
L'Energia Pulita

Le possibilità delle fonti di energia alternativa

di Alberti Ruggero

Anno scolastico 2007/2008 • Liceo scientifico statale A. Tosi • Busto Arsizio



INDICE



Premessa: l'energia	4
<i>Energia e sviluppo</i>	4
<i>Combustibili fossili e CO2</i>	5
<i>Una possibile soluzione: l'energia pulita</i>	7
Premessa seconda filosofica: il paradigma	8
<i>Una questione di paradigma: logica di dominio, Natura e Leopardi</i>	8
La fiamma antica: l'energia geotermica	10
<i>Cenni storici e sviluppo nel mondo</i>	10
<i>Principi</i>	11
<i>Modalità di sfruttamento</i>	11
<i>Svantaggi</i>	13
<i>Vantaggi</i>	14
The answer is blowin' in the wind: l'energia eolica	15
<i>Cenni storici e sviluppo nel mondo</i>	15
<i>Principi</i>	15
<i>Modalità di sfruttamento</i>	16
<i>Svantaggi</i>	20
<i>Vantaggi</i>	21
Andando nel sole che abbaglia: l'energia solare	23
<i>Cenni storici e sviluppo nel mondo</i>	23
<i>Principi</i>	24
<i>Modalità di sfruttamento</i>	25
<i>Svantaggi</i>	31
<i>Vantaggi</i>	31

L'energia pulita: una valida “alternativa”	32
<i>Energie alternative o integrative?</i>	32
<i>Strategie energetiche attente all'ambiente</i>	33
<i>Un cambio di paradigma: l'etica della responsabilità</i>	34
Bibliografia	36

PREMESSA: L'ENERGIA

Energia, sinonimo di potenza e vigore, è parola quasi magica e misteriosa: termine derivato dal greco “energheia” usato dal famoso Aristotele per indicare una forza in atto, è per la fisica moderna la capacità di un corpo o di un sistema di compiere lavoro. Una definizione apparentemente semplice che cela una realtà articolata e complessa. Quanta importanza ha, infatti, l'energia nella nostra vita quotidiana? Molta, anzi moltissima: senza energia non ci sarebbe vita, nemmeno quella di ogni giorno! Scaldare ed illuminare le nostre case, andare a scuola o in palestra, anche in bicicletta oppure a piedi, richiede energia. Dovrebbero essere sufficienti questi pochi esempi, scelti tra tanti innumerevoli altri, così tanti da poter riempire decine di pagine...

Energia e sviluppo

Ancora di più l'energia gioca un ruolo fondamentale nella storia dello sviluppo umano, in quanto la possibilità di progresso è strettamente legata alla capacità dell'uomo di sopperire al proprio fabbisogno energetico. Due esempi possono chiarire quanto affermato.



James Watt, l'ingegnere scozzese che perfezionò la macchina a vapore

Il primo ci porta in Inghilterra ai tempi della “rivoluzione industriale”, quando la società moderna muoveva i primi passi incerti. La nascita dell'industria, è noto, fu resa possibile da una geniale invenzione tecnologica, la macchina a vapore (la cui paternità è fatta erroneamente risalire all'ingegnere scozzese James Watt, che perfezionò in realtà un modello preesistente). Questa macchina necessita di calore, così tanto calore che la legna da sola non può fornirgli se non bruciandone ingenti quantità. Che ne sarebbe stato, dunque, della portentosa macchina a vapore senza carbone? Non ci sarebbe stata abbastanza energia per alimentare i macchinari e, di conseguenza, nessuna rivoluzione industriale. Per fortuna l'Inghilterra era in possesso di grandi riserve di carbone e la storia ha seguito il corso che tutti conosciamo.

Il secondo esempio ci porta invece ad un discorso attualissimo riguardante le cause del sottosviluppo. Per “mondo sottosviluppato” si intende quell'insieme di paesi le cui popolazioni vivono in uno stato di grave miseria. In molti di questi, in particolare centro africani, l'impossibilità di dare avvio allo sviluppo è strettamente legata alla mancanza sul territorio di valide

fonti energetiche che possano trainare un sistema economico di tipo industriale.

Lo sviluppo, dunque, richiede energia. Attualmente il fabbisogno energetico delle attività umane è per il 90% soddisfatto dai combustibili fossili (petrolio, gas naturale carbone), tra questi il petrolio supplisce al 45% della domanda totale. La questione energetica che l'umanità affronta oggi ha origine in questo sbilanciato utilizzo delle fonti energetiche.

Fabbisogno di energia primaria in Italia
(valori espressi in milioni di tonnellate equivalenti di petrolio)

Fonti	2001 (Mtep)	2002 (Mtep)	2003 (Mtep)	2004 (Mtep)
Combustibili solidi	13,7	14,2	15,3	17,1
Gas naturale	58,5	58,1	63,8	66,2
Prodotti petroliferi	91,2	91,4	90,8	88,0
Fonti rinnovabili (1)	13,8	12,6	12,8	14,1
Importazioni energia elettrica	10,6	11,1	11,2	10,0
Totale	187,8	187,5	193,9	195,5
PIL (2)	1.033,0	1.036,7	1.039,4	1.052,3
Intensità energetica (3)	180,8	180,9	185,6	185,8

(1) i kWh sono stati trasformati in tep in base alle calorie necessarie per produrre 1 kWh termoelettrico

(2) miliardi di euro in lire 1995

(3) tep/milioni di euro

I dati del 2004 sono da considerarsi provvisori
Fonte: MAP, Bilancio Energetico Nazionale 2004

Combustibili fossili e CO₂

E' preoccupazione comune che i combustibili fossili, possano esaurirsi in tempi molto brevi. Un bel problema, in quanto la capacità di rinnovo di queste risorse è enormemente inferiore al loro tasso di consumo: gli attuali giacimenti petroliferi si sono formati mediante processi della durata di decine di milioni di anni, mentre l'uomo brucia più di 8200 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) di idrocarburi. Se dovessimo rimanere senza combustibile il sistema economico mondiale si arresterebbe.

Tuttavia le previsioni sono rassicuranti e dicono che l'era del petrolio non finirà per mancanza di greggio. Le più recenti stime sulle riserve (cioè sulla quantità di petrolio di buona qualità effettivamente estraibile) e l'incessante progresso della tecnologia nel campo dell'estrazione ci rasserenano: probabilmente avremo greggio a sufficienza per sostenere i nostri consumi dei prossimi decenni.

Il problema vero in effetti è un altro: bruciare combustibili fossili per produrre energia immette nell'atmosfera una quantità per niente trascurabile di anidride carbonica (CO₂). Per essere esatti le attività antropiche (trasporti, industria, produzione di energia, ecc.) producono ogni anno 23 miliardi di tonnellate di anidride carbonica. Una cifra impressionante.

Questo dato non può essere ignorato. L'anidride carbonica è un "gas serra", come altri gas quali metano e ossido di azoto, presenti tuttavia in minore concentrazione nell'atmosfera.

Questi gas hanno la capacità di trattenere sulla Terra le radiazioni infrarosse, e con esse il calore, riflesse dalla superficie terrestre che altrimenti sfuggirebbero nello spazio. Quindi i gas serra si comportano proprio come i vetri di una serra, da cui, per l'appunto, il loro nome. Entro certi limiti, la loro presenza nell'aria è normale; la loro totale assenza trasformerebbe il nostro pianeta in una gelida sfera volante. Basti pensare alla Luna, il nostro satellite senza atmosfera, dove l'escursione termica tra la faccia illuminata e quella in ombra può raggiungere i 100° C.

La concentrazione attuale di gas serra, soprattutto di CO₂, è però ben oltre i valori normali, e genera serie preoccupazioni: più questi gas si accumulano nell'atmosfera, tanto più il calore è trattenuto sulla superficie, alterando l'equilibrio energetico terrestre. Normalmente il flusso di energia entrante nell'atmosfera è in media uguale a quello uscente dalla stessa, mentre attualmente l'energia dispersa nello spazio aperto è inferiore a quella acquisita. Questo sbilanciamento si riflette in un aumento della temperatura media del pianeta con significativi cambiamenti climatici. Cerchiamo di chiarire con qualche dato: nel corso degli ultimi 120 anni la temperatura media terrestre è aumentata di 0,6° C. Anche se si tratta di pochi decimi di grado, è una differenza significativa: solo un paio di gradi di scarto differenziano l'attuale temperatura da quella del periodo intermedio dell'ultima glaciazione di circa 20 mila anni fa.

Naturalmente altri fattori influenzano il riscaldamento globale, tuttavia tutti i recenti modelli di studio sottolineano l'impronta delle attività umane sul cambiamento climatico. In particolare evidenziano come l'aumento di temperatura sia legato all'incremento delle emissioni antropiche di gas serra nell'atmosfera.



Una possibile soluzione: l'energia pulita

Ancora non siamo in grado di quantificare con certezza le ripercussioni che il cambiamento climatico potrà avere sull'economia mondiale. Le attività agricole, preponderanti nei paesi sottosviluppati, e quelle costiere legate al turismo, fonti rilevanti di introiti nelle economie dei paesi ricchi, potrebbero essere influenzate dalle modifiche climatiche in maniera irreparabile. E' necessario quindi un deciso intervento sulle emissioni di gas serra per cercare in qualche modo di arginarne gli effetti. Una possibile soluzione ci è offerta dalle forme di energia "pulita", ovvero dallo sfruttamento di tutte quelle fonti di energia ad emissioni inquinanti nulle o limitatissime.

Nel nostro Paese la sola produzione di energia elettrica è responsabile del 30% delle emissioni di gas serra (dati ministero 2000), in quanto molte centrali sono alimentate da combustibili fossili. Invece le emissioni inquinanti di centrali energetiche pulite sono irrisorie, soprattutto se rapportate a quelle di una normale centrale a combustibili fossili. La soluzione al riscaldamento globale potrebbe essere, dunque, la parziale sostituzione delle normali centrali con altre più moderne che si basino sulle fonti energetiche pulite.

Intraprendere questo percorso, in salita e non privo di inconvenienti, non sarà facile. Ci proponiamo per questo di illustrare tre forme di energia pulita, nello specifico geotermica, eolica e solare, e di mostrarne in maniera schematica le tecnologie, il loro stato dell'arte, i vantaggi e gli svantaggi di una scelta "ecologica".

PREMESSA SECONDA FILOSOFICA: IL PARADIGMA



Max Horkheimer, uno dei massimi esponenti della Scuola di Francoforte

Una questione di paradigma: logica di dominio, Natura e Leopardi

La penetrazione delle forme di energia pulita non incontra solo ostacoli tecnici ed economici, facilmente superabili, ma deve anche affrontare una mentalità consolidata. L'energia pulita deve sfidare il "paradigma illuminista" proprio dell'età contemporanea.

Se per paradigma intendiamo quell'insieme organizzato e consolidato di teorie, idee e concezioni sulla base delle quali si formula un giudizio sulla realtà per poi operare in essa o su di essa, è inevitabile definire "illuminista" il paradigma diffuso nella società mo-

derna, estendendo notevolmente il significato di questo termine. Era proprio dello spirito settecentesco dell'Illuminismo il tentativo di razionalizzare profondamente ogni aspetto dell'essere al fine di soggiogare il mondo e la Natura alla ragione umana; un obiettivo che l'uomo moderno persegue con ancora maggiore tenacia dei suoi antenati. Dunque il paradigma illuminista, come già affermò il filosofo Max Horkheimer, uno dei massimi esponenti della Scuola di Francoforte, è fortemente pervaso da una "logica di dominio" di cui la prassi del Mondo Occidentale non è che un riflesso.

Questo estenuante sforzo trova il suo apice nella moderna società industriale: quando alla fine del XIX secolo furono scoperti i grandi giacimenti di idrocarburi, l'uomo pensò di avere ormai raggiunto la completa indipendenza dalla Natura. L'incessante ricerca di nuova energia di qualità sempre migliore aveva da sempre costretto l'umanità a rivolgersi al Sole, al vento, alle biomasse (legna e scarti agricoli) o alla forza animale; in ultima analisi era la Natura a dettare tempi e ritmi della vita umana. Il carbone, infatti, non permetteva ancora all'uomo la totale indipendenza: era una materia prima dal basso rendimento e poco sfruttata. Il petrolio invece era una risorsa dall'altissimo potere energetico le cui riserve parvero, al tempo, praticamente infinite. L'uomo poteva considerarsi ormai autosufficiente e dominatore: la



Un barile di petrolio

Natura non doveva più soddisfare la sua domanda energetica.

Rinunciare a questa libertà e quindi superare la logica del dominio non sarà facile. Il primo ostacolo ad una più ampia diffusione delle fonti energetiche pulite e rinnovabili è proprio il loro legame di dipendenza dalla Natura: eolico, solare o geotermico comportano una parziale perdita di indipendenza dal ritmo naturale.

L'“illuminista” moderno fatica ad accettare una simile condizione, è portato a dominare la Natura e vede in lei più che una madre un'odiosa matrigna. Già il grande Leopardi, il cui originalissimo pensiero ha punti di contatto con la cultura illuminista settecentesca, descriveva il rapporto uomo-natura in questi termini. L'uomo moderno sembra proprio il famoso islandese dell'operetta leopardiana, simbolo di un'umanità che cerca di fuggire dalla Natura in ogni modo.



*Giacomo Leopardi, uno dei più grandi
letterati italiani*

Tuttavia Leopardi, scrivendo quella famosa operetta, ha voluto descrivere il rapporto tra umanità e ambiente avendo ben presenti le limitate possibilità della società di inizio '800 di condizionare e controllare la natura. La società moderna, invece, ha molti più strumenti per influenzare l'ambiente: la scienza e la tecnica ci forniscono le conoscenze necessarie perfino per distruggere completamente la Terra in pochi istanti. Siamo di fronte ad un radicale cambiamento di prospettiva rispetto alla poetica di Leopardi: l'uomo è cresciuto e sembra un “figliastro” indisciplinato e irrispettoso dei doni che madre Natura gli ha offerto.

Fortunatamente la cultura sta cambiando e in molti non pensano più da “illuministi”. Molte nazioni, tra cui paradossalmente proprio l'Islanda, hanno imparato a trovare nella Natura la risposta alle proprie esigenze, in particolare a quelle energetiche. L'uomo può sfruttare quelle risorse infinite che l'ambiente gli fornisce e proseguire il proprio sviluppo in modo sostenibile per il sistema Terra.

In Islanda lo fanno molto bene! In quel freddo paese il 99,9% dell'energia proviene da fonti energetiche rinnovabili, per il 27% da energia geotermica. L'Islandese leopardiano ha instaurato con la Natura una felice convivenza, senza cercare di fuggirla in ogni angolo del globo...

Cerchiamo ora di capire come si possano sfruttare le forme di energia pulita e rinnovabile, partendo, appunto, da quella geotermica.

LA FIAMMA ANTICA: L'ENERGIA GEOTERMICA



Il principe Piero Ginori Conti e il primo generatore funzionante con energia geotermica

Cenni storici e sviluppo nel mondo

E' tutto italiano il primo tentativo di utilizzare l'energia geotermica per produrre elettricità. Nel 1904 a Larderello, Toscana, il principe Piero Ginori Conti accese 5 lampadine mediante una dinamo trascinata da un motore alternativo spinto dal vapore proveniente da sorgenti geotermiche. Dopo vari altri esperimenti, nel 1913 entrò in funzione la prima centrale geotermoelettrica al mondo, con un impianto da 250 kW di potenza. La

centrale continuò a crescere raggiungendo i 127 MW nel 1944 quando venne distrutta a causa degli eventi bellici. Oggi la gestione dell'energia geotermica in Italia è affidata a Enel Green Power che detiene le concessioni sull'intero territorio.

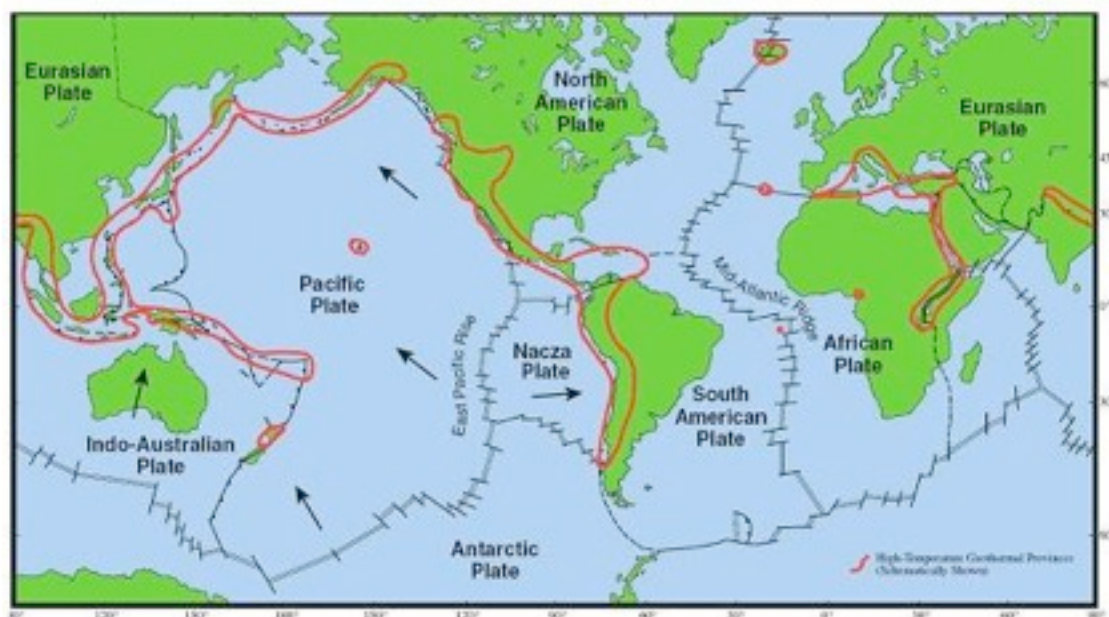
Dopo i primi impianti italiani, le centrali geotermoelettriche si sono diffuse nel mondo. Oggi i paesi che sfruttano maggiormente le risorse geotermiche sono Stati Uniti (2900 MW prodotti), Filippine (1900 MW), Messico (760 MW), Giappone (550 MW) e Indonesia (600 MW). Questi paesi sono tutti limitrofi della cosiddetta "cintura del fuoco" una vasta regione caratterizzata da intensa attività vulcanica.

L'Italia, con poco meno di 800 MW installati, è l'unico paese ad utilizzare il geotermico al di fuori di quella zona, mantenendo un ruolo di primo piano in Europa sia nell'ambito dello sfruttamento delle fonti geotermiche che dello sviluppo delle relative tecnologie. I principali impianti sono situati in Toscana, nelle aree di Pisa, Siena e Grosseto.

Ricordiamo che l'Islanda con i suoi 480 MW prodotti da fonti geotermali soddisfa il 27% del suo fabbisogno energetico.



Centrale geotermica di Larderello, Toscana



Zone geotermiche; fonte: www.enel.it

Principi

L'energia geotermica è associata al flusso di calore che continuamente risale dall'interno della Terra. Lungo i margini delle placche, dove è intensa l'attività sismica e vulcanica, e in zone caratterizzate da vulcanismo secondario il flusso di calore è più elevato che altrove a causa delle particolari caratteristiche geologiche. In tali casi le rocce, anche a modeste profondità, sono così calde che l'acqua che vi circola viene riscaldata notevolmente, con temperature che variano dai 50-60° C fino ad alcune centinaia di gradi. A volte è trasformata in vapore e può risalire in superficie producendo soffioni o geysir, ma più spesso rimane intrappolata in profondità.

Lo sfruttamento di questi fluidi caldi consente la produzione di discrete quantità di energia.

Modalità di sfruttamento

Come è possibile sfruttare il calore imprigionato nella Terra? Anzitutto è necessario individuare una riserva geotermica, cioè quella parte delle risorse accessibile che può essere estratta a costi competitivi con le altre fonti energetiche, entro un futuro determinato. Il primo passo consiste in un progetto di esplorazione della superficie di una data zona. Da qui si ricavano le informazioni necessarie per procedere con eventuali trivellazioni profonde, che rivelino, mediante pozzi, la presenza di fluidi idonei ad essere utilizzati per fini energetici. Se l'esito delle perforazioni è positivo si avvia un progetto di sviluppo per lo sfruttamento del campo geotermico. In questo caso si perfora un numero di pozzi sufficiente a garantire una quantità di fluido adeguata alla produzione energetica.

Le tipologie di impianti dipendono dalla temperatura e pressione del fluido estratto e dalla concentrazione in esso di gas non condensabili.



Serra riscaldata con acque geotermiche nel Nuovo Messico, USA

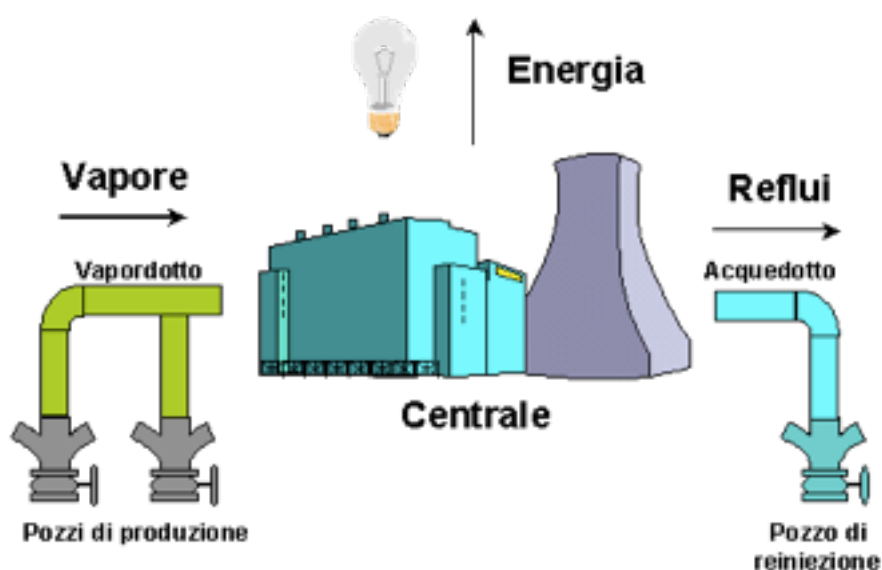
Acque calde

Lo sfruttamento di risorse geotermiche a bassa temperatura (inferiori ad 85°C), quindi di acqua calda, ha un notevole interesse economico. Temperature così basse non consentono un diretto impiego per la produzione di energia elettrica, ma tali fluidi possono essere sfruttati per riscaldare ambienti o serre e nelle produzioni industriali.

In questo modo si possono risparmiare decine di migliaia di tonnellate di petrolio... un sollievo per la nostra atmosfera!

Fluidi ad alta temperatura e produzione di energia elettrica

La generazione di energia elettrica, invece, si basa principalmente sullo sfruttamento del vapore naturale ad alte temperature (inferiori in ogni caso ai 250°C). Il principio di funzionamento di una centrale geotermica è abbastanza semplice: il flusso di vapore proveniente dal sottosuolo ad alte temperature produce una forza tale da far muovere una turbina, l'energia meccanica della turbina viene infine trasformata in elettricità tramite un sistema alternatore. La quantità di vapore richiesta è variabile ed è determinata da tre parametri: temperatura, pressione e concentrazione di gas non condensabili.



Schema base della struttura di una centrale geotermoelettrica

Possiamo distinguere, quindi, tre categorie di impianti. Il più semplice ed economico utilizza direttamente il vapore uscente dal pozzo che, dopo il passaggio nella turbina, è scaricato direttamente nell'atmosfera. Questo sistema richiede grandi quantità di vapore (20 kg/kW) ed è preferito quando il vapore contiene concentrazioni superiori al 10% di gas non condensabili.

Il secondo tipo di impianto convoglia invece il vapore proveniente dalla turbina in una torre di condensazione dove si recupera parte della sua energia residua, diminuendo così il consumo di fluido geotermico (5 kg/kW).

La terza categoria di impianti sfrutta invece vapore secco ad elevata temperatura, prelevato direttamente all'uscita del pozzo, per muovere turbine di ingente capacità. Questa è la tipologia di centrale geotermica con più elevata potenza erogata.

Spesso in questo tipo di centrali si ricorre all'immissione di acqua fredda in profondità per alimentare la produzione e mantenere costante il flusso del vapore acqueo. In questo modo si riesce a far lavorare a pieno regime le turbine e a produrre energia con continuità.

Acqua a temperatura intermedia: il ciclo combinato

Se il pozzo fornisce acqua calda a temperatura superiore agli 85° C è ancora possibile produrre energia elettrica. Si ricorre ad impianti leggermente più complessi basati su un ciclo combinato. A spingere le turbine non è più il vapore acqueo, ma un fluido, detto di lavoro, che è portato all'ebollizione dall'acqua in risalita dal pozzo. I fluidi di lavoro, ad esempio freon, isobutano e ammoniaca, possiedono per l'appunto temperatura di ebollizione inferiore a quella dell'acqua. Il fluido di lavoro è poi raffreddato e riciclato.

Pur possedendo una bassa efficienza (5% circa) e potenza (intorno ai 2 MW) questo tipo di impianti è di notevole interesse: sono infatti molto convenienti e permettono lo sfruttamento efficace di risorse geotermiche a temperature relativamente basse, largamente diffuse in ogni area del pianeta a profondità accessibili.

Svantaggi

Riassumiamo per punti gli svantaggi che lo sfruttamento di energia geotermica presenta, indicando per ognuno eventuali soluzioni:

- Le riserve geotermiche sono solitamente distribuite su grandi spazi. Costruire una centrale di questo tipo richiede quindi spazi piuttosto ampi. Tra le soluzioni progettuali adottate per ridurre al minimo il territorio impegnato, la tecnologia della *perforazione deviata* consente di limitare al massimo le strutture fuori terra realizzando una sola postazione per lo sfruttamento di più pozzi geotermici. La distribuzione dei vapori è razionalizzata al fine di convogliare il fluido verso la struttura principale.

- Le grandi riserve geotermiche sono concentrate in un'area limitata della Terra. L'energia geotermica resta in ogni caso una potenzialità energetica da sfruttare, laddove possibile, anche utilizzando le riserve geotermiche di minore portata.
- Alle centrali geotermiche è associato un impatto ambientale dovuto, oltre al vapore acqueo liberato nell'atmosfera dopo l'utilizzo, alle emissioni di CO₂ (in media 0,2 kg/kWh, per l'olio combustibile sono 0,9 kg/kWh), ammoniaca, acido solfidrico, mercurio e radon. I solfati producono inoltre uno sgradevole odore di uova marce particolarmente avverso alle popolazioni residenti nei pressi di una centrale geotermica. L'odore è facilmente neutralizzabile con appositi sistemi di filtraggio, in questo modo si elimina anche parte delle sostanze inquinanti rilasciate in atmosfera. Tuttavia la soluzione più praticata ed effettivamente più efficace consiste nel reiniettare i fluidi esausti nei pozzi di prelievo. In questo modo si abbattano le emissioni atmosferiche e si elimina quasi totalmente il fenomeno della subsidenza, cioè il progressivo abbassamento del livello della crosta continentale, nelle aree di sfruttamento.
- Le centrali geotermiche possono rovinare la bellezza paesaggistica di un territorio: questi impianti con numerose tubature a vista sono certamente antiestetici, anche se non più di un normale sito industriale. Il problema si risolve semplicemente in fase di progettazione, adottando basilari criteri estetici, quali il completo interrimento delle strutture di trasporto del fluido.

Vantaggi

La geotermia consente di trarre dalle forze naturali una grande quantità di energia rinnovabile e pulita a costi contenuti. Un vantaggio non marginale deriva dal costo della materia prima, gratuita (se escludiamo le concessioni per lo sfruttamento delle riserve che lo stato impone alle società di distribuzione), a differenza degli idrocarburi che invece acquistiamo a caro prezzo.

Va inoltre aggiunto che i progressi registrati dalle tecniche di perforazione in ambito petrolifero si traducono in benefici immediati per il settore geotermico, anche perché riducono i rischi degli investimenti. Il settore geotermico utilizza, infatti, metodi di ricerca e perforazione analoghi a quelli dell'industria petrolifera.

Da ultimo bisogna considerare che, una volta progettata, una centrale geotermica è facilmente adattabile ad ogni tipo di terreno. Si risparmia così sui progetti futuri ed è possibile abbattere parzialmente il costo di un impianto vendendone il progetto ed esportando le relative tecnologie all'estero.

THE ANSWER IS BLOWIN' IN THE WIND: L'ENERGIA EOLICA



Mulino a vento e tulipani

Cenni storici e sviluppo nel mondo

L'energia eolica è conosciuta e sfruttata da tempo immemorabile. I mulini a vento più antichi sono anteriori all'anno 1000 e possono essere a tutti gli effetti considerati gli avi dei moderni aereogeneratori. In Olanda, dove il mulino è simbolo nazionale, erano utilizzati per eliminare l'acqua dei polder, migliorando il sistema di drenaggio dopo la costruzione delle dighe.

Nel corso del XIX secolo entrarono in funzione migliaia di mulini a vento, in Europa e in America, soprattutto per

scopi di irrigazione. In seguito, con l'invenzione delle macchine a vapore, vennero abbandonati, poiché il carbone era allora a buon mercato.

Negli anni settanta del XX secolo l'aumento del costo del petrolio ha ridestato l'interesse per le macchine che utilizzano la forza del vento. Così molte nazioni hanno aumentato i fondi per la ricerca e lo sviluppo dell'eolico che ha conosciuto, in particolare nell'ultimo decennio, un progresso e una penetrazione notevole. In diversi paesi europei (Germania, Danimarca, Spagna) ha già guadagnato quote di mercato significative. Alla fine del 2002 nei paesi dell'Ue erano installati più di 22.000 MW di generatori eolici, su un totale di 30.000 MW a livello mondiale. Alla stessa data la potenza installata in Italia era di solo 800 MW.

Principi

L'energia eolica è il prodotto della conversione dell'energia cinetica posseduta dal vento in energia elettrica mediante un generatore eolico. Il vento è prodotto dalle differenze di pressione esistenti tra le diverse zone dell'atmosfera terrestre. La causa prima di queste differenze è il Sole, che distribuisce i suoi raggi in maniera variabile sulla superficie terrestre. In parte esse sono anche dovute a diversità nella conformazione geografica (distribuzione di oceani e continenti) e morfologica (montagne e valli) della superficie terrestre. Il vento è quindi influenzato dalle caratteristiche topografiche e dall'insolazione, per questo presenta variazioni stagionali, giornaliere e addirittura orarie.

Si possono distinguere due diverse circolazioni nella troposfera, una bassa e una alta. I venti che consentono rendimenti energetici maggiori sono quelli con velocità media elevata e costante durante l'anno, perché permettono di erogare elettricità con maggiore continuità. Esi-

stono nella bassa troposfera alcuni venti di questo tipo, ad esempio gli alisei, ma la maggior parte delle correnti di bassa quota possiede velocità molto variabili nel tempo. Rientrano in questa categoria i venti delle nostre latitudini, i venti occidentali, che cambiano la loro velocità anche sensibilmente nel corso dell'anno. Tuttavia sono molto sfruttati, anche con buonissimi rendimenti energetici. I venti di alta quota, invece, non ostacolati da attriti con la superficie, sono mediamente molto più veloci, con differenze di anche centinaia di km/h rispetto ai venti di bassa quota, e molto più regolari.

Le tecnologie eoliche attuali sfruttano principalmente i venti di bassa quota, ma sono in fase di sviluppo numerosi progetti che puntano allo sfruttamento di correnti d'aria a quote maggiori.

Modalità di sfruttamento

Le modalità che permettono di sfruttare l'energia eolica sono molto differenziate. Senza considerare i vari tipi di aereogeneratori, che descriveremo più nel dettaglio in seguito, i progetti studiati per generare elettricità dal vento sono numerosissimi. Cercheremo di dare qualche linea generale.

E' possibile installare generatori singoli o a gruppi, le cosiddette *wind farms*, a seconda delle esigenze e delle caratteristiche dei venti e del territorio.

Per meglio progettare gli impianti sono stati compiuti studi che quantificano le risorse eoliche disponibili in ogni paese, in ogni zona. Queste, una volta valutate, sono state riportate su carte per regioni o paesi. Gli studi effettuati hanno mostrato come parte delle risorse sia localizzata ad alcune miglia dalla costa; per questo alcuni paesi hanno intrapreso la costruzione



Windfarm statunitense



Windfarm off-shore

ne di impianti *off-shore*.

Un generatore, sia esso ad asse verticale o orizzontale, richiede una velocità minima del vento di 3-5 m/s per poter operare convenientemente, mentre lavora in modo ottimale in presenza di venti con velocità di 12-14 m/s.

E' importante ricordare che i generatori eolici, moduli di base delle centrali eoliche, a partire dal 1985 sono migliorati drasticamente nel rendimento, diminuendo il proprio costo, e continuano

tuttora a farlo. Per questo i dati rilevati in seguito sono da considerarsi provvisori. Cerchiamo ora di entrare più nel merito delle varie tipologie di aereogeneratori.



Generatore eolico ad asse verticale

Generatori ad asse verticale

Un generatore eolico ad asse verticale è un tipo di aereogeneratore contraddistinto da una ridotta quantità di parti mobili nella sua struttura, che gli conferisce un'alta resistenza alle forti raffiche d'aria e la possibilità di sfruttare qualsiasi direzione del vento senza doversi orientare continuamente. È una macchina molto versatile, adatta all'uso domestico come alla produzione centralizzata di energia elettrica.

Macchine eoliche ad asse verticale sono state concepite e realizzate fin dal 1920, però la sostanziale minore efficienza (30% circa) rispetto a quelle con asse orizzontale ne ha di fatto confinato l'impiego. L'unica installazione industriale oggi esistente è in California e risale al 1997. Negli ultimi tempi si è cercato di ottimizzare queste macchine, rendendole più competitive: alcuni studi sembrano dimostrare che gli ultimi prototipi, funzionando molte più ore l'anno, hanno un rendimento maggiore rispetto ai generatori ad asse orizzontale.

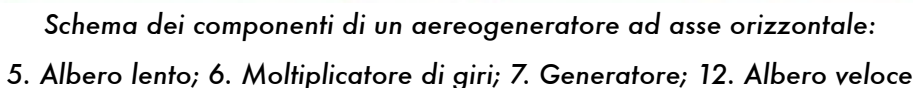


Generatore eolico ad asse orizzontale

Generatori ad asse orizzontale

Sono gli aerogeneratori più diffusi. L'elemento principale della macchina è il *rotore*, costituito da un insieme di *pale*, da una a tre, fissate ad un *mozzo*. Le pale sono la struttura che permette di catturare l'energia del vento, possono avere vari profili alari. Il mozzo è collegato ad un primo albero, detto *albero lento*, che possiede la stessa velocità angolare del rotore, ancora insufficiente per generare una corrente elettrica con le adeguate caratteristiche. L'albero lento è per questo collegato ad un *moltiplicatore di giri* che a sua volta muove un secondo albero, detto *albero veloce*, a valle del quale è posto il *generatore elettrico*. Da quest'ultimo partono i cavi di potenza diretti alle stazioni di controllo. Solitamente tutti i componenti, ad esclusione di rotore e mozzo, sono inseriti all'interno di una cabina, la *navicella*, orientabile secondo la direzione del vento. La navicella viene in seguito posta su una torre a traliccio o conica. Come già detto, il generatore richiede per il funzionamento una velocità minima del vento di 3-5 m/s, mentre ad elevate velo-

La potenza erogata dal generatore dipende dall'area della superficie spazzata dalle pale e dalla velocità del vento. Più grandi sono le pale più il rendimento, a parità di velocità del vento, è elevato. La velocità del vento, come già analizzato, aumenta con la quota, dunque torri più alte consentono potenze maggiori. Tuttavia i requisiti statici e dinamici non permettono di accrescere indefinitamente le dimensioni di un generatore: una torre off-shore non può avere un rotore con diametro superiore a circa 100 metri e altezze maggiori di 180 metri, mentre le macchine continentali hanno rotori con massimo diametro di 70 metri e altezze intorno ai 130 metri. La crescita dell'altezza e del diametro del rotore sono le cause delle complicazioni statiche dell'intera macchina, che impone fondazioni sempre più complesse e costose e strategie sofisticate di ricovero in caso di improvvise raffiche di vento troppo forte. Con le attuali dimensioni i generatori raggiungono potenze da 1 a 3 MW.



Fino ad oggi le potenze erogate dai generatori sono cresciute molto più del costo degli im-

pianti, abbassando costantemente il prezzo dell'energia ricavata con la tecnologia dell'eolico ad asse orizzontale. Attualmente l'eolico, con un costo dell'elettricità di molto inferiore a 10 €cent/kWh, è la forma di energia alternativa più conveniente in grado di competere alla pari con le fonti di energia convenzionali.

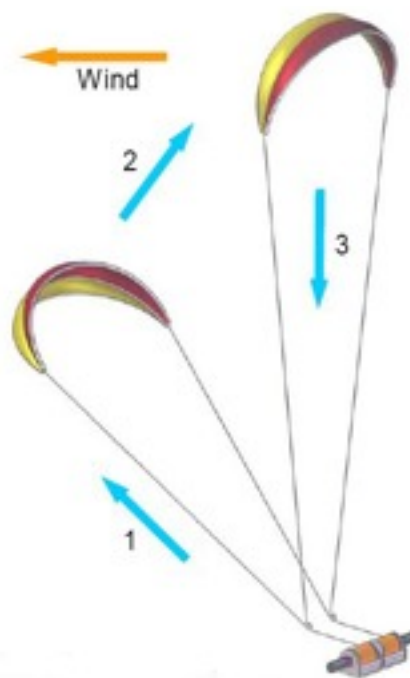
Uno sguardo sul futuro: il Kitegen

Sebbene l'Italia sia solo al settimo posto per potenza installata nella classifica mondiale dei paesi con impianti eolici, non mancano progetti interessanti nel nostro territorio riguardanti queste tecnologie. Nasce, infatti, nel nostro paese un progetto radicalmente innovativo, il Kite Wind Generator o Kitegen.

L'intuizione di base è molto semplice, l'obiettivo davvero ambizioso: generare elettricità, tanta quanta può produrne una media centrale nucleare, dal vento, utilizzando, sembra uno scherzo, un aquilone, anzi, tanti aquiloni. La brillante idea, nata dalle menti dell'ingegnere Massimo Ippolito, industriale proprietario di un'azienda di sistemi automatizzati, e del professor Mario Milanese, docente di Controlli Automatici al Politecnico di Torino, prevede che il vento sia catturato da un aquilone o, più tecnicamente, da un *profilo alare di potenza (Power Kite)* che sale e scende nel cielo. Di fatto il profilo alare è un normalissimo kite per il surfing gestito da un sistema computerizzato di guida. Il profilo è assicurato a terra con due leggeri cavi lunghi 800 metri, arrotolati su due cilindri, che sono in realtà due generatori di corrente. Quando il kite è trascinato verso l'alto dal vento il cavo si srotola e trascina in rotazione i cilindri-generatori producendo energia elettrica.

La guida dell'aquilone è gestita da un sistema computerizzato a terra per mezzo dei dati rilevati da sensori ambientali e Gps montati sul kite. Il sistema di guida fa volare il kite in modo che acquisti quanta più energia è possibile, tracciando vorticosi 8 nel cielo. Quando i cavi sono tirati al massimo e il kite non genera più elettricità, uno dei due tiranti viene mollato, l'aquilone impenna e si riabbassa. Il recupero consuma solo il 15% dell'energia generata in ascesa, dunque il bilancio finale è positivo.

Il sistema elimina tutti i problemi statici e dinamici che impediscono l'aumento della potenza ottenibile dagli aerogeneratori tradizionali. Inoltre i kites possono essere disposti a gruppi con una distanza di 70-80 m l'uno dall'altro, mentre le turbine tradizionali devono essere distanziate di almeno 300 m, sono invisibili e silenziosi, sfruttano i veloci venti di alta quota, più



Kite in azione

costanti durante l'anno e dovrebbero erogare potenze sensibilmente più elevate.

Gli inventori del sistema hanno già pronti diversi progetti per impianti a struttura modulare, che sfruttano, cioè, il volo di diversi kites contemporaneamente.

Tra questi un grosso generatore elettrico a forma di anello ruotante, con un diametro di 1500 m,

trascinato dalla bellezza di 200 aquiloni. Altri progetti, invece, sfruttano generatori di forma diversa, tra cui una simpatica giostra. L'anello ruotante dovrebbe generare una potenza di 1000 MW, quanto una centrale nucleare di media taglia, ad un costo dell'energia di 1 €cent/kWh, cioè un terzo del prezzo dell'energia più economica, il carbone. Per realizzare la struttura occorrerebbe solo un sesto dei fondi investiti in una centrale nucleare, mentre lo spazio occupato dai due tipi d'impianto, nucleare e Kitegen ad anello, dovrebbe essere molto simile, circa 1,8 km².



Schema del funzionamento dell'anello rotante Kitegen

Fonte: sito ufficiale



*Prove del Mobilegen a Cogne
nell'agosto 2006*

Fantasia o realtà? Solo il tempo potrà dirlo, anche se è già iniziata una guerra di brevetti, con altri due gruppi di ricerca, uno Olandese e uno Californiano, che stanno lavorando sulla medesima idea. Per ora il gruppo italiano ha realizzato un primo prototipo, il Mobilegen, un kite montato su di un camion, che sviluppa una potenza di 2,5 kW. Un valore all'apparenza irrilevante, che fa tuttavia sperare: il risultato ottenuto è infatti perfettamente in linea con le previsioni e ciò rende anche le altre stime molto più probabili.

Svantaggi

Alcuni degli svantaggi legati all'impiego dell'energia eolica sono già stati trattati nel paragrafo riguardante i vari metodi di sfruttamento, altri sono invece illustrati brevemente in seguito.

- Il vento ha purtroppo natura intermittente e non consente di erogare elettricità con continuità e soprattutto non può essere controllato per adattare la produzione alla richiesta delle utenze. E' un grosso svantaggio che attualmente non permette all'eolico di sostituire com-

pletamente le fonti di energia convenzionali.

Sono stati tuttavia studiati numerosi metodi per immagazzinare l'energia prodotta nei momenti di picco. Uno di questi prevede la produzione di idrogeno attraverso l'elettrolisi dell'acqua, successivamente utilizzabile come combustibile pulito per generare elettricità quando la domanda non può essere sostenuta solo dal vento.

- I luoghi più ventosi sono solitamente molto esposti e gli impianti eolici risultano per questo visibili anche da grande distanza, con un impatto paesaggistico che può essere in alcuni casi notevole. Il problema viene eliminato posizionando in aree adeguate i generatori.
- Gli aereogeneratori producono due tipi di inquinamento acustico: il primo è dovuto al moto delle pale investite dal vento, il secondo dipende dall'attrito tra le componenti meccaniche. Criteri di progettazione più avanzati consentono di contenere queste emissioni.
- Le turbine eoliche possono diffondere onde elettromagnetiche, disturbando le telecomunicazioni. Questo effetto è causato dalla rotazione delle pale metalliche all'interno di segnali di trasmissione quali onde televisive o radio. L'inconveniente è stato risolto utilizzando pale in materiale non metallico e collocando i generatori in zone adeguate.
- È opinione diffusa che gli impianti eolici possano essere pericolosi per l'avifauna: in effetti le pale uccidono uccelli o pipistrelli che vi volano in mezzo. Gli studi condotti nelle centrali eoliche di Tarifa (Spagna) e Altamon Pass (California) hanno tuttavia rilevato una bassa mortalità di volatili, equiparabile a quella causata da normali edifici o da centrali convenzionali.

Vantaggi

L'energia eolica presenta una serie di aspetti vantaggiosi.

- Nessuna sostanza inquinante viene immessa nell'atmosfera.
- L'*energy payback time*, cioè il periodo di operatività in cui vengono ammortizzati i costi energetici di costruzione e fabbricazione dell'impianto, è brevissimo, solo 3-4 mesi. Questo significa che nel periodo di funzionamento, mediamente 20 anni, i generatori non solo si ripagano completamente, ma producono un guadagno ben maggiore di energia.
- Il costo di produzione dell'energia eolica è sicuramente inferiore ai 10 €/cent/kWh, compreso tra i 4 e gli 8 €/cent/kWh. Negli ultimi dieci anni la riduzione del costo della produzione di energia da fonti eoliche si è attestata sul 30% e si prevede che la tendenza rimanga costante. Inoltre le spese per la manutenzione dell'impianto sono molto contenute e quelle

per l'acquisto della materia prima sono addirittura nulle. Il vento è infatti disponibile gratuitamente.

- Il tempo richiesto per l'installazione di un impianto è molto breve: fatti i rilievi sul campo per valutare velocità del vento, potenza elettrica erogabile e tipologia di terreno, si tratta di trasportare sul luogo i generatori e fissarli al suolo. Le altre centrali (idroelettriche, termoelettriche, nucleari) richiedono tempi di progettazione e installazione superiori ai quattro anni.

ANDANDO NEL SOLE CHE ABBAGLIA: L'ENERGIA SOLARE



*Stampa che riproduce l'uso degli specchi
ustori durante l'assedio romano di Siracusa*

Cenni storici e sviluppo nel mondo

Diversi sono i sistemi utilizzati per produrre energia elettrica sfruttando la radiazione solare e ognuno di essi ha seguito un proprio corso evolutivo.

L'impiego diretto del calore del Sole in apparecchi come i collettori solari, per riscaldare edifici o acqua, conobbe un discreto successo in Italia durante la crisi petrolifera degli anni '70,. Purtroppo l'interesse diminuì presto negli anni successivi a causa del buon prezzo del petrolio. Nei 15 paesi Ue, alla fine del 2000, erano installati circa 13 milioni di m² di collettori solari, di cui il 30% in Germania ed

il 42% ripartito fra Austria e Grecia. Le regioni del sud e del sud-ovest degli Stati Uniti sono le altre zone a più esteso impiego di collettori solari al mondo.

Altri impianti sfruttano invece specchi e lenti per concentrare la radiazione solare e riscaldare fluidi a temperature elevatissime. Sembra che l'ideatore di questo sistema sia Archimede. Si narra, infatti, che nel III secolo a. C., durante la seconda guerra punica, i romani presero d'assedio Siracusa. Il geniale Archimede diede ordine agli abitanti della città di puntare un insieme di specchi sulle navi romane, così da concentrare la luce solare su di esse. Le imbarcazioni, costruite in legno, si incendiarono, consentendo agli assediati di tirare un sospiro di sollievo. In realtà le fonti storiche non citano questo episodio che molto probabilmente è una leggenda nata nel I secolo a. C.

In tempi più recenti, una delle occasioni mancate del nostro Paese riguarda appunto il solare a concentrazione: già all'inizio degli anni '80 era stato realizzato un impianto sperimentale ad Adrano, in Sicilia, fra i primi e più importanti al mondo. La centrale fu in seguito dismessa e smantellata a causa del basso costo del petrolio e per la mancanza di progetti di sviluppo a medio-lungo termine. Nel 2007 sono stati nuovamente avviati gli studi per la realizzazione di dieci centrali sperimentali nel sud Italia.

L'ultimo percorso riguarda l'evoluzione del solare fotovoltaico. Questo sistema basa il suo funzionamento sull'effetto fotoelettrico (vedi **Principi**), di cui l'effetto fotovoltaico è una



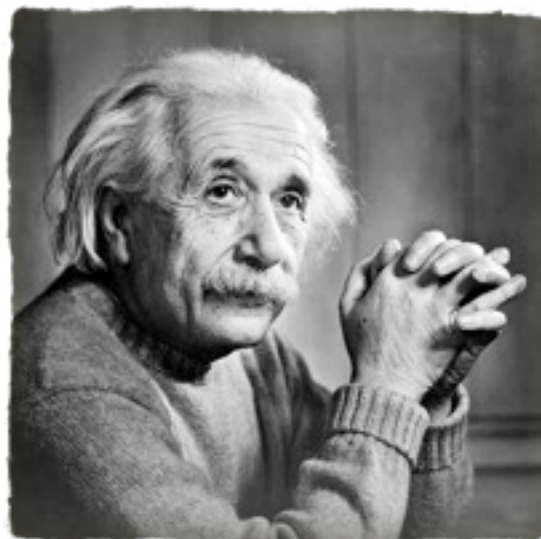
**Alexandre Edmond
Becquerel, fisico francese**

sottocategoria. Il fenomeno fu osservato per la prima volta nel 1839 dallo scienziato francese Alexandre Edmond Becquerel: egli immerse due elettrodi metallici di platino in una soluzione acida ed espose l'intero apparato alla luce del Sole. Riscontrò l'instaurarsi di una debole differenza di potenziale. La fisica classica non fu in grado di spiegare le osservazioni di Becquerel, per comprenderle fu necessario attendere fino al 1905, anno in cui Einstein pubblicò la sua teoria sull'effetto fotoelettrico, basata sui principi della fisica quantistica, che gli valse il Nobel nel 1921. Le derivazioni tecniche di queste scoperte rimasero tuttavia inapplicate per lungo tempo. Si costruirono, infatti, le prime celle a semiconduttori, ma la loro efficienza era purtroppo irrisoria: le prime celle al selenio avevano un rendimento dell'1%, mentre quelle più innovative al silicio, scoperte dall'americana Bell Telephone negli anni successivi, rendevano al massimo il 6%. Fu necessario l'intervento del programma spaziale americano negli anni '50 per rivitalizzare un settore ormai in stallo. L'incessante ricerca di nuove fonti di energia per rifornire di elettricità i satelliti in orbita portò l'industria aereospaziale ad orientarsi sul fotovoltaico; anzi, si può di fatto dire che fu il programma spaziale americano a creare l'industria del fotovoltaico. In seguito, negli anni '60 e '70, il settore ricevette un ulteriore impulso dall'enorme sviluppo dei semiconduttori, grazie alla nascita della moderna elettronica.

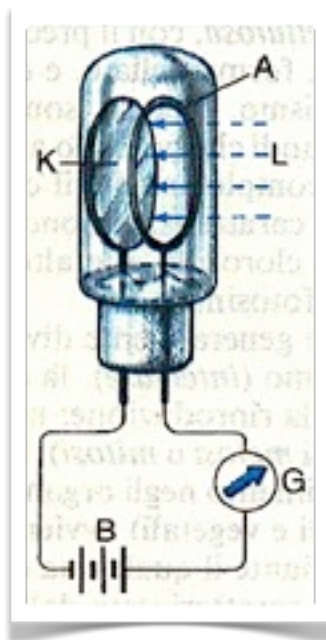
Nel corso di trent'anni le celle solari hanno registrato uno straordinario abbattimento dei costi, ancora in corso, un aumento dell'efficienza e una maggiore penetrazione del mercato. La nazione europea con la maggiore quantità di pannelli installati è la Germania.

Principi

Per energia solare si intende la produzione di energia termica o elettrica sfruttando direttamente la radiazione solare in arrivo sulla Terra. Mediamente la potenza radiante che incide sulla superficie terrestre al livello del mare è di circa 1000 W/m^2 . Ogni Paese a livelli diversi può accedere alla radiazione solare e sfruttarla.



**Albert Einstein, fisico tedesco, una delle più
geniali menti della scienza moderna**



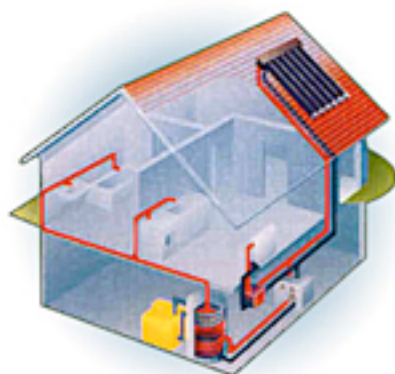
Cella fotoelettrica: schema di una cella che sfrutta l'effetto fotoelettrico

Ulteriori precisazioni vanno fatte sui principi fisici su cui si basa il funzionamento dei pannelli fotovoltaici. Senza entrare nel merito, descriveremo brevemente l'*effetto fotoelettrico*; solo marginalmente, invece, verrà trattata la conduzione all'interno dei semiconduttori (vedi **Modalità di sfruttamento - Il fotovoltaico**). L'effetto fotoelettrico consiste nell'emissione, in particolari condizioni, di particelle elettricamente cariche da parte di un corpo, solitamente metallico, esposto ad onde elettromagnetiche con certe caratteristiche. Questo accade perché la radiazione elettromagnetica cede energia agli elettroni più esterni dell'atomo. Se tale quantità di energia è sufficiente, l'elettrone viene liberato e può allontanarsi.

Si può distinguere un *effetto fotoelettrico esterno* ed un *effetto fotoelettrico interno*. Il primo è sfruttato nella cellula fotoelettrica, in cui gli elettroni liberati dalla superficie metallica di uno dei poli, il fotocatodo, migrano verso l'altro polo, l'anodo, per effetto di un campo elettrico applicato. Si definisce invece effetto fotoelettrico interno quel fenomeno per cui gli elettroni liberati dalla radiazione restano all'interno del materiale, disponibili per la conduzione. L'*effetto fotovoltaico* è un particolare tipo di effetto fotoelettrico interno che si manifesta nei semiconduttori con la formazione di coppie elettrone-lacuna.

Modalità di sfruttamento

Le modalità di sfruttamento dell'energia solare possono essere divise in tre categorie principali.



Applicazione domestica di un collettore

Collettori solari

Con queste apparecchiature è possibile riscaldare acqua per mezzo del Sole. Sono sufficienti un *collettore*, un *serbatoio* per l'accumulo dell'acqua calda isolato termicamente, un *circuito* di collegamento tra i due ed un *sistema di regolazione* e controllo; l'insieme delle componenti è definito *sistema solare*. La quantità di calore che questo può produrre dipende dalla radiazione che investe il collettore e dallo spettro di assorbimento del materiale attivo. Il dispositivo di cir-

colazione trasferisce calore dal collettore verso il luogo di accumulo o utilizzo, mediante un fluido che di solito è acqua o è a base di acqua. In alcuni sistemi la circolazione avviene mediante pompe, in altri in modo naturale, per effetto termosifone l'acqua calda risale nel serbatoio sostituita da acqua fredda nel collettore.

Un impianto solare termico per una casa isolata richiede dai 3 ai 6 m² di collettori nei paesi del nord Europa e da 2 a 4 m² nei paesi del sud ed ha una vita variabile fra i 15 e i 20 anni, con costi di manutenzione annuali di circa il 2% del costo iniziale.

Solare a concentrazione

La densità della radiazione solare è troppo bassa per riscaldare un fluido alle temperature necessarie per poterlo utilizzare in un ciclo termodinamico. In questo caso, per ottenere temperature elevate si concentra opportunamente la luce con sistemi di specchi e lenti, raggiungendo anche temperature intorno ai 600° C.



Concentratori parabolici puntuali



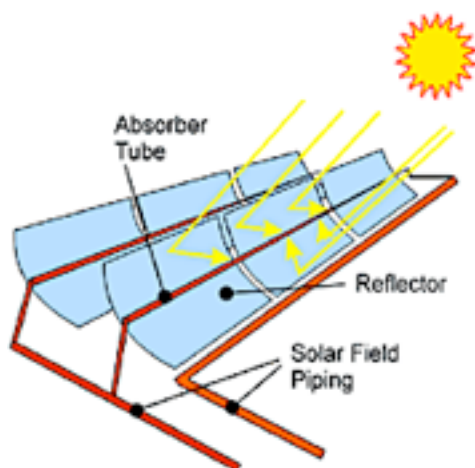
L'impianto spagnolo a torre solare PS10.

In primo piano sono visibili gli eliostati

Tutte le *tecnologie a concentrazione* presentano quattro elementi fondamentali: il *collettore* della luce solare, il *ricevitore* della luce concentrata, il *sistema di trasporto* del fluido, il *sistema d'accumulo* del calore e il *sistema di generazione* dell'energia elettrica. Il collettore cattura la radiazione del Sole e la concentra sul ricevitore che la assorbe e trasferisce il calore al fluido di lavoro. Il sistema di trasporto e accumulo invia il fluido

in uscita dal ricevitore all'unità di generazione dell'energia elettrica: una turbina a vapore a cui è associato un generatore elettrico. In qualche impianto è utilizzata anche una fonte secondaria di calore, di solito un bruciatore di gas naturale, che può servire per caricare il sistema d'accumulo o come riserva per il sistema nei periodi di bassa insolazione.

I principali approcci di questo sistema sono tre, in base alla forma che raccoglie e concentra la luce. I *concentratori parabolici lineari* concentrano l'energia del Sole su un tubo, posizionato



Rappresentazione schematica del principio di funzionamento di un impianto a concentratori parabolici lineari

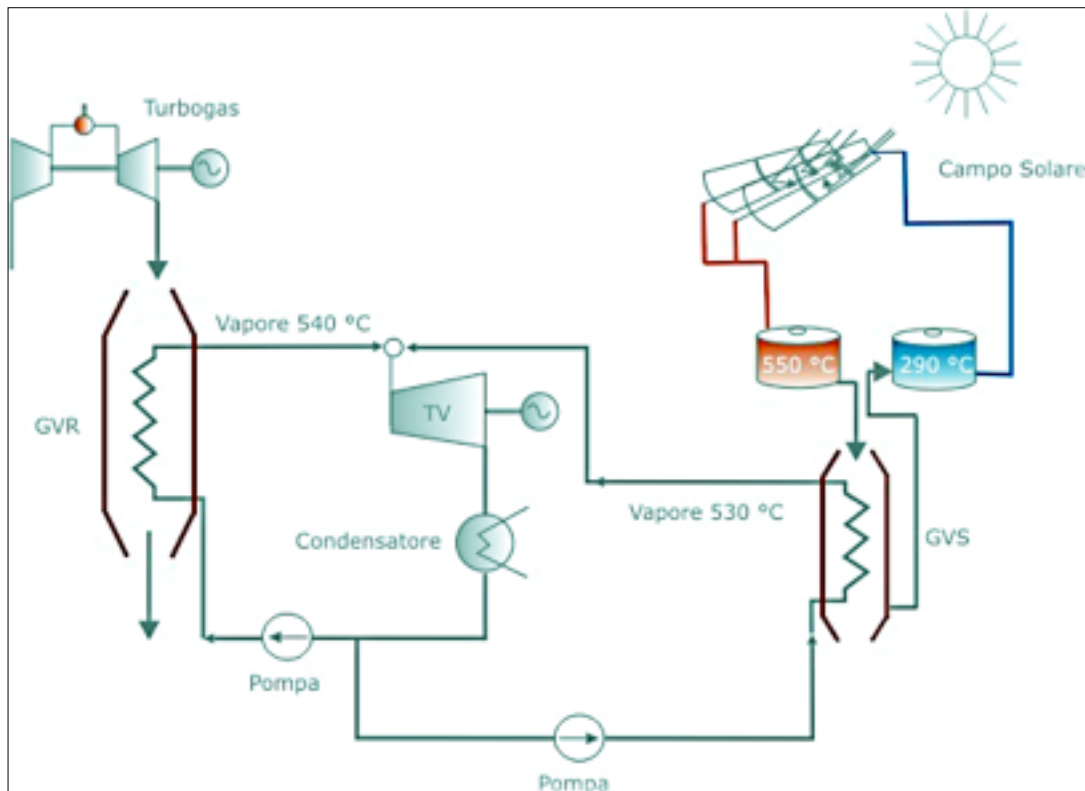
lungo la linea focale dei collettori. Al suo interno corre il fluido di lavoro che si riscalda e trasferisce il suo calore in uno scambiatore. I *concentratori parabolici puntuali* usano specchi parabolici riflettenti, a forma di disco concavo, per focalizzare la luce su un sistema ricevente montato nel fuoco del disco. La *torre centrale* utilizza, invece, una serie di specchi che inseguono il Sole (gli *eliostati*) per rifletterne la luce su un ricevitore-scambiatore di calore posizionato sulla cima di una torre.

Il primo tipo di applicazione è più convincente, in quanto l'utilizzo di specchi parabolici a struttura lineare permette un orientamento monodimensionale, più economico, poiché non necessita di sistemi di orientamento. Inoltre questo tipo di impianti è più competitivo, perché possiede maggiore flessibilità di impiego ed è realizzabile in tempi brevi. Purtroppo le tecnologie del solare a concentrazione necessitano di tanta acqua quanto un impianto convenzionale. Inoltre l'impiego di un fluido di lavoro intermedio, comune alle tre tecnologie, rende più complesse le soluzioni impiantistiche e aumenta i costi. L'impiego del solo vapore acqueo abbatterebbe notevolmente le spese e le perdite termiche, ma produrrebbe maggiori sforzi termomeccanici sui componenti a causa del riscaldamento irregolare.



Fotografia di un concentratore parabolico lineare

Questo tipo di tecnologia è fortemente sostenuta dal premio Nobel per la fisica Carlo Rubbia, ex-presidente ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente). Rubbia, non essendo riuscito a ricevere in Italia, anche per motivazioni politiche, i fondi necessari per la realizzazione di un impianto, si è trasferito in Spagna dove gli sono state sovvenzionate le prime sperimentazioni. Rubbia ha inoltre partecipato attivamente all'innovativo progetto denominato "Progetto Archimede", sviluppato congiuntamente da ENEA ed ENEL per la realizzazione di impianti solari a concentrazione lineare nel sud Italia.



Schema funzionale della centrale nata dal Progetto Archimede

Il progetto è rivolto alla sperimentazione di sali fusi al posto dei normali fluidi di lavoro, in quanto questi ultimi sono solitamente sostanze pericolose ed inquinanti. I sali fusi permettono anche l'accumulo di una riserva energetica: una volta stoccati in un grande serbatoio coibentato alla temperatura di 550°C , immagazzinano energia equivalente ad 1 kWh ogni 5 litri di sostanza. Da tale serbatoio i sali vengono estratti e utilizzati per produrre vapore surriscaldato; dopo l'utilizzo vengono accumulati in un secondo serbatoio alla temperatura più bassa di 290°C . Ciò consente la generazione di vapore in modo svincolato dall'irraggiamento solare, di notte o con scarsa insolazione. L'impianto, lavorando ad una temperatura di regime di 550°C , consente la produzione di vapore con le stesse caratteristiche di quello utilizzato nelle centrali elettriche a turbina a gas. Si possono per questo utilizzare componenti già collaudate in quegli impianti con consistenti riduzioni nei costi. Sempre in virtù di questa analogia tra i due tipi di struttura, in caso di insufficiente insolazione per vari giorni, l'impianto può sfruttare un ciclo secondario a gas naturale per la produzione del calore necessario al proprio funzionamento. La centrale ENEL di Priolo Gallo, in provincia di Siracusa, ospiterà la prima struttura di questo tipo.

Pannelli fotovoltaici

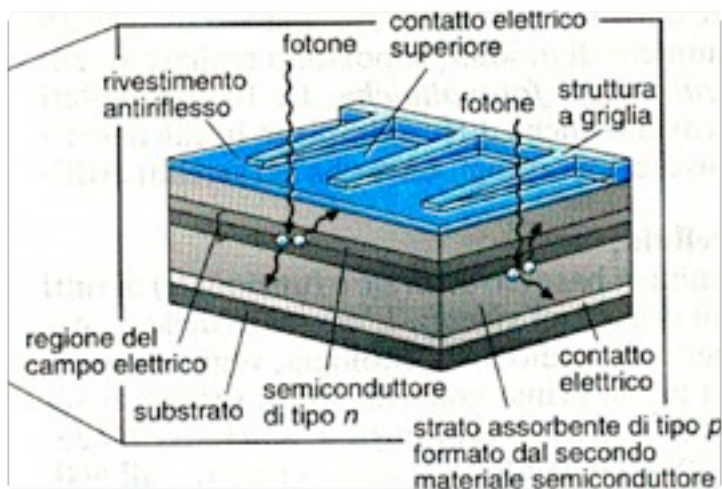
I pannelli solari fotovoltaici convertono la luce solare direttamente in energia elettrica. Un pannello è composto da una serie di moduli che a loro volta sono gruppi di più unità base, le celle fotovoltaiche.

Il settore che si occupa della conversione diretta di energia solare in energia elettrica prospetta consistenti miglioramenti: il fotovoltaico è infatti il campo energetico con le maggiori possibilità di sviluppo futuro. Su di esso si concentrano ingenti investimenti, soprattutto per promuovere la ricerca, per via della concreta possibilità che ha questo settore di produrre finalmente una tecnologia a basso impatto ambientale, economicamente competitiva e con nu-

merose opportunità di sfruttamento.

Il meccanismo di funzionamento di una cella solare si basa sulle proprietà dei *materiali semiconduttori*.

Quando un flusso luminoso investe il reticolo cristallino di un semiconduttore, si verifica la liberazione di un certo numero di *elettroni* al quale corrisponde un egual numero di *lacune*. Si rendono



Rappresentazione schematica di una cella fotovoltaica

no pertanto disponibili portatori di carica, che possono essere sfruttati per generare una corrente. Perché ciò avvenga è necessario creare un *campo elettrico interno* alla cella, stabilendo un eccesso di cariche negative in una parte del semiconduttore ed un eccesso di cariche positive nell'altra. Il campo si ottiene mediante drogaggio del semiconduttore, generalmente realizzato inserendo atomi del terzo gruppo, ad esempio alluminio, o del quinto, come l'arsenico, nella struttura cristallina del semiconduttore. Si ottengono rispettivamente una *struttura di tipo p*, con un eccesso di lacune, ed una di *tipo n*, con un eccesso di elettroni.

Lo strato drogato con elementi del quinto gruppo, che hanno cinque elettroni esterni di valenza, presenta infatti una carica negativa debolmente legata, costituita da un elettrone in eccesso per ogni atomo drogante. Allo stesso modo, nello strato drogato con elementi del terzo gruppo, che hanno tre elettroni esterni, si ottiene un eccesso di carica positiva, data dalle lacune degli atomi droganti. Lo strato della cella a carica negativa viene generalmente chiamato strato n, l'altro, a carica positiva, strato p, la zona di separazione è detta *giunzione p-n*.

Il materiale risulta essere globalmente neutro, però, mettendo a contatto i due semiconduttori

drogati, si viene a verificare un flusso di elettroni dalla zona n alla zona p e di lacune in direzione opposta, fino al raggiungimento dell'equilibrio elettrostatico, che determina un eccesso di carica positiva nella zona n, un eccesso di elettroni nella zona p e una regione intermedia detta *regione di svuotamento*. Il risultato è un campo elettrico interno al dispositivo che si estende a cavallo della regione di svuotamento, generalmente spessa pochi micrometri.

A questo punto, se viene irraggiata la giunzione dalla parte n, vengono a crearsi delle coppie elettrone-lacuna sia nella zona n che nella zona p. Il campo elettrico interno permette di dividere gli elettroni in eccesso, prodotti dall'assorbimento della radiazione elettromagnetica, dalle lacune, spingendoli in direzioni opposte gli uni rispetto agli altri. La separazione avviene solo se gli elettroni o le lacune vengono a formarsi nella regione di svuotamento; da qui la necessità di strati di semiconduttore estremamente sottili all'interno delle celle.



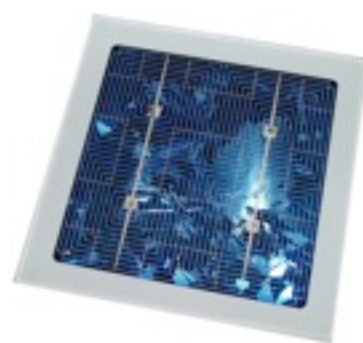
Cella fotovoltaica in silicio monocristallino

Gli elettroni e le lacune, una volta oltrepassata la zona di svuotamento non possono più tornare indietro, perché il campo impedisce loro di invertire la marcia. Connettendo la giunzione con un conduttore esterno, si otterrà un circuito chiuso nel quale il flusso di elettroni parte dallo strato n, a potenziale maggiore, verso lo strato p, a potenziale minore finché la cella resta esposta alla luce.

Di molti materiali impiegabili per la costruzione dei moduli fotovoltaici, il silicio è in assoluto il più utilizzato. Limitiamo l'analisi alle tecnologie più comuni.

- Silicio monocristallino, in cui ogni cella è realizzata facendo "a fette" un lingotto (*wafers*) la cui struttura cristallina è omogenea o monocristallo. Il silicio è opportunamente drogato in modo da realizzare una giunzione p-n.
- Silicio policristallino, in cui il wafer di partenza non è strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati, o policristalli.

L'efficienza media, una volta realizzato un modulo, è di circa il 12%. Bisogna considerare che un modulo ha l'efficienza della sua singola cella a rendimento minore, quindi il funzionamento anomalo di una sola cella pregiudica quello dell'intero modulo. Questi pannelli necessitano di pochissima manutenzione, solo una pulizia periodica, e non richiedono acqua per funzionare. La durata operativa stimata dei pannelli fotovoltaici è di circa 30 anni, infatti, a causa del naturale affati-



Comune cella in silicio policristallino

camento dei materiali, le prestazioni di un pannello fotovoltaico comune diminuiscono con il tempo. Le potenze delle centrali fotovoltaiche raggiungono generalmente diversi MW grazie all'utilizzo di pannelli in gruppi.



Centrale solare fotovoltaica

I principali difetti di questi impianti sono il costo elevato dei pannelli e l'impossibilità di immagazzinare in modo semplice l'energia, poiché questa deve essere consumata istantaneamente. Le moderne ricerche puntano alla realizzazione di sistemi di produzione delle celle meno dispendiosi in termini energetici ed economici. Raffinare il silicio dall'ossido di silicio presente nelle sabbie per poi ridurlo in strati sottili è, infatti,

un processo molto costoso. Secondo stime recenti il fotovoltaico potrebbe diventare competitivo in una decina d'anni.

Uno dei vantaggi di questa tecnologia di sfruttamento dell'energia solare è sicuramente il basso impatto ambientale, che si concentra tutto nella dispendiosa fase di produzione.

Svantaggi

Gli svantaggi specifici di ogni metodologia sono già stati trattati precedentemente. Un problema comune a tutte queste tecnologie è la variabilità ed aleatorietà della quantità d'energia erogata. Una discontinuità di questo tipo rende difficile soddisfare in ogni momento la richiesta di energia elettrica solo mediante energia solare.

Vantaggi

L'energia solare è l'energia pulita per antonomasia, un vantaggio per niente trascurabile. Inoltre, come nel caso delle altre fonti rinnovabili, la materia prima è gratuita e infinita.

L'*energy payback time* nel caso degli impianti ad energia solare è, in genere, breve. Gli impianti fotovoltaici si ripagano, in termini energetici, in 3-4 anni. Su una vita media di 30 anni è possibile ottenere quindi un cospicuo guadagno energetico.

L'ENERGIA PULITA: UNA VALIDA "ALTERNATIVA"

Energie alternative o integrative?

Si definisce "integrativa" un'energia che, per sua natura, può solo parzialmente sostituire le forme energetiche convenzionali. Un'energia è detta invece "alternativa" se potenzialmente può sostituire in maniera completa le forme di energia comunemente più utilizzate.

Spesso le energie rinnovabili e pulite vengono fatte rientrare nella prima categoria a causa del loro carattere intermittente, discontinuo ed aleatorio. In questa sede si è chiaramente mostrato come effettivamente alcune forme di energia pulita, quali l'eolico e il solare, possiedano purtroppo questo svantaggio, anche se, come detto, nuove tecnologie risolutive sono in fase di studio. Per comprendere meglio il significato del termine "integrativa" è sufficiente considerare il caso del solare a concentrazione a ciclo combinato. In mancanza di irraggiamento adeguato per parecchi giorni, è necessario ricorrere al gas naturale, quindi ancora ad un combustibile fossile. I fatti apparentemente dimostrano che l'energia pulita ha principalmente carattere "integrativo". Proviamo però ad osservare la questione da una differente prospettiva.

Ogni paese produce energia elettrica sfruttando un differente *mix energetico* di fonti. Come abbiamo visto nei paesi industrializzati prevalgono i combustibili fossili con quote variabili da stato a stato. L'Italia dipende in modo preponderante da queste fonti e per di più acquista energia elettrica dall'estero. Anche l'Unione Europea nel suo insieme basa il 50% del suo mix sui combustibili fossili.

Il petrolio, il più sfruttato degli idrocarburi, viene acquistato, come noto, principalmente dai paesi del Medio Oriente, la maggior parte dei quali governati da regimi politici instabili. Il gas naturale, altra voce importante nel mix energetico dei paesi Occidentali, è principalmente di provenienza russa. Queste forme di energia, dunque, sottraggono alle nazioni dell'Occidente l'indipendenza energetica. Il fatto che i nostri approvvigionamenti siano fortemente vincolati alla capacità di altri paesi di estrarre la materia prima di cui necessitiamo, non è affatto positivo. Gli effetti del prezzo crescente del petrolio sulla nostra economia esemplificano con chiarezza la situazione.

Eolico, solare e geotermico sono invece fonti energetiche presenti in ogni paese. Il loro sfruttamento ci permetterebbe una graduale indipendenza dai combustibili fossili e dai paesi che li producono. All'inizio non si tratterà certo di una libertà completa, poiché le fonti rinnovabili dovranno essere affiancate ancora per qualche tempo dagli idrocarburi, meglio se dal gas naturale, meno inquinante. La tecnologia delle rinnovabili nel frattempo giungerà ad una maggiore maturazione che potrà forse consentire la totale indipendenza.

Alcuni detrattori ritengono, tuttavia, che l'energia pulita debba rivestire un ruolo esclusiva-

mente integrativo per un differente motivo: le forme di energia rinnovabile non sono, secondo il loro parere, economicamente competitive. Un'analisi di questo tipo è scorretta. Innanzitutto, come abbiamo già sottolineato, alcune tecnologie hanno raggiunto un livello di maturità tale da renderne lo sfruttamento davvero competitivo. L'eolico in particolare potrebbe diventare in breve tempo la forma di energia più economica. Il discorso è invece aperto per altri tipi di tecnologie, ad esempio per il fotovoltaico, ancora troppo costose.

Proviamo, però, ancora una volta, a cambiare prospettiva. Sfruttare gli idrocarburi, abbiamo detto, in molti casi costa meno che impiegare le rinnovabili, almeno sulla carta. Ma sarebbe ancora così se avessimo deciso da tempo che i “costi ambientali” dovuti all'utilizzo degli idrocarburi sono divenuti insostenibili? Non si tratta solo di costi “metaforici”: gestire la quantità di gas serra emessi e limitare il riscaldamento globale comporta spese sempre crescenti, soldi “veri” che devono essere impegnati per arginare i danni. Sono costi che per lo più gravano sul cittadino e che assorbono parte dei suoi contributi. Calcolando il costo dell'energia convenzionale sulla base di questi dati, esso risulterebbe uguale o maggiore a quello delle energie rinnovabili, perché queste ultime non presentano ulteriori costi di gestione legati all'impatto ambientale.

Le energie pulite devono quindi essere considerate delle validissime energie “alternative”.

Strategie energetiche attente all'ambiente

Per favorire lo sviluppo delle rinnovabili è necessario agire sul mercato e incentivare la ricerca scientifica e tecnica in questo settore.

Per quanto riguarda il primo punto, bisogna notare come le tecnologie che permettono lo sfruttamento delle energie rinnovabili siano ancora giovani. Per questo necessitano di investimenti e incentivi particolari che ne incrementino la domanda sul mercato. Maggiore è la domanda di un certo tipo di prodotto del settore energetico, più rapido è il suo miglioramento. Infatti ad ogni applicazione si acquisisce nuova esperienza da investire nelle successive.

In Europa ci siamo mossi in tempo: leggi particolari sono già state promulgate, anche in Italia, con l'obiettivo di favorire la penetrazione delle rinnovabili e disincentivare l'utilizzo dei combustibili fossili. Purtroppo non dappertutto hanno funzionato in maniera efficace. In particolare in Italia le manovre volte ad incentivare l'impiego delle rinnovabili in ambienti domestici hanno ottenuto risultati inferiori alle aspettative. I cittadini sono stati probabilmente scoraggiati dalle lungaggini burocratiche che rallentano l'erogazione dei suddetti incentivi. E' chiaro che il sistema può essere migliorato, ma è necessario proseguire in questo senso.

La ricerca è invece alimentata da capitali sia privati che pubblici. Il caso della Danimarca dimostra come gli interventi tesi a favorire la ricerca sulle rinnovabili possano creare un settore d'impiego dagli introiti considerevoli. Il settore eolico frutta infatti alla Danimarca quasi 3 miliardi di euro l'anno, impiegando più di 20000 cittadini.

Le rinnovabili sono tecnologie con grandi prospettive di sviluppo. Se in Italia investissimo maggiormente in questo ramo della ricerca potremmo sviluppare un settore d'esportazione dal peso rilevante per l'economia nazionale. Come abbiamo visto, non siamo tuttavia rimasti troppo indietro: alcuni progetti innovativi sono già stati avviati sul territorio italiano e si spera in altri futuri sviluppi.

In ambito internazionale la questione del riscaldamento globale ha portato all'attuazione di alcuni importanti provvedimenti. Vogliamo ricordare solo il più importante, il "Protocollo di Kyoto". I paesi che hanno firmato il Protocollo si impegnano ad abbattere le proprie emissioni di gas serra in un arco limitato di anni: 5 punti percentuali in meno sulle emissioni entro il 2012. Se l'impegno verrà mantenuto sarà sicuramente un passo importante verso una migliore "salute" del pianeta. Un passo avanti, che favorisce sicuramente la penetrazione delle forme di energia pulita.

Il Protocollo di Kyoto è forse la testimonianza di un cambiamento, della diffusione di una nuova mentalità, o paradigma, come l'abbiamo più volte definita, più attenta al rispetto dell'ambiente che permette la vita umana.

Un cambio di paradigma: l'etica della responsabilità

Nel corso del suo sviluppo, l'umanità ha interagito con l'ambiente in modo aggressivo, volendo dominare ciò che le era ignoto, un mondo di cui non conosceva le leggi. Oggi l'uomo è invece in possesso di tutte quelle conoscenze che gli permettono una corretta gestione delle risorse e degli interventi sull'ambiente.

Il conflitto uomo-ambiente nasce, appunto, quando le attività dell'uomo avanzano ostacolando i processi evolutivi che regolano gli equilibri tra le parti del sistema. Non si vuole affermare che l'uomo debba evitare di modificare il proprio ambiente, non è possibile, in alcuni casi un simile atteggiamento è addirittura incompatibile con la vita (per esempio come si potrebbe coltivare nel deserto se non irrigandolo?). Gli equilibri del sistema sono fortunatamente dinamici e possono essere variati, ma con coscienza, valutando adeguatamente le conseguenze, per evitare che ad un vantaggio immediato corrisponda un danno irreparabile futuro. L'attività umana in passato poteva influenzare solo marginalmente il sistema Terra, come abbiamo ricordato parlando di Leopardi, e l'uomo poteva non preoccuparsi delle conseguenze delle proprie azioni. Oggi però non è più così. Le attività antropiche causano un pericoloso impatto ambientale, l'uomo non può più nascondersi, lanciare il sasso e ritirare la mano mentre gli equilibri naturali vacillano, perché ne va della sua stessa sopravvivenza. L'uomo potrebbe oggi distruggere la Terra agendo in modo erroneo sull'ambiente.

Ma com'è possibile una corretta gestione degli interventi sulla natura? Si tratta di una sfida globale, non si può pensare di preservare il sistema agendo singolarmente, ognuno con propri obiettivi. Come globali sono gli equilibri da preservare, così anche l'azione deve essere il più

possibile universale. Alcuni sforzi sono già stati fatti: ad esempio la creazione di enti internazionali per l'ambiente o il già citato Protocollo di Kyoto. E' questa la strada su bisogna procedere.

L'etica individualistica, che fino ad oggi ha permesso alle coscienze di sentirsi incolpevoli mentre l'uomo proseguiva nello sconsiderato tentativo di dominare l'ambiente, non è più sufficiente. Non può indirizzare l'agire dell'uomo verso il bene che può preservare la Terra. Solo se guarderemo al futuro, alle generazioni che dopo di noi vivranno su questo pianeta, con la volontà di dare loro la possibilità di una vita dignitosa sulla Terra, l'obiettivo sarà raggiungibile. L'uomo deve abbandonare lo spirito prometeico che fino ad oggi lo ha guidato e indirizzare i propri sforzi verso una più completa conoscenza del reale, senza avere la presunzione di dominarlo.



Hans Jonas, filosofo tedesco contemporaneo: ha formulato una morale basata sull'etica della responsabilità

La prudenza dovrebbe guidare la prassi e indirizzare le nostre scelte, in particolare quando queste potrebbero modificare gli equilibri naturali futuri. Hans Jonas, filosofo contemporaneo che ha elaborato il concetto qui ripreso di "etica della responsabilità", riassumeva tutto ciò in una massima:

“Agisci in modo che le conseguenze della tua azione siano compatibili con la permanenza di un'autentica vita umana sulla Terra.”

Se il progresso umano eleggerà a suo faro questo precetto, sarà la Natura stessa, con le sue verdi braccia, a sostenere il futuro sviluppo dell'Uomo.

Un nuovo tipo di sviluppo sostenibile può nascere solo da un nuovo, socialmente diffuso “paradigma della responsabilità”.

BIBLIOGRAFIA

Libri

Contributi importanti da: Pietro Menna, **L'energia pulita**, editore "il Mulino", collana "Farsi un'idea", 2003

Manuale di scienze in adozione; Elvidio Lupia Palmieri, Maurizio Parotto: **La Terra nello spazio e nel tempo**, editore "Zanichelli", 2002

Manuale di fisica in adozione; M. E. Bergamaschini, P. Marazzini, L. Mazzoni: **L'indagine del mondo fisico - Volumi E ed F**, "Carlo Signorelli" editore, 2001

Manuale di filosofia in adozione; Nicola Abbagnano, Giovanni Fornero: **Itinerari di filosofia**, editore "Paravia", 2003

Riferimenti per argomento

Informazioni su Kitegen:

Articolo di divulgazione scientifica su "la Repubblica" dell'11-6-2008

Sito ufficiale: www.kitegen.com

Informazioni sul Progetto Achimede:

Sito ufficiale ENEA: www.enea.it

Sito ufficiale ENEL: www.enel.it

