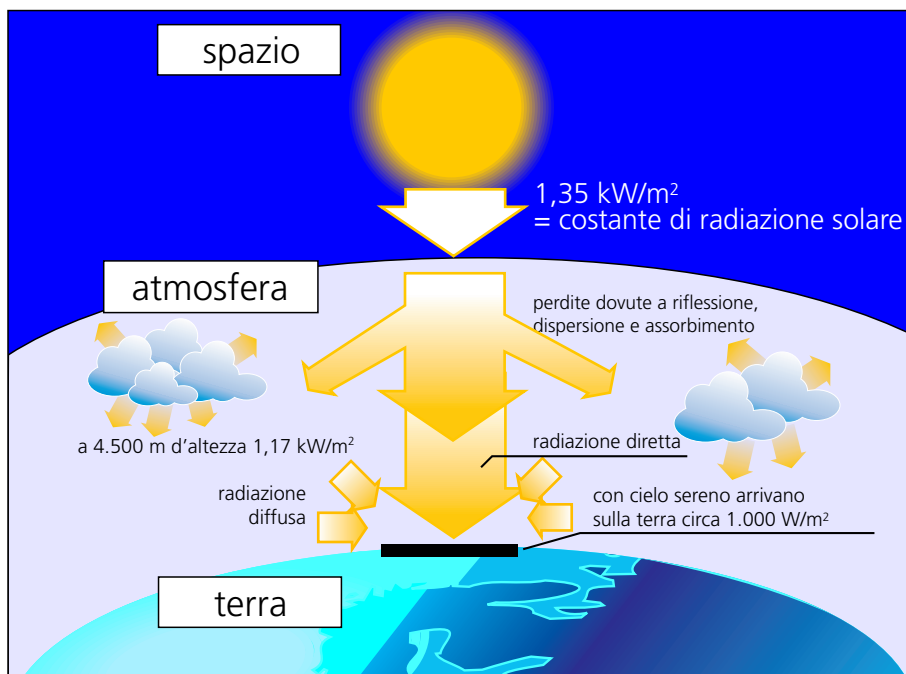
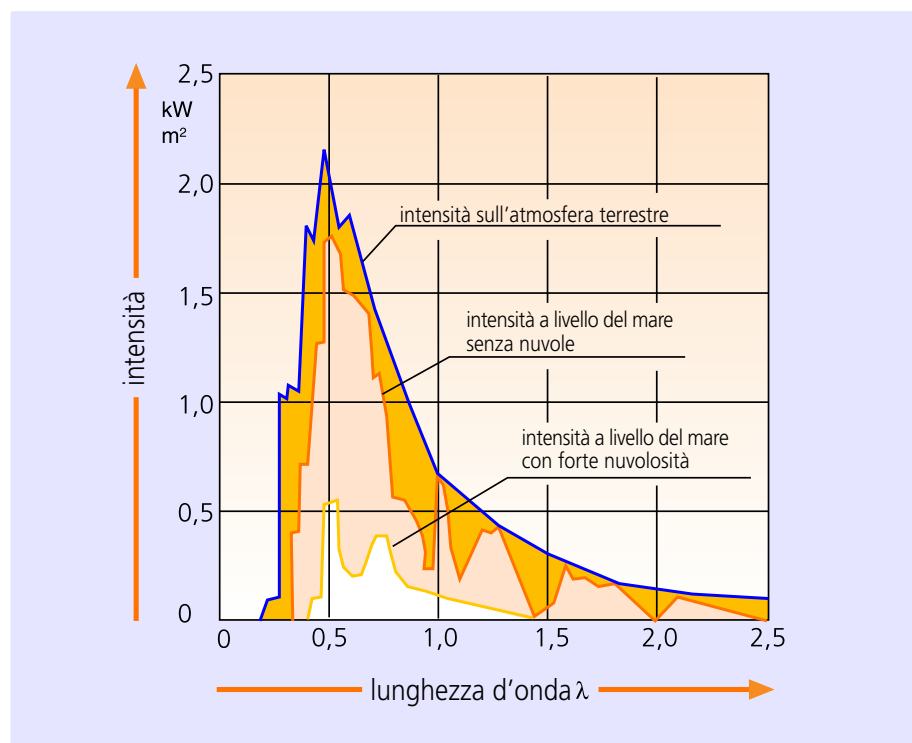


Immagine del flusso energetico del sole e della terra all'esterno e all'interno dell'atmosfera terrestre

L'energia solare è energia raggiante. La radiazione è un insieme di onde elettromagnetiche di varia lunghezza. Il "calore solare" (i raggi infrarossi) costituisce solo una parte di tutta l'energia raggiante.

Un'altra porzione molto importante per la vita sulla terra è costituita dalla luce e un'altra dai raggi ultravioletti a onde corte, i cui effetti nocivi sulla superficie terrestre sono aumentati di recente a causa della riduzione dell'ozono nell'ozonofera che funge da schermo protettivo contro questa radiazione molto ricca di energia.

Spettro intensità / lunghezza d'onda dell'insolazione



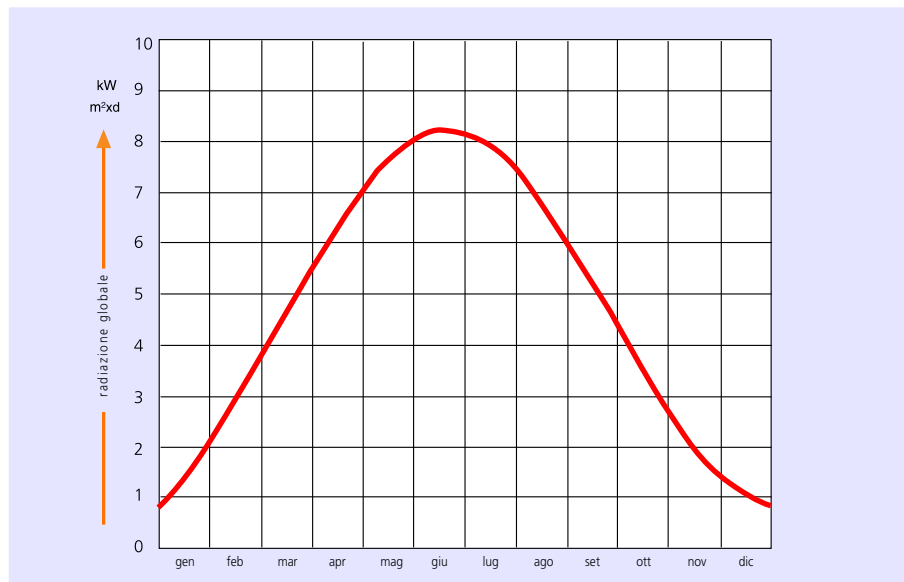
L'energia solare media irradiata nel corso di un anno su una determinata zona non è costante su tutta la superficie terrestre, bensì subisce delle forti oscillazioni dovute a diversi fattori. Il più importante di questi è la latitudine geografica: all'equatore l'insolazione raggiunge i valori massimi, mentre ai due poli è molto debole. Di grande importanza sono inoltre il tempo e quindi il numero medio delle giornate di sole nel corso di un anno. Anche la quota media sul livello del mare di una regione e il conseguente spessore dello "strato di filtro solare" dell'atmosfera svolgono un ruolo molto importante. Un fattore essenziale è costituito infine da circostanze locali come ad esempio l'insorgere di nebbia d'inverno, la formazione di foschia intensa d'estate e simili.

In questo contesto vogliamo brevemente accennare un problema che in seguito tratteremo in modo più esauriente, cioè il fatto che la disponibilità dell'energia solare varia a seconda dell'ora e del mese e che quindi non può coprire sempre il contingente fabbisogno energetico.

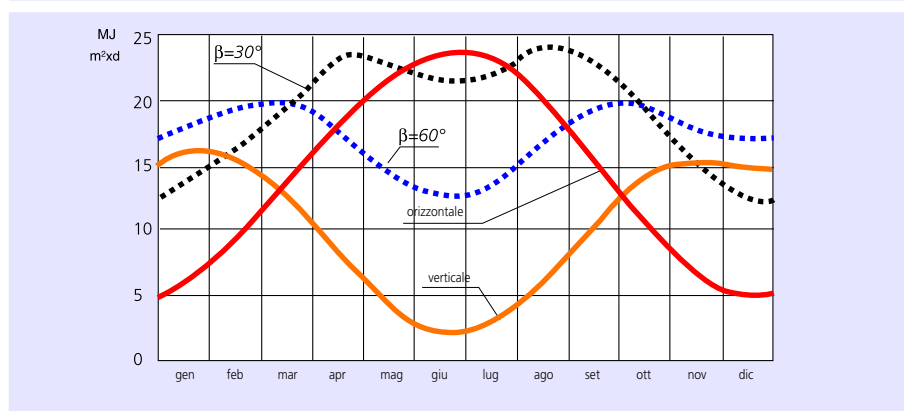
L'insolazione nella nostra regione

Considerando i fattori indicati nell'ultimo paragrafo, si può constatare che le regioni alpine in generale e l'Alto Adige in particolare si trovano in una posizione relativamente buona, in quanto si tratta di un territorio montuoso all'interno della zona climatica temperata con un numero medio di giornate di sole all'anno relativamente alto.

Su una superficie che non si trova in posizione orizzontale, ma che presenta una certa inclinazione, l'andamento dell'energia solare irradiata è diverso. In una superficie verticale il decorso dell'energia solare è invece opposto a quello di una superficie orizzontale; in questo caso l'energia solare irradiata raggiunge i valori massimi d'inverno, quando il sole si trova nel punto più basso.



Insolazione media su una superficie orizzontale in giornate serene nella nostra regione nel corso di un anno



Insolazione media su superfici di diversa inclinazione in giornate serene nella nostra regione nel corso di un anno

Il futuro all'insegna dell'energia solare

3. Le possibilità dell'uso diretto dell'energia solare

L'uso diretto dell'energia solare

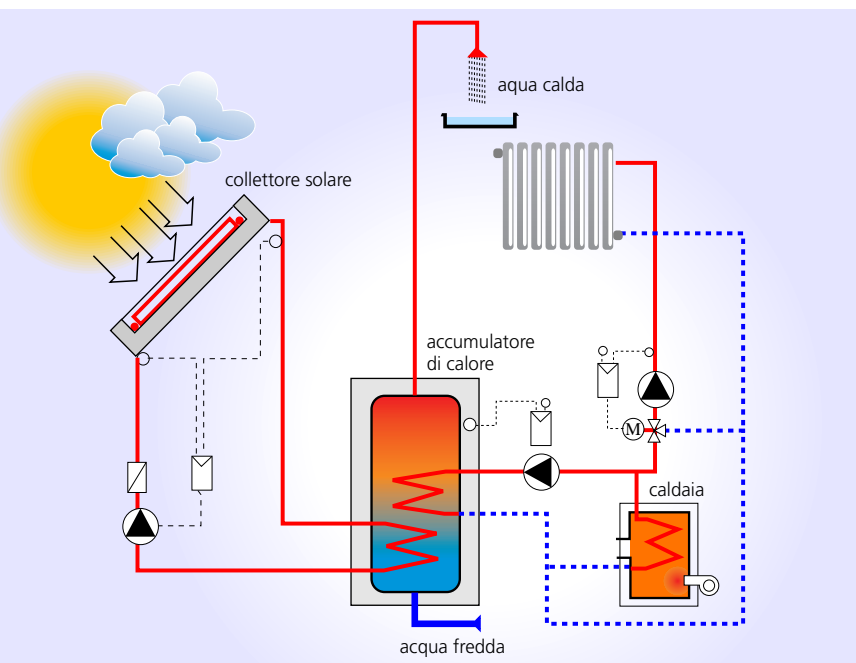
Per un'infinità di processi biologici che si verificano sulla superficie terrestre, negli oceani, nella biosfera l'energia solare è indispensabile, e da quando la terra esiste, quest'energia viene "usata" dalla natura. E da sempre anche l'uomo cerca nei modi più svariati di servirsi dell'energia del sole in nome della civiltà. In seguito vogliamo analizzare in modo più dettagliato l'uso dell'energia solare proteso a favorire la riduzione del consumo energetico globale e il risparmio e la sostituzione di fonti energetiche in via di esaurimento e quindi anche la diminuzione dell'inquinamento ambientale che comporta anche un miglioramento della qualità della vita.

L'uso termico dell'energia solare

Come già accennato, una parte della radiazione solare è costituita dalla radiazione termica. Ma anche una buona percentuale della luce visibile e della radiazione ultravioletta si trasforma in calore, quando cade su un corpo adatto (ad esempio un corpo nero). Diventa quindi logico usare l'energia solare direttamente sotto forma di energia termica. Ciò si può realizzare con le apparecchiature più svariate e per scopi diversi, come vedremo in seguito.

Riscaldamento dell'acqua sanitaria

Uno dei modi più evidenti di usare l'energia solare è il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Questo tipo di applicazione sembra essere interessante, poiché in molte case unifamiliari e plurifamiliari l'acqua calda sanitaria si ottiene con la caldaia, e proprio nei mesi estivi questi impianti mostrano un pessimo rendimento. Dall'altro canto, d'estate l'offerta di energia solare è molto grande, perciò basta una superficie limitata di collettori solari (circa 6-10 m² per una famiglia composta da 4 a 8 persone) e un accumulo relativamente piccolo (0,5-1 m³). Inoltre la temperatura dell'acqua calda, generalmente usata, è relativamente bassa, e quindi si possono ottenere dei buoni rendimenti anche con un impianto relativamente semplice. In linea di massima si usa una superficie che assorbe la maggior parte della radiazione solare e che quindi si riscalda. Questo calore viene poi trasportato mediante un termovettore liquido (di solito si usa l'acqua con una sostanza anticongelante) al serbatoio tramite uno scambiatore di calore.



Principio del riscaldamento dell'acqua con collettori solari

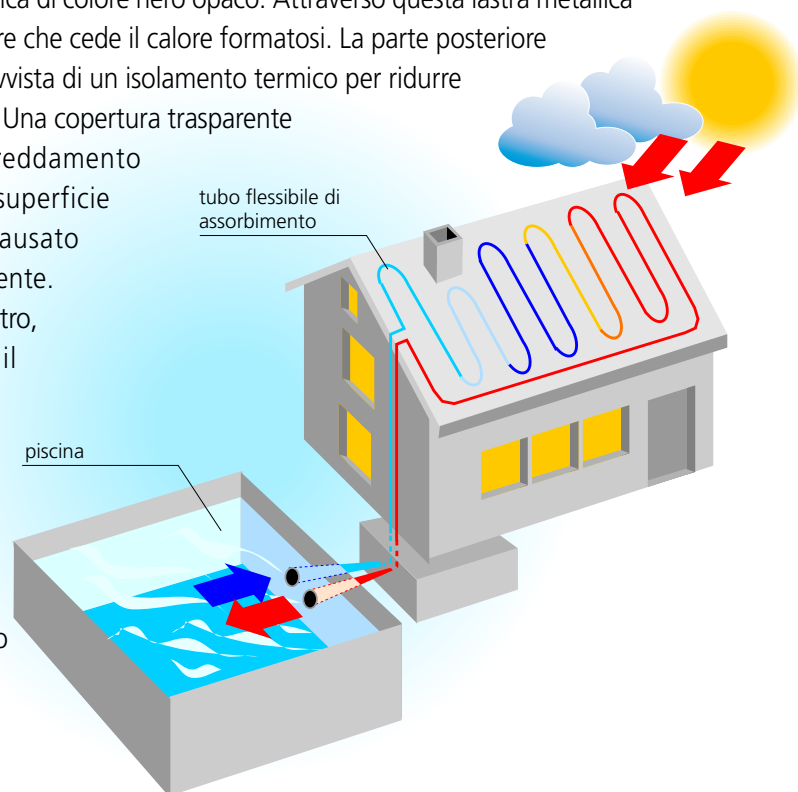
leggera diminuzione della temperatura esterna comporta una notevole riduzione del rendimento. Una forma un pò più sofisticata è costituita dal collettore solare piano. L'energia solare irradiata viene trasformata in calore nell'assorbitore costituito da una lastra metallica di colore nero opaco. Attraverso questa lastra metallica passa il termovettore che cede il calore formatosi. La parte posteriore del collettore è provvista di un isolamento termico per ridurre la perdita di calore. Una copertura trasparente impedisce il raffreddamento immediato della superficie dell'assorbitore causato dall'aria nell'ambiente. Una copertura in vetro, ad esempio, ha il compito di riflettere parte della radiazione a onde lunghe emanata dall'assorbitore (effetto serra). In questo

La pompa di circolazione entra in funzione, quando la temperatura dell'acqua nel collettore ha superato di alcuni gradi quella del serbatoio, cioè quando il collettore può cedere del calore.

Per i periodi, in cui l'insolazione non è sufficiente, si deve provvedere ad un riscaldamento ausiliario. La forma più semplice di un "collettore solare" è costituita da un tubo o da una stuoia in materia plastica che abbia una superficie più assorbente possibile (ad esempio nera) e attraverso la quale scorra direttamente l'acqua da riscaldare. Se questi tubi o queste stuoie vengono esposti in un posto molto soleggiato, come ad esempio un tetto, sono molto utili per il riscaldamento dell'acqua.

I "collettori" di questo tipo subiscono però delle perdite di calore relativamente grandi a causa di irraggiamento e trasmissione termica, per cui già una

Assorbitore a tubo per il riscaldamento della piscina



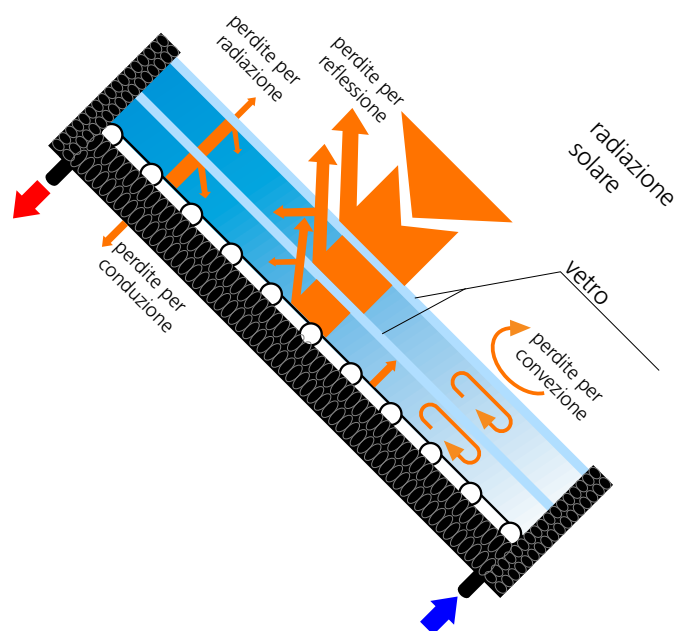
modo le perdite di calore si possono ridurre notevolmente. Normalmente l'assorbitore del collettore è fatto di metallo (rame, alluminio, acciaio). Per ridurre le perdite di calore in alcuni collettori le superfici metalliche sono provviste di un cosiddetto rivestimento selettivo, in modo che assorbino bene la luce visibile e per quanto riguarda la radiazione infrarossa irradiano invece poco calore. Per ridurre ulteriormente le perdite di calore dovute a conduzione e convezione termica, in alcuni collettori solari piani si assorbe una parte dell'aria contenuta all'interno, poiché l'aria è responsabile di una buona parte delle perdite di calore. In questo caso si parla di collettori evacuati piani. La costruzione di questi collettori è però più complessa, in quanto il contenitore deve essere chiuso a tenuta d'aria per non perdere con il tempo il vuoto creato. Questo tipo di collettore è quindi notevolmente più caro.

Per quanto riguarda le normali temperature di regime che oscillano tra i 40°C e i 60°C, le perdite per conduzione termica nelle pareti posteriori e laterali costituiscono soltanto il 10% circa di tutte le perdite di calore del collettore. Normalmente non ha quindi molto senso usare degli strati isolanti che superino i 5-10 cm.

E molto importante tenere conto della "temperatura di inattività" del collettore. Con un'insolazione molto forte l'assorbitore può raggiungere anche 150°C-200°C, ed è molto importante che l'isolante termico non venga danneggiato (ad esempio quando viene montato).

Un altro tipo di collettore solare è il cosiddetto collettore a tubo. Anche per questi collettori si usa come "materiale isolante" un vuoto d'aria. Grazie alla loro struttura tubolare questi collettori dispongono di un'alta resistenza alla pressione e possono quindi reggere una depressione molto forte. E grazie al vuoto, che è maggiore rispetto a quello a cui possono resistere ad esempio i collettori a depressione piani, le perdite di calore subite dai collettori a tubo sono minori e il rendimento è più alto. Inoltre in questo tipo di collettore ci sono meno giunzioni tra il vetro e il metallo che sono i punti più critici per quanto riguarda la tenuta. In base alle perdite di calore notevolmente ridotte i collettori di questo tipo sono in grado di raggiungere dei rendimenti relativamente buoni anche con temperature esterne

Il principio di funzionamento e le perdite di calore del collettore solare piano

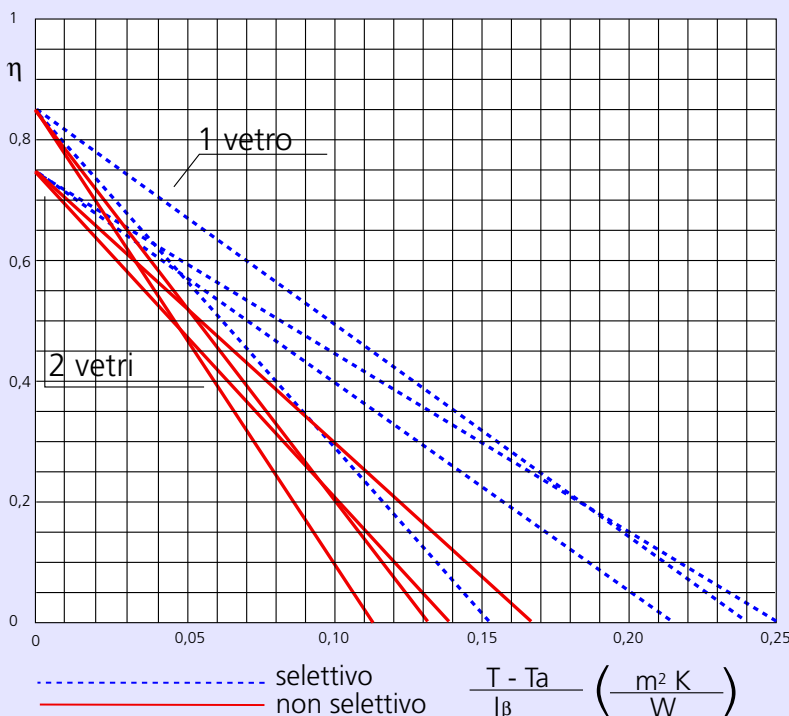


basse. Sono però anche molto più costosi dei collettori piani "normali". Per rendimento di un collettore solare si intende il rapporto tra potenza utile ceduta dal collettore e la potenza dell'energia solare irradiata sulla superficie del collettore:

$$\text{rendimento } \eta = \frac{\text{potenza utile ceduta}}{\text{energia solare irradiata sulla superficie del collettore}}$$

Strumenti efficaci per la valutazione della qualità di un collettore sono le caratteristiche che indicano la resa in relazione alla differenza tra la temperatura media del liquido contenuto nel collettore e la temperatura dell'aria esterna. Questo divario di temperatura spesso si divide ancora per l'energia solare irradiata sulla superficie del collettore; così si ottiene un decorso quasi lineare. Per poter determinare l'inclinazione ottimale dei collettori solari c'è una regola molto semplice. Il valore massimo di energia irradiata nel corso di un anno si ottiene con un angolo d'inclinazione del collettore pari al grado di latitudine geografica (che per l'Alto Adige è tra 46° e 47°). Il valore massimo invernale si ottiene con un'inclinazione del collettore uguale al grado di latitudine più 15°, quello estivo invece con

un'inclinazione del collettore uguale al grado di latitudine meno 15° (in Alto Adige quindi a rispettivamente circa 60° e 30°). Oltre all'inclinazione orizzontale è molto importante anche la regolazione secondo il punto cardinale. La posizione ideale prevede il collettore posto esattamente in direzione sud. La diminuzione del rendimento è lieve, fin quando la deviazione da sud non superi i 15°. La deviazione dalla posizione verso sud non deve però superare i 30°.



Rendimento - differenza di temperatura per collettori piani con una o due coperture in vetro con o senza rivestimento selettivo dell'assorbitore

L'uso dell'energia solare per l'integrazione del riscaldamento

Aumentando la superficie del collettore adeguatamente, l'acqua calda prodotta può essere usata non solo come acqua sanitaria, ma anche per l'integrazione nel riscaldamento degli ambienti. Il principio di funzionamento dell'impianto rimane invariato. Anche questo sistema è composto dalla superficie del collettore che "capta" l'energia solare, la pompa di circolazione azionata attraverso un sensore di temperatura e il serbatoio dell'acqua calda, dal quale l'acqua riscaldata viene condotta alla sua destinazione. Affinché quest'impianto possa però funzionare bene, si devono considerare alcuni criteri di progettazione.

Poiché l'impianto dovrebbe servire all'integrazione del riscaldamento nelle mezze stagioni e durante l'inverno, negli intervalli dell'anno in cui l'insolazione è più bassa che d'estate, la superficie del collettore prevista deve essere di dimensioni adatte. Inoltre, in questi periodi le temperature esterne sono basse, e quindi i collettori solari devono essere protetti il meglio possibile da perdite di calore. Inoltre anche il serbatoio termico deve essere più grande per poter garantire d'inverno un'integrazione del riscaldamento il più continuativo possibile e per poter fungere nelle mezze stagioni anche da caldaia sostitutiva. Per un buon funzionamento dell'impianto è vantaggioso applicare un sistema di riscaldamento che può funzionare anche con basse temperature dell'acqua, poiché un'inferiore temperatura media dell'acqua contribuisce a ottenere dei buoni rendimenti dei collettori anche con una temperatura dell'aria esterna bassa. Inoltre diminuiscono in questo modo le perdite nel serbatoio termico e durante il trasporto dell'acqua calda dai collettori al serbatoio e dal serbatoio agli ambienti da riscaldare.

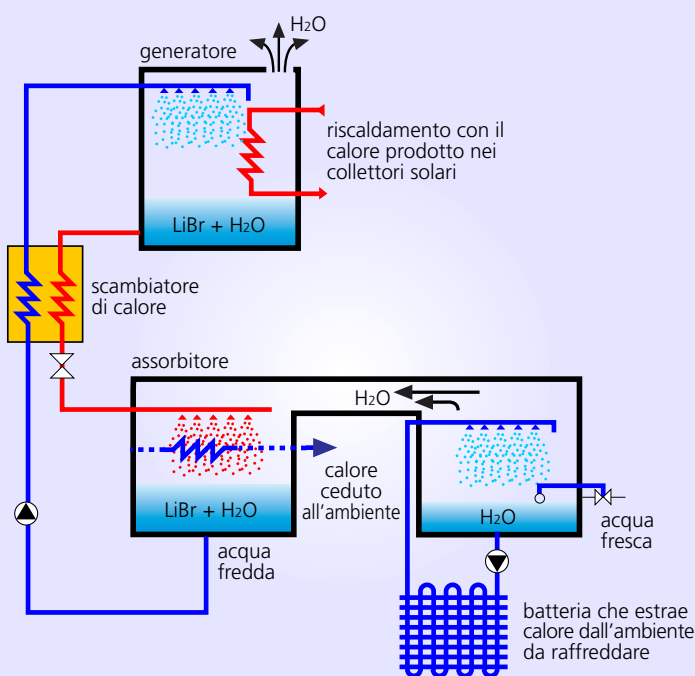
Con una bassa temperatura dell'acqua funzionano particolarmente bene i sistemi di riscaldamento a superficie come il riscaldamento a pavimento, il riscaldamento a pannelli radianti nelle pareti o nel soffitto. Ma anche i radiatori con grandi superfici, i cosiddetti radiatori a bassa temperatura, sono molto efficienti. Progettato correttamente, d'inverno questo sistema può servire per preriscaldare l'acqua che poi viene portata alla temperatura necessaria per il riscaldamento nella caldaia tradizionale con consumi inferiori di energia. Nelle mezze stagioni, questo sistema può sostituire la caldaia per periodi più o meno lunghi, a seconda della progettazione e delle condizioni meteorologiche. Per una realizzazione finanziariamente sostenibile e per un buon funzionamento dell'impianto è però indispensabile che gli ambienti da riscaldare e l'edificio nel suo insieme dispongano di un buon isolamento termico e che quindi non presentino un fabbisogno di

energia termica troppo elevato, che si tratti dunque di una cosiddetta "casa a basso consumo di energia". Gli impianti che sono progettati per l'integrazione del riscaldamento degli ambienti durante l'inverno, d'estate forniscono però quantitativi di energia termica molto più elevati di quelli necessari per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, va quindi previsto come poter utilizzare quest'eccedenza di energia, ad esempio nel riscaldamento di una piscina. Se questa possibilità non dovesse sussistere, si deve provvedere al raffreddamento dei collettori, ad esempio con l'aiuto di acqua d'irrigazione o simili.

L'uso dell'energia solare per il condizionamento estivo

Già da tempo, per molti settori dell'industria il condizionamento degli ambienti nei mesi estivi è di grande importanza e assume anche per gli edifici residenziali e per il terziario un'importanza sempre maggiore. E l'idea di usare a questo scopo l'energia solare nasce spontanea, in quanto proprio nei periodi dell'anno e nelle ore della giornata con l'insolazione più forte c'è anche il maggiore fabbisogno di energia per il condizionamento. In linea di massima si distinguono due metodi di sfruttamento dell'energia solare per la climatizzazione degli ambienti. Da una

Schema funzionale di una macchina frigorifera ad assorbimento

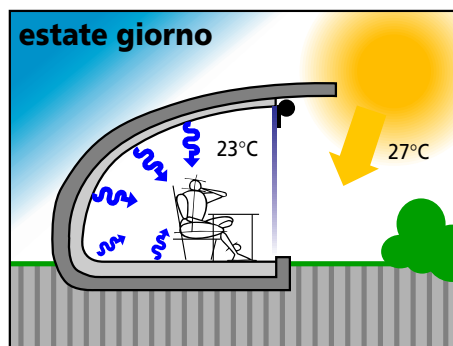


parte, con l'energia solare si può produrre energia elettrica, con la quale alimentare normali macchine frigorifere. I metodi per la produzione di energia elettrica con l'uso dell'energia solare vengono descritti in un apposito paragrafo. Dall'altra parte il calore prodotto con l'energia solare può essere usato anche direttamente per ottenere il freddo. Secondo questo principio funzionano ad esempio anche i frigoriferi azionati tramite la combustione di gas. A questo scopo si utilizzano le cosiddette macchine frigorifere ad assorbimento. Viste dall'esterno, esse funzionano secondo lo stesso principio come le macchine frigorifere tradizionali. Le macchine assorbono il calore dell'ambiente (in questo caso dell'ambiente da refrigerare) e lo cedono all'aria esterna. Ma l'energia usata per l'alimentazione della macchina non è corrente elettrica, bensì energia termica che può essere generata in un collettore solare di tipo tradizionale.

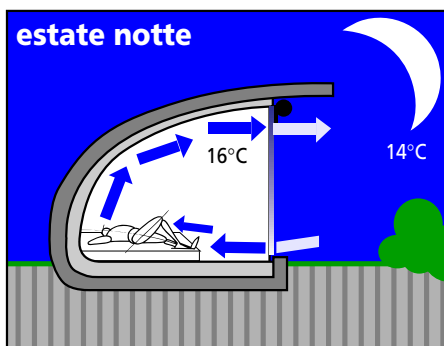
L'uso passivo dell'energia solare nell'edilizia

I'architettura bioclimatica

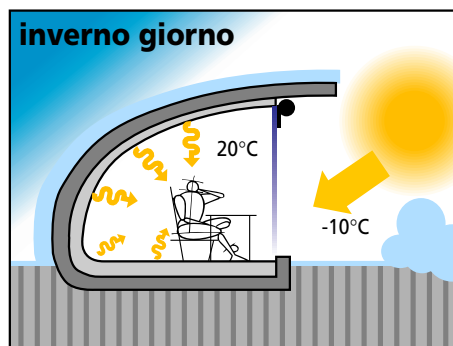
Oltre all'uso dell'energia solare per mezzo di sistemi "attivi", cioè sistemi che si basano su un meccanismo proprio, più o meno complicato, esiste anche la possibilità dell'uso "passivo" dell'energia solare, o meglio l'uso dell'energia solare tramite una determinata disposizione dei componenti architettonici. In questo caso si parla anche di "climatizzazione naturale". I fattori climatici naturali, come l'insolazione, la radiazione notturna e il vento si possono usare per ottenere negli ambienti un clima ottimale, disponendo secondo determinati criteri i componenti e i materiali



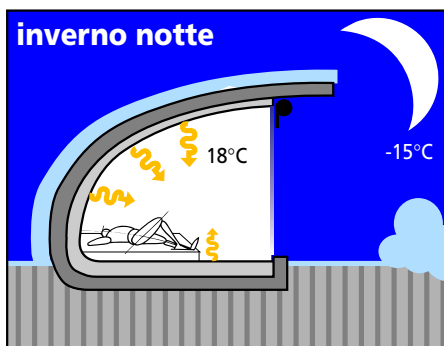
estate giorno
abbassamento della temperatura a causa delle pareti fresche



estate notte
raffreddamento notturno delle pareti



inverno giorno
riscaldamento delle pareti per l'effetto serra



inverno notte
riscaldamento radiante con energia solare accumulata

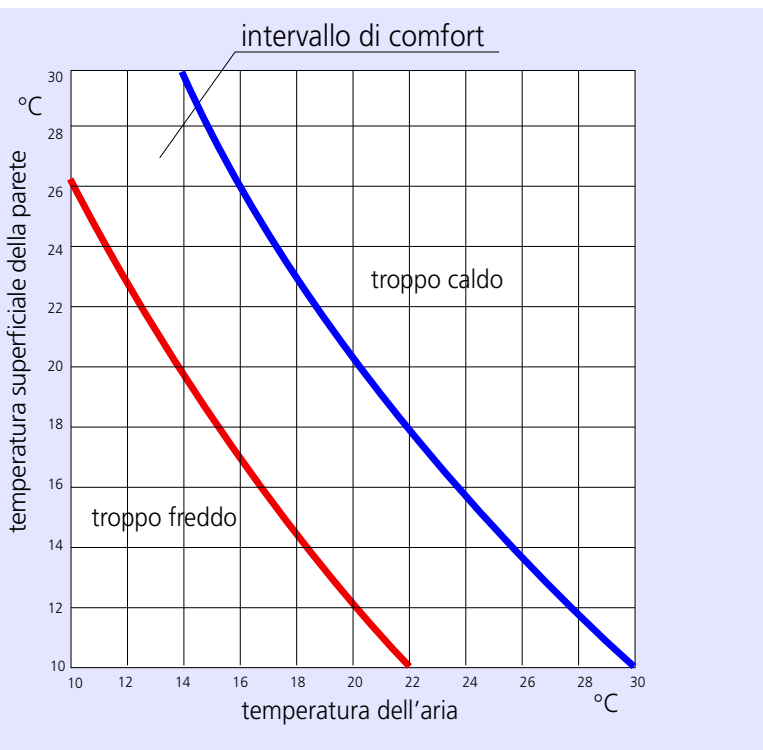
Principio dell'uso passivo dell'energia solare nelle singole stagioni

edili diafani e opachi, accumulanti e isolanti, ermetici e anemetrici al vento, condottivi e non. Uno dei fattori più importanti è la scelta della posizione dell'edificio (se possibile) e l'orientamento dell'edificio e dei componenti architettonici a seconda dei punti cardinali.

Verso sud l'edificio dovrebbe disporre di finestre grandi, affinché, soprattutto d'inverno quando il sole è basso, la sua luce possa entrare nelle stanze e riscaldarle. Per evitare il surriscaldamento delle stanze durante l'estate, le finestre dovrebbero essere protette dall'incidenza della luce solare nelle ore di maggiore esposizione. Ciò si può fare per mezzo di una pensilina abbastanza grande, un balcone oppure degli appositi schermi parasole. Gli ambienti principali, come salotto, cucina, studio, dovrebbero essere orientati verso sud. Il lato settentrionale dell'edificio dovrebbe invece disporre di finestre il più piccole possibili da usare per l'incidenza della luce e per l'aerazione. Il riscaldamento passivo degli ambienti si basa sull' "effetto serra". Passando attraverso una facciata trasparente (finestra) la radiazione solare a onde corte è carica di energia ed entra in una stanza con quasi tutta la sua forza. Cadendo su superfici e oggetti, la radiazione solare si trasforma in calore. Le superfici e gli oggetti nella stanza si riscaldano ed emettono a loro volta radiazione termica a onde lunghe che però passa per il vetro della finestra soltanto in minima parte. La quantità di energia raggiante che entra nella stanza è quindi molto più

elevata di quella che esce dall'ambiente, in modo che quest'ultimo si riscalda. Evidentemente l'efficacia del riscaldamento acquista d'intensità, quando le superfici dell'ambiente o dell'edificio non esposte al sole sono protette dalle perdite di calore. Ci vogliono però le misure giuste per evitare il surriscaldamento dell'ambiente. Lo stesso effetto si può notare in una macchina parcheggiata al sole. Anche con una temperatura dell'aria esterna relativamente bassa l'interno della macchina si può riscaldare molto. Se alcune delle superfici interne dell'ambiente (soprattutto quelle irradiate direttamente dal sole) sono costituite da materiali compatti che accumulano il calore, la temperatura nell'ambiente aumenta soltanto di poco durante l'insolazione; il calore accumulato viene ceduto tramite convezione e radiazione a onde lunghe, quando l'insolazione nell'ambiente viene a mancare. Poiché l'emissione di calore avviene per la maggior parte tramite la radiazione superficiale delle pareti e del

Zona di benessere, in dipendenza della temperatura delle superfici delle pareti e dalla temperatura dell'ambiente



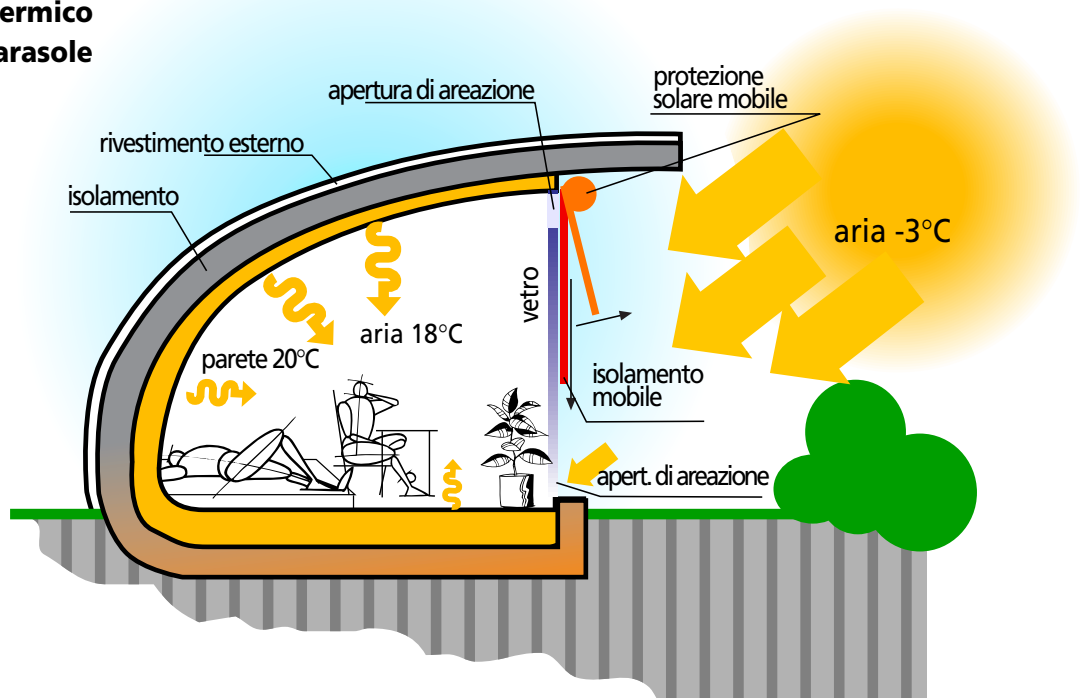
pavimento, nell'ambiente si crea un clima gradevole, sebbene la temperatura dell'aria sia relativamente bassa. Un sistema semplice per l'uso passivo dell'energia solare è costituito da ampie finestre, orientate a sud, e di ambienti racchiusi da muri costruiti in un materiale che accumula il calore e che verso l'esterno dispongono di un buon isolamento termico. Le perdite per emissione notturna dovute alle grandi finestre orientate verso sud possono essere ridotte applicando delle coperture mobili (persiane avvolgibili, veneziane, isolamenti termici mobili). Per poter garantire negli ambienti un clima gradevole anche durante l'estate, è necessario usare un parasole che eventualmente può essere mobile, che non ostacoli la vista e che d'estate riduca l'irradiazione solare delle finestre, per evitare così l'effetto serra indesiderato in questo periodo dell'anno.

Se direttamente dietro la vetratura orientata a sud si dispone un muro di accumulo, questo sistema si definisce "Muro di Trombe". Questo muro spesso funge contemporaneamente da collettore e da accumulatore. Se il lato esterno del muro di accumulo è di colore scuro, il suo potere assorbente aumenta. L'energia assorbita dal muro di accumulo durante il giorno viene ceduta al locale interno in modo abbastanza costante rispettando le oscillazioni dell'insolazione. Attraverso delle bocchette regolabili situate in alto entra nell'ambiente l'aria riscaldata tra il vetro e il muro di accumulo; da una bocchetta inferiore invece si aspira dall'ambiente l'aria più fresca che in seguito fluisce nell'intercapedine tra vetro e muro. Anche qui si può migliorare notevolmente il rendimento applicando un isolamento termico mobile sulla superficie di vetro. Lo svantaggio di questa soluzione è dovuto al notevole movimento d'aria prodotto. Questo inconveniente non si crea invece, se l'aria ricircolata viene convogliata attraverso un sistema chiuso all'interno dei muri e dei soffitti che a loro volta cedono il calore all'ambiente prevalentemente per radiazione. Se si ingrandisce lo spazio tra la superficie in vetro e il muro collettore-accumulatore collocato dietro di essa, in modo da essere utilizzabile, si crea una serra annessa. Si ha la stessa soluzione del muro di Trombe. La serra può essere utilizzata per la coltivazione di piante, frutta, verdura oppure semplicemente come integrazione accogliente e sempreverde dell'abitazione.

La realizzazione del cosiddetto isolamento termico trasparente risale a poco tempo fa: gli elementi di facciata hanno la doppia funzione di isolamento tradizionale e di collettore solare. Dopo essere penetrata attraverso lo strato trasparente, la luce del sole incidente, cioè la radiazione diffusa, colpisce il muro esterno dell'edificio di colore scuro il quale si riscalda e accumula il calore.

Poiché nell'isolamento termico trasparente la dispersione verso l'esterno è minima, gran parte del calore viene convogliato all'interno dell'edificio per conduzione termica.

Schema semplificato di un locale con finestra, accumulatore termico e parasole



Il principio dell'isolamento termico trasparente è talmente efficace che d'estate si deve impedire il surriscaldamento applicando un sistema di ombreggiamento. Si tratta di una tecnica relativamente nuova con molte possibilità d'impiego e di accorgimenti in fase di costruzione così da diminuire i consumi per il riscaldamento in genere. Per questo vogliamo accennare brevemente ad alcune caratteristiche importanti delle cosiddette case a basso consumo energetico.

Un fattore di grande importanza è ottimizzazione del rapporto tra volume e superficie. Per ridurre il processo di raffreddamento dell'interno dell'edificio durante l'inverno e il riscaldamento in estate è importante scegliere una struttura di costruzione più compatta possibile. Tenendo conto della cubatura dell'edificio, la superficie che funge da scambiatore termico deve essere più piccola possibile. Le forme più vantaggiose allo scopo sono la semisfera, il cilindro e il cubo. È inoltre di grande importanza che le parti dell'edificio riscaldate siano divise da quelle non riscaldate per mezzo di isolamento termico; ciò vale soprattutto per strutture portanti dell'edificio. Vanno evitati a questo scopo anche i cosiddetti ponti termici. Si dovrebbero evitare completamente i componenti in metallo o in cemento armato che penetrano l'involucro esterno dell'edificio, come ad esempio longheroni

d'acciaio che passano all'esterno oppure balconi continui, poichè hanno l'effetto di alette di raffreddamento.

Di seguito vogliamo elencare alcuni dei più importanti elementi costruttivi dei sistemi passivi.

Involucro esterno dell'edificio:

deve essere isolato il meglio possibile contro perdite di calore, ma deve permettere il passaggio dell'energia solare nell'edificio, soprattutto d'inverno. Si può concludere dicendo che: sul lato nord dobbiamo avere dei muri isolati molto bene e pochissima superficie vetrata, sui lati est e ovest una superficie vetrata ridotta, sul lato sud invece finestre grandi eventualmente dotate di isolamento termico mobile e protezione antiradiazione d'estate.

Muri interni:

essi dovrebbero disporre di una grande capacità di accumulo. Vanno usati preferibilmente dei materiali compatti che accumulano bene il calore.

Verande:

vetrate, non riscaldate e orientate a sud, che possono fungere da serre. D'inverno contribuiscono al riscaldamento dell'edificio e durante tutto l'anno fungono da zona termica intermedia. Per l'estate si deve prevedere l'uso di un parasole.

Tetto:

se il solaio è abitato, deve essere provvisto di un buon isolamento termico; altrimenti è più vantaggioso isolare bene il soffitto dell'ultimo piano e usare il solaio come respingente termico.

Piantagione:

la piantagione di latifoglie davanti alla facciata sud d'estate serve da parasole naturale, mentre d'inverno fa passare la radiazione solare; sia d'inverno che d'estate crea un respingente termico.

La produzione di corrente elettrica con energia solare

L'industrializzazione di una società comporta l'aumento generale del consumo energetico, in particolare elettrico. Per gli stati industrializzati l'energia elettrica rappresenta la soluzione ideale, in quanto si può trasformare in modo relativamente semplice in qualsiasi altra forma di energia. In genere, l'uso di energia elettrica non implica nessuna emissione di sostanze nocive, il suo inquinamento acustico è pressoché nullo, e gli apparecchi impiegati hanno delle qualità in parte eccellenti. (Basta pensare al motore elettrico e confrontarlo con quello a combustione, oppure la luce elettrica con altre possibilità di illuminazione artificiale). La produzione della corrente elettrica è molto meno "pulita" ed ecologica. Essa avviene in parte in centrali idroelettriche che rappresentano una forma di uso indiretto dell'energia solare, di cui parleremo più avanti. Per la maggior parte però, la corrente elettrica si produce in centrali termoelettriche a combustibile fossile o nucleare. Se quindi si riuscisse a trasformare in grande stile l'energia solare, l'unica energia primaria veramente "pulita", in corrente elettrica, ovvero l'"energia secondaria" ideale, destinata al consumo finale, si sarebbe trovato l'"uovo di Colombo" della tecnica energetica.

Celle fotovoltaiche

Con il processo fotovoltaico si ha la generazione diretta di corrente elettrica dall'energia raggiante del sole per mezzo di celle solari costituite da materiali semiconduttori che, se colpiti da onde elettromagnetiche (come ad esempio la luce del sole), producono subito una determinata tensione elettrica tra la superficie irradiata e quella non esposta, ad esempio una lamina molto sottile. Se nel circuito si include un utilizzatore (ad esempio una lampadina), si può usare quest'energia generata in continuazione. Con il modulo fotovoltaico si può trasformare in corrente elettrica non soltanto la radiazione solare diretta, ma anche parte della luce diffusa presente anche quando il cielo è coperto.

I tipi di celle solari e le loro applicazioni

Le celle solari, addette alla trasformazione diretta della luce solare in corrente elettrica, sono formate da materiali semiconduttori. Come si può dedurre dal

nome, questi materiali si trovano, per le loro qualità elettriche e fisiche, tra i conduttori, ad esempio i metalli, ed i non conduttori, come il legno, la maggior parte delle materie plastiche e la ceramica. Ci sono vari tipi di materiali semiconduttori con qualità diverse, di cui alcune veramente sorprendenti; alcuni di essi, ad esempio, conducono la corrente solamente in una direzione, altri si trasformano in conduttori, soltanto se irradiati dalla luce. Grazie a queste qualità i semiconduttori sono diventati degli elementi di estrema importanza nella tecnologia dei microprocessori e dell'elettronica in genere.

Per realizzare le celle solari si usano già da tempo i semiconduttori (l'alimentazione con corrente dei satelliti artificiali e delle stazioni spaziali avviene per mezzo di queste celle), e in futuro questa applicazione sarà sicuramente diffusa ulteriormente. La funzione delle celle solari si può spiegare nel modo seguente:

di un materiale semiconduttore, come ad esempio il silicio purissimo, si ritagliano delle lamine sottili, le cui superfici a contatto con degli elementi impuri che penetrano nel silicio modificano le proprie qualità. Sulle due superfici della lamina si fissano delle strutture a griglia di un foglio di un buon conduttore (rame, alluminio). A condizioni normali, vale a dire senza insolazione, non sussiste alcuna tensione elettrica tra le due griglie. Quando una delle due superfici viene illuminata dal sole, alcune delle onde elettromagnetiche colpiscono gli elettroni del silicio e aumentano la sua energia. In questo modo l'elettrone si libera dal legame con il "proprio" nucleo atomico e passa per la griglia di cristallo. Grazie ai due strati, derivati dall'introduzione delle "impurità", si è in grado di "captare" una parte di questi elettroni liberi sulle griglie delle due superfici; gli elettroni saranno poi disponibili sotto forma di corrente elettrica.

Per ottenere un buon rendimento delle celle solari è molto importante usare delle materie prime più pure possibili. Poiché questi elementi in natura raramente sono incontaminati, necessitano di un processo di purificazione molto difficile e costoso. L'esigenza della purezza del materiale ha come conseguenza l'elevato costo delle celle solari.

Oggi si usano per la costruzione delle fopile materiali diversi, più o meno sperimentati, che si distinguono per i costi di produzione e per il rendimento. Il materiale sperimentato più a lungo per questo scopo è il silicio che grazie ai suoi molteplici modi d'impiego è assai diffuso anche nell'elettronica; le sue qualità sono state provate a sufficienza e il suo costo non è troppo elevato. Sotto forma monocristallina è relativamente caro, ma si ottengono anche dei rendimenti relativamente alti; il silicio "policristallino" costa un pò di meno, ma anche il suo rendimento è inferiore. Un altro materiale, sperimentato negli ultimi tempi per questo scopo e già applicato, è l'arseniuro di gallio. Dietro questo nome curioso

si nasconde un materiale semiconduttore che durante gli esperimenti ha già raggiunto un rendimento del 30%. Esso dispone di un elevato potere di assorbimento della luce solare; la cella solare può quindi essere formata da uno strato sottilissimo. Con questo ed altri elementi si ha la possibilità di applicare, su dei materiali portanti di poco costo, delle sottilissime lamine ritagliate dal costoso componente attivo, riducendo il prezzo notevolmente. Altri materiali in fase di sperimentazione sono i composti di cadmio e selenio, di solfuro rameico e di solfuro di cadmio e altri semiconduttori. La luce del sole è, come già detto, un insieme di onde elettromagnetiche di varia lunghezza.

Ognuno dei materiali citati possiede la qualità di trasformare determinate lunghezze d'onda della luce solare in corrente elettrica. Sovrapponendo lamine molto sottili di materiali diversi, verrebbe fermata in ogni singolo strato solo quella parte di luce che si trasforma in corrente elettrica. Poiché si tratta di strati singoli estremamente sottili, la parte rimanente della radiazione solare potrebbe penetrare nello strato successivo, dove un'altra porzione dell'energia raggiante verrebbe convertita in corrente. Fino ad oggi si è riusciti a dimostrare soltanto matematicamente che con questo metodo si potrebbero costruire delle celle solari con un rendimento oltre il 70% che sarebbero quindi in grado di convertire la maggior parte dell'energia solare captata in energia elettrica.

Bisogna comunque lavorare ancora molto per mettere in pratica questa tecnologia e per renderla economicamente competitiva.

In futuro, la tecnica della cella fotovoltaica verrà sicuramente ulteriormente sviluppata e diffusa, perché trasforma l'energia solare, unica fonte inesauribile (almeno per la concezione dell'uomo), in energia elettrica, una forma di energia che può essere destinata quasi a ogni scopo. Inoltre questa trasformazione avviene senza componenti mobili, in modo silenzioso e non inquinante. I costi, oggi ancora elevati, si possono ridurre incentivando la produzione di massa delle celle solari.

materiale semiconduttore	rendimento
Silicio, monocristallino	12 - 20%
Silicio, policristallino	4 - 6%
Arsenio di gallio	25 - 30%
Solfuro rameico - solfuro di cadmio	5 - 9%

La tecnica dell'idrogeno

La produzione di corrente elettrica dall'energia solare rappresenta un metodo quasi ideale per coprire una parte del fabbisogno energetico.

Questo sistema presenta soltanto un grande svantaggio: si può disporre di energia elettrica soltanto nelle ore di sole o almeno alla luce del giorno; l'energia ricavata aumenta con l'intensità dell'insolazione. L'andamento dell'energia solare disponibile non corrisponde però al fabbisogno energetico. Di notte e d'inverno si ha anche bisogno di energia elettrica, e le punte di consumo elettrico si trovano proprio d'inverno. Si pone quindi il problema dell'accumulo dell'energia prodotta. È però molto difficile immagazzinare l'energia elettrica con i metodi tradizionali. Gli apparecchi necessari, come ad esempio le pile, sono ingombranti, costosi e scomodi; in più si possono accumulare quantitativi relativamente limitati. Se si ha bisogno soltanto di quantità ridotte di energia elettrica, come ad esempio in una lampada tascabile oppure in una macchina per l'illuminazione e l'accensione del motore (ma non per la trazione), le batterie possono essere utili.

Non è però immaginabile accumulare per mezzo di pile cospicui quantitativi di energia elettrica, poiché le batterie rincarerebbero notevolmente i costi dell'impianto, e per periodi più lunghi si manifesterebbero anche grandi perdite di accumulo.

Si pone quindi il problema di trasformare l'energia elettrica in un'altra forma di energia più facile da immagazzinare.

La cosiddetta tecnologia dell'idrogeno offre una possibilità promettente di accumulare l'energia elettrica ricavata da quella solare.

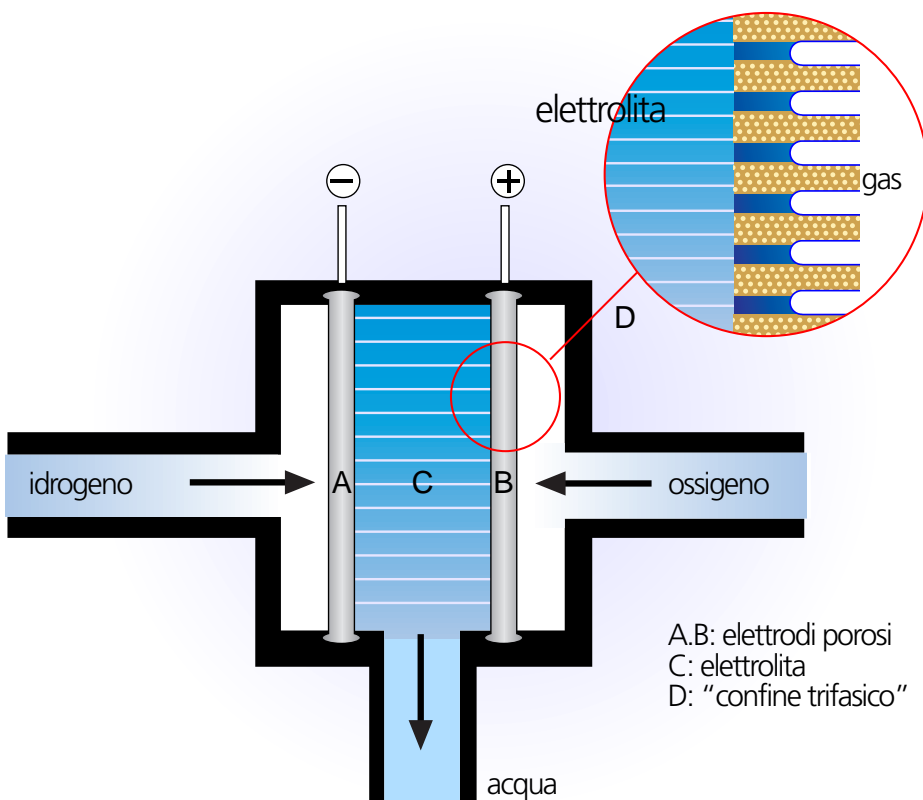
Infatti è possibile, con l'aiuto della corrente elettrica, scindere l'acqua nei suoi componenti idrogeno e ossigeno. Questo processo chimico-fisico si chiama elettrolisi. L'idrogeno ricavato è un gas combustibile che durante la sua combustione (la reazione chimica con l'ossigeno) libera energia a sua volta utilizzabile per generare corrente elettrica. Il vapore acqueo è l'unico "gas di scarico" che si forma durante questa combustione. L'idrogeno si può impiegare non solo sul posto per la produzione di corrente elettrica, ma anche come carburante per macchine, camion, navi ecc. Già da tempo si sperimenta con successo l'uso dell'idrogeno come carburante per macchine e il livello raggiunto dalla tecnologia in questo settore è già molto alto.

I motori con migliori prospettive non sono quelli tradizionali a combustione interna, ma è più vantaggioso riconvertire l'idrogeno in corrente elettrica così

da poter alimentare un motore elettrico; questo passaggio di conversione dall'idrogeno all'energia elettrica avviene nelle "celle a combustione". Sono proprio queste celle a chiudere in modo promettente la catena di trasformazione di energia:



Nelle celle a combustibile l'energia (chimica) accumulata nel combustibile viene trasformata direttamente in corrente elettrica senza il passaggio attraverso la combustione "calda" (energia termica). Questo tipo di conversione ottiene perciò dei rendimenti molto alti (al contrario del rendimento di 45%-50% al massimo, raggiunto nelle migliori centrali termoelettriche tradizionali, con la tecnica dell'idrogeno si è ottenuta già in pratica una resa di conversione del 70%). Inoltre queste celle non possiedono alcuni componenti mobili, per cui sono silenziose e poco soggette all'usura. Questa tecnologia è problematica, in quanto l'idrogeno è facilmente infiammabile e può essere anche esplosivo. Per lo stoccaggio dell'idrogeno si devono perciò prendere molte misure precauzionali. Si stanno sperimentando dei metodi per legare l'idrogeno chimicamente con un'altra sostanza per poterlo immagazzinare meglio; essi sembrano essere promettenti soprattutto per le applicazioni nei trasporti (macchine ecc.), poiché in questo settore il livello di sicurezza deve essere particolarmente alto. Questa tecnologia presenta ancora alcune difficoltà nella trasformazione e soprattutto nello stoccaggio dell'idrogeno, e in futuro si dovrà lavorare ancora molto per migliorare il sistema. La tecnica dell'idrogeno ha però il vantaggio di non dipendere da determinate condizioni locali e di non inquinare l'ambiente, in quanto il ciclo di trasformazione è privo di emissioni nocive ed è quasi completamente silenzioso. Una volta sviluppato questo processo potrà funzionare senza grande bisogno di manutenzione e di tecnici specializzati, e potrebbe essere impiegato anche nei paesi in via di sviluppo spesso molto soleggiati, per i quali l'idrogeno potrebbe rappresentare anche una fonte di guadagno.



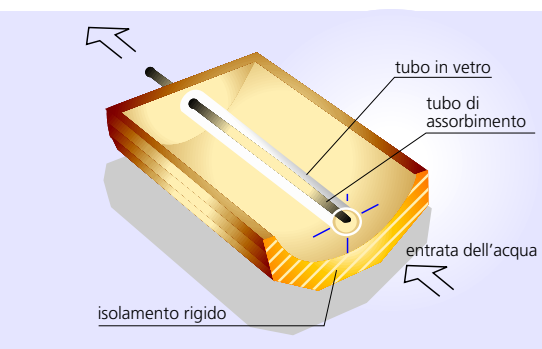
Rappresentazione schematica di una cella a combustione

Centrali termoelettriche ad energia solare

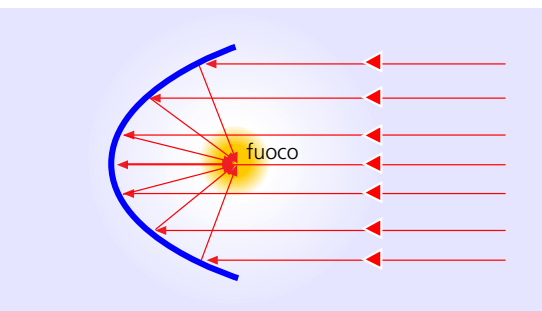
Per sfruttare l'energia solare nelle centrali termoelettriche, l'energia radiante del sole viene captata, convertita in energia termica e trasmessa a un mezzo, che può azionare direttamente, oppure tramite uno scambiatore di calore delle macchine termiche. Le temperature oggi usate nelle centrali termoelettriche oscillano tra i 530 e i 580°C e si possono ottenere per mezzo di collettori-concentratori. I cicli termici che utilizzano dei liquidi con un punto di ebollizione basso (frigene, propano ecc.) permettono delle temperature di lavoro inferiori, accettando però anche dei rendimenti più bassi. In sistemi di questo tipo si può quindi anche rinunciare ai concentratori.

Per ottenere dei rendimenti migliori, sono necessarie temperature più alte di quelle ottenute con la semplice "captazione" dell'energia solare. L'energia radiante del sole va quindi concentrata usando lenti oppure specchi.

Centrale a riflettori parabolici



Rappresentazione semplificata di un assorbitore a parabola



Parabola con raggi ad incidenza parallela riuniti in un fascio in un punto

Nelle cosiddette centrali a riflettori parabolici la radiazione solare si concentra, per mezzo di uno specchio curvato, in un tubo situato al centro, nel fuoco della curvatura dello specchio. La parabola, che determina la curvatura dello specchio, dà il nome al dispositivo che convoglia i raggi che la colpiscono in senso parallelo, esattamente in un punto.

Impianti di questo genere di dimensioni piccole usati per la produzione di acqua calda si possono trovare anche nella nostra zona.

A differenza dei collettori per la generazione di acqua calda e le celle solari, questi impianti si servono esclusivamente della radiazione solare diretta. Per questo motivo il loro orientamento deve seguire costantemente la posizione del sole; per cui sono necessari dei meccanismi di posizionamento complicati e costosi che richiedono anche una manutenzione relativamente complessa.

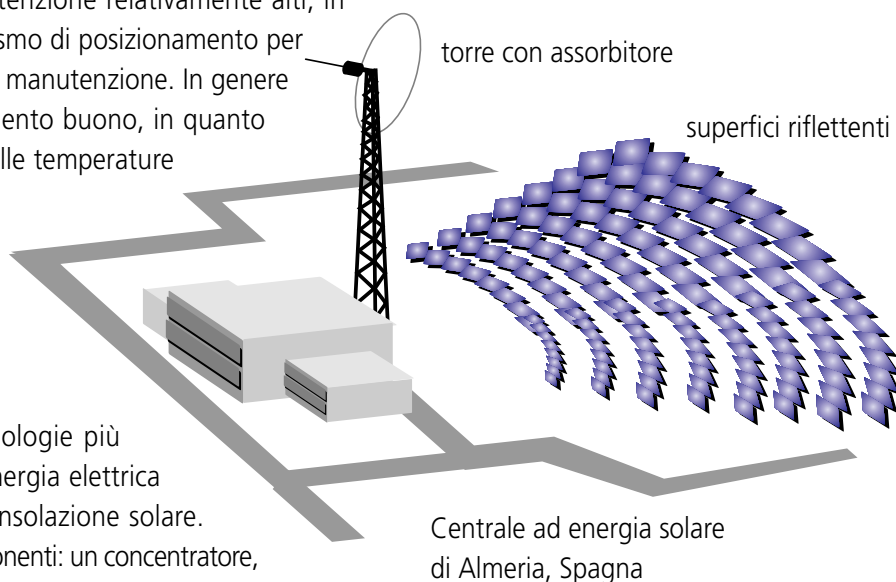
Se l'orientamento della superficie dello specchio è esatto, i raggi solari che lo colpiscono vengono concentrati in un tubo, in cui scorre il termovettore che si riscalda, evapora ed entra poi sotto forma di vapore nel motore termico. In genere si tratta di una turbina a vapore, in cui l'energia termica del vapore prima si trasforma in energia meccanica che a sua volta aziona un generatore che produce energia elettrica. Le centrali a parabola in genere vengono realizzate in dimensioni piccole e medie. Per le centrali grandi si presta meglio la struttura a torre che vedremo nel capitolo successivo.

Centrale a torre

Le centrali di questo tipo funzionano secondo gli stessi principi come le centrali a riflettori parabolici. Anche in esse la radiazione solare si concentra per mezzo di specchi che, disposti su una superficie più o meno orizzontale, concentrano la radiazione solare in un assorbitore situato in una torre. In esso si riscalda un fluido operativo che, una volta evaporato, percorre lo stesso ciclo come in una centrale termoelettrica normale. Il fluido si espande in una turbina che converte in questo modo l'energia termica del vapore in energia meccanica, a sua volta trasformata tramite un generatore in corrente elettrica. Anche queste centrali convertono la radiazione solare diretta e necessitano quindi di un meccanismo di manovra per le superfici del riflettore. In questo caso non si tratta però di una superficie a specchio continua che concentra i raggi del sole, bensì di molti specchi singoli che raccolgono le radiazioni sulla medesima superficie della torre.

Per le dimensioni dell'intera superficie riflettente non esistono quindi dei limiti tecnici, per cui si possono costruire delle centrali a torre con potenza totale di alcuni megawatt. Già anni fa, in Italia e altri paesi sono stati realizzati impianti di questo tipo, dai costi di acquisto e di manutenzione relativamente alti, in quanto anche essi necessitano di un meccanismo di posizionamento per la superficie speculare costoso e bisognoso di manutenzione. In genere questi impianti lavorano però con un rendimento buono, in quanto nell'assorbitore si raggiungono facilmente delle temperature di 500°C e oltre.

Rappresentazione schematica di una centrale a torre



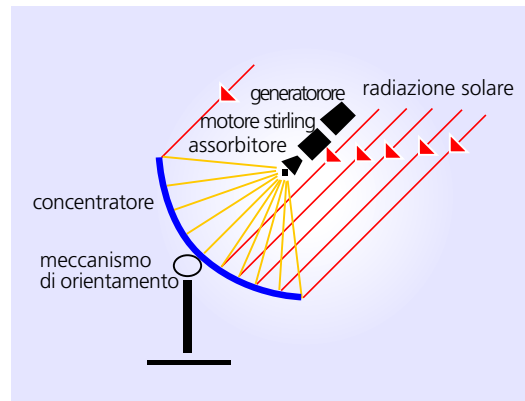
Il motore Stirling

Impianti Dish - Stirling sono una delle tecnologie più promettenti per una produzione futura d' energia elettrica in modo decentralizzato in paesi con forte insolazione solare.

Il sistema Dish - Stirling è composto da tre componenti: un concentratore, un assorbitore e il motore Stirling. Un concentratore con doppia curvatura parabolica concentra la radiazione solare su uno scambiatore di calore (assorbitore), che è posizionato nel fuoco della curvatura parabolica e che è anche la testa scaldante del motore Stirling. Il calore viene trasformato dal motore Stirling in energia meccanica la quale viene trasformata a sua volta in energia elettrica mediante il generatore che è collegato al motore.

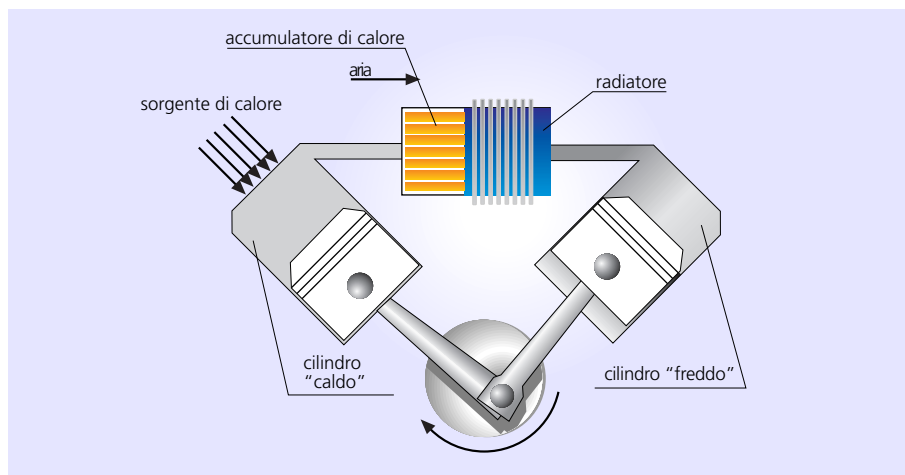
Il campo di potenze realizzabili con questi impianti spazia dai 10 kW ai 10 MW con costi di produzione dell'energia elettrica che sono paragonabili con quelli degli impianti Diesel decentralizzati. Brevettato già nel 1816 da un Pastore presbiteriano scozzese, il motore Stirling è composto da due cilindri, di cui uno viene riscaldato e l'altro raffreddato dall'esterno. All'interno del cilindro quindi non avviene nessuna combustione o esplosione come in un normale motore a combustione interna (motore Otto o Diesel). Il calore addotto dall'esterno può derivare da qualsiasi fonte termica (di temperatura sufficientemente alta).

Al fine di aumentare il rendimento del motore, esso viene dotato di un accumulatore termico e di un refrigeratore. I due stantuffi sono fissati con delle bielle sul medesimo albero a gomiti. Sottoposto a calore, il gas (ad esempio elio o aria) si espande nel cilindro caldo e preme lo stantuffo verso il basso, facendo girare così l'albero a gomiti. Tornando indietro lo stantuffo spinge il gas caldo nel cilindro freddo; nel tubo di giunzione il gas cede il calore al rigeneratore e si raffredda. Lo stantuffo



Schema di un impianto Dish/Stirling

Schema di un motore Stirling

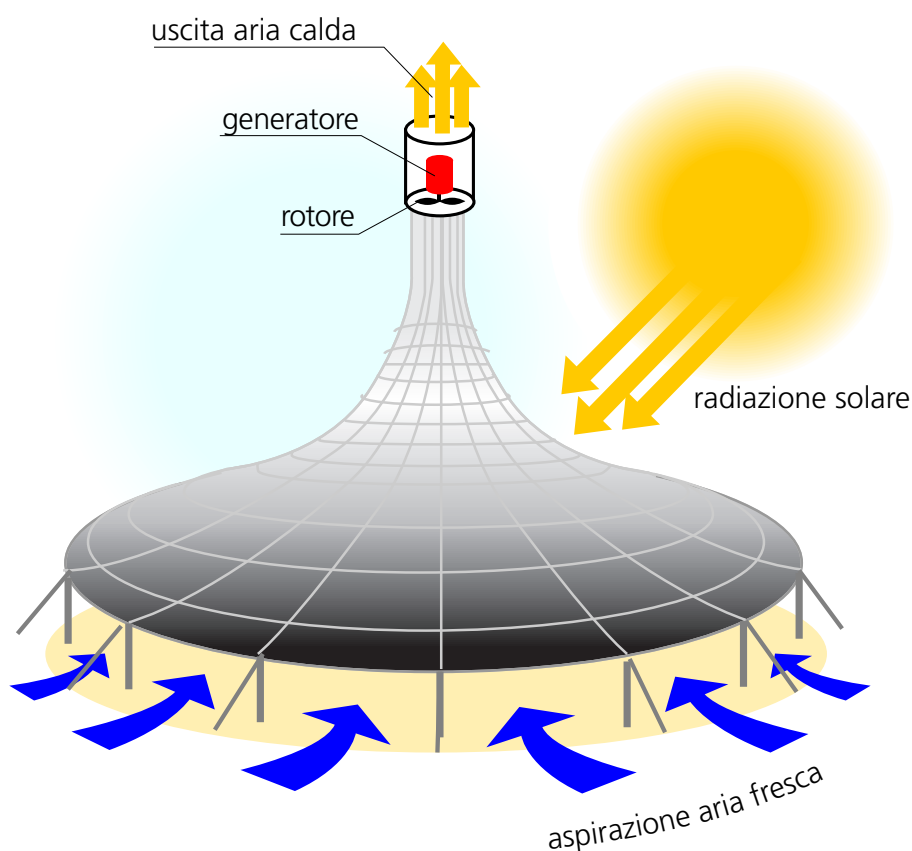


nel cilindro freddo si muove verso il basso, facendo posto in questo modo al gas; quando torna verso l'alto, comprime il gas e lo spinge nel cilindro caldo, cosichè il gas riassorbe il calore ceduto prima al rigeneratore. Nell'albero a gomiti si accumula una quantità di lavoro utile, poiché lo spostamento dello stantuffo nel cilindro caldo fornisce più energia di quella necessaria per spingere indietro quello nel cilindro freddo.

Centrale a corrente ascendente

Queste centrali sfruttano l'effetto serra per produrre energia elettrica dalla radiazione solare. Per realizzare questa metodologia si copre una grande superficie, in genere rotonda, con un rivestimento trasparente, attraverso il quale il sole riesce a passare. Così si ripara, ad esempio, un pezzo di terra povera in mezzo al deserto con un telo in plastica trasparente a un metro di distanza dal suolo. Questa copertura è rialzata verso il centro del cerchio. Al centro della superficie rotonda si trova una torre verticale a forma di cilindro, in cui è montata in posizione orizzontale una ruota a vento. La radiazione solare passa attraverso la copertura trasparente e colpisce il suolo riscaldandolo, che irradia ora a sua volta calore (raggi infrarossi). L'involucro trasparente è però opaco ai raggi infrarossi che quindi vengono riflessi riscaldando in questo modo il suolo e con esso l'aria tra il suolo e la copertura. L'aria così riscaldata espande, diventa più leggera di quella esterna circostante e vuole salire. Poiché la copertura s'innalza verso l'interno, l'unica via possibile è quella di spingersi verso la torre verticale situata al centro. A causa dell'ascensione dell'aria verso il centro, ai lati si crea una depressione che

aspira dall'esterno l'aria non riscaldata. Si forma così una corrente continua d'aria ascendente che esce dalla torre. Questa corrente mette in moto la ruota a vento, situata nella torre, che trasforma l'energia dell'aria in energia cinetica del rotore, convertita infine per mezzo di un generatore in corrente elettrica. Come nei collettori solari usati per la produzione di acqua calda, anche qui si sfrutta l'effetto serra. Visto che molti materiali sono diafani alla luce visibile del sole, ma non lo sono invece ai raggi infrarossi (a onde lunghe), l'energia solare può entrare nella serra ma non uscire, quindi la si può "catturare" sotto la copertura, provocando il riscaldamento degli elementi sottostanti. Nei collettori solari il termovettore è l'acqua, in questo caso invece è l'aria. Queste centrali hanno il vantaggio che senza troppo dispendio si possono coprire delle superfici relativamente grandi, e che tranne il rotore e il generatore non si impiegano delle apparecchiature costose che richiedono particolari misure di manutenzione.



Rappresentazione schematica di una centrale a corrente ascendente

Il futuro all'insegna dell'energia solare

4. L'uso indiretto dell'energia solare

L'energia idrica

L'energia idrica fu una delle prime forme d'energia, dopo il fuoco, utilizzate consapevolmente dall'uomo. Dalla ruota idraulica del medioevo alla moderna turbina ad alto rendimento le tecnologie e i materiali impiegati sono cambiati, ma lo scopo e il principio è rimasto lo stesso: l'uomo sfrutta per le sue esigenze l'acqua che si precipita dall'alto della montagna fino a valle. Ma anche nello sfruttamento dell'energia idraulica è l'energia raggiante del sole a garantire la circolazione dell'acqua.

Circuito dell'acqua e l'uso nelle centrali idriche

L'energia della radiazione solare provoca l'evaporazione dell'acqua sulla superficie degli oceani. L'umidità formata si solleva nell'aria e si sposta dai mari verso le montagne. Lungo questo percorso l'aria si raffredda e cede una parte dell'umidità interna che si riversa sotto forma di pioggia su montagne e pianure. Percorrendo ruscelli e fiumi l'acqua raggiunge di nuovo il mare. L'uso della energia idrica è dunque nient'altro che l'uso indiretto dell'energia solare.

Lo sfruttamento dell'energia scaturita da questo ciclo potenzialmente fornirebbe una quantità energetica molto grande.

Per ottenere un maggior profitto impiegando un dispendio tecnico minimo, si devono sfruttare al meglio le qualità orografiche del territorio costruendo dighe, condotte forzate e bacini di raccolta. L'uso dell'energia solare sotto forma di energia idrica presenta un vantaggio decisivo nei confronti dello sfruttamento diretto dell'energia solare. Infatti, si può accumulare l'acqua in grandi bacini e usarla per azionare le turbine solo nel momento, in cui c'è bisogno di energia elettrica: fa lo stesso se piove, se è di notte o d'inverno.

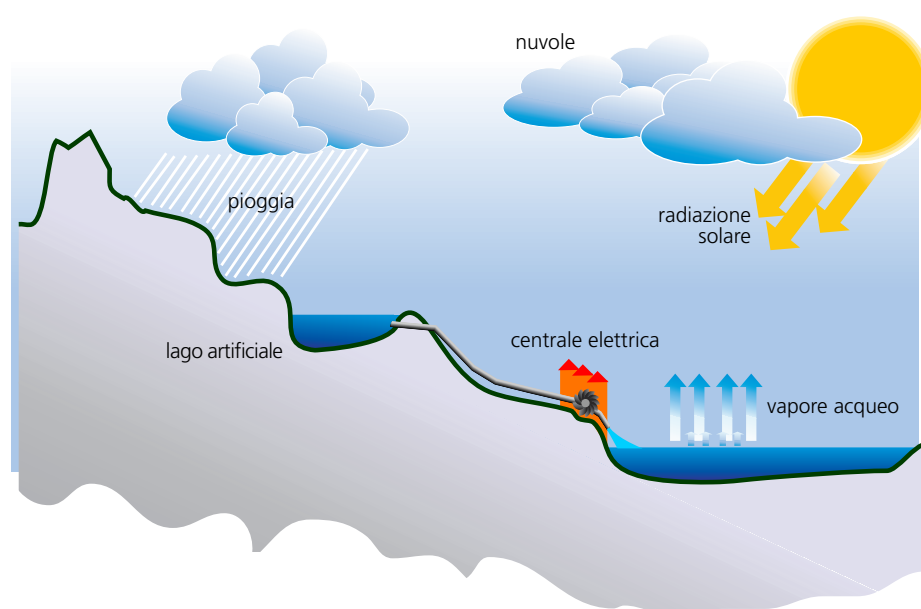
L'energia idrica rappresenta la forma quasi ideale dell'uso dell'energia solare. Per lo sfruttamento della forza idraulica esistono alcuni tipi di turbine molto diversi tra di loro. La ruota idraulica semplice sfrutta direttamente l'energia di posizione e l'energia cinetica dell'acqua. L'energia così ottenuta si impiega già da tempo per l'azionamento di mulini e per la fucinatura.

Le turbine utilizzate nelle centrali elettriche moderne per la trasformazione di corrente elettrica si distinguono perché lavorano quantità d'acqua diverse con diverse differenze di pressione. Avendo a disposizione quantità d'acqua ridotte

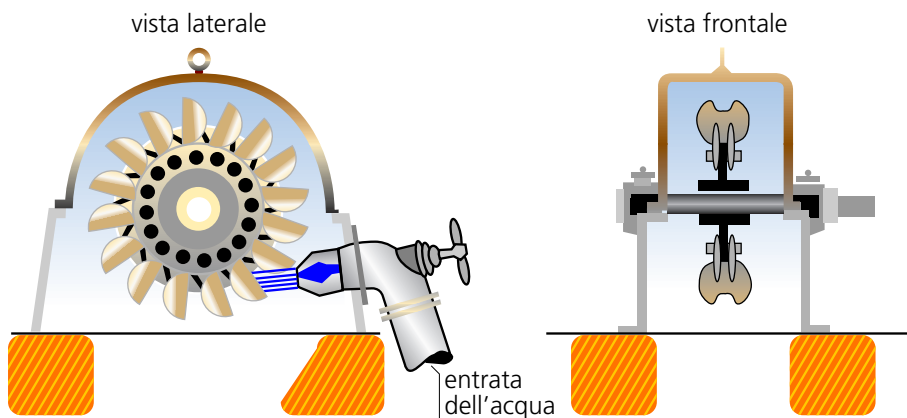
con un dislivello alto (e quindi anche differenza di pressione alta), si usa la turbina Pelton. Le sue palette mobili, simili a un doppio cucchiaino, vengono messe in moto da un getto d'acqua. La girante aziona un generatore che produce corrente elettrica, a seconda del fabbisogno di energia elettrica si convoglia più o meno acqua su di essa. Avendo a disposizione dei grandi quantitativi di acqua con modeste differenze di pressione, si usa la turbina Francis che sfrutta direttamente l'energia di pressione dell'acqua.

Se si dispone di grandi quantità di acqua con un dislivello relativamente basso (dunque anche una differenza di pressione bassa), si applica la turbina Kaplan simile a una "ruota a vento" azionata dalla corrente d'acqua. Con questo tipo di turbina si possono sfruttare anche dislivelli di pochi metri, come ad esempio in un fiume.

Come già menzionato, l'acqua è fonte di energia veramente ideale. Molte possibilità di sfruttamento dell'energia idrica sono però già esaurite. Nella realizzazione di impianti idroelettrici si deve inoltre badare alla compatibilità ambientale dell'intero impianto: la costruzione di laghi artificiali determina spesso la perdita di terreno fertile prezioso, e progetti grandi possono influire notevolmente sul clima locale e sul decorso dei processi naturali.



Circolazione dell'acqua



Schizzo di una turbina Pelton

Biomasse

Con l'aiuto dell'energia solare le piante producono delle sostanze organiche. Dal punto di vista energetico il processo della "fotosintesi" ha però un rendimento molto basso, circa il 3%. La fonte di energia così ottenuta ha però il vantaggio di essere rinnovabile in periodi non molto lunghi. Solo raramente è sensato e utile produrre sostanze vegetali al solo scopo di generare energia. C'è un'infinità di esempi, in cui queste sostanze risultano prodotti di scarto di altre applicazioni, utilizzabili per la produzione di energia. Possono essere prodotti di scarto del legno, la paglia e residui di oli vegetali.

Per la precisione si dovrebbero annoverare tra le biomasse anche il petrolio, il gas naturale, il carbon fossile e la lignite, in quanto derivano da sostanze vegetali. Per la concezione moderna del tempo però, i milioni di anni, in cui questi prodotti si sono sviluppati, si possono senz'altro considerare delle "eternità", quindi è legittimo definire questi materiali non rinnovabili.

Il ciclo delle biomasse

Nelle piante attraverso l'azione combinata di energia solare, acqua e anidride carbonica si verifica un processo naturale di trasformazione energetica. Le piante assorbono anidride carbonica e acqua (e altre sostanze ancora), accumulano l'energia solare sotto forma chimica, cedendo ossigeno all'ambiente. Quest'energia può essere sfruttata dal corpo umano, ingerendo sostanze vegetali per nutrirsi. L'ossigeno necessario per questa trasformazione viene inspirato dal corpo, mentre

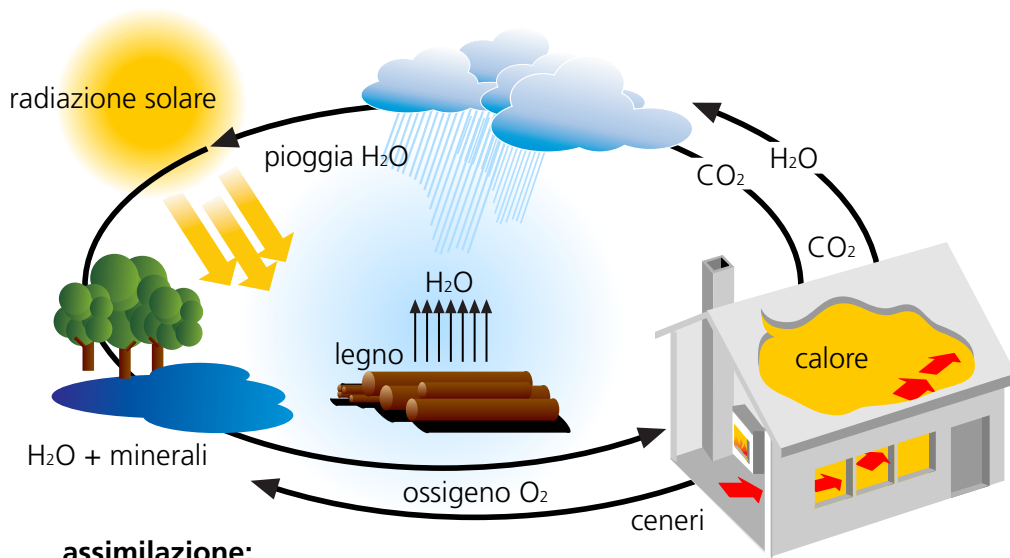
nell'espiazione cede anidride carbonica all'ambiente. L'energia così ottenuta viene usata per il movimento dei muscoli, per l'attività cerebrale ecc..

Un altro modo per liberare l'energia accumulata nelle biomasse, e quindi chiudere di nuovo il ciclo, è la combustione. Bruciando legno o paglia si sottrae ossigeno all'ambiente e si cede energia sotto forma di calore. Anche in questo processo si forma anidride carbonica (e altre sostanze). Il processo di putrefazione è un altro metodo a cui ricorre la natura per portare a compimento questo ciclo. L'energia che si libera (sotto forma di calore e di gas parzialmente combustibili) in natura viene sfruttata però solo raramente.

Una possibilità per impiegare questo processo per scopi energetici, è la produzione di biogas. Un punto essenziale nell'uso delle biomasse è che anche per la concezione temporale umana si tratta di un ciclo chiuso.

Ciò significa che nell'utilizzo di biomasse, a ciclo ultimato non si ha ulteriore produzione di CO₂ (anidride carbonica). Negli ultimi anni questo gas, in realtà del tutto innocuo per l'uomo (lo espiriamo noi stessi), è sempre più spesso oggetto di discussioni, in quanto è uno dei maggiori responsabili dell'effetto serra atmosferico e quindi del crescente riscaldamento della superficie terrestre.

Il ciclo delle biomasse



assimilazione:
attraverso la fotosintesi, l'accrescimento e l'immagazzinamento di energia

combustione:
decomposizione e liberazione di energia mediante ossidazione

L'uso di legno e di paglia

A prescindere dall'ingestione di cibo, uno dei primi usi delle biomasse nella storia dell'umanità è la combustione di legno e di paglia per la generazione di calore. In questo processo l'energia solare assorbita è accumulata dalla pianta durante la crescita viene liberata sotto forma di energia termica. Come già indicato all'inizio di questo capitolo, non è molto conveniente produrre legno e paglia esclusivamente per la generazione di energia. Entrambi i materiali si ottengono però in quantità ingenti come prodotti di scarto di altre applicazioni. Nella produzione cerealicola, ad esempio, si formano grandi quantità di paglia. Anche nella lavorazione del legno in edilizia oppure nella falegnameria si producono grandi quantità di scarti che si possono convertire in energia termica in particolare caldaie e così riscaldare singoli edifici oppure per azionare reti di teleriscaldamento.

Questo utilizzo è vantaggioso soprattutto in quelle zone, in cui si fabbricano prodotti di legno in grande quantità e gli avanzi si devono smaltire appositamente. Ciò accade, ad esempio, spesso nelle nostre valli di montagna.

Per il riscaldamento di edifici di piccole dimensioni, come ad esempio case monofamiliari e bifamiliari, si adegua una caldaia che usa come combustibile la legna. Per edifici più grandi e per l'azionamento di centrali di riscaldamento è preferibile una tale produzione di calore mediante la combustione di truciolo di legno, poichè in gran parte può essere automatizzata. La paglia si può bruciare sciolta oppure compressa ed è adatta per caldaie di dimensioni più grandi.

Biogas

Dalla trasformazione microbiologica di sostanze organiche in assenza di aria si ottiene una miscela di gas, la cui percentuale combustibile dipende dal tipo di materiale organico. Nella maggior parte dei casi questa miscela è costituita per due terzi da metano e per un terzo da anidride carbonica. Poiché durante la loro crescita tutte le sostanze organiche ricevono dal sole l'energia contenuta in esse, indirettamente si tratta anche in questo caso di energia solare. Il biogas si può ricavare da depositi di immondizie, impianti di depurazione e aziende agricole. Da una tonnellata di immondizie si ottengono circa 120-150 m³ di gas che a sua volta contiene il 35-60% di metano. Nei depositi di immondizie aperti spesso è però molto difficile assorbire questo gas. Se nella costruzione di un deposito di immondizie

che verrà "ricoltivato" (cioè coperto di terra e plantato a scopo di rinverdimento), si provvede all'impianto di un drenaggio del gas, l'uso del gas di deposito per la generazione di corrente elettrica oppure per l'azionamento di una centrale di riscaldamento a distanza è fattibile. Negli impianti di depurazione in genere è possibile, con un dispendio tecnico sostenibile, far fermentare nelle cosiddette torri di digestione i fanghi derivanti dalla depurazione. Il biogas ottenuto di solito si sfrutta anche per coprire il fabbisogno energetico dello stesso impianto di depurazione.

Anche nelle aziende agricole che superano la dimensione minima spesso conviene utilizzare il gas sviluppatosi durante la fermentazione del liquame per il riscaldamento degli edifici rurali e di abitazioni, per la produzione di acqua calda e spesso anche per il riscaldamento delle case vicine. Se la progettazione di un impianto di questo genere viene eseguita correttamente, gli investimenti si possono ammortizzare già dopo alcuni anni.

Utilizzando il biogas si hanno due grandi vantaggi: da un lato si ottiene un gas, il cui contenuto energetico si può usare per il riscaldamento e per la produzione di corrente elettrica, dall'altro lato si impedisce la fuoriuscita dei gas nell'atmosfera, dove sono in parte responsabili dell'effetto serra.

Energia eolica

Lo sfruttamento dell'energia eolica costituisce anch'esso un uso indiretto dell'energia solare, ed è conosciuta dall'uomo da molto tempo. Da millenni si usano le ruote a vento per azionare mulini per cereali, stazioni di pompaggio dell'acqua e simili. La radiazione solare scalda l'aria che quindi si espande e sale. Si crea una depressione che "aspira" aria da una zona, dove il riscaldamento non è così elevato, perché delle nuvole coprono, ad esempio, una parte della radiazione solare oppure perché in questa regione la superficie terrestre assorbe una quantità maggiore della radiazione. Questi movimenti d'aria si avvertono poi sulla superficie terrestre come vento. Le centrali eoliche sfruttano l'energia cinetica del vento per generare potenza motrice che in genere viene trasformata in energia elettrica tramite un generatore. Oggi si costruiscono anche eliche e rotor di grandi dimensioni funzionanti secondo il principio alare. L'aria fluisce attraverso una superficie circolare, sopra la quale gira un'elica, e viene frenata dalle ali. L'elica aziona tramite l'albero e la trasmissione un generatore. In confronto alle pale dei mulini a vento le eliche sfruttano una parte maggiore dell'energia cinetica della corrente d'aria.

Tipi di centrali eoliche

Centrali eoliche di piccola potenza (fino a 100 kW) sono in grado di fornire energia a zone isolate; impianti di grande potenza (da alcune centinaia di kilowatt fino ai megawatt) consentono di immettere corrente elettrica nelle reti di approvvigionamento. Per un impiego vantaggioso di centrali eoliche la velocità media del vento a 10 metri dal suolo dovrebbe superare i 5 metri al secondo (=18 km/h).

In linea di massima si distinguono due tipi di convertitori eolici: quelli ad asse di rotazione orizzontale, tra i quali si annoverano anche le ruote a vento storiche, e quelli ad asse verticale.

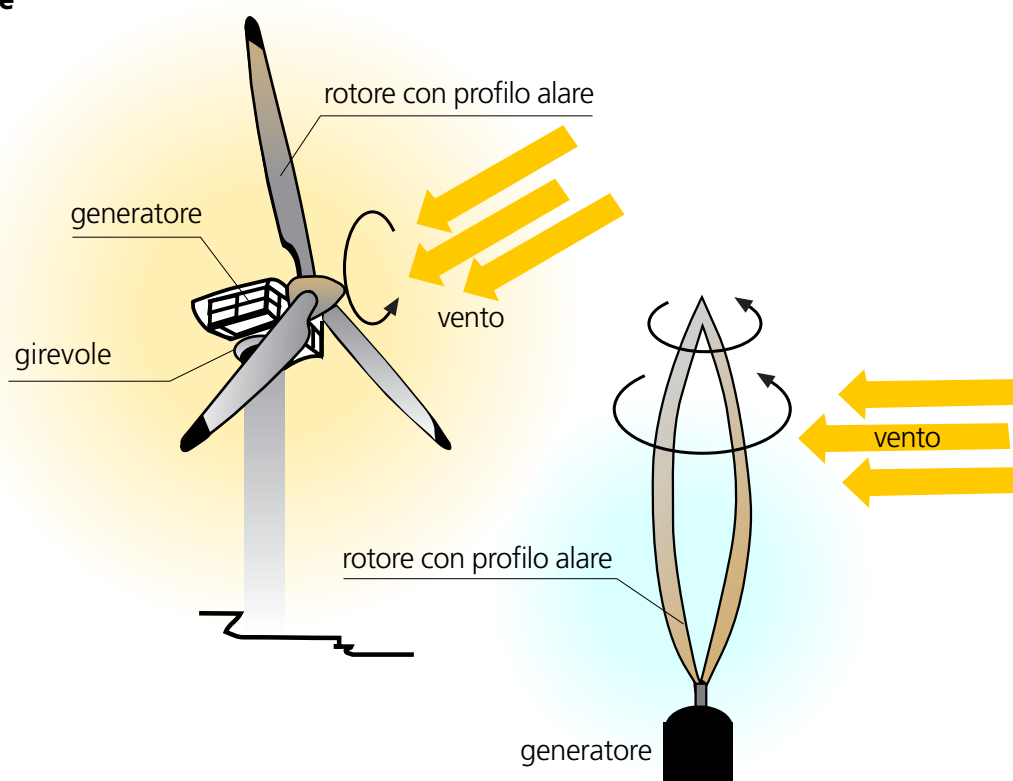
Nelle centrali eoliche moderne ad asse orizzontale si hanno strutture molto diverse con cinque, tre, due oppure addirittura una sola ala. Si distinguono per il grado di sfruttamento dell'energia eolica, ma naturalmente anche per la complessità della costruzione e quindi per i costi.

Le ali di centrali eoliche moderne hanno sempre un profilo alare che favorisce uno sfruttamento migliore dell'energia eolica. Un vantaggio della struttura orizzontale è dovuta alla grande esperienza dell'uomo nella produzione di rotori, acquisita anche grazie alla costruzione di eliche applicate per azionare aerei. Regolando l'inclinazione delle ali rotanti si possono sfruttare al massimo le diverse velocità del vento. Infine l'impianto può essere protetto da eventuali danneggiamenti causati da tempeste, sottraendo le ali dall'azione del vento. Uno svantaggio di questa struttura è dovuta al fatto che il rotore deve seguire costantemente la direzione del vento e quindi la parte superiore della costruzione deve essere girevole.

Anche le centrali eoliche ad asse verticale presentano diversi tipi di costruzione. Il rotore più noto è sicuramente il rotore Darrieus. In genere anche le ali rotanti di questi impianti dispongono di un profilo alare. La struttura ad asse verticale presenta una potenza che non dipende dalla direzione del vento, per cui la struttura che porta il generatore non deve essere girevole.

Dall'altro lato si devono però accettare delle notevoli modifiche della frequenza di rotazione dovute alla variabilità della velocità del vento; inoltre bisogna adottare particolari accorgimenti per proteggere l'impianto contro le tempeste. Ci sono molte zone, in cui il vento soffia spesso e con una velocità relativamente costante. Molte pianure, zone costiere, nonché zone sulla superficie del mare vicino alla costa disporrebbero di un grande potenziale energetico, fino ad oggi inutilizzato e che in un prossimo futuro dovrà essere sfruttato maggiormente.

Rappresentazione schematica di centrali eoliche ad asse di rotazione orizzontale e verticale



Possibilità e limiti nella nostra regione

Per poter sfruttare l'energia eolica in modo vantaggioso dal punto di vista tecnico ed economico, si devono tenere in considerazione due fattori. La velocità del vento deve superare un certo valore minimo (già menzionato) e il vento deve soffiare nel modo più costante possibile. Come nella maggior parte delle regioni montuose, anche in Alto Adige qualche volta ci sono delle tempeste violente, ma in genere l'intensità del vento è molto irregolare. Per questo motivo le nostre valli, come anche altre zone montuose, sono poco adatte per la costruzione di grandi impianti eolici con immissione dell'energia elettrica prodotta nella rete pubblica.

Impianti eolici più piccoli usati per l'approvvigionamento di masi o rifugi isolati, o per l'integrazione di centrali di accumulo con pompaggio dell'acqua in alte e ventilate zone di montagna, possono essere tuttavia vantaggiosi e redditizi.

Il futuro all'insegna dell'energia solare

5. Possibilità e limiti dell'energia solare

L'energia solare costituisce per la concezione temporale umana l'unica fonte energetica inesauribile del nostro pianeta, tutte le altre, ad eccezione forse della fusione nucleare, si esauriscono in tempi relativamente brevi. L'energia irradiata sulla terra sotto forma di luce solare rappresenta una quantità multipla di quella consumata. Attualmente e in futuro non sussiste quindi una vera carenza energetica. Il problema fondamentale consiste nella difficoltà di sfruttare su larga scala l'enorme offerta di energia solare per il fabbisogno dell'uomo.

L'energia solare: un'energia inesauribile, ma diluita

I motivi per cui l'uso del sole come fonte di energia primaria per l'umanità è problematico sia adesso che in futuro, sono due: Primo: l'energia solare arriva sulla terra in quantità massicce, ma si distribuisce su tutta la superficie terrestre. Ciò significa che l'energia solare è molto diluita. Secondo: al di fuori dell'atmosfera terrestre la radiazione solare è abbastanza costante; sulla superficie invece l'intensità della radiazione oscilla.

A causa dell'avvicendamento tra giorno e notte in un determinato punto della terra, la luce del sole secondo la media annua accertata è a disposizione solo metà del tempo. La quantità della radiazione solare oscilla fortemente anche a causa del cambio tra estate e inverno. Infine l'intensità della radiazione che colpisce la superficie terrestre dipende molto dai fenomeni meteorologici, cioè dalla cappa di nubi. Nell'insieme tutto ciò condiziona le forti variazioni dell'offerta di energia solare, presente solo in certe ore del giorno e in determinati periodi dell'anno, ma non sempre disponibile.

Una conseguenza della diluizione dell'energia solare, accennata prima, prevede l'uso di superfici vaste per poter soddisfare solo parzialmente la richiesta di energia; queste grandi superfici spesso non sono disponibili, laddove vi è maggiore domanda. Si potrebbe pensare di produrre energia con l'aiuto del sole, laddove sono disponibili grandi superfici, ad esempio nei deserti, e trasportarla poi nelle zone industrializzate, dove si riscontra il consumo energetico maggiore. Si creano così problemi e perdite notevoli, relativi allo stoccaggio e al trasporto dell'energia. Per riuscire a coprire a lungo termine almeno una porzione considerevole del fabbisogno energetico, si dovrebbe ricorrere allo sfruttamento decentrato dell'energia, ottenuta dal sole, ed al suo consumo periferico. Ciò significa che le grandi zone di densità industriale, che momentaneamente sono anche i maggiori consumatori di energia, dovranno cedere sempre di più a centri residenziali e commerciali piccoli e distribuiti.

L'accumulo di energia

Il secondo problema inerente all'energia solare dopo la diluizione è la disponibilità e l'intensità incostante della radiazione solare. Poiché il consumo energetico dell'umanità può essere adattato solo in misura limitata all'offerta energetica del sole, l'accumulo dell'energia acquisisce un'importanza essenziale. Risolto il problema dell'accumulazione su larga scala, l'energia solare potrà passare da fonte energetica complementare a fonte energetica veramente alternativa. Lo stoccaggio sotto forma di acqua calda in caldaie ben isolate, per periodi di breve e media durata, è praticato già oggi in modo soddisfacente. I problemi maggiori si presentano però, quando si vuole soddisfare una parte notevole del fabbisogno di energia elettrica ed energia per i trasporti (carburante per automobili, navi ed aerei) ricorrendo all'energia solare. La già accennata tecnologia dell'idrogeno è sicuramente la soluzione più promettente: per mezzo di celle solari si trasforma l'energia solare in corrente elettrica, utilizzata poi tramite l'elettrolisi per la produzione di idrogeno. L'idrogeno ha infatti il vantaggio di essere trasformabile in corrente elettrica, presentando un buon rendimento e inoltre rappresenta un tipo di carburante quasi ideale, in quanto il vapore acqueo è l'unico gas di scarico che si forma durante la sua combustione.

Un'altra possibilità è usare la corrente elettrica prodotta da celle solari per pompare acqua da un lago artificiale in un altro situato più in alto. Quest'acqua poi può essere usata in una normale centrale idroelettrica per produrre nuovamente corrente elettrica, solo nel momento, in cui c'è bisogno. In questo caso l'energia elettrica viene accumulata sotto forma di energia potenziale (dell'acqua).

Un'ulteriore possibilità è quella di utilizzare la corrente elettrica per pompare aria in un grande contenitore, come ad esempio una caverna ermetica nella roccia. Uscendo dal contenitore in stato compresso, quest'aria può azionare una specie di ruota a vento che produrrà di nuovo corrente elettrica, esattamente nel momento in cui viene richiesta. In questo caso l'energia viene accumulata sotto forma di energia di pressione (dell'aria).

Le soprannominate possibilità di accumulo dell'energia solare hanno però lo svantaggio di essere legate in qualche modo a fattori locali. Inoltre non è possibile trasportare l'energia immagazzinata in questo modo.

Stato attuale e prospettive per l'avvenire

L'integrazione e la sostituzione di fonti d'energia tradizionali come olio combustibile,

gas e carbone assumono un'importanza sempre maggiore. L'energia solare sta già dando un certo contributo che in futuro è destinato ad aumentare notevolmente. In alcune applicazioni particolari questa tecnica è già all'avanguardia. Oggi si ha una moltitudine di soluzioni per ottenere acqua calda durante i mesi estivi e le mezze stagioni, e non esiste nessun motivo valido, perché durante l'estate l'acqua calda sanitaria si debba produrre per mezzo di grandi caldaie che in questo periodo dell'anno lavorano con rendimenti scarsi. Anche la considerazione dell'uso passivo dell'energia solare nell'edilizia ha già trovato molti sostenitori nelle singole categorie professionali. Anche in Alto Adige molti edifici costruiti di recente o ristrutturati dimostrano che questi criteri possono essere perfettamente compatibili con uno stile di costruzione legato al luogo e alle tradizioni.

Per utenti lontani dalla rete elettrica pubblica e per applicazioni particolari le celle fotovoltaiche danno già ottimi risultati. In un prossimo futuro, i nuovi sviluppi tecnici dovranno tra l'altro comportare una riduzione dei costi delle celle solari. Già da molto tempo, l'energia idrica viene sfruttata in tutto il mondo. Ciò nonostante sussiste in molte regioni un elevato potenziale da sfruttare, soprattutto per impianti piccoli e medi.

L'energia eolica ha dimostrato la sua validità anche per la realizzazione di grandi progetti, soprattutto perché disponibile anche nei mesi freddi. Sarebbero da potenziare gli impianti nelle zone costiere, nonché su ponteggi nel mare vicino alla costa che offrono maggiori possibilità non ancora esaurite.

Anche lo sfruttamento delle biomasse favorirebbe la riduzione dei costi e del trasporto di petrolio e gas naturale attorno a mezzo globo e permetterebbe di sfruttare in molte regioni le proprie risorse, invece di dipendere completamente dalle materie prime e dai prezzi imposti da altri paesi. In una proiezione a lungo termine, saranno sicuramente le celle fotovoltaiche la tecnologia più adatta a coprire una parte considerevole del consumo energetico mondiale. Sicuramente si dovranno ancora aggirare molti ostacoli tecnici ed economici, e lo sviluppo in questo settore potrà procedere solamente per passi successivi. In fondo esso è già iniziato e dev'essere portato avanti con grande impegno.

Anche qui vale come del resto in tutte le cose il detto che:

“Chi si propone di realizzare grandi progetti, deve tener conto di ogni dettaglio.”