Anche oggi abbiamo consumato:

12,5 milioni di tonnellate di carbone
7,5 miliardi di metri cubi di gas naturale
85 milioni di barili di petrolio

Per produrre questo quantitativo di petrolio, che corrisponde al consumo mondiale di una sola giornata, la natura ha impiegato 500.000 giorni, pari a 1370 anni o a 14 secoli del tempo dell'uomo. È evidente che il passaggio dalle fonti fossili alle fonti energetiche rinnovabili è ormai una necessità.

COLLANA SCIENTIFICA / VOL.2 AUTONOMIA ENERGETICA

A.P.E.

QUADERNI PER L'ENERGIA / VOL.2

AUTONOMIA ENERGETICA

L'ABC DELLE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI IN FRIULI VENEZIA GIULIA

PUBBLICAZIONI A.P.E.
AGENZIA PROVINCIALE PER L'ENERGIA DI UDINE

INDICE

PREFAZIONE

Le fonti rinnovabili di energia sono compatibili con l'ambiente: si rinnovano nel tempo, non provocano emissioni tossiche né irraggiamento radioattivo, sono disponibili per tutti.
Tra queste la principale è l'energia del Sole, che arriva sulla Terra gratis e può essere sfruttata in diversi modi, anche in casa propria: per riscaldare l'acqua, per integrare il riscaldamento e per produrre energia elettrica. Se poi consideriamo anche le forme di energia solare indirette, le biomasse ad esempio, ci rendiamo conto dell'ampiezza delle possibilità di sfruttamento dell'energia solare.
Oggi, grazie all'evoluzione tecnologica, accanto al Sole trova sempre più spazio anche l'energia stivata nel sottosuolo, quella geotermica.
Questa pubblicazione vuole avvicinare il più alto numero possibile di cittadini a queste tematiche, per rendere accessibile all'intera popolazione queste fonti energetiche che, se sfruttate opportunamente, racchiudono un enorme potenziale.
Il Friuli Venezia Giulia è un territorio che offre numerose opportunità in questo senso garantendo una buona disponibilità di Sole, acqua, biomasse agroforestali e geotermia. Il nostro modo di vivere può essere più sostenibile: nella consapevolezza delle opportunità troveremo le soluzioni!

dott. Loreto Mestroni
Presidente APE

1.0 INTRODUZIONE COS'È L'ENERGIA

Cos'è l'energia?
Per poter dare una risposta esauriente
a questa domanda, è meglio chiedersi innanzitutto:
"perché energia"?

Per molti millenni all'uomo è bastata 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. Questa ulteriore fonte energetica gli sarebbe stata sufficiente poi per un altro lunghissimo periodo. Le grandi culture che si svilupparono nel tempo, però, come quella degli Egizi o quella dei Romani, si resero ben presto conto che per realizzare imponenti progetti e per raggiungere un alto tenore di vita erano necessari, tra l'altro, 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, anche nel caso di 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.
Un approvvigionamento che, a partire dalla Rivoluzione Industriale (fine '700) in poi, si è basato in gran parte sullo sfruttamento di risorse fossili come il petrolio ed il gas. Abbiamo cioè consumato il capitale naturale a nostra disposizione, ovvero l'energia chimica accumulata per milioni di anni nel sottosuolo dopo la morte degli organismi che l'avevano immagazzinata dal Sole nei loro tessuti.
In un prossimo futuro si dovranno trovare, sperimentare e realizzare delle fonti energetiche integrative e alternative a quelle tradizionalmente utilizzate finora.
La *fissione nucleare** può essere un'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, sebbene sia in discussione il ruolo che dovrà svolgere nel prossimo futuro. Infatti, i problemi inerenti all'impiego pacifico della fissione nucleare, in parte ancora irrisolti, si conoscevano già prima della catastrofe di Chernobyl: incidenti negli impianti, perdite di *isotopi radioattivi*,* scorie nucleari, oltre al fatto che il combustibile nucleare è una risorsa limitata a pochi e per poco tempo.
La *fusione nucleare*,* invece è quel processo responsabile dell'enorme produzione di energia nel Sole, indubbiamente un fenomeno che in futuro potrebbe sopperire parzialmente alle esigenze energetiche della Terra. Fino ad oggi si è però riusciti soltanto a dimostrarne la fattibilità fisica sulla Terra senza trovarne un'applicazione pratica. 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.
Le uniche fonti energetiche veramente "pulite", non nocive per l'uomo e per l'ambiente, sono dunque quelle rinnovabili. Una delle più grandi sfide dei prossimi anni sarà impiegarle 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 delle fonti energetiche rinnovabili è una necessità. Adesso si tratta di metterla in pratica.

In Friuli Venezia Giulia, la produzione interna di energia copre appena l'8% del totale; la dipendenza dalle importazioni è quindi molto alta, e superiore alla media nazionale. Le risorse locali sono tutte di tipo rinnovabile o assimilate a tali: il maggior contributo è dovuto all'energia idroelettrica che rappresenta il 94,2% del totale, seguita a larga distanza dalle biomasse, 3,5%, essenzialmente legna da ardere utilizzata per il riscaldamento delle abitazioni. Del totale di energia disponibile, importata o prodotta in loco, non tutta viene utilizzata direttamente per gli usi finali. Il 30% circa viene impegnato come combustibile nelle centrali di produzione termoelettrica (Monfalcone) con perdite che sfiorano il 50%.

PERCHÉ IL PETROLIO

Combustibile	Potere calorico
Gas naturale	~ 12.000 kcal/kg
Petrolio	~ 10.000 kcal/kg
Carbone	~ 7.000 kcal/kg
Legna	~ 4.000 kcal/kg

I combustibili liberano energia quando bruciano. Poiché la combustione avviene solamente allo stato gassoso è necessario fornire energia affinché le sostanze solide o liquide passino a questo stato. Non stupisce, quindi, che il gas naturale (metano) sia il combustibile a maggior *potere calorifico*,* proprio perché si trova già allo stato gassoso. Il fatto che venga prodotto solo in poche zone del mondo e che debba essere trasportato per lunghe distanze ad elevate pressioni determina un costo elevato per l'utilizzatore finale, rendendolo poco competitivo rispetto alle altre fonti fossili.
Anche il carbone, pur avendo un elevato potere calorifico, ha un trasporto piuttosto difficoltoso: è necessario portarlo in sospensione nell'acqua o nell'olio ed una volta arrivato a destinazione bisogna separarlo da questi. Il petrolio, al contrario, viene facilmente trasportato e distribuito, risultando quindi il più economico. Per questo è stato ed è tuttora - nonostante i continui rincari spesso frutto di pure speculazioni economiche - la principale fonte di *energia primaria** al mondo. Ogni volta che il suo prezzo tocca un nuovo record, torniamo a parlare di consumo di energia, emissioni di CO_2**,* e salvezza del mondo. Questa volta, a differenza delle altre, abbiamo però una certezza in più: con l'affacciarsi al consumismo di paesi come la Cina e l'India, la domanda di energia sarà per sempre strutturalmente in eccesso, ovvero la Terra non potrà ospitare sei o più miliardi di folli.
Non dimentichiamo infine che i paesi produttori di petrolio sono collocati prevalentemente in zone critiche dal punto di vista geopolitico: in queste aree

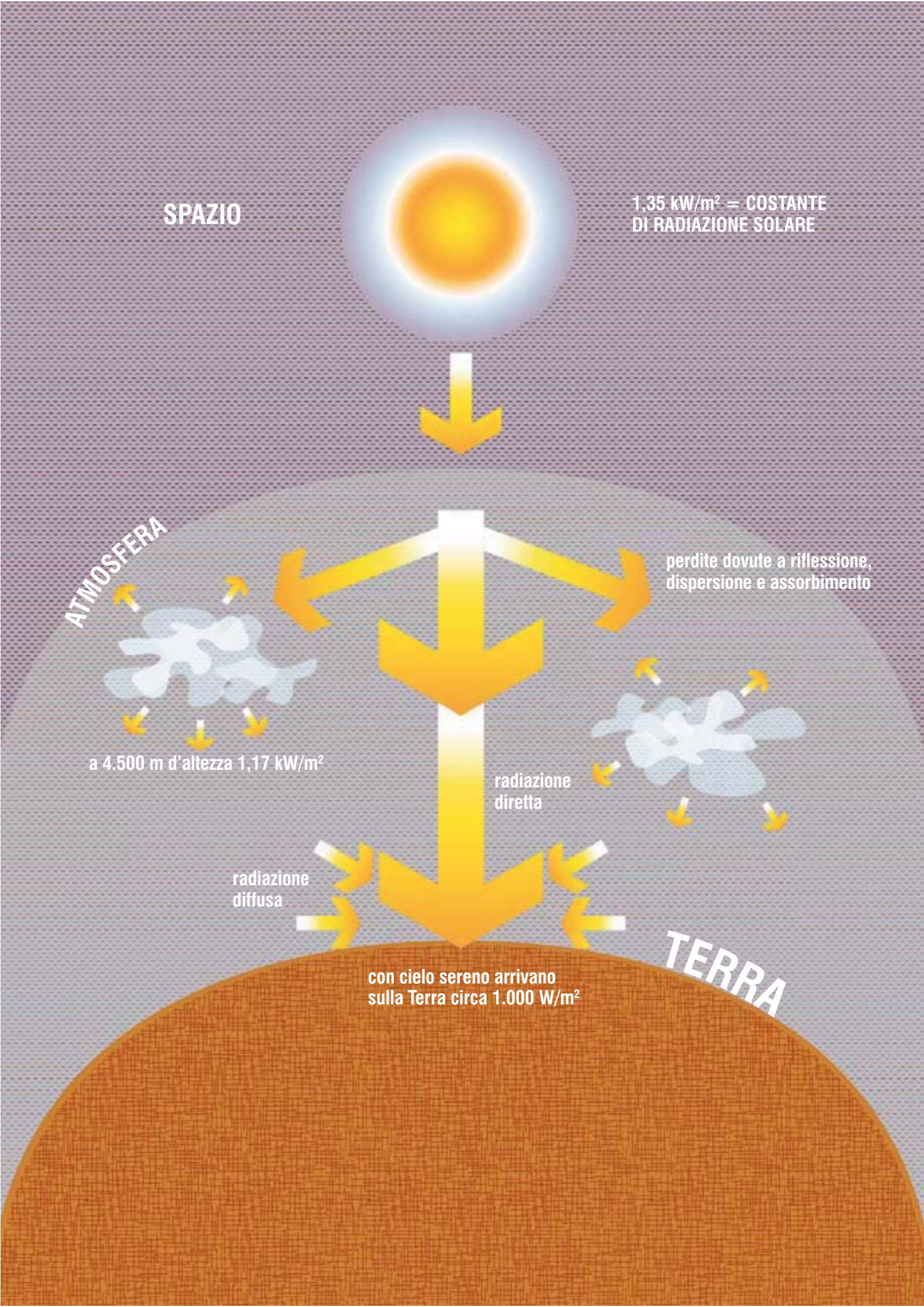
si concentrano gli interessi delle maggiori potenze economiche generando spesso tensioni mondiali che talvolta sfociano in conflitti bellici. I maggiori consumatori di energia, al contrario, possiedono poche energie primarie cosicché nasce un rapporto di dipendenza che, insieme alla scarsità delle risorse dei prossimi decenni, potrebbe condurre a nuovi e più cruenti conflitti.

QUAL È LA FONTE ENERGETICA MIGLIORE?

Nessuna fonte energetica sarà mai in grado soddisfare da sola il fabbisogno energetico mondiale. Il futuro sarà caratterizzato da un mix di produzione più diversificato rispetto al passato, dove le fonti rinnovabili avranno un ruolo progressivamente più importante.
La soluzione passa attraverso il rovesciamento dei canoni classici dei mega impianti concentrati in qualche luogo dimenticato da Dio, associando alla produzione di energia tre concetti: quello di micro, quello di rete e quello di risorsa locale.
Le novità tecnologiche e regolamentari rendono oggi possibile quello che ieri era utopia: l'inutilità dei grandi impianti centralizzati ed il rovesciamento del ruolo del cittadino, da semplice fruitore a produttore di energia. È un processo di democratizzazione dell'approvvigionamento energetico rispettoso della sostenibilità ambientale. L'approccio locale alla produzione di energia sarà garante di basso impatto ambientale e di ricadute economiche diffuse.
Storicamente la produzione di energia elettrica è stata monopolio dello Stato e di grandi complessi industriali i cui impianti produttivi fornivano energia a vaste aree. La diffusione dell'energia elettrica era considerata uno dei principali motori dello sviluppo economico di un paese. In questo modo si produssero elevate concentrazioni di inquinamento, anche perché non esistevano controlli e tecnologie attenti all'impatto ambientale ed alla salute.
Una crescente decentralizzazione e regionalizzazione dell'approvvigionamento energetico potrà rimediare a questi problemi. Dagli anni '90 la caduta del monopolio pubblico ha aperto le porte del mercato energetico a tutti. Si sono costruite le premesse per rendersi più indipendenti dall'estero: le vie di trasporto sono brevi, con minore probabilità di perdite e minori costi di manutenzione. Una parte rilevante del consumo energetico globale è infatti oggi rappresentata dal trasporto delle energie primarie fossili.

In media il 10% dell'energia prodotta si perde nella rete di trasmissione e distribuzione e nel corso di tali trasporti possono avvenire incidenti in grado di provocare disastri ecologici. Le fonti energetiche locali assumeranno un ruolo sempre più importante: impianti di produzione di medie o piccole dimensioni raggiungono l'80% del rendimento rispetto al 35% delle migliori centrali di grandi dimensioni.
Il fattore chiave per uno sviluppo energetico sostenibile va però ricercato nel **RISPARMIO ENERGETICO** e nell'**EFFICIENZA,** tramite lo sviluppo di tecnologie evolute in grado di aumentare il rendimento energetico degli apparecchi. Pur non trattandosi di una vera e propria fonte, oggi il risparmio energetico rappresenta una sfida per ridurre gli enormi sprechi di energia durante la fase di produzione, di distribuzione e di consumo.

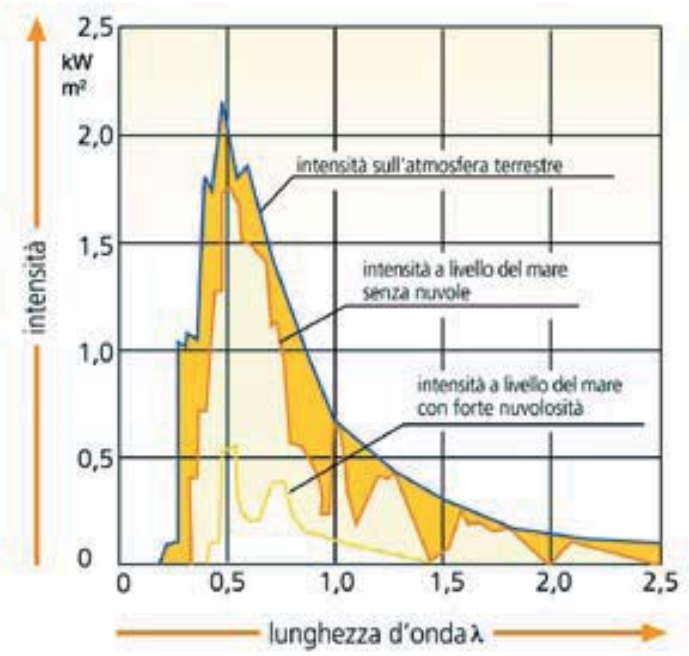
2.0 IL FUTURO ALL'INSEGNA DELL'ENERGIA PRODOTTA DAL SOLE


SPAZIO
1,35 kW/m² = COSTANTE DI RADIAZIONE SOLARE
ATMOSFERA
perdite dovute a riflessione, dispersione e assorbimento
a 4.500 m d'altezza 1,17 kW/m²
radiazione diretta
radiazione diffusa
TERRA
con cielo sereno arrivano sulla Terra circa 1.000 W/m²

L'INSOLAZIONE SULLA TERRA

Tutte le fonti energetiche, ad eccezione della geotermica e di quella nucleare, hanno un'origine comune: il Sole. Anche le biomasse vegetali e le fonti fossili sono espressione dell'energia solare fissata da vegetali ed organismi biologici, accumulata nel corso degli anni (legno) o di intere ere geologiche (petrolio). In ultima analisi si può tranquillamente affermare che il Sole è la fonte di energia che sostiene la vita.
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. 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.

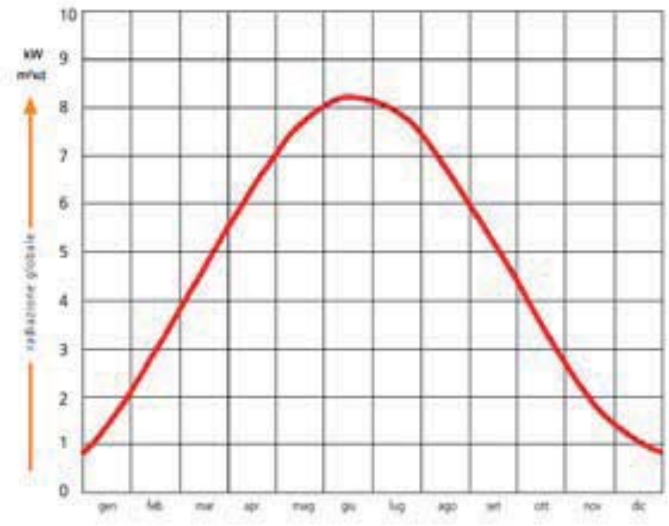
(illustrazione a sinistra)
Immagine del flusso energetico del Sole e della Terra all'esterno e all'interno dell'atmosfera terrestre



Spettro intensità /lunghezza d'onda dell'insolazione

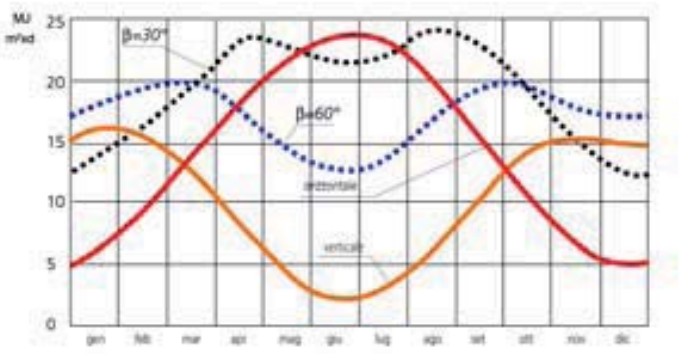
Un'altra porzione molto importante per la vita sulla Terra è costituita dalla luce e un'altra dai raggi ultravioletti a onde corte, i cui effetti nocivi sulla superficie terrestre sono aumentati di recente a causa della riduzione dell'ozono nell'ozonosfera che funge da schermo protettivo contro questa radiazione molto ricca di energia. 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. La disponibilità dell'energia solare varia a seconda dell'ora e del mese e quindi non può coprire sempre il contingente fabbisogno energetico.

L'INSOLAZIONE NELLA NOSTRA REGIONE



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

Le regioni dell'arco alpino in generale, ed il Friuli Venezia Giulia in particolare, si trovano in una buona posizione per l'utilizzo dell'energia solare: fanno parte della zona climatica temperata con un numero medio di giornate soleggiate all'anno relativamente alto. La peculiare morfologia della regione, con i monti della Carnia e le Alpi Giulie al nord, l'altopiano carsico ad est, l'alta e la bassa pianura a sud prima della costa frastagliata in ampie lagune, si traduce in una radiazione solare molto eterogenea, che va da un minimo inferiore di 5.000.000 *Joule** al metro quadrato giornalieri del mese di dicembre (con circa 150 minuti d'insolazione) a oltre 20.000.000 Joule al metro quadrato del mese di luglio (con oltre 10 ore, di media giornaliera, di tempo soleggiato). A giugno, teoricamente, si dovrebbe raggiungere la massima radiazione, ma in realtà questo mese è spesso piovoso e coperto da nubi, facendo slittare il culmine della radiazione a luglio, quando il Sole è vicino alla sua massima elevazione ed il tempo è sereno per la frequente presenza dell'anticiclone estivo. A livello locale l'insolazione estiva è maggiore nella pianura e lungo le coste rispetto alle zone pedemontana e alpina, a conferma della teoria climatologica secondo la quale il periodo estivo



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

in regione è caratterizzato da frequenti piogge ed annuvolamenti, specie pomeridiani, sui monti o a ridosso degli stessi e da cielo prevalentemente sereno man mano che si scende verso il mare. Bisogna poi considerare l'andamento dell'energia solare su una superficie inclinata, come quella delle zone montane, che è diverso rispetto a quello delle zone pianeggianti. Se prendiamo il caso limite di una superficie verticale l'energia solare irradiata raggiunge i valori massimi d'inverno, quando il Sole si trova nel punto più basso dell'orizzonte e i raggi sono maggiormente perpendicolari rispetto alla superficie stessa.
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.

2.1 L'USO DIRETTO DELL'ENERGIA SOLARE

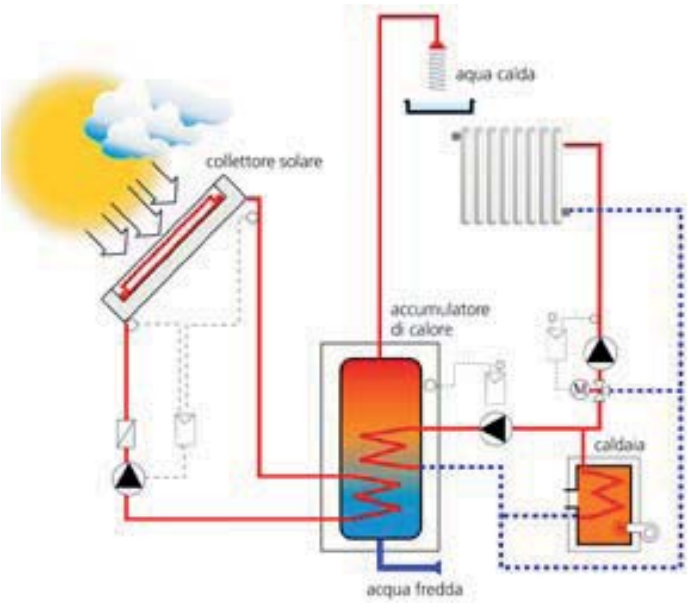
Per un'infinità di processi biologici che si verificano sulla superficie terrestre, negli oceani, nella biosfera l'energia solare è indispensabile, e da quando la Terra esiste, quest'energia viene "usata" dalla natura.
E da sempre anche l'uomo cerca nei modi più svariati di servirsi dell'energia del 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 ed 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

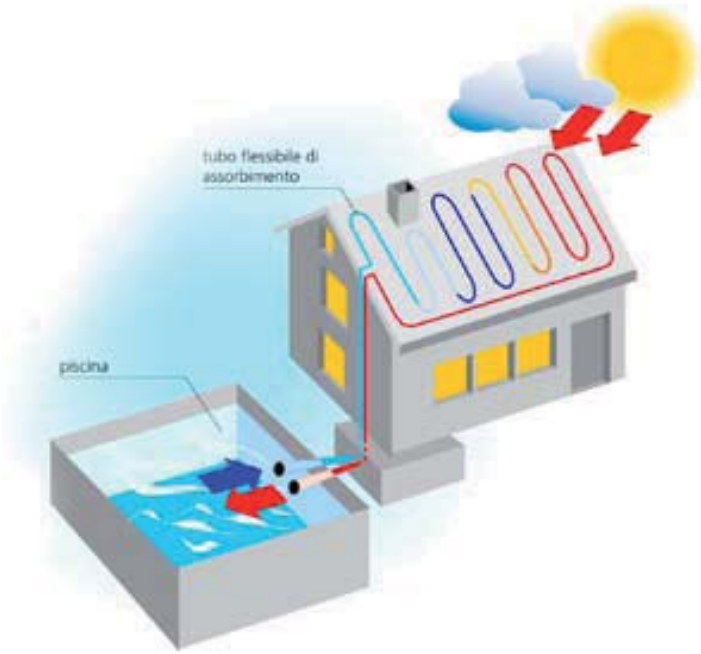
Come già accennato, una parte della radiazione solare è costituita dalla radiazione termica. Ma anche una buona percentuale della luce visibile e della radiazione ultravioletta si trasforma in calore, quando cade su un corpo adatto (ad esempio un corpo nero). Diventa quindi logico usare l'energia solare 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 m^2 per una famiglia composta da 4 a 8 persone) e un accumulo relativamente piccolo (0,5-1 m^3). 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. 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 leggera diminuzione della temperatura esterna comporta una notevole



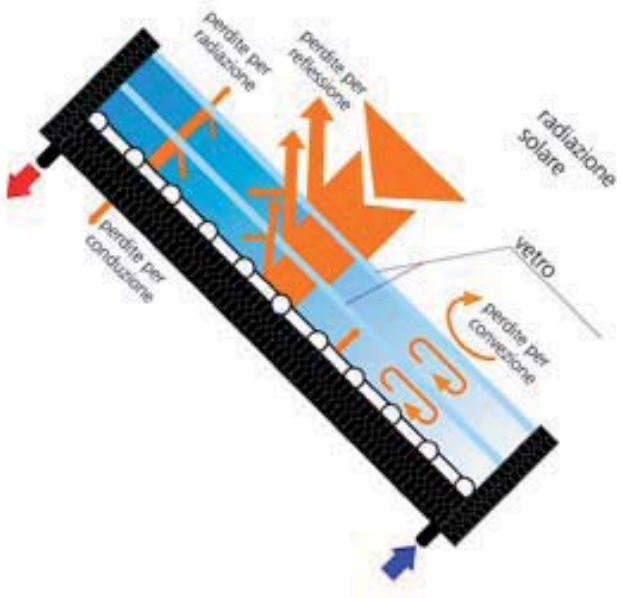
Principio del riscaldamento dell'acqua con collettori solari



Assorbitore a tubo per il riscaldamento della piscina

riduzione del rendimento. Una forma un po' 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 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 assorbano bene la luce visibile e per quanto riguarda la radiazione infrarossa arrivino ad irradiare 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. È molto importante tenere conto della "temperatura di inattività" del collettore.

Con un'insolazione molto forte l'assorbitore può raggiungere anche 150-200 °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 ed 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.

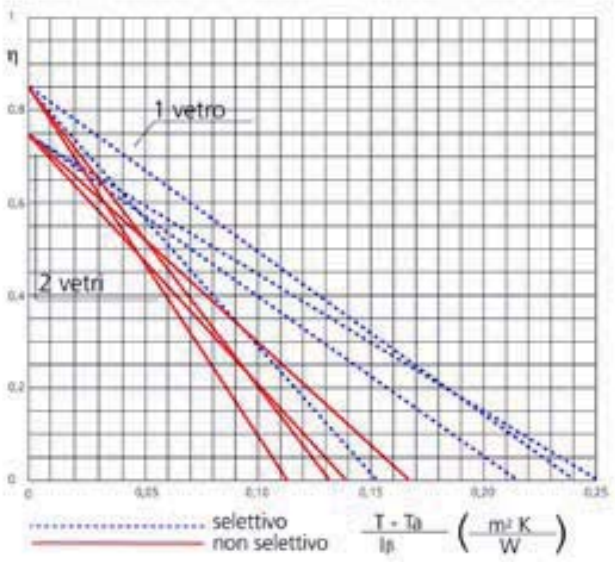


Il principio di funzionamento e le perdite di calore del collettore solare piano

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 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 il Friuli Venezia Giulia è tra 45° e 46°). 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 Friuli Venezia Giulia 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°; 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

Attualmente, a livello domestico, sono commercializzate tre tipologie di sistemi solari termici che si distinguono in base alla tecnologia utilizzata per il trasporto del calore al serbatoio di accumulo.

IMPIANTI A CIRCOLAZIONE NATURALE:
sono gli impianti che sfruttano il principio naturale secondo cui un fluido più caldo tende a spostarsi verso l'alto, mentre un fluido più freddo tende a scendere verso il basso. In questo caso il serbatoio di accumulo si trova sopra il pannello. Il termovettore riscaldato dalla radiazione solare sale direttamente nel serbatoio e trasferisce il suo calore all'acqua in esso contenuta, una volta raffreddato scende di nuovo nel pannello e ricomincia il ciclo. I vantaggi di questo tipo di impianto sono l'economicità, il funzionamento senza pompa elettrica e centraline, l'installazione rapida ed economica, la manutenzione minima e, non ultimo, l'alta efficienza avvalorata dalla stessa circolazione naturale del fluido temovettore.

IMPIANTI A CIRCOLAZIONE FORZATA:
nella circolazione forzata, il serbatoio può essere posizionato anche a quota più bassa dei collettori, quindi anche all'interno dell'abitazione, grazie alla presenza di una pompa elettrica. La pompa entra in funzione quando la temperatura dell'acqua nel collettore ha superato di alcuni gradi quella del serbatoio, cioè quando il collettore può cedere calore.
Il prezzo è ovviamente più alto ed è necessaria una manutenzione annuale o semestrale. È la soluzione ideale per chi abita in centri storici prestigiosi con abitazioni soggette a vincolo architettonico e non ha un sottotetto a disposizione per nascondere il serbatoio del sistema a circolazione naturale.

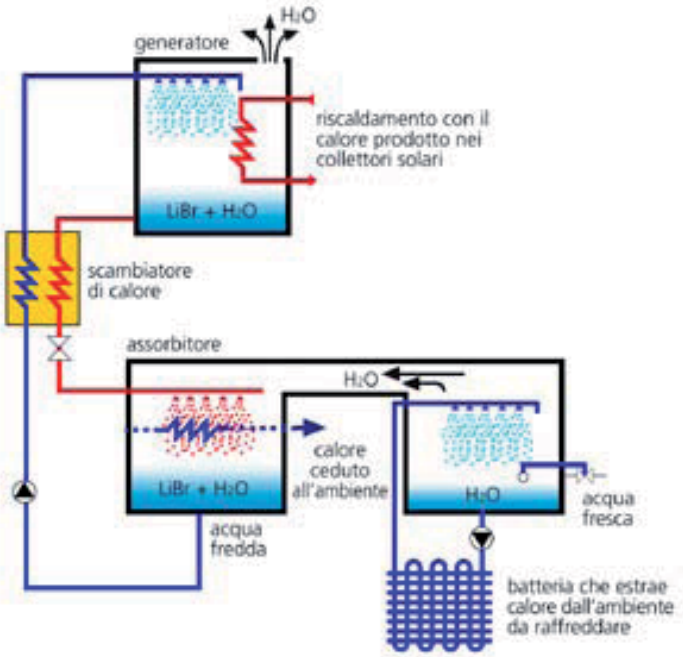
IMPIANTI A CIRCOLAZIONE FORZATA "A SVUOTAMENTO":
questa tecnologia è una evoluzione della circolazione forzata tradizionale e ne risolve il possibile inconveniente del ristagno del fluido termovettore all'interno dei collettori, che si può verificare quando la pompa è bloccata o in seguito ad altre problematiche tipiche della circolazione forzata. L'assenza di ricircolo può portare ad un eccessivo surriscaldamento del fluido stesso, con conseguenti gravi danni all'impianto solare. Grazie a questa tipologia quando il circolatore si ferma i pannelli si svuotano ed il liquido passa all'interno di un serbatoio di drenaggio prevenendo i danni ai collettori.

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 è il serbatoio dell'acqua calda, dal quale l'acqua riscaldata viene condotta alla sua destinazione.
Affinché questo impianto possa funzionare bene, si devono però 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 al meglio da perdite di calore. 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 una temperatura media inferiore 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 pre-riscaldare 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 questa 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.

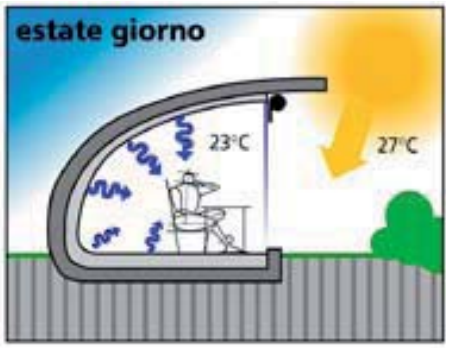


Schema funzionale di una macchina frigorifera ad assorbimento

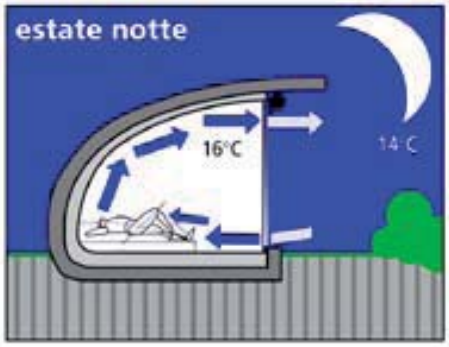
L’USO DELL’ENERGIA SOLARE PER IL CONDIZIONAMENTO ESTIVO

Già da tempo, per molti settori dell’industria il condizionamento degli ambienti nei mesi estivi è diventato di grande importanza, sempre maggiore anche per gli edifici residenziali e per il terziario. 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 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.
D’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 delle 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.

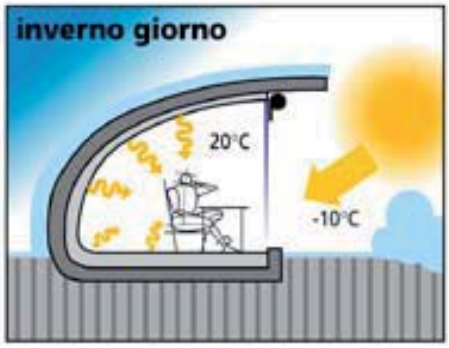
L'USO PASSIVO DELL'ENERGIA SOLARE NELL'EDILIZIA



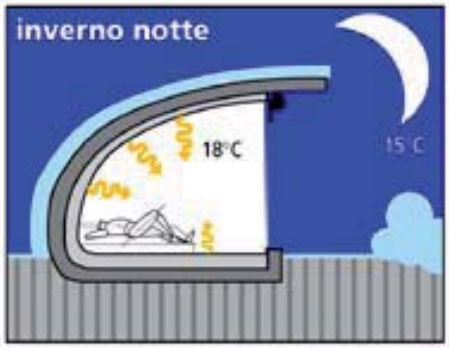
Abbassamento della temperatura a causa delle pareti fresche



Raffreddamento notturno delle pareti



Riscaldamento delle pareti per l'effetto serra



Riscaldamento radiante con energia solare accumulata

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 edili diafani e opachi, accumulanti e isolanti, ermetici e non al vento, conduttivi 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 grandi finestre, 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, di un balcone oppure di 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.

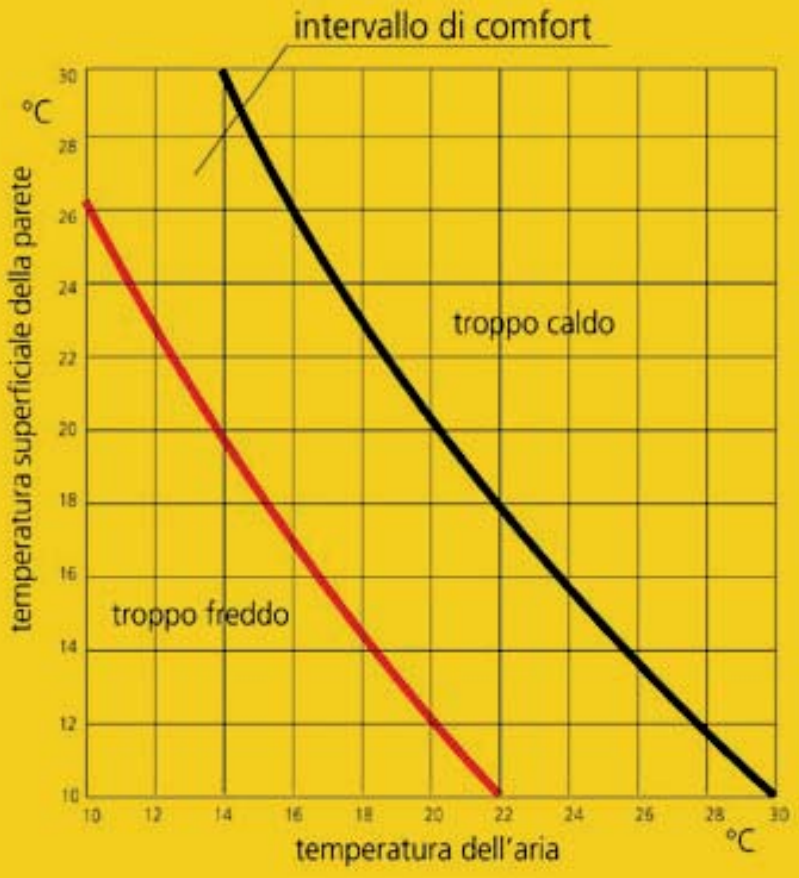
Cadendo su superfici e oggetti, la radiazione solare si trasforma in calore. Le superfici e gli oggetti nella stanza si riscaldano ed emettono a loro volta radiazione termica a onde lunghe che però passa per il vetro della finestra soltanto in minima parte. La quantità di energia raggiante che entra 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 dell'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 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 da ambienti racchiusi da muri costruiti in un materiale che accumula il calore e che verso l'esterno dispongono di un buon isolamento termico.

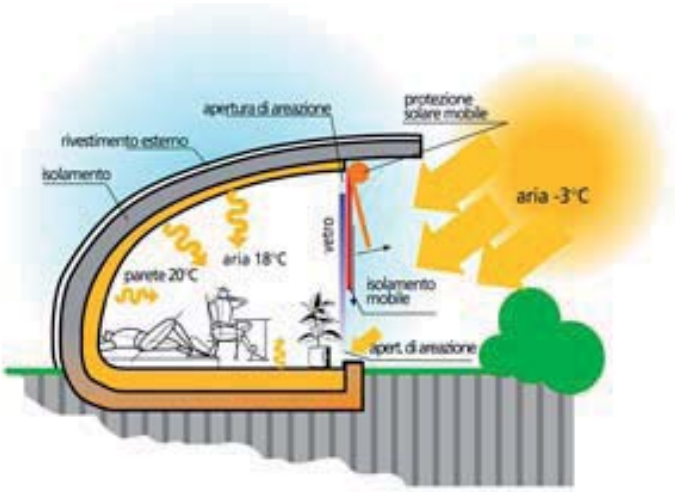
Le perdite per emissione notturna dovute alle grandi finestre orientate verso sud possono essere ridotte applicando delle coperture mobili (persiane avvolgibili, veneziane, isolamenti termici mobili). Per poter garantire negli ambienti un clima gradevole anche durante l'estate, è necessario usare un 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

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



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 sopratutto per le 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, poiché hanno l'effetto di alette di raffreddamento.

Elenchiamo di seguito 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: 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 alla 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 l'energia generata. Con il modulo fotovoltalco 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

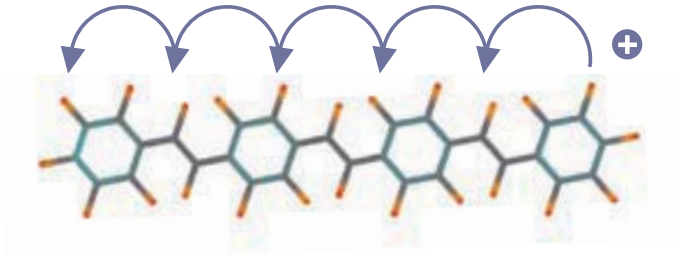
Le celle solari, addette alla trasformazione diretta della luce solare in corrente elettrica, sono formate da materiali semiconduttori. Come si può dedurre dal nome, questi materiali si trovano, per le loro qualità elettriche e fisiche, tra i conduttori, ad esempio i metalli, ed i non conduttori, come 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), ed 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, per la costruzione delle fotopile, si usano 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 e che ha dato origine alla **prima generazione di tecnologie fotovoltaiche** (oggi la più diffusa sul mercato) è stato il silicio che, grazie ai suoi molteplici modi d'impiego, è assai diffuso anche nell'elettronica. Sotto forma monocristallina è relativamente caro, ma si ottengono anche dei rendimenti relativamente alti; il silicio policristallino costa un po' di meno, ma anche il suo rendimento è inferiore. L'attuale impiego come tecnologia dominante ha determinato problemi legati al suo approvvigionamento con conseguente rialzo dei prezzi. Per far fronte ai problemi legati alla penuria del silicio

e calmierare il mercato si è reso necessario rivoluzionare la tecnologia attraverso la produzione di silicio di grado solare (meno caro del silicio di grado elettronico). Inoltre si è cercato di aumentare l'efficienza delle celle, di realizzare wafer sempre più sottili (spessori: dai 300-400 μm *(micron*)* a 200 μm e oltre) e di utilizzare gli scarti dell'industria microelettronica.

La seconda generazione di tecnologie fotovoltaiche impiega materiali e concetti ormai maturi dal punto di vista industriale. I cosiddetti film sottili hanno fortissime prospettive di crescita nel breve-medio termine (oggi rappresentano circa l'8% del mercato) in virtù della loro notevole capacità di abbassare il prezzo medio della tecnologia fotovoltaica e della relativa facilità di industrializzazione del processo produttivo. Le tecnologie delle celle fotovoltaiche a film sottile utilizzano materiali ormai ben sperimentati quali 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. Questo spiega perché con questi ed altri elementi si ha la possibilità di applicare, su dei materiali portanti di poco costo (polimeri plastici, vetro), delle sottilissime lamine ritagliate dal costoso componente attivo, riducendo il prezzo notevolmente: il materiale attualmente più utilizzato è il tellururo di cadmio (CdTe), seguito dal diseleniuro di indio rame (calcogenuri CIS) e dal silicio amorfo/microcristallino (a-Si, μc-Si/a-Si). 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 60% che sarebbero quindi in grado di convertire la maggior parte dell'energia solare captata in energia elettrica. L'aspetto opaco ed omogeneo di questi moduli li rende particolarmente adatti per l'integrazione architettonica nell'involucro degli edifici su facciate, tetti, lucernari.



Un fotone di luce colpisce un elettrone mettendolo in movimento generando tensione.

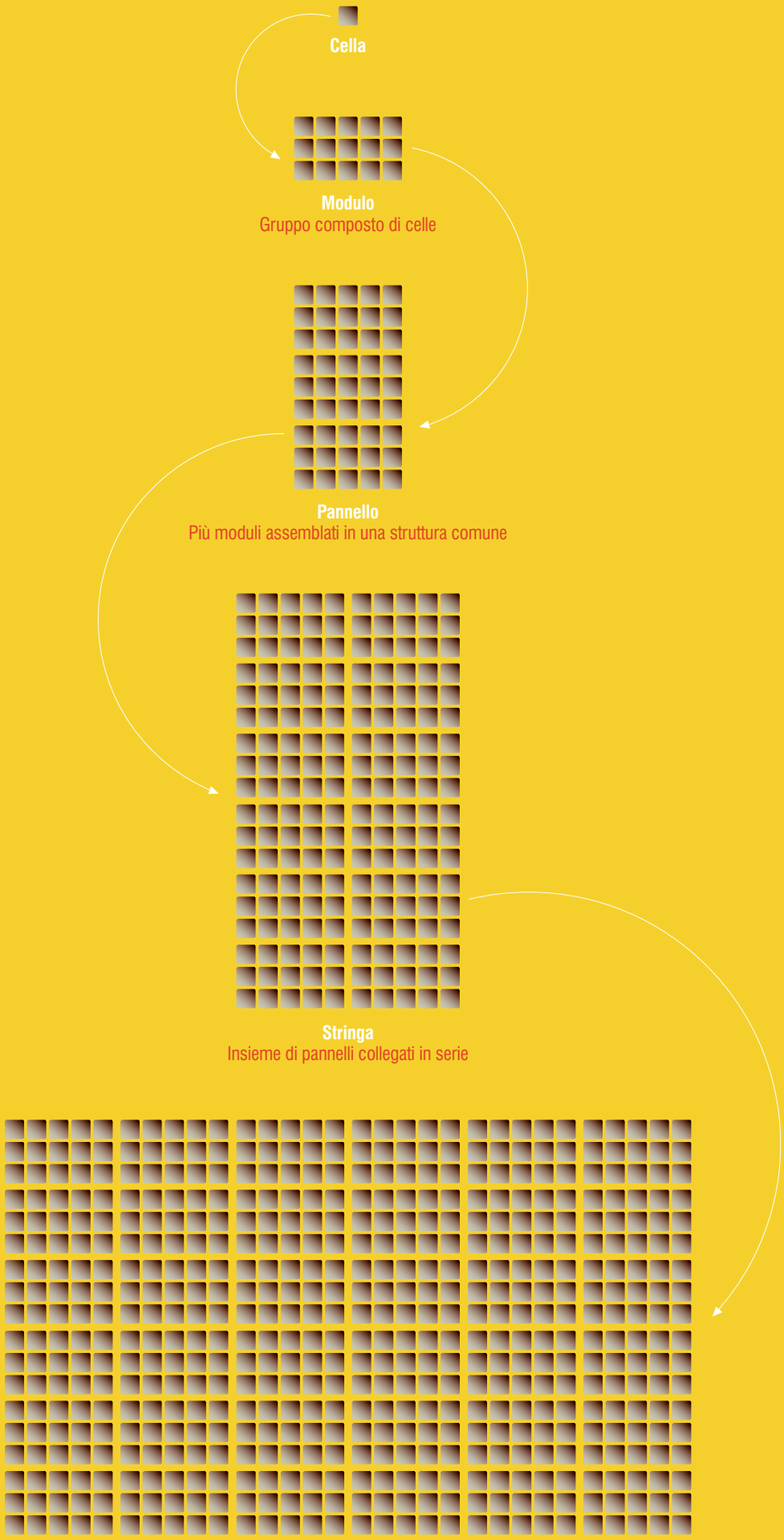
La terza generazione di tecnologie fotovoltaiche impiega soluzioni che troveranno applicazione nel medio-lungo termine. Il primo ambito di sperimentazione è quello della concentrazione ad altissima efficienza: celle e concentratori sono ancora in fase di sviluppo sebbene permettano di registrare già oggi altissime efficienze di conversione che si aggirano attorno al 40%, con aspettative future fino al 60%. Purtroppo questa soluzione necessita di un sistema di inseguimento solare che complica in modo rilevante la tecnologia. Un secondo ambito di sperimentazione è quello dei materiali organici (polimeri, coloranti, ecc.) che si attestano su efficienze di conversione piuttosto basse ma offrono potenzialità enormi per ridurre il costo della tecnologia fotovoltaica in quanto materiali e processi di produzione sono poco costosi.
I problemi ancora da risolvere sono strettamente connessi alla loro natura organica sviluppata in laboratorio ed in particolare alla stabilità all'aria, all'umidità, alla luce, in sintesi agli agenti atmosferici.

La singola cella solare, di dimensioni intorno ai 10 x 10 cm, costituisce il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico. Un modulo fotovoltaico è costituito da un insieme di celle solari collegate tra loro in modo da fornire una potenza elettrica per modulo mediamente compresa tra i 50 e i 100 Watt. Per aumentare la potenza elettrica è necessario collegare più moduli: più moduli formano un pannello e, analogamente, più pannelli formano una stringa.

Gli impianti fotovoltaici si differenziano per la connessione o meno alla rete.
Gli impianti stand-alone sono quelli in cui l'energia elettrica prodotta in eccesso viene accumulata all'interno di batterie e poi utilizzata in momenti di scarsa insolazione o di buio.
Sono meno efficienti ma utili per utenze isolate (rifugi alpini), illuminazioni stradali, ripetitori radio, ecc.
Gli impianti grid-connected sono connessi alla rete elettrica, in questo caso l'energia non consumata viene immessa nella rete, contabilizzata, e può essere utilizzata da altre utenze.

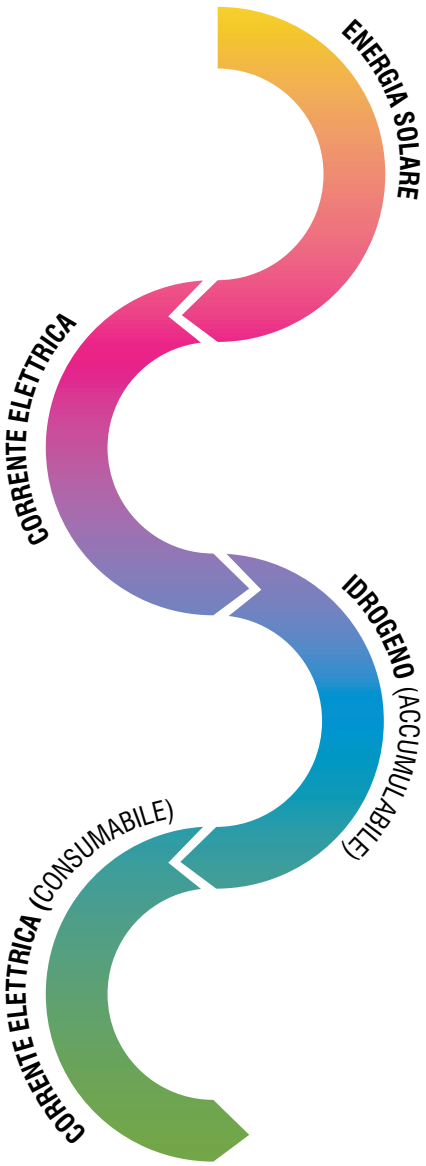
In futuro, la tecnica della cella fotovoltaica verrà sicuramente ulteriormente sviluppata e diffusa, perché trasforma l'energia solare, unica fonte inesauribile (almeno per la concezione dell'uomo), in energia elettrica, una forma di energia che può essere destinata quasi ad ogni scopo. Inoltre questa 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. Nel frattempo il loro impiego domestico richiede un dimensionamento della potenza correlato al fabbisogno elettrico dell'utenza, che a sua volta dovrebbe essere preventivamente ed opportunamente ridotto al minimo.

Materiale semiconduttore	Rendimento
Silicio, monocristallino	12-20%
Silicio, policristallino	10-14%
Film sottile, arseniuro di gallio, amorfo	25-30%
Solfuro rameico – solfuro di cadmio	10%
Film sottile, tellururo di cadmio, amorfo	10%


Cella
Modulo
Gruppo composto di celle
Pannello
Più moduli assemblati in una struttura comune
Stringa
Insieme di pannelli collegati in serie
Generatore fotovoltaico
Insieme di stringhe collegate in parallelo per ottenere la potenza voluta

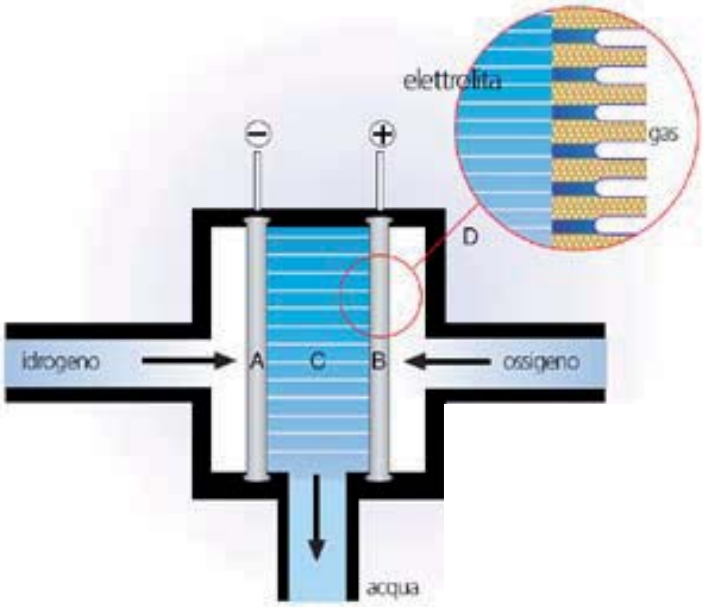
LA TECNICA DELL'IDROGENO

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. Anche di notte e d'inverno si ha bisogno di energia elettrica, e le punte di consumo elettrico si trovano proprio nella fredda stagione. 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, con l'aiuto della corrente elettrica, è possibile 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.



A, B / elettrodi porosi
C / elettricità
D / confine trifasico

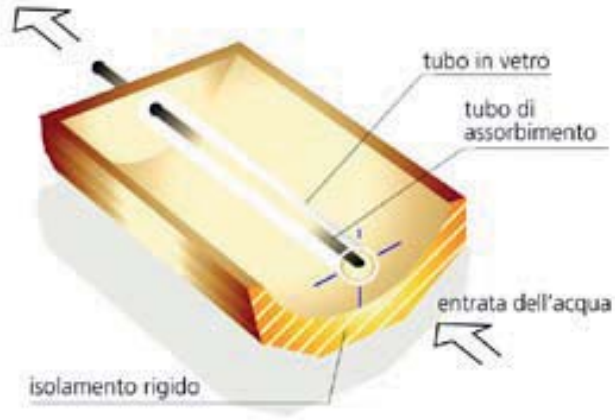
Si stanno sperimentando dei metodi per legare l’idrogeno chimicamente con un’altra sostanza per poterlo immagazzinare meglio; essi sembrano essere promettenti soprattutto per le applicazioni nei trasporti (macchine ecc.), poiché in questo settore il livello di sicurezza deve essere particolarmente alto. 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.

CENTRALI TERMOELETTRICHE AD ENERGIA SOLARE

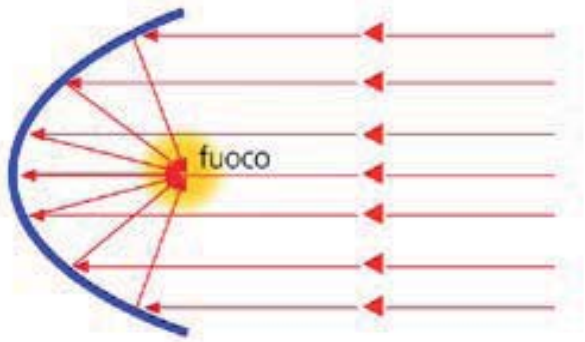
Per sfruttare l'energia solare nelle centrali termoelettriche, l'energia raggiante del Sole viene captata, convertita in energia termica e trasmessa a un mezzo, che può azionare direttamente, oppure tramite uno scambiatore di calore delle macchine termiche.
Le temperature oggi usate nelle centrali termoelettriche 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 raggiante del Sole va quindi concentrata usando lenti oppure specchi.

CENTRALE A RIFLETTORI PARABOLICI

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, 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.



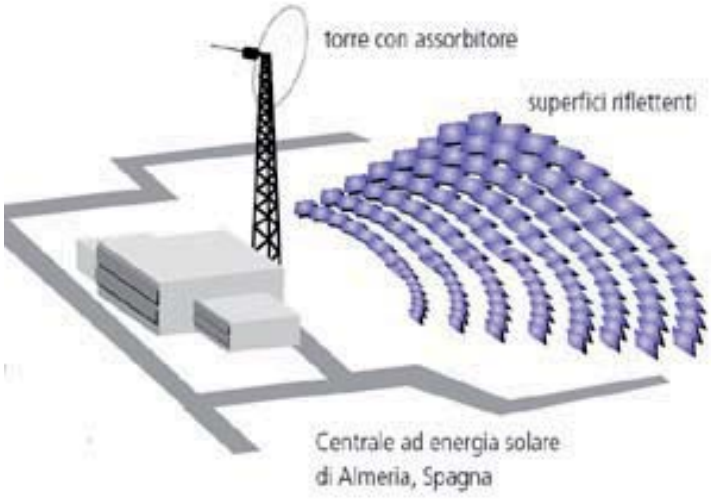
Rappresentazione semplificata di un assorbitore a parabola



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

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 in 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 temperature di 500 °C ed oltre.

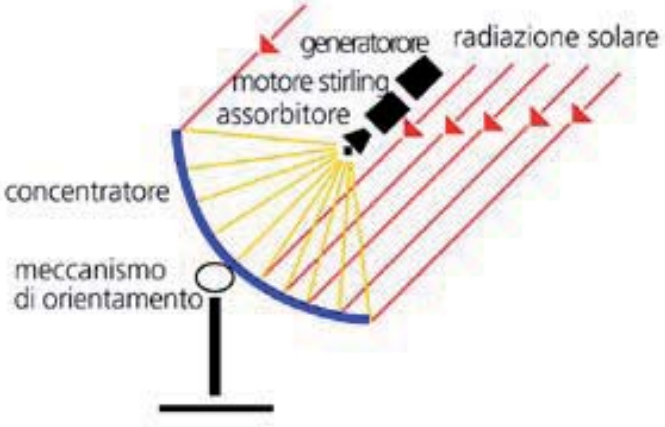


Rappresentazione schematica di una centrale a torre

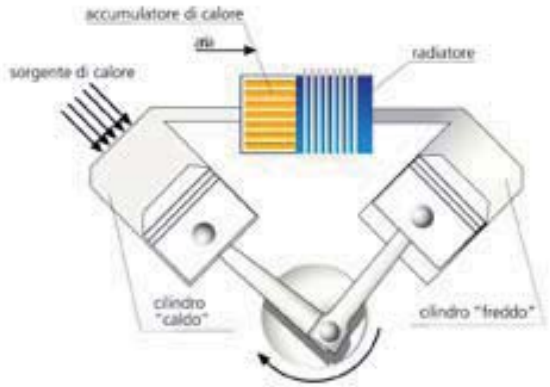
IMPIANTI DISH - STIRLING

Gli 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 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, cosicché 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.



Schema di un impianto Dish/Stirling

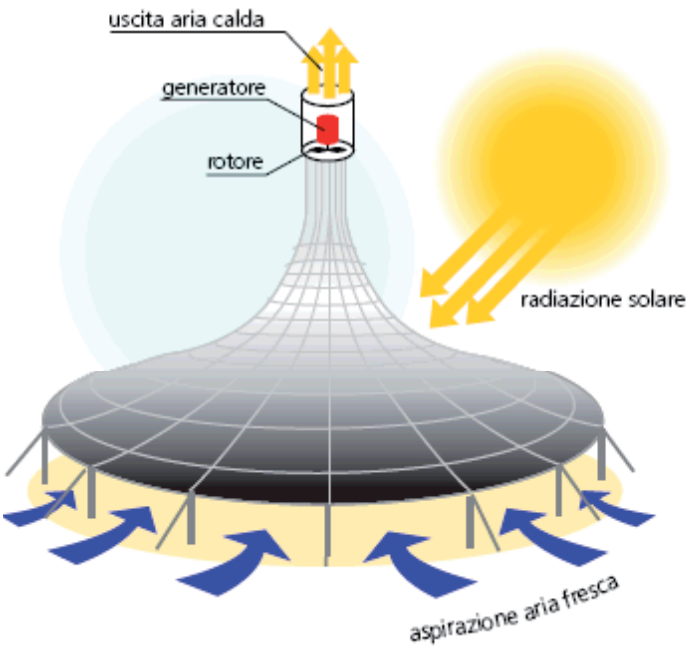


Schema di un motore Stirling

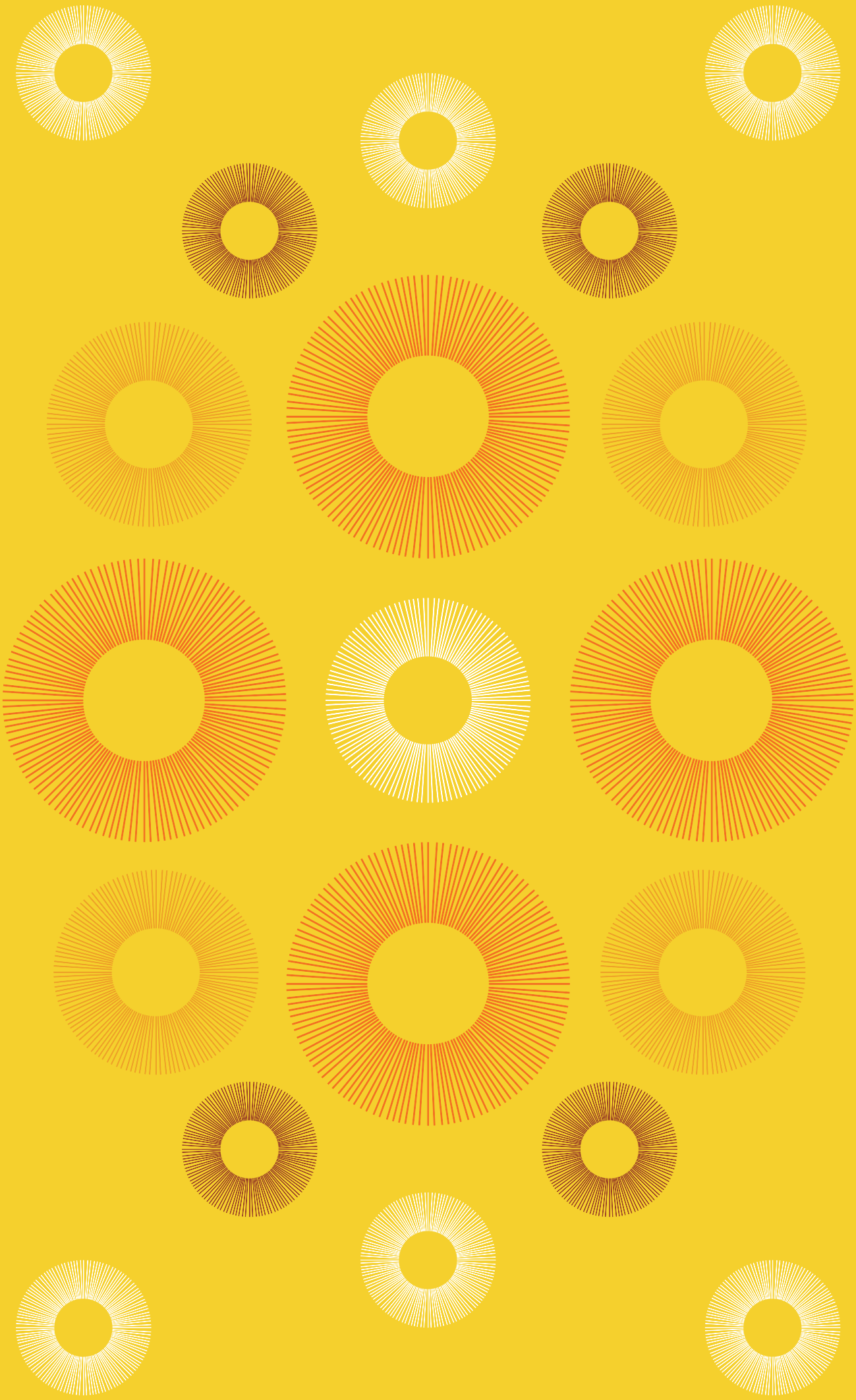
CENTRALE A CORRENTE ASCENDENTE

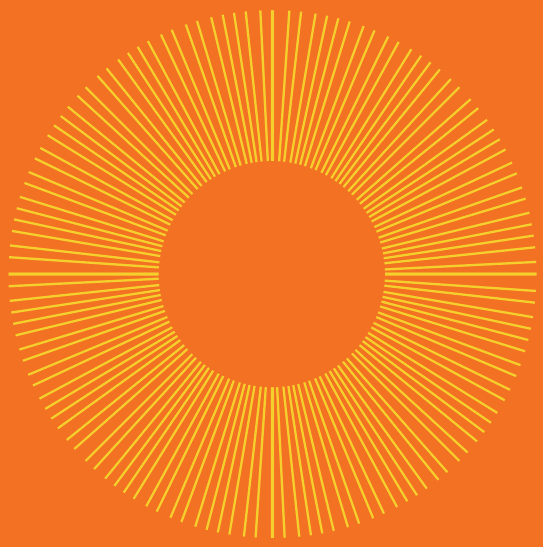
Queste centrali sfruttano l'effetto serra per produrre energia elettrica dalla radiazione solare. Per realizzare questa metodologia si copre una grande superficie, in genere rotonda, con un rivestimento trasparente, attraverso il quale il Sole riesce a passare. Così si ripara, ad esempio, un pezzo di 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 "captare" 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.



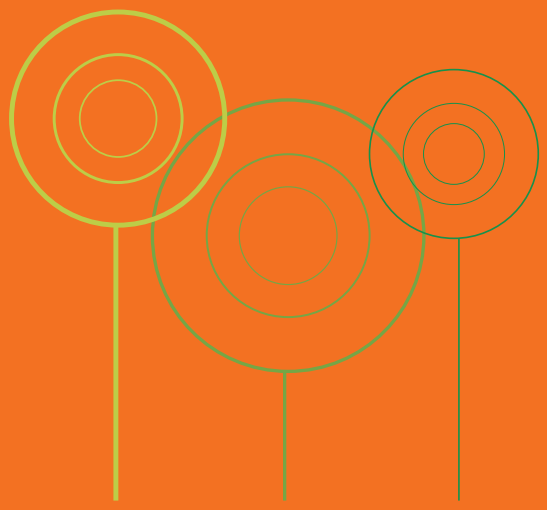
Rappresentazione schematica di una centrale a corrente ascendente





2.2 L'USO INDIRETTO DELL'ENERGIA SOLARE

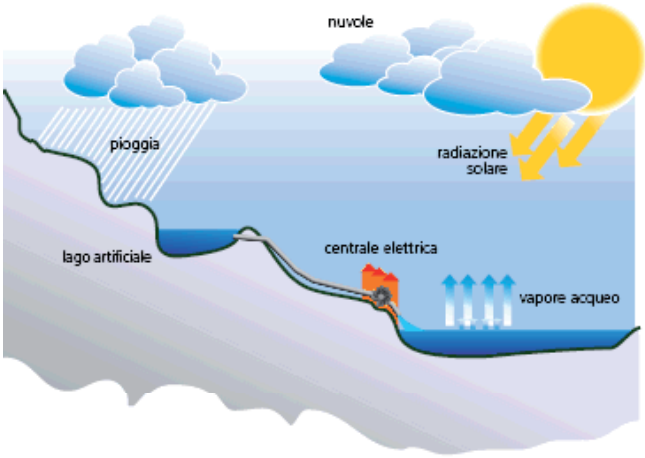
Tra le fonti rinnovabili disponibili in regione, le biomasse rappresentano il settore che offre attualmente più opportunità. Infatti, l'idroelettrico è stato già fortemente utilizzato nell'area montana ed oggi le disponibilità idriche residuali non offrono grandi possibilità di sviluppo in virtù anche di una più stringente normativa ambientale legata alle concessioni di utilizzo delle acque. Interessanti sono le micro-applicazioni (sotto i 300 kW di potenza) lungo i corsi d'acqua minori, i canali, le rogge e le condutture degli acquedotti.
Per quanto riguarda l'eolico, il potenziale regionale è assai scarso e limitato a contesti tradizionalmente ritenuti ventosi quali crinali montuosi, sbocchi di vallate, coste. Altrove la velocità media annua del vento è ben al di sotto dei 5 metri al secondo necessari per ottenere un'efficiente installazione.



SISTEMA IDROELETTRICO

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.

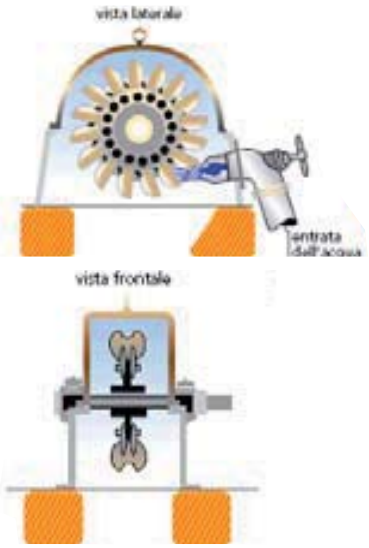
CIRCUITO DELL'ACQUA E L'USO NELLE CENTRALI IDRICHE



Circolazione dell'acqua

L'energia della radiazione solare provoca l'evaporazione dell'acqua sulla superficie degli oceani. L'umidità formatasi sale 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: è 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 cucchiaio, vengono messe in moto da un getto

Schizzo di una turbina Pelton



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. 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. Come già menzionato, l'acqua è fonte di energia veramente ideale. Il rendimento globale degli impianti idroelettrici moderni va dall'80 al 90%, il valore più elevato tra le varie fonti rinnovabili.

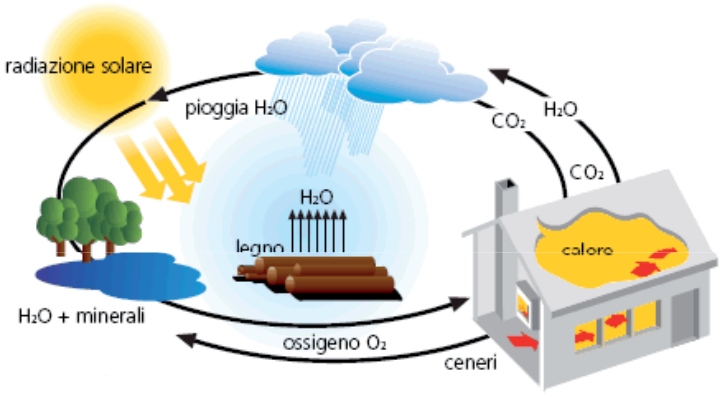
(tabella qui sotto)
Fonte APER (Associazione Produttori di Energia da fonti Rinnovabili)
Costi di generazione elettrica delle singole fonti rinnovabili: l'energia idroelettrica prodotta in impianti con capacità superiore ad 1 MW è la più conveniente

Tecnologia generazione	taglia MWe	Investimenti Euro/kW	costo totale cent Euro/kWh
Idroelettrico basso salto (<1 MW)	0,4	5.200	20,6
Idroelettrico basso salto (1-10 MW)	4,2	5.200	12,5
Idroelettrico grande salto (1-10 MW)	3,3	2.800	13,6
Idroelettrico basso salto (>10 MW)	15,0	2.900	11,6
Eolico connesso in AT (>10 MVA)	30,0	1.900	13,6
Eolico connesso in MT (<10 MVA)	8,0	1.800	13,9
Eolico isolato (turbina in MT)	2,0	1.800	12,7
Fotovoltaico (50-1000 kW)	0,3	5.800	41,0
Fotovoltaico (1-3 kW)	0,003	6.500	50,1
Combustione biomassa (10-20 MW)	17,0	3.600	23,4
Combustione CDR (15-20 MW)	17,0	4.000	13,5
Combustione vegetali	17,0	1.100	17,1
Combustione biogas discarica	0,5	1.800	14,9
Combustione biogas digestione anaerobica	0,5	3.000	14,3

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, residui di oli vegetali, vinacce o liquami zootecnici. 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



Assimilazione.
Attraverso la fotosintesi, l'accrescimento e l'immagazzinamento di energia

Combustione.
Decomposizione e liberazione di energia mediante ossidazione

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'espirazione cede anidride carbonica all'ambiente. L'energia così ottenuta viene usata per il movimento dei muscoli, per l'attività cerebrale, e così via. 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 CO_2 (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.

LA DISPONIBILITÀ DI BIOMASSE NEL FVG

In Friuli Venezia Giulia, le foreste ricoprono oltre un terzo del territorio totale e gran parte del rimanente è rappresentato da colture di mais, soia o frumento.
La superficie forestale regionale è in progressivo aumento: gli oltre 200.000 ettari di boschi crescono con un ritmo annuale medio di circa 600.000 tonnellate.
Ogni anno si preleva solo il 26% dell'incremento legnoso e questo comporta un continuo risparmio di biomassa che rimane in parte disponibile per gli usi energetici.
Come già indicato all'inizio di questo capitolo, non è molto conveniente produrre biomasse esclusivamente per la generazione di energia. Tuttavia, ingenti volumi si ottengono come sottoprodotti di altre applicazioni (ad esempio le vinacce o i liquami zootecnici) o dall'assestamento di boschi non utilizzabili per produrre legame da opera (boscaglie termofile tipiche dei fondovalle e dell'area pedemontana).
Dalle utilizzazioni e dai tagli colturali dei boschi, quindi, si possono ottenere circa 100.000 tonnellate all'anno.
Dalle piantagioni da legno diffuse in pianura (pioppeti, cedui da biomassa, arboreti) si possono ricavare almeno 88.000 tonnellate all'anno di legno da ardere, mentre da potature di vigneti e frutteti circa 42.000 tonnellate.
Complessivamente la produzione regionale di legno per scopi energetici potrebbe arrivare a 230.000 tonnellate all'anno di massa legnosa fresca.
Con questo potenziale si potrebbero riscaldare almeno 16.000 edifici da 1.000 metri cubi ciascuno, risparmiando ogni anno 1 milione e mezzo di tonnellate di CO_2, 52.000 tonnellate di petrolio o 63 milioni di metri cubi di gas naturale. Trarre energia dalle biomasse consente di eliminare gli scarti prodotti dalle attività agroforestali e contemporaneamente produrre calore ed energia elettrica, riducendo la dipendenza dalle fonti di natura fossile come il petrolio. Quello che un tempo era un costo da sostenere si trasforma in un'opportunità da sfruttare.

L'USO DI LEGNO E 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. Entrambi i materiali si ottengono 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 truciolato di legno, poiché in gran parte può essere automatizzata. La paglia si può bruciare sciolta oppure compressa ed è adatta per caldaie di dimensioni più grandi.

IL CONTENUTO ENERGETICO DEL LEGNAME COMBUSTIBILE

L'unità per misurare l'energia è il Joule (J), l'unità d'uso più comune è però la chilowattora (*kWh**).
La classificazione dell'efficienza di una fonte di energia avviene tramite il cosiddetto potere calorifico.
Per potere calorifico si intende l'energia liberata durante la combustione di un'unità della fonte di energia e che teoricamente può essere utilizzata per esempio per il riscaldamento. Il gasolio per esempio ha un potere calorifico di circa 10 kWh/litro e il gas naturale di circa 9,5 kWh/m³.
Il potere calorifico del legno dipende da molti fattori, ma è soprattutto il tipo di legno che incide sul contenuto energetico per unità di volume.
I legni morbidi per esempio presentano a parità di volume un potere calorifico inferiore dei legni duri con differenze fino al 40%. 1 tonnellata di legname sminuzzato fine con un tenore idrico del 25% corrisponde a circa 4 msr di legname sminuzzato di abete rosso e a 3 msr di legname

sminuzzato di faggio. Questa differenza risulta dalla densità diversa dei singoli tipi di legno e potrebbe essere evitato vendendo il legname combustibile in unità di peso.

Lo stesso peso di diversi tipi di legno con un identico tenore idrico presenta più o meno lo stesso potere calorifico. Le oscillazioni del potere calorifico in relazione al peso variano dal tipo di legno sotto il 10%. Un fattore importante per la qualità della fonte energetica “legno” e per la qualità della combustione è dato dal tenore idrico. Più il legno contiene acqua più basso risulta il potere calorifico, poiché l’acqua deve evaporare durante il processo di combustione consumando calore. Spesso i due concetti tenore idrico e umidità del legno vengono confusi. Il tenore idrico del legno è la quantità di acqua indicata in percentuali relativa alla quantità complessiva. L’umidità del legno invece è la quantità di acqua indicata in percentuali relativa alla sostanza essiccata. Il legno fresco di taglio che per esempio per metà del suo peso consiste puramente di massa legnosa e per metà di acqua, presenta un tenore idrico del 50% ma un’umidità del 100%. In seguito si parlerà soltanto di tenore idrico (ti). Per lo sfruttamento energetico del legno è molto importante la sua stagionatura prima dell’utilizzo. Il legno fresco di taglio praticamente non può essere utilizzato ma deve essere depositato per l’essiccazione in un luogo ben ventilato e protetto dalla pioggia. Prima della combustione il legno dovrebbe essere essiccato almeno un’estate intera, ancor meglio si adatta il legno essiccato per più anni.

POTERE CALORIFICO DEL LEGNO
IN BASE ALL'ESSICAZIONE

condizioni del legno	tenore idrico (ti)	potere calorico (Hu)
fresco di taglio	50-60%	2,0 kWh/kg
essiccato per un'estate	25-35%	3,4 kWh/kg
essiccato per più anni	15-25%	4,0 kWh/kg

Il potere calorifico del legno completamente essiccato(sostanza eccitata, ti=0%) ammonta in media per tutte le specie legnose a 5,2 kWh/kg

POTERE CALORIFICO DEL LEGNO
IN BASE ALL'ESSICAZIONE

Peso specifico e potere calorifico inferiore
per unità di volume in relazione al tenore idrico

Abete rosso o bianco										
valore idrico	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 metro stero										
peso (kg/rm)	306	315	333	356	384	416	454	499	544	623
potere cal. (kWh/rm)	1325	1271	1245	1227	1210	1188	1163	1131	1093	1045
1 metro stero alla rinfusa di minuzzoli										
peso (kg/rm)	165	170	180	192	207	224	244	269	299	336
potere cal. (kWh/rm)	714	868	673	662	652	640	625	610	590	564

Pino										
valore idrico	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 metro stero										
peso (kg/rm)	358	367	387	415	446	484	527	580	645	725
potere cal. (kWh/rm)	1550	1481	1447	1430	1405	1382	1350	1315	1272	1216
1 metro stero alla rinfusa di minuzzoli										
peso (kg/rm)	193	198	208	223	240	260	284	313	347	391
potere cal. (kWh/rm)	835	799	778	768	756	743	728	710	685	565

Larice										
valore idrico	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 metro stero										
peso (kg/rm)	384	397	423	453	488	528	577	634	705	729
potere cal. (kWh/rm)	1662	1602	1582	1561	1538	1508	1478	1473	1391	1329
1 metro stero alla rinfusa di minuzzoli										
peso (kg/rm)	207	214	228	244	263	285	310	342	379	427
potere cal. (kWh/rm)	896	863	853	841	829	814	794	775	748	716

Faggio o quercia										
valore idrico	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 metro stero										
peso (kg/rm)	464	472	497	533	574	621	678	746	829	933
potere cal. (kWh/rm)	1882	1784	1739	1717	1689	1654	1618	1572	1516	1446
1 metro stero alla rinfusa di minuzzoli										
peso (kg/rm)	205	254	268	287	309	335	365	402	446	502
potere cal. (kWh/rm)	1014	960	938	925	909	892	871	847	816	778

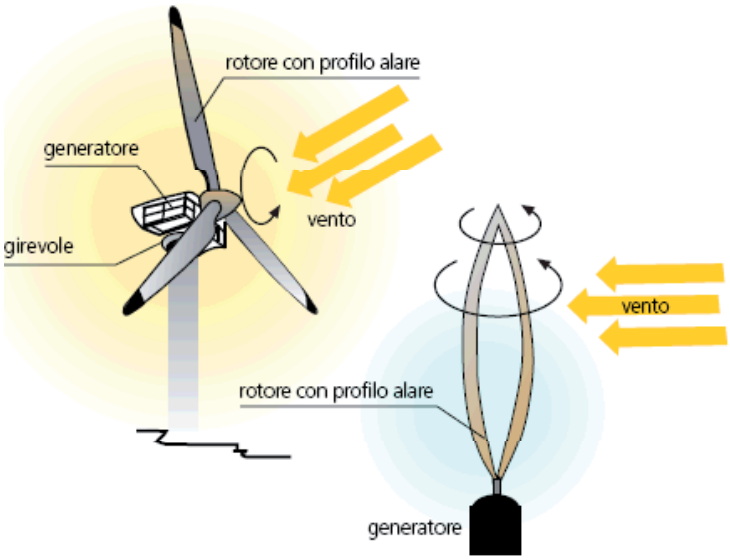
BIOGAS

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 m^3 di gas, che a sua volta contiene il 35-60% di metano. Nei depositi di immondizie aperti, però, spesso è molto difficile assorbire questo gas. Se nella costruzione di un deposito di immondizie che verrà "ricoltivato" (cioè coperto di terra e piantato a scopo di rinverdimento) si installa un impianto di drenaggio del gas, si può utilizzare il gas di deposito per la generazione di corrente elettrica oppure per l'azionamento di una centrale di riscaldamento a distanza. 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 di una certa dimensione spesso conviene utilizzare il gas sviluppatosi durante la fermentazione del liquame per il riscaldamento di 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: innanzitutto si ottiene un gas, il cui contenuto energetico si può usare per il riscaldamento e per la produzione di corrente elettrica, inoltre se ne impedisce la fuoriuscita nell'atmosfera, dove è in parte responsabile dell'effetto serra.

EOLICO

Anche lo sfruttamento dell'energia eolica costituisce un uso indiretto dell'energia solare.
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.
L'uomo conosce l'energia eolica da molto tempo: da millenni si usano le ruote a vento per azionare mulini per cereali o stazioni di pompaggio dell'acqua.
Oggi le centrali eoliche sfruttano l'energia cinetica del vento per generare potenza motrice che in genere viene trasformata in energia elettrica tramite un generatore.
Ormai si costruiscono anche eliche e rotori 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 pale.
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



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

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 (cioè 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 solamente una pala.
Si distinguono per il grado di sfruttamento dell'energia eolica, ma naturalmente anche per la complessità della costruzione e quindi per i costi. Le pale delle centrali eoliche moderne hanno sempre un profilo alare che favorisce uno sfruttamento migliore dell'energia eolica. Un vantaggio della struttura orizzontale è dovuto alla grande esperienza dell'uomo nella produzione di

rotori, acquisita anche grazie alla costruzione di eliche applicate per azionare aerei.
Regolando l'inclinazione delle pale 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 pale all'azione del vento. Uno svantaggio di questa struttura è dovuto 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 pale 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. D'altra parte 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 dalle tempeste.
Ci sono molte zone, in cui il vento soffia spesso e con una velocità relativamente costante. Molte pianure, aree costiere e zone sulla superficie del mare vicino al litorale disporrebbero di un grande potenziale energetico, fino ad oggi inutilizzato e che in un prossimo futuro dovrà essere sfruttato maggiormente.

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 dell'arco alpino, anche in Friuli Venezia Giulia, in genere, l'intensità del vento è molto irregolare.
Per questo motivo le nostre valli e la pianura friulana 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 strutture isolate, 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.

3.0 L'USO DELL'ENERGIA DELLA TERRA

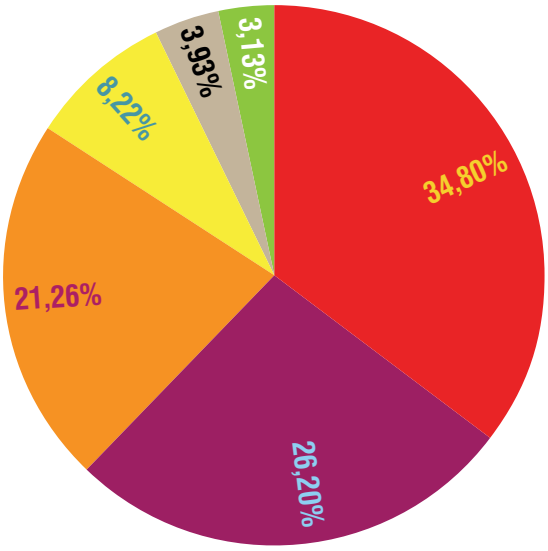
IL CALORE DELLA TERRA

Per energia geotermica s'intende l'energia contenuta sotto forma di calore all'interno della Terra.
La possiamo apprezzare in superficie attraverso molti fenomeni geologici di scala planetaria come i vulcani, le sorgenti termali, i geyser o le fumarole. La quantità è enorme, ma è raramente concentrata in serbatoi (o giacimenti) geotermici a profondità raggiungibili per lo sfruttamento industriale. La temperatura delle rocce aumenta con la profondità secondo un gradiente geotermico medio che è di circa 3 °C ogni 100 m.
L'interesse alla risorsa geotermica cresce laddove il gradiente è superiore a quello medio, sempre però che i serbatoi si trovino a profondità tecnicamente ed economicamente raggiungibili.
Esistono diversi sistemi geotermici, ma attualmente vengono utilizzati a livello industriale solo quelli idrotermali, costituiti da formazioni rocciose permeabili in cui l'acqua piovana o quella dei fiumi si infiltra in profondità e viene scaldata da strati di rocce ad alta temperatura. Quando l'acqua è riscaldata ad elevate temperature ed è intrappolata in pressione entro i serbatoi profondi il suo utilizzo diventa particolarmente interessante per grandi produzioni di energia.
L'individuazione e lo sfruttamento sostenibile della risorsa geotermica è un'attività complessa, che si articola su diverse fasi di esplorazione iniziando con il censimento delle manifestazioni geotermiche e continuando con le indagini geologiche, geochimiche, geofisiche e con la perforazione di pozzi esplorativi.
Il monitoraggio a medio-lungo termine degli effetti dello sfruttamento (riduzione della permeabilità, raffreddamento, subsidenza) permetterà poi di mantenere la risorsa sotto controllo.

UTILIZZI

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, molti paesi furono attirati dall'energia geotermica, considerandola competitiva rispetto ad altre forme di energia.

Usi diretti del calore geotermico.
Gli usi diretti implicano lo scambio di calore con l'acqua o il vapore prelevati dal sottosuolo.
Per le alte temperature (**da 100 °C fino a oltre 300 °C,** quando è presente per lo più sotto forma di vapore) si investe generalmente su scala industriale nella produzione diretta di energia elettrica, che è poi trasportabile a qualsiasi distanza. Il calore residuo può quindi essere riutilizzato per il riscaldamento urbano, le coltivazioni in serra o il termalismo, a patto di avere utilizzatori in prossimità. Per mantenere costante il flusso del vapore si ricorre spesso all'immissione di acqua fredda in profondità, così da alimentare la produzione del vapore stesso. In questo modo si riesce a produrre energia elettrica e calore con continuità. Per le basse temperature (**sotto i 100 °C**) si parla solo di trasporto di calore su distanze brevi via fluido (acqua).
Nell'uso non elettrico (o diretto) del calore, impiegabile per il riscaldamento degli edifici, di serre, in acquacoltura, nei processi agricoli e industriali, in balneoterapia, l'interesse economico può essere rilevante solo se la risorsa è rinvenibile in vicinanza degli impianti di utilizzo. Attualmente, 58 paesi sfruttano la geotermia per usi non elettrici, dei quali quello più diffuso è rappresentato dalle pompe di calore (34,80%), seguito da balneologia (26,20%), riscaldamento di ambienti (21,62%), serre (8,22%), acquacoltura (3,93%) ed impieghi industriali diversi (3,13%).



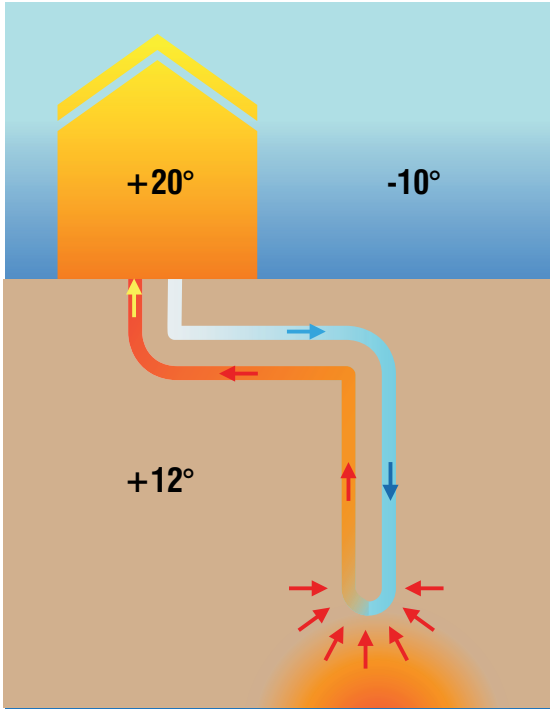
Attualmente, 58 paesi sfruttano la geotermia per usi non elettrici, dei quali quello più diffuso è rappresentato da:
pompe di calore (34,80%),
balneologia (26,20%)
riscaldamento di ambienti (21,62%)
serre (8,22%)
acquacoltura (3,93%)
impieghi industriali diversi (3,13%)

Usi indiretti del calore geotermico.
Gli usi indiretti implicano lo scambio di calore col terreno senza prelievo di acqua dal sottosuolo.
Su scala domestica, nell'ambito delle basse temperature (**inferiori a 20 °C**) è comunque possibile ottenere consistenti benefici energetici scambiando calore con il terreno attraverso una sonda geotermica e l'adozione di macchine ad elevato rendimento energetico, quali le pompe di calore, che vengono allora definite pompe geotermiche. La loro installazione offre la possibilità di estrarre calore a bassa temperatura dal terreno o dagli acquiferi ottenendo, per ogni unità di energia (elettrica) consumata dalla pompa, almeno tre unità di energia sotto forma di calore. È di grande interesse il fatto che è possibile, sempre attraverso il loro utilizzo, anche il condizionamento estivo degli ambienti.

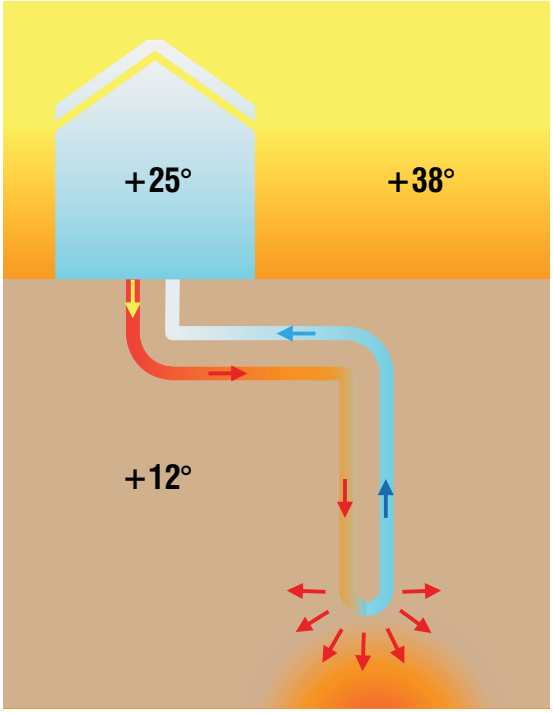
LA RISORSA IN REGIONE

Nella nostra regione la risorsa geotermica interessa la parte meridionale della Bassa Pianura e la fascia lagunare. In questa area, infatti, negli acquiferi artesiani tra i 300 e i 600 m di profondità, si iniziano a trovare acque calde. Attualmente in regione vi sono una trentina di permessi di ricerca ed una cinquantina di concessioni minerarie per lo sfruttamento della risorsa geotermica. La sorgente di calore deriva dalla lenta risalita di acque, riscaldate dal normale gradiente geotermico terrestre a grandi profondità (alcune migliaia di chilometri). Esse migrano fin entro il tetto delle culminazioni sepolte, presenti nel sottosuolo della Bassa Pianura e lagune adiacenti, con circolazione convettiva all'interno degli intervalli più permeabili. Questi, infatti, possono costituire serbatoi per le acque calde e sorgenti di calore per gli acquiferi confinati entro le sovrastanti sabbie e ghiaie dei sistemi artesiani più superficiali.

USI INDIRETTI DEL CALORE GEOTERMICO: SONDE E POMPE GEOTERMICHE A BASSA *ENTALPIA**



Redistribuzione del calore in inverno



Redistribuzione del calore in estate

Generalmente siamo abituati a pensare alla geotermia in termini di vapore da utilizzare in centrali termoelettriche, come per esempio a Larderello in Toscana, oppure come acque termali per usi diretti volti alla balneazione. Tuttavia, sfruttando il gradiente termico interno della Terra anche il terreno di casa nostra potrebbe diventare una risorsa energetica. A pochi metri di profondità dalla superficie terrestre il terreno mantiene una temperatura quasi costante per tutto l'anno (solo a titolo esemplificativo a -100 m la temperatura è mediamente assestata a 12 °C). Questo ci permette di estrarre calore d'inverno per riscaldare un ambiente e di cedere calore durante l'estate.

Lo scambio di calore viene realizzato con pompe abbinate a sonde geotermiche, che sfruttando questo principio permettono di riscaldare e climatizzare edifici con un unico impianto e con un fabbisogno di energia elettrica contenuto. Le pompe di calore esistono sul mercato dagli anni '50 e rappresentano quindi una tecnologia affidabile ampiamente sperimentata. Il vantaggio di queste macchine sta nel guadagno energetico: assorbendo calore dall'ambiente esterno generano più energia (fino a 4 volte) di quella che gliene occorre per funzionare.

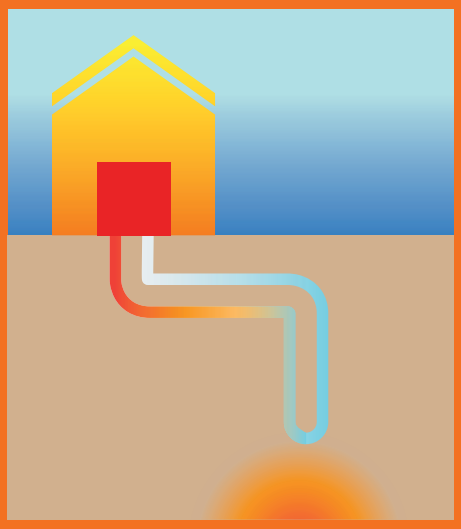
Lo scambio di calore con il terreno avviene tramite una sonda di captazione larga pochi centimetri, inserita in un foro scavato accanto all'edificio, invisibile dopo la costruzione. Il numero di sonde geotermiche e la profondità di installazione (da 50 a 150 metri) variano in funzione dell'energia termica richiesta e del gradiente geotermico. Ogni sonda è formata da due moduli, ciascuno dei quali è costituito da una coppia di tubi in polietilene, uno di "andata" e uno di "ritorno", uniti a formare un circuito chiuso. All'interno dei tubi circola un fluido glicolato, come quello presente nei pannelli solari. I tubi delle sonde sono collegati in superficie ad un collettore connesso alla pompa di calore. La vita di una sonda geotermica varia da 50 ad 80 anni.
Quella sopra descritta è una sonda geotermica verticale. Pur presentando numerosi vantaggi che la rendono generalmente interessante come soluzione, esistono altre forme di sfruttamento dell'energia geotermica il cui utilizzo va valutato di volta in volta: sonde orizzontali, campi di sonde, pali di fondazione, platee di fondazione, prelievo diretto di acqua sotterranea a bassa temperatura da un pozzo (laddove la falda acquifera è prossima alla superficie).

Sottosuolo	Rendim. W/m
Sottosuolo cattivo, terreno asciutto	20
Roccia o terreno umido	50
Roccia con alta conducibilità	70
Ghiaia, sabbia, asciutta	<20
Ghiaia, sabbia, satura	55-65
Argilla, limo, umido	30-40
Roccia calcarea	45-60
Arenaria	55-65
Granito	55-70
Arenaria	55-65
Gneiss	60-70

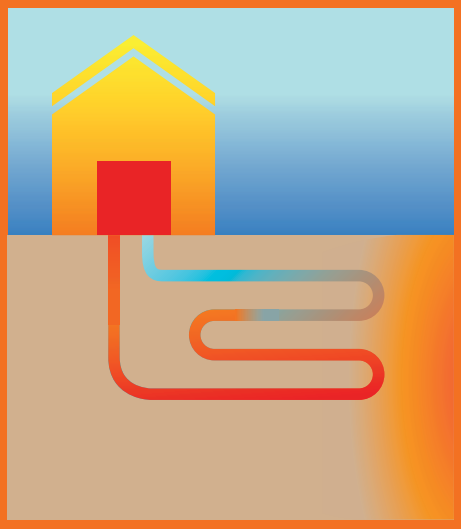
Come funziona.

Durante l'inverno il terreno ha una temperatura superiore a quella esterna. Il fluido glicolato, scendendo in profondità attraverso le sonde, sottrae energia termica dal terreno e, ritornato in superficie ad una temperatura maggiore, provoca l'evaporazione del refrigerante che circola nel sistema della pompa di calore. Il fluido, ora allo stato gassoso, viene aspirato all'interno di un compressore azionato da un motore elettrico ed inviato in un condensatore la cui funzione è quella di assorbirne il calore e cederlo al sistema di riscaldamento della casa. In questa fase il refrigerante cede calore e si condensa tornando allo stato liquido. Il liquido passa attraverso una valvola di espansione che lo riporta esattamente alle condizioni iniziali chiudendo il ciclo. Durante l'estate questo sistema può venire semplicemente convertito in raffreddamento, con mandate che raggiungono gli 8-10 °C, di fatto sufficienti per alimentare sistemi di raffreddamento utilizzati per fornire la cosiddetta "aria condizionata". Alternativamente si può distribuire fresco con impianti a pannelli radianti ottenendo maggiore efficienza e garantendo nell'ambiente una temperatura di circa 8 °C inferiore rispetto a quella esterna. Le normali macchine frigorifere utilizzate per il condizionamento vengono raffreddate con l'aria ambiente, la cui temperatura estiva di riferimento è 32 °C. Nelle sonde geotermiche, invece, la temperatura è di circa 15 °C, ben 17 in meno. Diminuendo il salto termico aumenta la resa e si riducono in modo rilevante i consumi ed i costi di gestione. A questo si aggiunge il vantaggio di poter effettuare anche un preraffreddamento dell'aria utilizzando direttamente il fluido circolante nelle sonde geotermiche, mentre l'acqua refrigerata viene usata solo per la deumidificazione raffreddando l'aria sotto il punto di rugiada. Con le pompe di calore si ha quindi il vantaggio di sfruttare una sola macchina che, grazie ad una valvola, diventa reversibile, poiché presenta la possibilità di invertire le funzioni dell'evaporatore e del condensatore fornendo così aria fredda in estate e aria calda in inverno. Una pompa di calore collegata ad una sonda geotermica inserita a circa 100 metri di profondità estrae dal suolo una potenza geotermica sufficiente per riscaldare un'abitazione unifamiliare standard.

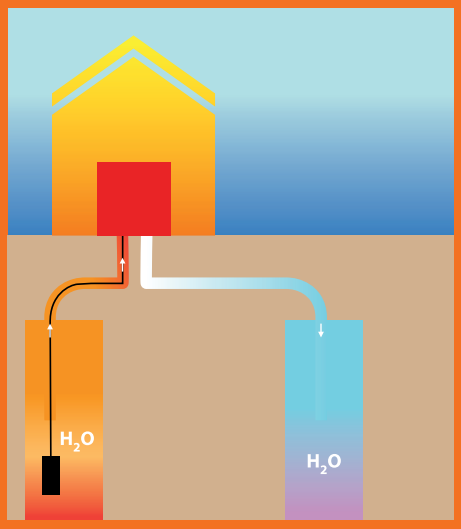
Tipi di sonde geotermiche



Sonda verticale



Sonda orizzontale



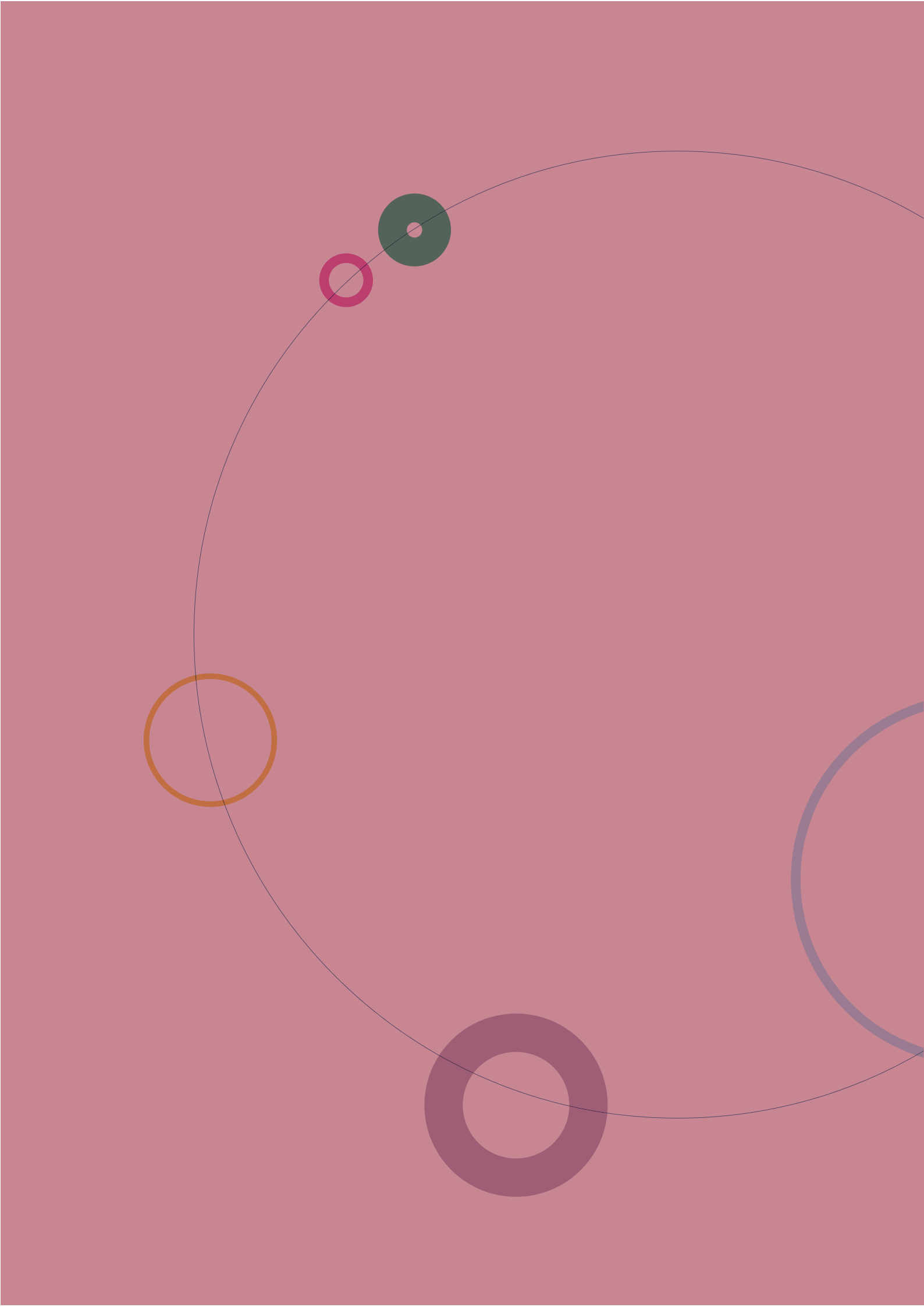
Sonda con prelievo diretto
di acqua sotterranea e reintegro

4.0 ALTRE TECNOLOGIE PER IL FUTURO: LA COGENERAZIONE

LA COGENERAZIONE

La cogenerazione è una tecnologia che utilizza la produzione combinata di elettricità e calore, prodotti a cascata con un unico sistema.
Ciò permette di realizzare grandi risultati in termini di risparmio energetico e di abbattimento delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera e quindi un contenimento dell'effetto serra. Negli impianti di **TELERISCALDAMENTO** il calore, sotto forma di vapore acqueo, viene trasportato a grande distanza per essere utilizzato dagli utenti collegati alla rete al posto delle caldaie, mentre l'energia elettrica viene immessa direttamente nella rete di distribuzione.
Con la cogenerazione vengono prodotte 83 unità di energia utile (38 di elettricità e 45 di calore) a partire da 100 unità di energia alla fonte. In una centrale termoelettrica tradizionale, invece, per ottenere lo stesso risultato sono necessarie 148 unità di energia primaria. Grazie alla cogenerazione sarebbe possibile ridurre del 50% le emissioni di anidride carbonica.
Un impianto correttamente dimensionato consente risparmi energetici del 25-40%, ed un ritorno dell'investimento che si aggira sui 36-50 mesi.
Il rendimento dell'impianto, pari al 70-85%, è notevole se confrontato col 50-60% degli impianti nuovi a ciclo combinato per la sola produzione di elettricità.

I vantaggi energetici della cogenerazione vengono moltiplicati in modo apprezzabile sviluppando impianti di piccole dimensioni tramite la cosiddetta **MICRO-COGENERAZIONE DIFFUSA**. In questo caso non ci sono spese per la manutenzione della rete di distribuzione e non ci sono perdite durante il trasporto, infatti calore ed elettricità vengono consumati direttamente presso l'utenza che ha installato l'impianto. I benefici ambientali ed economici derivanti dalla cogenerazione sono ampiamente riconosciuti ed incentivati, sia nell'ambito della Comunità Europea che nello stesso quadro legislativo italiano.
Il 7 febbraio 2007 è stato approvato un decreto in attuazione della direttiva europea 2004/8/CE per promuovere la cogenerazione ad alto rendimento.
Per gli impianti di cogenerazione sono previsti sia la priorità di dispacciamento, ovvero la precedenza accordata da parte di Terna Spa, come gestore della rete di trasmissione, nella chiamata in produzione dell'impianto, sia l'esenzione dall'obbligo previsto per produttori e importatori di energia elettrica di immettere in rete una certa percentuale di energia da fonti rinnovabili o di acquistare in proporzione certificati verdi sul mercato. Lo schema prevede, inoltre, una riorganizzazione dei criteri per l'assegnazione dei certificati bianchi, una loro maggiore durata o quantità, così di ottenere maggiori ricavi dalla loro vendita sul mercato e recuperare più velocemente i costi di investimento. Il decreto prevede un tetto di 200 kW per il servizio di scambio sul posto per l'elettricità prodotta da impianti di cogenerazione, mentre per gli impianti a fonti rinnovabili il tetto previsto è di soli 20 kW.



5.0 POSSIBILITÀ E LIMITI DELLE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI

LO STATO ATTUALE E LE PROSPETTIVE PER L'AVVENIRE

L'integrazione e la sostituzione delle fonti fossili finora tradizionalmente utilizzate (come olio combustibile, gas e carbone) con fonti rinnovabili 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 l'uso passivo dell'energia solare nell'edilizia ha già trovato molti sostenitori: anche in Friuli Venezia Giulia molti edifici costruiti o ristrutturati di recente dimostrano che questi criteri possono essere perfettamente compatibili con uno stile di costruzione legato al luogo ed 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.
In una proiezione a lungo termine, saranno sicuramente le celle fotovoltaiche la tecnologia più adatta a coprire una parte considerevole del consumo energetico mondiale. Già da molto tempo, l'energia idrica viene sfruttata in tutto il mondo perché si tratta di una fonte di energia ideale e perché il rendimento globale degli impianti oggi è molto elevato, raggiungendo picchi del 90%. Ciò nonostante nella nostra regione il settore idroelettrico, in parte penalizzato dalla stringente

normativa ambientale e dalle mutate condizioni nelle disponibilità idriche destinabili a scopi energetici, non offre grandi potenzialità di sviluppo. L'energia eolica ha dimostrato la sua validità anche per la realizzazione di grandi progetti, soprattutto perché disponibile anche nei mesi freddi. Tuttavia, in gran parte del Friuli Venezia Giulia mancano le condizioni essenziali per un efficiente funzionamento degli impianti poiché la velocità del vento deve superare i 5 metri al secondo e soffiare in modo costante. Sarebbero da potenziare gli impianti nelle zone costiere compatibilmente con le esigenze ambientali e paesaggistiche, nonché su banchine off-shore vicino alla costa che offrono maggiori e più interessanti possibilità. 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 valorizzare le risorse locali, invece di dipendere completamente dalle materie prime e dai prezzi imposti da altri paesi. Non ha senso produrre biomasse esclusivamente per la generazione di energia, mentre rappresenta sicuramente un'opportunità la possibilità di eliminare gli scarti prodotti dalle attività agroforestali. La geotermia è concentrata in Regione nei Comuni della Bassa Pianura centro-occidentale, che da sola totalizza l'89% della richiesta spontanea di acque calde. Più che lo sfruttamento di acqua calda sotterranea però, appare oggi interessante lo scambio di calore con il terreno, che ad una certa profondità mantiene una temperatura costante. È la cosiddetta geotermia a bassa entalpia, disponibile quasi ovunque ed utilizzabile per scopi domestici non solo di riscaldamento invernale ma anche di raffrescamento estivo. In questo senso le opportunità di sviluppo in regione sono davvero interessanti.

L'ENERGIA SOLARE: UN'ENERGIA INESAURIBILE, MA DILUITA

L'energia solare – diretta o indiretta – 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 per il 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.
Ci sono due motivi per cui l'uso del Sole come fonte di energia primaria per l'umanità è problematico. 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 per circa la metà del tempo. La quantità della radiazione solare oscilla fortemente anche a causa dell'alternarsi 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.

Come conseguenza della diluizione dell'energia solare sono necessarie superfici vaste per poter soddisfare solo parzialmente la richiesta di energia; queste grandi superfici spesso non sono disponibili proprio laddove vi è maggiore domanda.
Si potrebbe pensare di produrre energia dal Sole nelle aree dove sono disponibili grandi superfici, ad esempio nei deserti, e trasportarla poi nelle zone industrializzate, dove si riscontra il consumo energetico maggiore. Però così si creerebbero problemi e perdite notevoli, relativi allo stoccaggio ed 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

Dopo la diluizione, il secondo problema inerente l'energia solare 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. Quando sarà risolto il problema dell'accumulo 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 succitate 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.

6.0 L'UNIONE EUROPEA E LE FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI

L'UNIONE EUROPEA

Per l'Unione Europea il ricorso alle risorse rinnovabili è un aspetto prioritario nelle politiche energetiche; l'obiettivo è raggiungere la quota del 20% di energie rinnovabili sui consumi totali entro il 2020. Attualmente sul territorio europeo la quota di energie rinnovabili sul consumo finale è dell'8,5%. Per raggiungere questo ambizioso obiettivo l'UE prevede di potenziare gli sforzi nei settori dell'elettricità, del riscaldamento e del raffreddamento nonché in quello dei biocarburanti. Nel settore dei trasporti, che dipende quasi esclusivamente dal petrolio, la Commissione auspica che la quota minima per i biocarburanti nel consumo totale di carburante, fissata al 5,75% come obiettivo specifico per il 2010, per il 2020 sia portata al 10%. Le fonti energetiche rinnovabili emettono pochi gas a effetto serra o non ne emettono affatto: l'aumento della quota delle energie rinnovabili sul totale dei combustibili disponibili ridurrà pertanto in misura significativa le emissioni di gas a effetto serra dell'UE.
La Commissione stima pertanto che l'obiettivo del 20% permetterà riduzioni fino a 600-900 milioni di tonnellate di CO_2 all'anno, equivalenti a 150-200 miliardi di euro di risparmi se il prezzo della tonnellata di CO_2 dovesse arrivare a 25 euro.
Inoltre, lo sviluppo delle fonti energetiche alternative alle energie fossili contribuisce a garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico dell'UE e a ridurre la fattura energetica legata all'aumento dei prezzi delle energie fossili. Di conseguenza, si stima che, se l'UE riuscirà a raggiungere l'obiettivo del 20% nel 2020, i risparmi annui saranno pari a più di 250 milioni di *TEP** entro il 2020, di cui circa 200 milioni in importazioni.
Lo sviluppo delle tecnologie utilizzate per lo sfruttamento delle energie rinnovabili aprirà nuove prospettive commerciali, in particolare per quanto riguarda la loro

esportazione. Sono anche previste ripercussioni positive in termini di occupazione e di crescita del PIL.
Nel corso degli ultimi 20 anni il costo delle energie rinnovabili è diminuito in misura costante. Esso resta tuttavia più elevato di quello delle energie convenzionali, soprattutto perché i *costi esterni** delle energie fossili non sono integrati nel loro prezzo.
Il costo aggiuntivo medio annuo necessario per raggiungere l'obiettivo del 20% è stimato tra 10 e 18 miliardi di euro, in funzione dei prezzi dell'energia e degli sforzi di ricerca compiuti. La Commissione proporrà misure per migliorare il mercato interno e per eliminare gli ostacoli allo sviluppo delle energie rinnovabili nei settori dell'elettricità, del riscaldamento e raffreddamento, tra l'altro mediante l'alleggerimento degli oneri amministrativi, il miglioramento della trasparenza e della diffusione delle informazioni, l'adeguamento e l'aumento del numero degli impianti e dei sistemi di interconnessione. Proporrà misure di sostegno, di incentivo e di stimolo a favore delle fonti energetiche rinnovabili ed il ricorso agli appalti pubblici in particolare nel settore dei trasporti. Continuerà a cooperare strettamente con i protagonisti del settore delle energie rinnovabili per permettere una migliore integrazione delle fonti energetiche rinnovabili nella rete elettrica ed incoraggerà un utilizzo ottimale degli strumenti finanziari esistenti, quali i fondi strutturali e di coesione e gli strumenti orientati al sostegno alla ricerca, alla diffusione delle tecnologie, quali il prossimo piano strategico per le tecnologie energetiche, il programma quadro per la ricerca e lo sviluppo tecnologico o il programma IEE "Energia Intelligente per l'Europa".
La Commissione farà in modo che prosegua lo scambio di migliori pratiche e che i costi esterni delle energie fossili siano integrati nel loro prezzo in particolare tramite la tassazione dei prodotti energetici.

6.0 GLOSSARIO

CO_2

(anidride carbonica o biossido di carbonio)

È un gas prodotto principalmente dalla combustione di combustibili fossili e rappresenta uno dei gas responsabili dell'effetto serra. Cambiamenti nel quantitativo di anidride carbonica nell'atmosfera portano a cambiamenti climatici. Questo fenomeno è noto come effetto serra o riscaldamento globale.

CONDUZIONE TERMICA

Per conduzione termica si intende la trasmissione di calore che avviene in un mezzo solido, liquido o gassoso, dalle aree a più alta temperatura verso quelle con temperatura minore, per contatto molecolare diretto. La velocità con la quale il calore si propaga varia da sostanza a sostanza. Nei metalli è elevata, mentre in altre sostanze come, ad esempio la plastica, il sughero, ecc., è molto più piccola. Per questo motivo i primi sono definiti buoni conduttori del calore ed i secondi isolanti termici.

CONVEZIONE TERMICA

Il fenomeno della convezione termica si ha quando un fluido (come l'acqua o l'aria) entra in contatto con un corpo la cui temperatura è maggiore di quella del fluido stesso. Aumentando di temperatura, il fluido a contatto con l'oggetto si espande e diminuisce di densità, generando così moti in cui il fluido caldo sale verso l'alto e quello freddo scende verso il basso. L'acqua che bolle in una pentola è un classico esempio di moto convettivo.

COP

L'acronimo indica il Coefficiente di prestazione ovvero la resa di una pompa di calore: è il rapporto tra l'energia prodotta e quella consumata dalla macchina per funzionare. Più è alto, migliore è il funzionamento della macchina e conseguentemente maggiore è il costo iniziale di investimento.

COSTI ESTERNI

I costi esterni dell'energia (o esternalità) indicano quei costi associati all'utilizzo di una fonte di energia che non rientrano nei costi diretti (la ricerca, il reperimento, il trasporto, la costruzione e il costo d'esercizio di una centrale, ad esempio). I costi esterni sono spesso associati alle conseguenze ambientali (effetto serra, emissioni di gas inquinanti, disastri ambientali, incidenti, ...), sono difficilmente quantificabili e spesso gravano sulle generazioni future.

ENERGIA PRIMARIA

Una fonte di energia viene definita primaria quando è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione di nessuna altra forma di energia. Rientrano in questa classificazione sia fonti rinnovabili (quali ad esempio l'energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica, l'energia delle biomasse) che fonti esauribili, come i combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone).

ENERGIA SECONDARIA

Si definisce fonte energetica secondaria una fonte energetica non direttamente disponibile in natura come ad esempio l'energia elettrica, ma che può essere prodotta partendo da una fonte di energia primaria.

ENTALPIA

È il calore fornito per riscaldare un sistema o il calore sottratto per raffreddarlo.

FALDA ACQUIFERA

Una falda acquifera è un giacimento d'acqua sotterraneo. Si origina dalle acque superficiali che, per gravità, penetrano attraverso gli strati permeabili del sottosuolo fino a raggiungere uno strato impermeabile, generalmente uno strato di roccia.

FALDA ARTESIANA
Nel sottosuolo quando l'acqua è costretta a scorrere tra due strati impermeabili acquista pressione (come in una condotta forzata) e la falda si chiama artesiana.

FISSIONE NUCLEARE
La fissione è un tipo di reazione nucleare sfruttato nelle attuali centrali nucleari per produrre energia.
Consiste nel bombardare il nucleo di un atomo con neutroni che ne determinano la scissione in due o più frammenti. Nella fissione si liberano altri neutroni che colpiscono altri atomi: così si innesca una reazione a catena.

FUSIONE NUCLEARE
La fusione nucleare è un tipo di reazione nucleare che avviene all'interno del Sole, e che genera l'energia termica indispensabile per la vita sulla Terra.
Il processo consiste nella fusione dei nuclei di due atomi di idrogeno, favorita dalla temperatura di diversi milioni di gradi. Durante la fusione una parte della massa si perde e si trasforma in energia. Gli scienziati stanno tentando di sfruttare questa reazione come alternativa alla fissione per la produzione di energia.

ISOTOPI RADIOATTIVI
I radioisotopi sono varianti radioattive di uno stesso elemento chimico, il cui nucleo è instabile. Tale instabilità provoca la trasformazione spontanea in altri isotopi, e questa trasformazione si accompagna con l'emissione di particelle e radiazioni. Questi isotopi sono detti isotopi radioattivi, o radioisotopi, o anche radionuclidi.

JOULE (J)
Il joule nel Sistema internazionale è l'unità di misura dell'energia. Si può visualizzare 1joule come il lavoro richiesto per sollevare una massa di 102 g (una piccola mela) per un metro, opponendosi alla forza di gravità terrestre.

CHILOCALORIA (kcal)

La chilocaloria, unità tradizionalmente usata per la misura del calore, è definita come la quantità di calore necessaria ad elevare da 14,5 a 15,5 °C la temperatura della massa di un chilogrammo di acqua distillata.

CHILOWATTORA (kWh)

Il chilowattora, unità di misura dell'energia che consumiamo a casa nostra, è l'unità usata sulla comune bolletta della luce o del gas. Il costo del kWh è di circa 0,20 euro se consumiamo energia elettrica, di circa 0,09 euro se consumiamo gas naturale (metano) e quindi, a parità di calore prodotto, una stufetta elettrica ci costerà il doppio rispetto al riscaldamento a metano.

CHILOWATTORA ELETTRICO (kWhe)

Il chilowattora elettrico è una misura del consumo di energia elettrica e ci dice quanta potenza elettrica abbiamo utilizzato in un certo periodo.

CHILOWATTORA TERMICO (kWhth)

Il chilowattora termico è una misura del consumo di energia termica (calore) e ci dice quanta potenza termica abbiamo utilizzato in un certo periodo. Anche la caloria e il suo multiplo, la chilocaloria, è stata un'unità di misura del calore utilizzata per molto tempo e tuttora in uso.

METRO CUBO STERO ALLA RINFUSA (msr)

Un cubo di un metro di lato costituito da pezzi di legna accatastata alla rinfusa, cioè un insieme di legna e spazi vuoti.

MICRON (μm)

È un'unità di misura della lunghezza corrispondente a un milionesimo di metro (cioè un millesimo di millimetro).

POMPA DI CALORE

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta. Essa opera con lo stesso principio del frigorifero e del condizionatore d'aria.
È costituita da un circuito chiuso, percorso da uno speciale fluido (frigorigeno) che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore.

POMPA GEOTERMICA

La pompa geotermica è una pompa di calore che scambia calore con il terreno dove viene posizionata la sonda geotermica (un tubo ad U nel quale passa un liquido che assorbe il calore e lo porta in superficie o nel sottosuolo). Questa tecnologia sfrutta la temperatura costante che il terreno ha lungo tutto il corso dell'anno.

POTERE CALORIFICO

Il potere calorifico o calore di combustione esprime la quantità massima di calore che si può ricavare dalla combustione completa di 1 kg di sostanza combustibile (o 1 m^3 di gas a 0 °C e 1 atm).

TONNELLATA EQUIVALENTE DI PETROLIO (TEP)

È l'unità energetica comunemente usata a livello internazionale per i bilanci dell'energia.
Il TEP rappresenta praticamente il calore sviluppato bruciando una tonnellata di petrolio.

Colophon

Edito da:
Agenzia Provinciale per l'Energia di Udine
www.ape.ud.it

Progetto e coordinamento:
Matteo Mazzolini

Contenuti:
Andrea Dose, Matteo Mazzolini, Sara Ursella

Grafica e layout:
Mimesis Communication

Tratto dalle pubblicazioni:
"Il futuro all'insegna dell'energia solare"
e *"Legno energia locale"*
su gentile concessione di:
Provincia Autonoma di Bolzano
Ripartizione acque ed energia
Ufficio risparmio energetico
www.provincia.bz.it/acque-energia

Settembre 2009

A.P.E. - Agenzia Provinciale per l'Energia di Udine

Gemona del Friuli
Via Santa Lucia, 19
Telefono +39 0432 980 322
Fax +39 0432 309 985
info@ape.ud.it www.ape.ud.it

APE Agenzia Provinciale per l'Energia di Udine
Energy Management Agency
Intelligent Energy Europe
Udine Provincial Energy Agency

KlimaHaus®
CasaClima

Ministero dell'Ambiente
e della Tutela del Territorio e del Mare

SUSTAINABLE ENERGY EUROPE
2005-2008

Official Partner

BCC
CREDITO COOPERATIVO

Questa pubblicazione è una delle azioni
che l'Agenzia Provinciale per l'Energia di Udine
sta portando avanti a supporto della campagna
SEE (Sustainable Energy Europe), coordinata
a livello europeo dalla Commissione Europea
e a livello nazionale dal Ministero dell'Ambiente
e della Tutela del Territorio e del Mare.