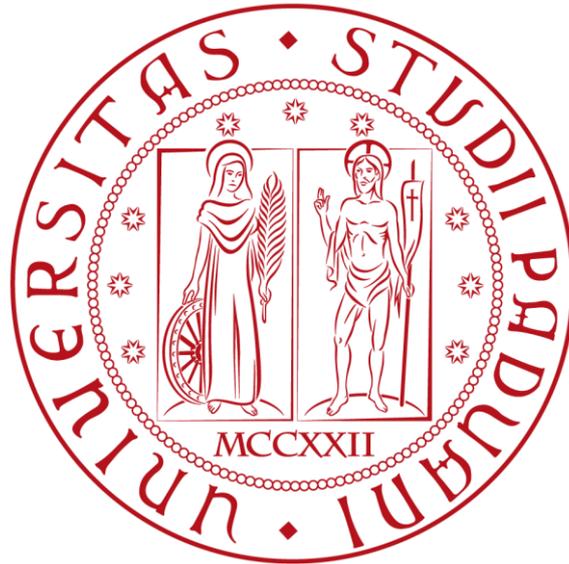


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE



TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

(Laurea triennale D.M. 509/99)

Energie rinnovabili a confronto: vantaggi e svantaggi

Relatore: Ch.mo Prof. Gaudenzio Meneghesso

Laureando: Carlo Mazzon

ANNO ACCADEMICO: 2011/2012

Indice

Introduzione	5
Capitolo 1 - Tipi di energia	7
1.1 - Definizione di Energia Rinnovabile	7
1.2 - Le fonti non rinnovabili	8
<i>1.2.1 - Il petrolio</i>	8
<i>1.2.2 - Il gas naturale</i>	9
<i>1.2.3 - Il carbone</i>	10
<i>1.2.4 - L'uranio</i>	11
1.3 – Vantaggi e diffusione odierna delle energie rinnovabili	12
Capitolo 2 - Storia delle rinnovabili	17
2.1 - Storia dell'idroelettrico	17
2.2 - Storia del fotovoltaico	19
<i>2.2.1 - Le applicazioni</i>	20
<i>2.2.2 - Il fotovoltaico in Italia</i>	21
2.3 - Storia dell'eolico	22
2.4 - Storia della biomassa	24
2.5 - Storia della geotermia	25
Capitolo 3 - Il Fotovoltaico	27
3.1 - Principi di funzionamento	27
3.2 - Le tipologie di celle fotovoltaiche	31
3.3 - Prospettive del fotovoltaico	34
Capitolo 4 - Solare a concentrazione	37
4.1 - Stato e prospettive della tecnologia	37
4.2 - Case Study: Centrale Archimede	40
<i>4.2.1 - Cenni storici</i>	41
<i>4.2.2 - Il Ciclo combinato</i>	41
<i>4.2.3 - Impianto solare termodinamico “Archimede”</i>	42
<i>4.2.4 - Funzionamento dell'impianto</i>	43

Capitolo 5 - Energia eolica	45
5.1 - Come si forma il vento	45
5.2 - Come si misura il vento	45
5.2.1 - <i>Anemometro a coppe</i>	46
5.2.2 - <i>La circolazione dei venti</i>	46
5.2.3 - <i>Fattori che influenzano la circolazione dei venti</i>	46
5.3 - Il vento e la rugosità del terreno	47
5.4 - Descrizione dell'impianto eolico	47
5.4.1 - <i>Le wind farm onshore</i>	50
5.4.2 - <i>Le wind farm offshore</i>	51
Capitolo 6 - Energia da biomassa	53
6.1 - Le fonti di biomassa	53
6.2 - Come la biomassa può diventare una fonte di energia	54
6.2.1 - <i>Gassificazione</i>	54
6.2.2 - <i>Fermentazione</i>	55
6.3 - Qualche dato più preciso	55
6.4 - I rischi derivanti dall'uso della biomassa	55
Capitolo 7 - Energia geotermica	57
7.1 - Teleriscaldamento	59
7.2 - Il condizionamento geotermico	60
7.3 - Produzione di energia elettrica geotermica	62
7.4 - Energia geotermica in Italia	63
7.4.1 - <i>Produzione di energia elettrica in Toscana</i>	64
Conclusioni	67
Bibliografia e sitografia	69

Introduzione

Di pari passo con la storia dell'uomo, è possibile considerare anche una storia dell'evoluzione degli impieghi e delle fonti dell'energia. Se anticamente l'energia era studiata, ricavata ed utilizzata perlopiù per scopi bellici ed urbanistici, via via nel corso dei millenni il problema dell'immagazzinamento di energia e la ricerca di fonti sempre diverse ha riguardato sempre di più ogni aspetto della vita quotidiana, fino a diventare cruciale, in un momento di crisi globale come questo, perfino per la stabilità di intere nazioni.

Se all'epoca della seconda rivoluzione industriale si guardava con favore alle nuove potenzialità che offrivano impianti e macchine grazie all'impiego di combustibili fossili, e tale entusiasmo andava crescendo nel tempo fino agli anni '70 del Novecento, incrementando offerta di lavoro e relativo benessere per le famiglie, che vedevano generalmente aumentato il loro tenore di vita, già negli ultimi anni del secolo scorso è stato accertato e documentato come petrolio e altri combustibili fossili fossero stati talmente impiegati nell'ultimo secolo da vedere esageratamente diminuite le risorse naturali disponibili. Contestualmente si apriva un problema complesso, non solo economico, ma anche politico, sociale, ideologico ed ecologico, sicuramente di difficile approccio e che ancora oggi non ha trovato una soluzione univoca e condivisa. Infatti, le risorse energetiche finora adoperate, in quanto fossili, non rendono possibile in nessun caso la creazione di nuovi bacini delle stesse risorse, poiché per prodursi avrebbero richiesto milioni di anni. Né è immediatamente possibile utilizzare combustibili alternativi per tutti i tipi di impianti, motori e macchine di cui già si dispone e che erano stati progettati per un'alimentazione di tipo prevalentemente fossile. Dalle quali considerazioni, la necessità di trovare quanto prima un ragionevole e condivisibile compromesso tra scienza, tecnica, tecnologia e risorse, possibilmente mantenendo un trend economico di progresso generale, cosa che in fase di congiuntura economica non è solo auspicabile, ma fondamentale nella sua necessità.

Per queste ragioni sarà d'obbligo in questa generazione cercare e trovare una soluzione ragionevole e sostenibile al problema sopra esposto: così come sarà importante conservare, per ogni evenienza, una quantità di combustibili fossili intatta (come ad esempio nel caso della regione Basilicata), sarà altrettanto necessario costruire nuovi impianti per poter sfruttare al meglio tutte quelle risorse che abbondano e sono rinnovabili per il pianeta, o facilmente producibili, reperibili in ogni Paese, e che possono permetterci di estrarre energia per utilizzarla in molteplici settori.

Questa tesi di laurea si propone di analizzare le differenti tipologie di energie rinnovabili che avremmo già a disposizione fin d'ora, e nelle quali alcune nazioni hanno già investito

sensibilmente, offrendone una panoramica generale e presentandole come alternativa ai combustibili fossili. Si descriveranno, contestualmente, gli impianti necessari per ricavare energia dalla sorgente sfruttandone le specifiche proprietà fisiche, chimiche o chimico-fisiche, per immagazzinarla, e le modalità con le quali sfruttarla nella vita quotidiana. Verrà affrontato anche il problema dell'impatto ambientale di tali impianti, e saranno analizzati per confronto i vantaggi economici che potrà avere un tipo di energia rispetto ad un altro, senza trascurare di esaminare problematiche o vantaggi socio-politici che deriveranno dall'impiego di energie rinnovabili. Sarà inoltre d'interesse l'analisi sulla fattibilità sia della costruzione di impianti per le energie rinnovabili, sia del loro effettivo impiego, nel caso italiano, in quanto la nostra nazione purtroppo si trova ad essere a tutt'oggi tra le più dipendenti da un consumo forse eccessivo di combustibili fossili, con inevitabili conseguenze sullo stesso bilancio dello Stato.

Dall'esame degli elementi sopra elencati, sfruttando un approccio ingegneristico, ed a partire dall'ipotesi ampiamente confermata relativa all'imminente esaurimento delle risorse energetiche non rinnovabili, sarà possibile formulare delle conclusioni il più possibile realistiche e fattibili anche in Italia per una nuova visione del territorio, dell'industria e dell'economia.

Capitolo 1 - Tipi di energia

1.1 - Definizione di Energia Rinnovabile

Si definisce filosoficamente energia rinnovabile *"una qualsiasi fonte energetica che si rigenera almeno alla stessa velocità con cui si utilizza"*, o più tecnicamente quelle forme di energia generate da fonti il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future.

Da un punto di vista prettamente scientifico tale definizione non ha particolare senso, in quanto in base ai postulati necessari per definire il primo principio della termodinamica, per cui nulla si crea o si distrugge, tutte le forme di energia sono rinnovabili, da un punto di vista sociale, e quindi politico, crea la distinzione in uso oggi fra fonti di energia considerate rinnovabili (sole, vento, ecc...), il cui utilizzo attuale non ne pregiudica la disponibilità nel futuro, e quelle non rinnovabili, fossili (petrolio, carbone, gas naturale), e nucleare (uranio, plutonio), le quali avendo lunghi periodi di formazione, di molto superiore a quelli di consumo attuale, sono limitate nel futuro.

In generale quindi possono essere indicate come Fonti Rinnovabili di Energia tutte quelle Fonti che si contrappongono alle energie tradizionali ottenute da Fonti fossili sia perché potenzialmente "infinite", sia perché hanno un minore impatto sull'Ambiente.

In accordo con l'Agenzia Internazionale dell'Energia - International Energy Agency (IEA) - rientrano in questa categoria:

- 1) **energia idroelettrica**
- 2) **energia solare**
- 3) **energia eolica**
- 4) **energia da biomassa**
- 5) **energia geotermica**

Nuove tecnologie permettono oggi di ottenere energia rinnovabile per il futuro ad un prezzo competitivo risolvendo così il grosso problema della sempre più crescente richiesta di energia.

Le fonti energetiche rinnovabili stanno vivendo una stagione di grande sviluppo a livello mondiale con un peso sempre più rilevante nella bilancia energetica. Gli investimenti nella ricerca e nell'innovazione tecnologica, la diffusione e la sperimentazione in diversi Paesi ha permesso di realizzare una crescita di potenza e efficienza degli impianti impensabile solo dieci anni fa.

Nel 2006 la potenza eolica a livello mondiale è arrivata a 58.000 MW installati, con una crescita costante nei Paesi europei: in Germania 1.808 MW installati nel 2005, in Spagna 1.764, negli Stati

Uniti 2.400. Alla fine del 2006 la potenza fotovoltaica installata ha raggiunto i 5.000 MW, con un autentico boom delle installazioni in Germania (836 MW nel solo 2005), Giappone, Spagna e Stati Uniti. Cresce la diffusione del solare termico in tutto il mondo, con Paesi come la Grecia, l'Austria, il Portogallo che in pochi anni hanno realizzato una larga diffusione. In Israele si è ormai vicini a 1 metro quadrato di collettore solare termico a persona. Si diffonde la produzione da biomasse, in Finlandia oltre l'11% dell'elettricità è generata da impianti di questo tipo, impianti che in Svezia garantiscono il 50% dell'energia dei distretti teleriscaldati.

L'Europa sta svolgendo un ruolo da capofila in questo processo, con obiettivi chiari e ambiziosi da parte dell'UE, ma anche risultati straordinari nei Paesi che con più forza hanno creduto e investito nelle nuove fonti energetiche pulite, che hanno visto negli ultimi anni la creazione di decine di migliaia di nuovi posti di lavoro all'interno di un sistema industriale all'avanguardia.

In Italia puntare sulle fonti energetiche rinnovabili e in particolare su quella solare ed eolica può rappresentare una straordinaria occasione per creare nuova occupazione e ridurre la dipendenza dalle importazioni di greggio, oltre a stimolare la ricerca e l'innovazione tecnologica.

	Eolico: MW installati (fine 2007)	Solare Fotovoltaico MW installati (2007)	Solare Termico Pannelli operativi (fine 2006)	Pannelli mq
Germania	16.629	794		6.199.000
Olanda	1.078	47,7		504.000
Danimarca	3.124	2,2		328.000
Austria	606	19,8		2.400.000
Gran Bretagna	890	7,8		176.000
Francia	382	20,1		792.000
Spagna	8.263	38,7		440.000
Grecia	472	4,5		2.826.000
Italia	1.266	30,3		458.000
Totale EU	40.455	1.004		15.362.000

1.2 - Le fonti non rinnovabili

La maggior parte dell'energia oggi utilizzata è ottenuta da combustibili fossili (petrolio, gas naturale, carbone) e dall'uranio, un materiale fissile. Queste sono le cosiddette fonti di energia non rinnovabili, destinate in periodi più o meno lunghi ad esaurirsi. Si tratta di fonti di energia primaria, che vengono trasformate soprattutto in energia elettrica dopo processi di conversione.

1.2.1 - Il petrolio

Il petrolio è il principale combustibile fossile liquido. E' costituito da una miscela di idrocarburi (molecole costituite da carbonio e idrogeno) che derivano dalla decomposizione in ambiente

marino, al di sotto delle coperture sedimentarie, di organismi animali e vegetali. Poiché i tempi naturali di formazione del petrolio sono di decine di milioni di anni, e lo sfruttamento è invece rapidissimo, questa fonte, al pari degli altri combustibili fossili, è da considerarsi “non rinnovabile”. La maggiore o minore facilità di estrazione dipende dal grado di fluidità del greggio e dalla permeabilità della roccia porosa che lo racchiude. La pressione che permette al greggio di risalire in superficie è data dalla presenza in soluzione di idrocarburi gassosi: una volta effettuata la trivellazione della roccia, la spinta si distribuisce in tutte le direzioni e non solo verso l'alto, determinando la cosiddetta perdita di carico, che è inevitabile. Una volta esaurito il giacimento, resta una roccia spugnosa vuota.

Un tempo si recuperava solo il petrolio che usciva dal sottosuolo spontaneamente, invece oggi si procede al recupero secondario mediante i sistemi di gas injection oppure di water injection che consistono nel pompaggio sotto terra di gas o acqua, allo scopo di spingere verso l'alto il greggio rimasto nella roccia spugnosa e ormai privo di pressione.

Il petrolio greggio estratto non è immediatamente utilizzabile: deve essere deacquificato mediante riscaldamento, purificato per centrifugazione, separato nei suoi componenti principali (gas, benzina, gasolio, nafta, oli pesanti) mediante distillazione frazionata (topping) e trattato chimicamente per aumentarne il pregio (processi di cracking, di reforming e di alchilazione). Tutte queste pratiche costituiscono il processo di raffinazione del petrolio.

1.2.2 - Il gas naturale

Il gas naturale si trova nel sottosuolo, normalmente negli stessi giacimenti in cui giace il petrolio, o associato ad esso, disciolto o raccolto in sacche o tasche superficiali (gas di copertura), oppure in giacimenti costituiti esclusivamente da gas naturale, qualche volta come metano quasi puro (dry gas) o più spesso unito ai vapori di idrocarburi condensabili (wet gas).

Il gas naturale presenta l'indubbio vantaggio, rispetto alle altre fonti energetiche non rinnovabili, di essere la risorsa meno dannosa per l'ambiente poiché la sua combustione non comporta il rilascio di impurità nell'atmosfera. Rispetto al petrolio, inoltre, gode il vantaggio di riserve più consistenti. A sfavore del gas naturale stanno, però, gli elevati costi di trasporto, che impongono la realizzazione di complesse reti di metanodotti.

Il trasporto, la liquefazione quando necessario, lo stoccaggio, la distanza tra luogo di produzione e di utilizzo finale incidono in maniera tale da rendere poco elastico il prezzo finale del metano.

La C.S.I (ex-URSS) dispone del 40% circa delle riserve mondiali e ne produce un'analogia percentuale, collocandosi al primo posto anche sul mercato dell'esportazione. Gli Stati Uniti sono il

secondo produttore, ma consumano quanto ottengono dal sottosuolo anche se stanno aumentando la produzione di gas per mezzo di grandi investimenti. Dopo la C.S.I è il Medio Oriente a detenere le riserve maggiori, ma oggi solo l'Arabia le sfrutta in maniera contenuta. Ai fini dell'esportazione, più che la produzione annua, contano le riserve, le sole in grado di giustificare i forti investimenti connessi con la realizzazione di lunghe reti di metanodotti.

1.2.3 - Il carbone

Il carbone era il combustibile fossile più diffuso nel mondo. E' una roccia sedimentaria costituita da materiale organico composto di carbonio, idrogeno, ossigeno, piccole quantità di azoto e zolfo e materiale inorganico.

Si è originato dalla decomposizione, in ambiente anaerobico, di grandi masse vegetali. Il processo di carbonizzazione consiste in un progressivo arricchimento in carbonio della materia organica.

La combustione del carbone è responsabile di un grave inquinamento ambientale (provoca il fenomeno delle piogge acide) che solo negli ultimi anni si è riusciti a contenere entro limiti accettabili, ricorrendo a sofisticate tecnologie, ma non sempre applicate per gli elevati costi. Nel Sud del mondo se ne fa abbondante impiego ancora nei modi tradizionali. A sfavore del carbone giocano anche i forti costi di trasporto. I principali paesi esportatori di carbone sono: Australia, Polonia, Colombia, Canada e Sudafrica.

Il settore siderurgico è stato sempre il maggiore assorbitore di carbone, il cui impiego come materia prima per la produzione dell'acciaio si è dilatato nel tempo, in sintonia con l'espansione dell'industria pesante di base, in atto oggi nei paesi in via di sviluppo.

Sul versante del trasporto sono stati compiuti passi in avanti per contenere i costi. Il ricorso alle navi resta fondamentale e con questo mezzo viaggia la gran parte del commercio mondiale, ma si sono già sperimentati carbonodotti nei quali il minerale fluisce per pompaggio dopo essere stato ridotto in polvere e mescolato all'acqua.

Le tecniche di estrazione dipendono dalla profondità del filone carbonifero. Se esso si trova a non più di 50 metri di profondità si attua la coltivazione a cielo aperto mediante rimozione dello strato di copertura, per maggiori profondità l'estrazione avviene con lo scavo di cunicoli sotterranei.

1.2.4 - L'uranio

L'energia nucleare è l'energia sprigionata dalla materia quando i nuclei degli atomi che la costituiscono subiscono una trasformazione. Due sono i processi fondamentali per ottenere energia nucleare: la fissione e la fusione nucleare.

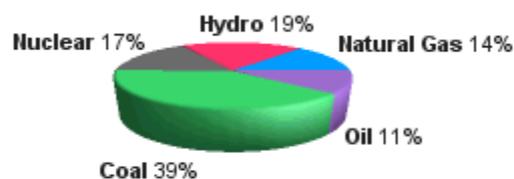
Solo la fissione nucleare è utilizzata finora per la produzione di energia. L'elemento fissile usato per eccellenza è l'uranio-235: il combustibile viene introdotto all'interno del reattore in un apposito alloggiamento, chiamato nocciolo, dove avviene la fissione mediante una reazione a catena, con sviluppo di una grande quantità di energia, emessa sotto forma di calore; un sistema di raffreddamento ad acqua pressurizzata asporta il calore prodotto nel reattore e il vapore surriscaldato serve a far muovere la turbina per la produzione di energia elettrica.

In natura, l'uranio utilizzabile direttamente nei reattori nucleari è molto raro, dunque il minerale estratto deve subire il processo di arricchimento, e cioè la separazione dell'U-235 dall'U-238.

Nel biennio 1984-85 la produzione di energia nucleare crebbe al ritmo del 20% l'anno, ma l'incidente di Chernobyl dell'aprile 1986 interruppe la forte tendenza all'aumento. Dopo di allora, quasi ovunque nel mondo, si verificò un ripensamento. Nonostante ciò la produzione di energia elettronucleare è andata ancora aumentando. Il costo di produzione di un KWh elettrico di origine nucleare è inferiore a quello di ogni altra fonte rinnovabile e non rinnovabile.

L'energia nucleare oggi rappresenta il 7% circa del fabbisogno energetico globale con il 17% di energia elettrica prodotta.

Nel seguente grafico è rappresentata la produzione di energia elettrica per singola fonte primaria:



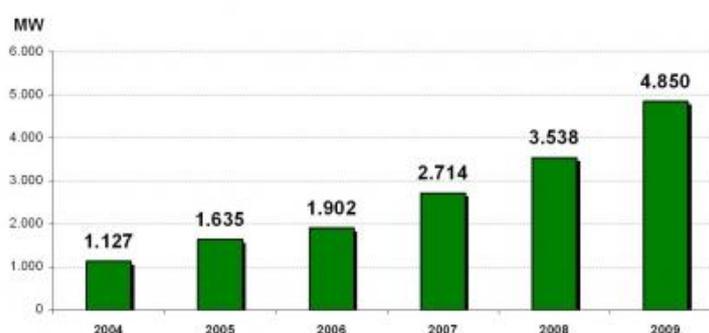
Ad oggi sono attive circa 440 centrali, la Francia produce quasi l'80% dell'energia elettrica dal nucleare, la Svizzera quasi il 40%, molti paesi occidentali si aggirano sul 18-20%.

La grande maggioranza delle centrali nucleari è del tipo PWR (Pressurized Water Reactor, reattore ad acqua in pressione). Questo tipo è molto diffuso perché è quello tecnologicamente più semplice, attualmente non si pongono particolari problemi di reperibilità né dei materiali né del combustibile.

1.3 - Vantaggi e diffusione odierna delle energie rinnovabili

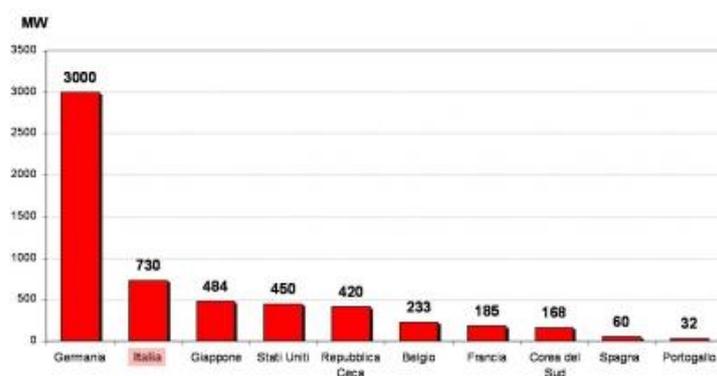
Le Fonti Energetiche Rinnovabili, FER, stanno vivendo una stagione di grande sviluppo a livello mondiale, assumendo un peso sempre maggiore nella produzione energetica. Queste fonti energetiche, oltre ad essere inesauribili, sono ad impatto ambientale nullo in quanto non producono né gas serra né scorie inquinanti da smaltire.

Negli ultimi anni la quota mondiale percentuale di energia prodotta tramite queste fonti è molto aumentata, (come si vede nel grafico che descrive la crescita dell'eolico in Italia negli ultimi anni); sulla base di questo trend le fonti rinnovabili di energia nei prossimi 10 anni avranno una crescita senza paragoni, in modo particolare l'eolico ed il solare.



Eolico in Italia – Potenza cumulata dal 2004 al 2009

Interessanti sono anche i numeri del fotovoltaico, ad esempio, in Italia nel 2009 sono stati installati 730 MWp, in Francia 185 MWp, in Germania 3000; questi possono essere considerati dei risultati di incremento eccezionali, se si considera che in tutto il mondo nell'anno 2008 l'installato fotovoltaico aveva raggiunto i 5.600 MWp.



Fotovoltaico: potenza installata nel 2009 nei principali paesi

E' stimato che le FER saranno gli unici settori energetici ad avere una forte crescita in termini di

fatturato, numero di occupati ed energia prodotta. Dunque questa tipologia di produzione energetica si configura come la vera innovazione del prossimo futuro nel panorama dell'energia mondiale.

Attualmente la gran parte dell'energia primaria viene fornita dalla combustione di risorse energetiche fossili (petrolio, gas naturale e carbone), le quali presentano tre problemi che rischiano di compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni:

- 1) le riserve globali di combustibili fossili non sono illimitate
- 2) le riserve di combustibili fossili sono distribuite in modo diseguale
- 3) la combustione delle risorse fossili comporta il surriscaldamento dell'atmosfera terrestre ed è corresponsabile dei cambiamenti climatici.

Nel breve e medio termine, l'importanza delle fonti rinnovabili non si misura tanto sulla loro capacità di sostituire quote rilevanti di fonti fossili; anche il loro contributo a limitare i danni ambientali prodotti, seppure significativo, non è decisivo.

Per contro, nel lungo periodo, le fonti rinnovabili possono essere determinanti sia per ragioni di sicurezza degli approvvigionamenti che per l'acuirsi delle emergenze ambientali.

Le fonti rinnovabili contribuiscono per circa il 12,3% al fabbisogno energetico mondiale, per il 5,7% al fabbisogno energetico europeo e per il 15,7% (10,4% idroelettrico, 1,7% geotermico, 1,3% eolico, 0,1% solare e 2,2% biomasse e rifiuti) al fabbisogno energetico italiano. La rimanente parte viene soddisfatta con i combustibili fossili (circa 80%), con l'energia nucleare (6,2%) e altre fonti.

Questo contributo proviene per la maggior parte dall'impiego delle biomasse e dei rifiuti con il 77,4% (67,8% nell'UE) e dalle centrali idroelettriche con il 16,4% (22,0% nell'UE), cioè da quelle che costituiscono le cosiddette fonti rinnovabili convenzionali.

Il contributo delle nuove fonti rinnovabili o energie alternative (solare, eolica, impiego moderno delle biomasse, geotermia, mini-idraulica ed energia del mare) ammonta a meno del 6% del consumo energetico mondiale (10,3% nell'UE con il 5,1% dall'eolico, il 4,5% dalla geotermia e lo 0,7% dal solare): una quota trascurabile rispetto alla loro potenzialità ed alla necessità di un loro sfruttamento su larga scala.

Alcuni fra gli innegabili vantaggi delle fonti energetiche rinnovabili possono essere così riassunti:

- Presentano impatto ambientale trascurabile per quanto riguarda il rilascio di inquinanti nell'aria, nell'acqua e sul suolo.
- L'impegno di territorio, anche se ampio, può essere temporaneo e non provocare effetti irreversibili.

- La natura diffusa delle fonti rinnovabili consente di coniugare produzione di energia e presidio e gestione del territorio contribuendo a contrastare i fenomeni di spopolamento e degrado.
- Offrono la possibilità di un più diretto coinvolgimento delle popolazioni e delle amministrazioni locali, con l'attuazione del concetto di geolocalità, e di una ripresa della crescita economica.
- Lo sviluppo delle fonti rinnovabili, unitamente alla diffusione delle tecniche di uso efficiente dell'energia, sembra l'unica via verso uno sviluppo sostenibile.
- Energia termica, elettrica, meccanica e chimica possono essere ottenute da ognuna delle sorgenti rinnovabili con le opportune tecnologie.
- Creano la possibilità di nuovi posti di lavoro.

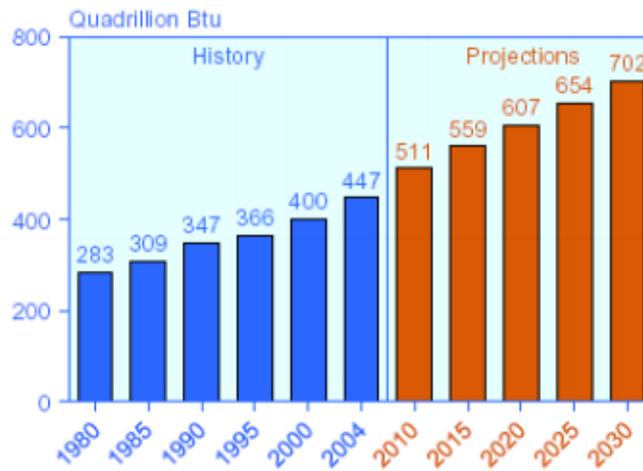
Nei Paesi industrializzati l'operazione da effettuarsi è la sostituzione di quote sempre più ingenti di fonti fossili con le nuove fonti rinnovabili e con metodi di uso razionale dell'energia, in modo da garantire lo stesso servizio finale a costi economici confrontabili ma a costi ambientali e politici molto più contenuti.

Nei Paesi in Via di Sviluppo (PVS), dove la domanda energetica è in forte crescita, l'opportunità è quella di introdurre le nuove fonti rinnovabili sin dalla fase iniziale dello sviluppo di un sistema energetico. Ciò può portare inoltre ad enormi benefici in termini di crescita sociale ed economica, riducendo anche le spinte migratorie verso le regioni occidentali.

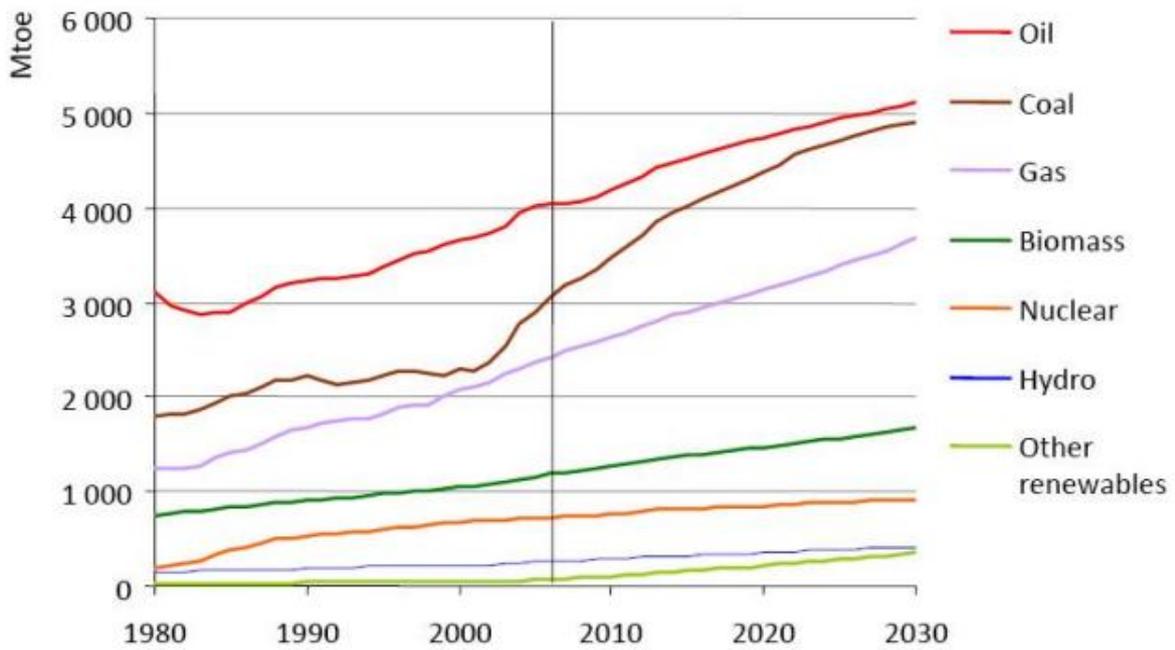
L'ostacolo alla diffusione delle fonti rinnovabili deriva dalla sovrapposizione di più tipi di barriere distinte fra loro:

- Barriere tecniche quali la maturità tecnologica, il rapporto costi/prestazioni, l'affidabilità, la disponibilità e la durata della vita degli impianti. Queste tre categorie si intersecano tra loro dando origine alla macrocategoria delle barriere politico/legislative, infrastrutturali ed informative.
- Barriere economiche e di mercato quali i costi di investimento e di gestione, il valore del servizio offerto, l'incontro fra domanda ed offerta e l'accesso ai crediti.
- Barriere ambientali quali gli impatti, le scelte dei siti, la sicurezza degli impianti ed i rischi a questi connessi.

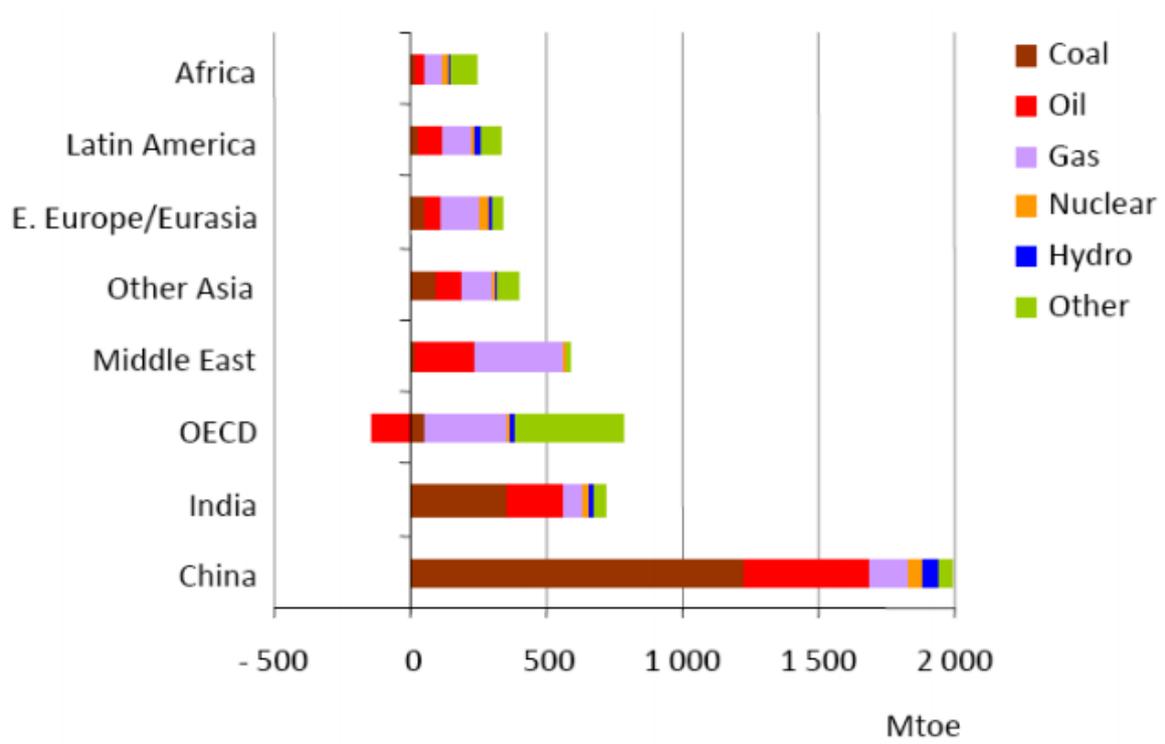
ANDAMENTO DEI CONSUMI DI ENERGIA



Andamento e previsioni di impiego delle fonti di energie rinnovabili su scala mondiale sino al 2030



L'EVOLUZIONE PREVISTA AL 2030



Capitolo 2 - Storia delle rinnovabili

2.1 – Storia dell'idroelettrico

Migliaia di anni fa l'uomo ha imparato a sfruttare l'energia meccanica prodotta dalla caduta dell'acqua. Già Greci e Romani usavano dei mulini ad acqua per macinare il grano. A Barbegal, in Francia, nei pressi di Arles, importante porto che riforniva Roma di grano, sono stati trovati dei mulini idraulici a otto ruote che sfruttavano contemporaneamente lo stesso corso d'acqua (310 d.C.). In Europa, però, lo sfruttamento dell'energia idraulica per ricavare lavoro meccanico si sarebbe massicciamente diffuso solo nei secoli XII e XIII. Il principale utilizzo riguardava il settore agricolo e quindi la macinazione, mediante mulini ad acqua, di granaglie, ma anche olive, sale e altri minerali. Seppure molto meno diffusi dei mulini, tra il Cinquecento e il Seicento, sono stati realizzati altri macchinari alimentati dalla corrente dei ruscelli. Uno dei più prolifici inventori di queste macchine fu proprio Leonardo da Vinci.

Sempre nel Medioevo, trovò grande diffusione anche la ruota ad acqua inventata dai greci: una specie di mulino che serviva per sollevare l'acqua e fu utilizzato per la bonifica dei terreni paludosi, l'irrigazione e nell'attività mineraria. La ruota idraulica, corredata di albero a camme, permise, inoltre, di riprodurre un movimento verticale discontinuo, come quello del martello. Essa fu così utilizzata per stampare tessuti e azionare mantici che servirono a sviluppare maggiormente l'attività metallurgica.

Un progresso tecnico di enorme portata si è avuto in seguito all'evoluzione della ruota idraulica nella turbina, cioè in un apparecchio capace di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica. La nascita della turbina idraulica risale alla fine dell'Ottocento. Da allora questa tecnologia è stata ulteriormente perfezionata e oggi il rendimento complessivo degli impianti più moderni supera l'80%.

La prima diga a noi nota fu costruita verso il 4000 a.C. in Egitto, allo scopo di deviare il corso del Nilo ed edificare la città di Menfi sui terreni sottratti alle acque. Molte antiche dighe in terra, tra cui quelle costruite dai babilonesi, facevano parte di complessi sistemi di irrigazione che trasformavano regioni improduttive in fertili pianure.

L'esigenza di trovare una energia diversa da quella muscolare degli uomini e degli animali portò, tra il IX e X secolo, ad un consistente sviluppo tecnico delle macchine idrauliche.

Inizialmente utilizzate per far girare le macine, trasformavano l'energia cinetica dello scorrere dell'acqua in energia meccanica, mediante ruote a pale immerse per metà nel fiume.

Con lo stesso principio poi la ruota idraulica servì per azionare macchine per segherie, mantici, magli per le fucine, frantoi per olio, per minerali e per polvere da sparo, verricelli idraulici, gualchiere, ossia macchine per la follatura dei tessuti di lana, mulini per la concia, per la canapa, per la carta, torni da falegnami, pompe per sollevare l'acqua, soffianti per altiforni, alesatrici per cannoni, ecc...ora l'esigenza di trovare un'alternativa ai combustibili fossili e al nucleare deve guardare a questa fonte energetica con rinnovato interesse e concretezza.

La potenza teorica di un impianto idroelettrico è denominato rendimento globale dell'impianto; nei moderni impianti idroelettrici esso va dall'80% al 90%, rappresentando un valore molto elevato (in particolare è il valore più elevato tra le varie fonti rinnovabili).

Le tecnologie idroelettriche hanno un buon sviluppo nelle applicazioni terrestri, cioè utilizzando il ciclo dell'acqua che, evaporando dal mare, viene trasportata ai monti dalle nubi da dove ridiscende a valle permettendo l'intercettazione della sua energia cinetica, tali applicazioni hanno, come illustrato di seguito, ancora buoni margini di sviluppo, molto interessanti ma ancora in fase di sviluppo sono anche le tecnologie maremotrici che nascondono un potenziale enorme.

Le fonti rinnovabili generalmente dette "classiche" sono quelle che vengono sfruttate per la produzione di energia elettrica fin dall'inizio dell'età industriale. Le prospettive di uso futuro dipendono dall'esplorazione delle risorse potenziali disponibili, in particolare nei paesi in via di sviluppo e dalle richieste in relazione all'ambiente e all'accettazione sociale.

Tra le più antiche si trovano certamente le centrali idroelettriche, che hanno il vantaggio di avere lunga durata (molte delle centrali esistenti sono operative da oltre 100 anni). Inoltre le centrali idroelettriche sono pulite e hanno poche emissioni. Tuttavia si è scoperto che le emissioni sono apprezzabili soltanto se associate con bacini poco profondi in località calde (tropicali), sebbene in generale le centrali idroelettriche producano molte meno emissioni nel loro "ciclo vitale" rispetto agli altri tipi di produzione di energia. Altre critiche dirette alle grosse centrali idroelettriche a bacino includono lo spostamento degli abitanti delle zone in cui si decide di fare gli invasi necessari alla raccolta dell'acqua e il rilascio di grosse quantità di biossido di carbonio durante la loro costruzione e l'allagamento della riserva.

L'energia prodotta da fonte idroelettrica, che ebbe un ruolo fondamentale durante la crescita delle reti elettriche nel XIX e nel XX secolo, sta sperimentando una rinascita della ricerca nel XXI secolo. Le aree con più elevata crescita nell'idroelettrico sono le economie asiatiche in forte crescita, con la Cina in testa; tuttavia anche altre nazioni asiatiche stanno installando molte centrali di questo tipo. Questa crescita è guidata dai crescenti costi energetici e il desiderio diffuso di generazione energetica "in casa", pulita, rinnovabile ed economica.

2.2 - Storia del fotovoltaico

I primi dispositivi basati sul silicio si possono osservare già nei primi anni '40. Ma è nella primavera del 1953 che, studiando il silicio e le sue possibili applicazioni nell'elettronica, Gerald Pearson, fisico presso i laboratori Bell, costruì involontariamente una cella solare a silicio molto più efficiente di quella a selenio. Altri due scienziati della Bell - Darryl Chapin e Calvin Fuller - perfezionarono la scoperta di Pearson e realizzarono la prima cella in grado di convertire in elettricità abbastanza energia solare per alimentare dispositivi elettrici di uso quotidiano: il primo giorno di sole del 1954 la cella al silicio funzionava con un rendimento del 6%.

Negli anni '60 si cominciò a pensare di produrre “nastri e fogli” di silicio, per cercare di risolvere il problema degli ingenti sprechi di materiale dovuti al taglio dei lingotti. Ancora negli anni '60 Shurland propose l'utilizzo del solfuro di Cadmio, e nel '67 era pronta la prima cella a solfuro di cadmio depositato su plastica.

Negli anni '70 cominciarono ad essere sviluppate, nell'ambito delle applicazioni spaziali, celle all'arseniuro di Gallio, le quali presero definitivamente piede nell'ultimo decennio del secolo. Vennero sviluppati procedimenti per produrre silicio policristallino, meno costosi e meno dispendiosi di quelli per il monocristallino. Dopo la crisi petrolifera del '73 Carson ottiene per caso una pellicola sottile di silicio amorfo idrogenato, che nel '76 raggiunge il rendimento del 5,5%. In quegli anni il DOE PV Research and Development Programme sperimentava pellicole sottili al silicio cristallino, e tutta una gamma di nuovi materiali: CIS, CdTe, InP, Zn₃P₂, Cu₂Se, WSe₂, GaAs, ZnSiAs. È interessante notare che l'utilizzo di pellicole sottili era già stato proposto dallo stesso Chapin, all'epoca delle sue prime scoperte.

Nei primi anni '80 Barnett, per conto della SERI, si interessò al tellururo di cadmio e alle pellicole di silicio policristallino, fondando la società “AstroPower”, oggi ben nota. Sempre nei primi anni '80, Martin Green, lavorando alla tecnologia del silicio, sostituì la serigrafia con solchi in rame realizzati con il laser. Nel 1988 i fogli di silicio venivano ricavati da poligoni ottagonali, migliorando il rendimento del processo e diminuendo la fragilità.

Nel 1997 veniva “lanciata” la prima cella a giunzione tripla a silicio amorfo.

I ricercatori del FV hanno avuto un ruolo chiave nella scoperta di nuovi materiali semiconduttori e strutture ibride, e diedero importanti contributi alle tecniche di crescita epitassiale e di crescita delle pellicole lattice-matched; una delle prime applicazioni delle strutture ibride a semiconduttore sull'GaAs e le giunzioni III-V, furono sviluppate originariamente per i campi FV a concentrazione.

In 50 anni di ricerche sul fotovoltaico, mentre questo beneficiava dell'esplosione della tecnologia microelettronica del silicio, produceva nel contempo nuove conoscenze a beneficio di quella stessa industria elettronica con cui era intimamente legato.

2.2.1 - Le applicazioni

L'Aeronautica e l'Esercito statunitensi seguirono molto da vicino lo sviluppo della cella solare a silicio presso i laboratori Bell. Entrambi ritenevano che il fotovoltaico potesse costituire la fonte energetica ideale per un progetto top-secret: i satelliti artificiali orbitanti attorno alla Terra. Grazie a un'assidua crociata condotta da Hans Ziegler, del corpo del Genio Trasmissioni dell'esercito statunitense, la Marina Militare installò sui satelliti un sistema energetico a due sorgenti - batterie chimiche e celle solari al silicio - sul satellite Vanguard; mentre le batterie si esaurirono dopo una settimana circa, le celle solari funzionarono per anni.

Già dalla fine degli anni '50 il fotovoltaico forniva elettricità ai satelliti americani e sovietici. Gli ingegneri del solare progettavano moduli sempre più potenti, mentre il nucleare non realizzò mai le aspettative per i satelliti spaziali. Alla fine degli anni '70 le celle solari erano ormai diventate fonte energetica abituale per i satelliti artificiali, e così è ancora oggi. La tecnologia era invece troppo costosa per gli usi terrestri, e lo rimase fino ai primi anni Settanta, quando Elliot Berman, sostenuto finanziariamente dalla Exxon, progettò un modulo solare notevolmente più economico.

Il primo acquirente importante di celle solari per uso terrestre fu l'industria petrolifera, che se ne servì in luoghi non serviti dalle linee elettriche: pannelli fotovoltaici vennero usati al posto di batterie tossiche (ingombranti e dalla vita breve) per alimentare le luci di segnalazioni sulle piattaforme petrolifere del Golfo del Messico e nei campi di estrazione del petrolio e del metano, dove servono piccole quantità di elettricità per combattere la corrosione delle teste dei pozzi e dei condotti.

Nel 1974 John Oades, ingegnere presso una controllata della GTE, progettò un ripetitore a bassissima potenza per il quale era sufficiente l'energia fotovoltaica. Così non ci fu più il problema di trasportare carburante o batterie nelle impervie zone montane dove venivano installati i ripetitori, e nelle piccole comunità del West degli Stati Uniti i residenti smisero di percorrere grandi distanze per poter effettuare una telefonata interurbana. L'Australia, con una popolazione relativamente piccola distribuita su un territorio molto ampio, cominciò a installare reti di comunicazione a energia fotovoltaica già nel 1978. Alla metà degli anni '80 le celle solari erano diventate la fonte energetica di elezione per le reti remote di telecomunicazioni in tutto il mondo.

Nel 1977 il Capitano Lloyd Lomer, della Guardia Costiera statunitense, diede il via ad un programma fotovoltaico per alimentare le boe isolate e i fari costieri. Oggi la maggior parte degli ausili per la navigazione in tutto il mondo funziona a celle solari. Verso la metà degli anni '70 molte compagnie ferroviarie ricorsero al fotovoltaico per alimentare i dispositivi di segnalamento e di smistamento necessari per la sicurezza del traffico ferroviario, funzionanti grazie ai sistemi di comunicazione a microonde: le comunicazioni fra le stazioni ferroviarie poterono fare a meno dei pali e dei cavi telefonici lungo i binari.

Quando, sempre negli anni '70, la grande siccità colpì la regione del Sahel in Africa, padre Bernard Verspieren avviò un programma di pompaggio fotovoltaico per attingere acqua dalle falde acquifere che fa ormai da modello per il mondo in via di sviluppo. A quei tempi, in tutto il mondo c'erano meno di dieci pompe fotovoltaiche. Oggi ce ne sono decine di migliaia.

Negli anni '80 l'ingegnere svizzero Markus Real dimostrò la validità della generazione distribuita installando moduli solari da 3 KW su 333 tetti di Zurigo. Da allora, nessuno parla più di centrali elettriche fotovoltaiche, e i vari governi stanno sviluppando piani di incentivazione finanziaria per incoraggiare i cittadini a solarizzare i propri tetti.

Poiché il costo dell'installazione delle linee di trasmissione elettrica è estremamente elevato, oltre due miliardi di persone nei paesi in via di sviluppo sono ancora prive di elettricità di rete. Intanto, però, in metà delle famiglie delle isole della Polinesia francese, nelle zone rurali del Kenya, nella Repubblica Dominicana e nel Centroamerica, migliaia di persone alimentano lampadine, televisori e radio con l'elettricità solare.

L'affidabilità e la versatilità del fotovoltaico in ambiente spaziale e terrestre hanno impressionato molti addetti ai lavori nell'industria elettrica e delle telecomunicazioni. Oggi la Banca Mondiale e molti organismi internazionali ritengono che le celle solari “abbiano un ruolo importante e sempre crescente nella fornitura di servizi elettrici nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo”.

2.2.2 - Il fotovoltaico in Italia

Nell'agosto del '61, in occasione della prima Conferenza Internazionale delle Nazioni Unite sulle Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili, svoltasi a Roma, vennero presentate numerose opere sullo stato dell'arte e sulle prospettive del fotovoltaico. Dopo la crisi petrolifera del 1973 il CNR cominciò a fabbricare celle solari, vennero fondate la Solare S.p.a e la Helios Technology, inizialmente nota come Secies.

Nel 1979, al Passo della Mandriola, nella comunità dell'appennino Cesenate, venne installato il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 KW, frutto di una collaborazione tra l'istituto LAMEL del CNR, l'ENEL, la Riva Calzoni e la Helios Technology.

Negli anni '90 l'Italia era al primo posto in Europa per la potenza installata in impianti fotovoltaici (circa 25 MW), e nel 1993 nacque il Piano Fotovoltaico Nazionale, al quale parteciparono, tra gli altri, l'ENEA, l'ENI Euro solare e l'Helios Technology.

2.3 - Storia dell'eolico

I primi progetti di sfruttamento della forza del vento di cui si ha traccia sono quelli di Erone di Alessandria, noto oltre che per l'invenzione della Eolipila, primo tentativo di utilizzare il vapore per produrre energia meccanica, per la ideazione di un organo meccanico azionato dalla circolazione dell'aria, di cui però non è pervenuta traccia.

Noti e conosciuti come sinonimo di paesaggio nordico, e in particolare modo olandese, sono i mulini a vento, tra le più conosciute applicazioni di energia eolica al servizio dell'uomo. Pochi sanno però che l'origine di queste strutture si perde nelle "notti orientali": sembra infatti che il primo mulino a vento con pale sia stato costruito nell'antica Babilonia nel 2000 a.C. ed è nella zona della Mesopotamia, nell'attuale regione del Seistan, a cavallo tra Iraq e Afghanistan, che ancora oggi possiamo ammirare i resti delle strutture eoliche dell'VIII° – IX° sec. caratterizzate da moto su asse verticale cui erano collegate vele rettangolari.

Esempi che, secondo ipotesi accreditate, avrebbero dato il via al futuro sviluppo di motori eolici in Cina, dove ne è testimoniata l'esistenza a partire dal 1219.

Nel Medioevo i mulini vengono introdotti anche in Europa. La prima presenza registrata è su territorio francese, risale al 1100, e dimostra un importante cambiamento strutturale rispetto al modello persiano: il movimento non è più verticale ma su asse orizzontale, una caratteristica comune ai motori eolici odierni. Se però queste prime applicazioni erano di natura meccanica e destinate ad uso prettamente agricolo, come indica l'etimologia della parola, mulino deriva da "mola" la ruota per la macina dei cereali, e idraulico, di pompaggio delle acque per la bonifica dei terreni, è nell'800 che la tecnologia eolica compie i suoi più importanti passi verso la produzione di energia elettrica.

L'introduzione della dinamo, invenzione del belga Gramme, ha un ruolo importante nella fase di modernizzazione di questo modello. Il vero turning point si ha nel 1887 con le sperimentazioni sui diversi modelli di turbina del professore scozzese James Blyth dell'Anderson College, Glasgow (oggi sede della Strathclyde University) e la costruzione in Ohio, Stati Uniti, della prima turbina

eolica del Professor Charles F. Brush. Caratterizzata da un picchetto da 17 metri di diametro e una grande coda per muovere il rotore, così è denominato l'insieme di pale, mozzo, albero lento e meccanismo pitch-control, al riparo del vento era in grado di produrre 12 KW.

Oggi con le stesse dimensioni è possibile raggiungere i 100 KW di potenza, ma è comunque degna di nota la lungimiranza di tale progetto rappresentata dalla presenza di un trasformatore, per l'adattamento dell'energia continua al voltaggio richiesto dal sistema.

Nel 1891 è il danese Poul La Cour, spinto dalla volontà di portare l'elettricità anche nelle campagne della Danimarca, a risolvere uno dei principali problemi presentati dall'eolico: come immagazzinare l'energia prodotta. La questione fu risolta tramite elettrolisi, mentre interventi di tipo meccanico, come la diminuzione del numero di pale, il nuovo design a rotazione permisero di dare vita al primo mulino sperimentale Askov, in grado di produrre una potenza costante, ampiamente poi utilizzato nei Paesi nordici.

La storia dell'energia eolica si intreccia poi con gli studi di aeronautica, focalizzati sul perfezionamento delle eliche e sul potenziamento dei motori.

Negli anni '20 si assiste alla messa a punto della turbina eolica Darrieus, dal nome del suo inventore, la prima ad asse verticale. Meglio conosciuta come il "mulino a vento eggbeater", questo tipo di turbina si riconosce per la tipica struttura simile a quella di un "frullino da cucina": al rotore dalla struttura sottile nella parte superiore e inferiore sono fissate a semicerchio delle lame sottili quasi a formare un arco. In uso ancora oggi, questa tipologia di turbina si attiva quando il vento supera i 10 Km orari e può raggiungere velocità superiori ai 40 Km. La stabilità è uno dei suoi punti critici quindi viene fermata quando il vento supera i 70 Km orari.

Nel 1931 l'ex Unione Sovietica stupisce con la costruzione a Balaclava, in Crimea, di un generatore da 100 KW di grandi dimensioni, 30 metri di altezza torre, e buona efficienza energetica. Ma il primato mondiale viene raggiunto dall'America nel 1941 quando nel Vermont si inaugura la prima turbina megawatt, 1250 KW prodotti, opera di Palmer Cosslett Putnam.

Dopo anni di stasi, dati dal boom di fonti di energia fossile, la crisi petrolifera degli anni '70 riporta l'attenzione sullo sviluppo di energia rinnovabile, come l'eolica, coinvolgendo l'attenzione di importanti enti istituzionali e di ricerca, come la NASA in America. Sostenuti dal governo federale, iniziano gli studi sulle tecnologie multi-megawatt oggi ancora valide e la sperimentazione sul territorio di diverse turbine. Nel 1980 nel New Hampshire, Stati Uniti si dà il via al primo parco eolico al mondo composto da 20 turbine. Nonostante il fallimento di questo progetto, l'America riesce in breve a battere due record: nel 1981 con il 7.5 MW Mod-2 e nel 1987 con la 3.2 MW

dimostrando al mondo la possibilità di utilizzare turbine di grandiose dimensioni uniche per livelli di produzione energetica.

Gli anni '90 sono quelli del primo parco off-shore, nel 1991 a Vindeby Danimarca vengono installate 11 turbine da 450 KW, e on-shore, nel Regno Unito a Delabole in Cornovaglia, in un agriturismo vengono collocate 10 turbine per produrre energia sufficiente ad alimentare 2.700 case.

E ancora in questi anni si assiste ad un grande investimento del Regno Unito su questo tipo di energia con l'apertura del O'Doune Braes parco eolico scozzese in grado di produrre 72 MW di potenza. Il governo britannico ha poi dichiarato di voler raggiungere entro il 2020 l'ambizioso traguardo di soddisfare il fabbisogno energetico domestico attraverso la produzione di energia elettrica eolica e quindi il massiccio investimento in parchi eolici off-shore.

Dal vento al mare, gli studi sull'eolico di Darrieus hanno portato in tempi recenti Alexander Gorlov, ingegnere russo, ad applicare lo stesso principio alle turbine sottomarine per produrre nuova energia sfruttando il moto delle onde e delle maree.

2.4 - Storia della biomassa

Per "biomassa" s'intende tutto ciò che ha matrice organica e che, essendo ad alto contenuto di carbonio, è perciò portatore di una grande energia chimica che si sprigiona nella combustione. Le principali tipologie di biomassa sono ad ogni modo residui forestali, scarti dell'industria di trasformazione del legno, scarti delle aziende zootecniche e rifiuti solidi urbani.

Il sole è la fonte energetica che alimenta la vita sulla terra: esso dà vita alle piante che diventano cibo per gli animali e, attraverso le differenze di temperatura, dà origine al vento, alla pioggia ed alle onde.

L'uomo ha adattato il suo stile di vita alla disponibilità del sole. Per ovviare alla discontinuità dell'irraggiamento solare nel passato si migrava alla ricerca di climi più caldi.

L'invenzione più importante nella storia dell'umanità è stata la scoperta del fuoco perché, attraverso la combustione del legno, fornisce la luce se è buio, riscalda se fa freddo, protegge dagli animali predatori e permette di cuocere i cibi; nel corso dell'evoluzione l'uomo ha continuato a sviluppare le tecniche della combustione imparando a cuocere l'argilla e fondere i metalli, producendo utensili sempre più sofisticati, ma il legno rimaneva comunque la materia prima più utilizzata.

Le deforestazioni più importanti sono avvenute nei secoli a cavallo del primo millennio e hanno prodotto un danno ecologico permanente su intere regioni della terra.

Fino al XVIII secolo le uniche forme di energia meccanica usate erano il vento e l'acqua (grazie ai mulini); con l'invenzione della macchina a vapore divenne possibile ottenerla bruciando legno.

Il progressivo miglioramento delle tecniche di combustione ha permesso di ottenere grandi quantità di energia in modo costante; ciò ha reso possibile creare negli edifici un comfort artificiale senza dipendere dal ciclo discontinuo del sole. Sulla Terra ci sono molti esseri viventi e molto materiale organico (cioè proveniente da esseri viventi): tutto ciò può essere considerato fonte di biomassa.

2.5 - Storia della geotermia

La storia della geotermia si può dire che ha avuto avvio in Toscana nel 1800. Nella zona di Larderello veniva estratto il boro dalle acque geotermiche per l'industria farmaceutica dell'epoca. L'acqua che sgorgava liberamente dal sottosuolo veniva convogliata in delle vasche, poi tramite la combustione delle legna veniva fatta evaporare tutta l'acqua. Alla fine rimanevano i residui minerali da cui attraverso una raffinazione successiva si ricavava il boro. Questo processo andò avanti per qualche decennio provocando il disboscamento della zona. Fu per questo motivo (ma forse soprattutto per i costi sempre maggiori per il reperimento della legna) che Francesco de Larderel, proprietario dell'omonima ditta che si occupava dell'estrazione del boro, cercò una soluzione al problema ed ebbe l'idea di sfruttare il calore geotermico, opportunamente incanalato, per sostituire completamente l'uso di legname. Nacquero così i Lagoni coperti, un vero e proprio marchio di fabbrica della Larderello Spa.

In seguito verso nel 1865 vennero realizzate le prime pompe a vapore, che andarono pian piano a sostituire i rudimentali metodi di trasporto delle acque boracifere e a fine '800 nacque anche la prima caldaia tubolare della potenza di 8 cv alimentata da fluido endogeno per uso industriale.

Lo sfruttamento intensivo delle risorse geotermiche fece ben presto esaurire le risorse di superficie (o almeno non erano più sufficienti a soddisfare tutte le esigenze). Per questo si cominciò a scavare sempre più in profondità e non solo dove manifestazioni naturali indicavano la presenza di calore a bassa profondità ma in tutta la zona boracifera. Nel 1900, l'energia geotermica, venne utilizzata per l'azionamento di macchinari per la perforazione permettendo il raggiungimento di profondità maggiori in minor tempo e a minor costo.

Si arrivò così al 1904, l'anno in cui il principe Piero Ginori Conti, direttore della Larderello Spa, sperimentò per la prima volta la produzione di energia elettrica tramite l'uso di energia geotermica. L'esperimento dimostrativo costituì nell'accensione di cinque lampadine alimentate da una dinamo accoppiata a un motore a pistoni, dove il motore era alimentato da vapore prodotto tramite uno scambiatore termico alimentato tramite vapore geotermico.

Incoraggiati dai risultati di questo primo esperimento, il principe Ginori Conti sviluppò il primo prototipo di impianto geotermico per la produzione di energia elettrica, che entrò in funzione nel

1905. Questo impianto da 20 KW dal 1908 permise l'elettrificazione degli impianti industriali di Larderello. Nel 1913, fu realizzato il primo impianto commerciale per la produzione di energia elettrica (Larderello 1) con una turbina in grado di generare 250 KW di potenza. Da questo momento fino al 1944 si ebbe un continuo aumento di impianti di produzione nelle zone di Larderello, Castelnuovo e Serrazzano portando la potenza installata a 132 MW.

Le fasi terminali della seconda guerra mondiale furono disastrose per la zona di Larderello infatti i tedeschi in ritirata distrussero gli impianti di produzione di energia in quanto considerati strategici perché fornivano elettricità alle linee ferroviarie del centro Italia. Si salvò solo un impianto pilota di Serrazzano da 23 KW e da qui ricominciò la costruzione di tutto quello che era andato distrutto. Da questo momento la geotermia Italiana ha avuto un notevole sviluppo e a fine 2009 la potenza installata totale era 843 MW per una produzione annuale effettiva di circa 5 TWh che fanno dell'Italia la quinta forza mondiale. Resta comunque una produzione molto di nicchia se si pensa che il fabbisogno nazionale è di circa 360 TWh e che quindi il geotermoelettrico contribuisce per circa l'1.4%.

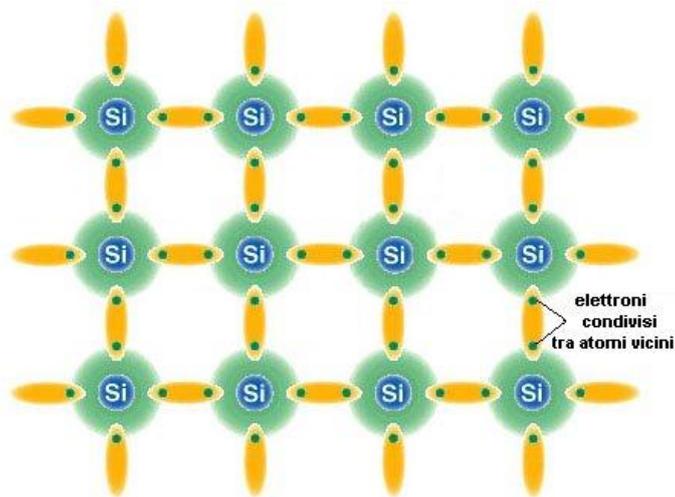
Capitolo 3 - Il Fotovoltaico

3.1 - Principi di funzionamento

La conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica, realizzata con la cella fotovoltaica, utilizza il fenomeno fisico dell'interazione della radiazione luminosa con gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori, denominato effetto fotovoltaico. L'effetto fotovoltaico è tra i fenomeni che fanno pensare ad una natura corpuscolare della luce; infatti, è stato scoperto che è proprio una particella associata alle onde elettromagnetiche, denominata fotone, a fornire l'energia necessaria ad attivare il processo fotovoltaico.

Qualunque sia il materiale impiegato, il meccanismo con cui la cella trasforma la luce solare in energia elettrica è essenzialmente lo stesso.

Consideriamo per semplicità il caso di una convenzionale cella fotovoltaica di silicio cristallino: l'atomo di silicio possiede 14 elettroni, quattro dei quali sono elettroni di valenza, che quindi possono partecipare alle interazioni con altri atomi, sia di silicio sia di altri elementi. In un cristallo di silicio puro ogni atomo è legato in modo covalente ad altri quattro atomi: quindi due atomi affiancati di un cristallo di silicio puro hanno in comune una coppia di elettroni, uno dei quali appartenente all'atomo considerato e l'altro appartenente all'atomo vicino.

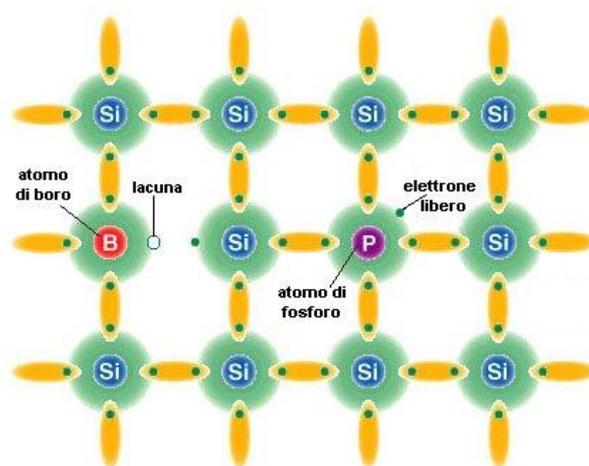


Esiste quindi un forte legame elettrostatico fra un elettrone e i due atomi che esso contribuisce a tenere uniti. Questo legame elettrostatico può essere spezzato con una quantità di energia che permetta ad un elettrone di passare ad un livello energetico superiore, cioè dalla banda di valenza alla banda di conduzione, superando la banda proibita: se l'energia fornita è sufficiente (per l'atomo di silicio 1.08 eV elettronvolt, $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, un valore intermedio tra quello dei conduttori e quello degli isolanti) l'elettrone viene portato ad un livello energetico superiore (banda di

conduzione), dove è libero di spostarsi, contribuendo così al flusso di elettricità. Quando passa alla banda di conduzione, l'elettrone si lascia dietro una buca, cioè una lacuna dove manca un elettrone. Un elettrone vicino può andare facilmente a riempire la lacuna, scambiandosi così di posto con essa. Quando un flusso luminoso investe il reticolo cristallino del silicio, si ha la liberazione di un certo numero di elettroni al quale corrisponde un egual numero di lacune. Nel processo di ricombinazione ogni elettrone che capita in prossimità di una lacuna la può occupare, restituendo una parte dell'energia cinetica che possedeva sotto forma di calore.

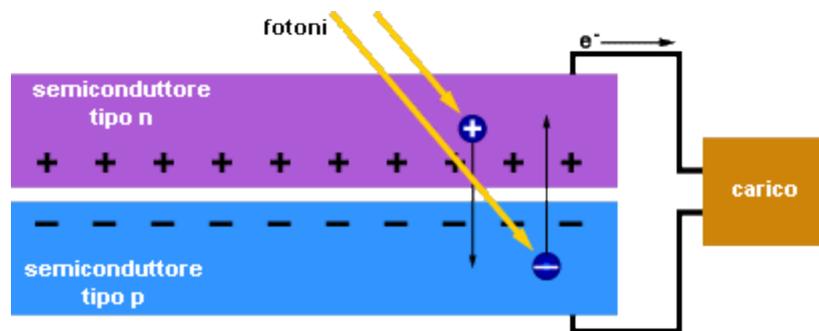
Per sfruttare l'elettricità è necessario creare un moto coerente di elettroni (e di lacune), ovvero una corrente, mediante un campo elettrico interno alla cella. Il campo si realizza con particolari trattamenti fisici e chimici, creando un eccesso di atomi caricati positivamente in una parte del semiconduttore ed un eccesso di atomi caricati negativamente nell'altro.

In pratica è necessario introdurre nel silicio una piccola quantità di atomi appartenenti al terzo o al quinto gruppo del sistema periodico degli elementi, in modo da ottenere due strutture differenti, una con un numero di elettroni insufficiente, l'altra con un numero di elettroni eccessivo. Questo trattamento viene detto drogaggio e la quantità delle impurità introdotte è dell'ordine di una parte per milione. Generalmente si utilizzano il boro (terzo gruppo) ed il fosforo (quinto gruppo) per ottenere rispettivamente una struttura di tipo p (con un eccesso di lacune) ed una di tipo n (con un eccesso di elettroni).



Nello strato drogato con fosforo, che ha cinque elettroni esterni o di valenza contro i quattro del silicio, è presente una carica negativa debolmente legata, composta da un elettrone per ogni atomo di fosforo. Analogamente, nello strato drogato con boro, che ha tre elettroni esterni, si determina una carica positiva in eccesso, composta dalle lacune presenti negli atomi di boro quando si legano al silicio.

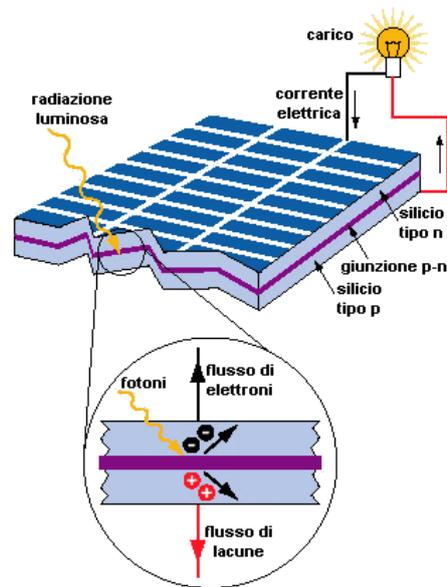
Il primo strato, a carica negativa, si indica con n, l'altro, a carica positiva, con p, la zona di separazione è detta giunzione p-n. In entrambi i casi il materiale risulta elettricamente neutro; tuttavia, ponendo a contatto i due tipi di strutture, tra i due strati si attiva un flusso elettronico dalla zona n alla zona p che, raggiunto il punto di equilibrio elettrostatico, determina un eccesso di carica positiva nella zona n, dovuto agli atomi di fosforo con un elettrone in meno, e un eccesso di carica negativa nella zona p, dovuto agli elettroni migrati dalla zona n. In altri termini gli elettroni presenti nel silicio tipo n si diffondono per un breve tratto nel silicio tipo p: il silicio tipo n si carica positivamente, quello di tipo p si carica negativamente e si crea inoltre una regione intermedia detta zona di svuotamento o di carica spaziale. Il risultato è un campo elettrico interno al dispositivo dell'ampiezza di pochi micrometri.



Illuminando la giunzione p-n dalla parte del silicio tipo n, si generano delle coppie elettrone-lacuna in entrambe le zone n e p. Il campo elettrico separa gli elettroni in eccesso generati dall'assorbimento della luce dalle rispettive lacune, spingendoli in direzioni opposte (gli elettroni verso la zona n e le lacune verso la zona p). Una volta attraversato il campo, gli elettroni liberi non tornano più indietro, perché il campo, agendo come un diodo, impedisce loro di invertire la marcia. (Un diodo è un dispositivo in cui il passaggio di corrente è ostacolato in una direzione e facilitato in quella opposta). Quindi, se si connette la giunzione p-n con un conduttore, nel circuito esterno si otterrà un flusso di elettroni che parte dallo strato n, a potenziale maggiore, verso lo strato p, a potenziale minore. Fino a quando la cella resta esposta alla luce, l'elettricità fluisce con regolarità sotto forma di corrente continua. E' importante che lo spessore dello strato n sia tale da garantire il massimo assorbimento di fotoni incidenti in vicinanza della giunzione. Per il silicio questo spessore deve essere di 0,5 mm, mentre lo spessore totale della cella non deve superare i 250 mm.

In sintesi la conversione da luce a energia elettrica effettuata dalla cella fotovoltaica avviene essenzialmente perché questi portatori di carica liberi (elettroni e lacune), generati dalla luce, sono spinti in direzioni opposte dal campo elettrico interno creato attraverso la giunzione di due semiconduttori drogati in modo diverso. Una volta attraversato il campo, le cariche non tornano più

indietro, perché il campo impedisce loro di invertire la marcia. Le cariche positive (lacune) sono spinte verso un lato della cella e le cariche negative (elettroni) verso l'altro. Se le due facce (inferiore e superiore della cella) sono collegate mediante un conduttore, le cariche libere lo attraversano e si osserva una corrente elettrica. Fino a quando la cella resta esposta alla luce, l'elettricità fluisce sotto forma di corrente continua.



Di tutta l'energia che investe la cella solare sotto forma di radiazione luminosa, solo una parte viene convertita in energia elettrica disponibile ai suoi morsetti. L'efficienza di conversione per celle commerciali al silicio è in genere compresa tra il 13 % e il 17%, mentre realizzazioni speciali di laboratorio hanno raggiunto valori del 32,5%.

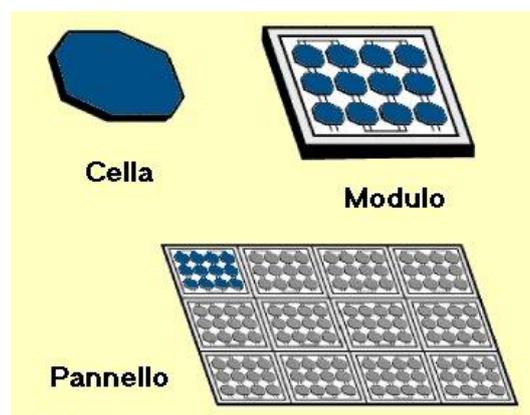
I motivi di tale bassa efficienza sono molteplici e possono essere raggruppati in quattro categorie:

- riflessione: non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno, dato che in parte vengono riflessi dalla superficie della cella e in parte incidono sulla griglia metallica dei contatti;
- fotoni troppo o poco energetici: per rompere il legame tra elettrone e nucleo è necessaria una certa energia, e non tutti i fotoni incidenti possiedono energia sufficiente. D'altra parte alcuni fotoni troppo energetici generano coppie elettrone-lacuna, dissipando in calore l'energia eccedente quella necessaria a staccare l'elettrone dal nucleo.
- ricombinazione: non tutte le coppie elettrone-lacuna generate vengono raccolte dal campo elettrico di giunzione e inviate al carico esterno, dato che nel percorso dal punto di generazione verso la giunzione possono incontrare cariche di segno opposto e quindi ricombinarsi;

- resistenze parassite: le cariche generate e raccolte nella zona di svuotamento devono essere inviate all'esterno. L'operazione di raccolta viene effettuata dai contatti metallici, posti sul fronte e sul retro della cella. Anche se durante la fabbricazione viene effettuato un processo di lega tra silicio e alluminio dei contatti, resta una certa resistenza all'interfaccia, che provoca una dissipazione che riduce la potenza trasferita al carico. Nel caso di celle al silicio policristallino, l'efficienza è ulteriormente diminuita a causa della resistenza che gli elettroni incontrano ai confini tra un grano e l'altro e, ancor più nel caso di celle al silicio amorfo, per la resistenza dovuta all'orientamento casuale dei singoli atomi.

3.2 - Le tipologie di celle fotovoltaiche

Le celle fotovoltaiche - note anche come "celle solari" perché normalmente sono utilizzate con la luce del Sole - sono dispositivi in grado di convertire l'energia luminosa direttamente in energia elettrica grazie all'effetto fotovoltaico. Più celle fotovoltaiche possono essere montate insieme su un pannello formando un modulo fotovoltaico, di cui sono quindi l'elemento base, mentre più moduli possono essere montati su una stessa struttura (ad es., un inseguitore solare biassiale) a formare un pannello fotovoltaico. La versione più diffusa di cella fotovoltaica è costituita da una lamina di materiale semiconduttore: l'unico materiale impiegato per la produzione di massa è il silicio. In base alla struttura cristallina del materiale semiconduttore, si possono distinguere tre tipi diversi di celle solari: monocristalline, policristalline e amorfe. In base alle tecnologie di produzione, invece, le celle solari possono essere classificate, fondamentalmente, in quattro tipi: al silicio, a film sottile, multigiunzione, organiche.

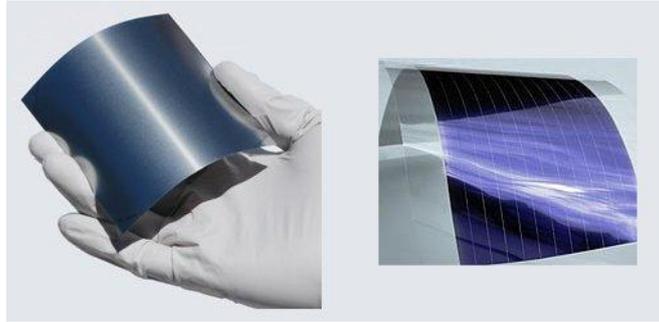


Le celle al silicio sono celle in materiale cristallino realizzate a partire da un wafer al silicio, cioè da una sottile fetta di questo materiale semiconduttore la cui struttura cristallina può essere omogenea (silicio monocristallino), oppure non strutturalmente omogenea bensì organizzata in grani localmente ordinati (silicio policristallino). Pertanto, a seconda di quale tipo di silicio venga

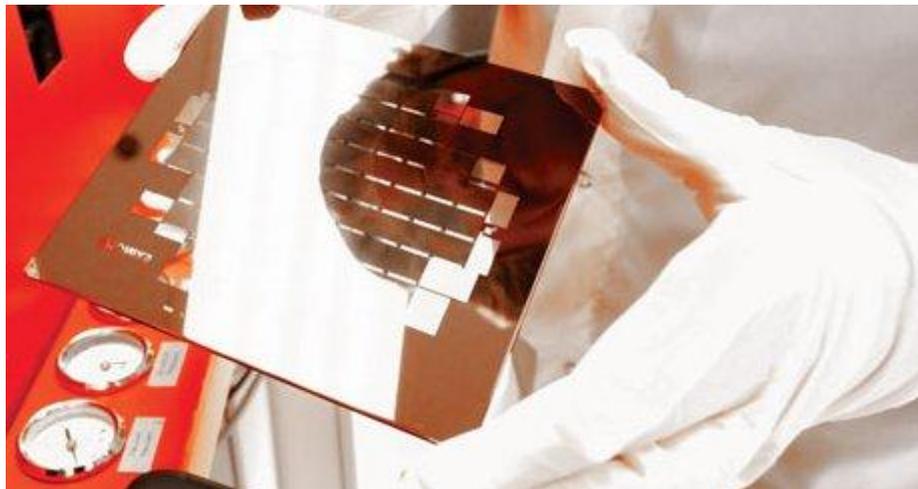
utilizzato, si parla, rispettivamente, di celle monocristalline e di celle policristalline, impiegate per realizzare altrettanti tipi di pannelli fotovoltaici, che rappresentano la maggior parte del mercato attuale. L'efficienza dei pannelli fotovoltaici realizzati con celle al silicio si attesta tipicamente sul 15% per i pannelli monocristallini e sul 13% per i pannelli policristallini (questa è l'efficienza del pannello, che è sempre inferiore o uguale a quella della loro peggior cella). Ne consegue che, a parità di energia prodotta, le celle (ed i pannelli) in silicio monocristallino occupano un po' meno spazio degli analoghi policristallini, tuttavia costano di più.

Le celle a film sottile sono celle prodotte lavorando un materiale semiconduttore ad alta pressione e con tecnologie di vuoto, in modo da impiegare quantità molto esigue di tale materiale (spessori dell'ordine del micron). In generale, questo tipo di celle solari sono caratterizzate da bassi costi e dalla possibilità di realizzare - specie se è usato come semiconduttore il silicio - dei pannelli flessibili, adatti per ricoprire superfici curve. Le più famose celle a film sottile sono quelle in silicio amorfo, che hanno un'efficienza tipica compresa fra il 6 e l'8% e sono assai economiche: su tali celle - molto usate anche per alimentare dispositivi elettronici di consumo quali calcolatrici, orologi, etc. - gli atomi di silicio vengono depositi in forma "amorfa", cioè strutturalmente disorganizzata, caratteristica che ne permette la flessione. Altri tipi di celle a film sottile possono essere ricavati con altrettanti tipi diversi di semiconduttori: telloruro di cadmio, solfuro di cadmio, arseniuro di gallio, diseleniuro di indio rame (CIS), etc.

I film sottili ricoprono grande importanza a causa della forte richiesta di miniaturizzazione e integrazione dei dispositivi elettronici e vengono adottati sempre più in elettronica e optoelettronica. Questi apparati risultano essere strutture bidimensionali con spessori che vanno dai pochi Ångstrom a pochi micrometri. Come risultato le proprietà di superficie influenzano significativamente le proprietà del materiale. Per questa ragione i film sottili hanno peculiarità differenti dai materiali policristallini o dai cristalli singoli. Sotto l'aspetto atomico i film sottili possono avere strutture di cristallo singolo, policristallo o prospettarsi come strutture amorfe. Le strutture amorfe sono particolarmente d'interesse come film protettivi mentre i film policristallini con un alto grado di orientazione sono utili come materiali magnetici e dielettrici. Film sottili aventi struttura di cristallo singolo vengono accresciuti su substrati a cristallo singolo come NaCl, MgO, LiF, mica etc. Quando questi film hanno una orientazione cristallografica collimante con quella del substrato si parla di crescita epitassiale.



Le celle multigiunzione sono celle ad altissima efficienza, tanto più superiore rispetto alle normali celle al silicio quanto più la luce è concentrata. Sviluppate per i pannelli fotovoltaici dei satelliti spaziali, sono quindi le celle solari più efficienti, raggiungendo un'efficienza del 41% se usate ad una concentrazione superiore a 500 X). Si tratta di celle a più strati, formate dalla sovrapposizione di più "film sottili" di semiconduttori scelti leggermente diversi fra loro (in gergo, devono avere gap di energia diversi), così che ciascuno strato possa assorbire in modo ottimale i fotoni di un certo range di energia. Sono utilizzate negli innovativi sistemi fotovoltaici a concentrazione, quali i pannelli a concentrazione, dove sono in genere raffreddate con sistemi passivi. Sebbene il costo delle celle multigiunzione sia circa 100 volte quello delle celle al silicio normali, è solo una piccola frazione di quello dell'intero sistema a concentrazione, il che rende tali sistemi economicamente competitivi.



Il fotovoltaico organico è una nuova tecnologia che usa pigmenti organici al posto dei semiconduttori inorganici, consentendo un abbattimento dei costi senza però un aumento di efficienza. Una cella fotovoltaica organica utilizza un'elettronica organica, basata su polimeri organici conduttori o su piccole molecole organiche per l'assorbimento della luce ed il trasporto

della carica. Ciò permette di combinare la flessibilità delle molecole organiche con la plastica, che ha bassi costi di produzione e può esserne ricoperta con un "film". Il coefficiente di assorbimento di luce delle molecole organiche è elevato, perciò una grande quantità di luce può essere assorbita con una piccola quantità di materiale. I principali svantaggi delle celle organiche sono costituiti dalla bassa efficienza (circa il 3-6%), dalla bassa stabilità (per quanto riguarda ossidazione, riduzione, ricristallizzazione e variazioni di temperatura, che possono degradare il dispositivo nel tempo) e dalla bassa robustezza rispetto alle celle inorganiche.

3.3 - Prospettive del fotovoltaico

I Paesi emergenti, come ad esempio Cina e India, sono attualmente i fulcri della crescita dei consumi globali di energia. Tuttavia le fonti rinnovabili costituiscono soltanto il 13% dell'offerta primaria di energia; il 6% dell'offerta proviene dal nucleare, e ancora il 33% è rappresentato dal petrolio e dai suoi derivati. Pertanto si può affermare che, a livello mondiale, il petrolio si conserva ancora leader nel mercato dell'energia, nonostante si registri progressivamente un maggior ricorso al gas a svantaggio dei combustibili fossili.

Vista la necessità di energia, l'aumento di industrializzazione e, di pari passo, di consumo di petrolio da parte dei Paesi emergenti, l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di ridurre entro il 2050 le emissioni di gas serra di almeno l'80% rispetto ai livelli registrati nel 1990, al fine di contrastare il rischio di cambiamenti climatici.

Essendo il fotovoltaico la soluzione più gestibile anche in piccola scala in merito alle energie rinnovabili, lo Stato italiano ha scelto di incentivarne l'installazione soprattutto presso i privati, così da poter contare su una maggiore disponibilità di energia pulita, rinnovabile e a basso costo. Pertanto già da diversi anni sono stati erogati, via via con termini e modalità differenti, dei contributi per i cittadini che decidessero di installare nelle proprie pertinenze dei pannelli fotovoltaici. In tale maniera, ai premi in denaro associati al rilascio di certificati bianchi o verdi (i primi legati al risparmio di petrolio e i secondi legati invece alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili), alla possibilità di vendita dell'energia elettrica prodotta da rinnovabili alla Borsa elettrica (piattaforma telematica in cui dal 2004 si incontrano domanda e offerta di energia elettrica per il mercato italiano) o al GSE (Gestore dei Servizi Elettrici) tramite scambio sul posto (meccanismo onnicomprensivo che si basa sul dare/avere di quantitativi di energia elettrica autoprodotta) o cessione in rete (per l'energia prodotta che eccede il proprio autoconsumo annuo), va ad aggiungersi come alternativa l'incentivo statale "conto energia", che va a premiare l'energia effettivamente prodotta dal proprio impianto fotovoltaico oppure solare termodinamico

indipendentemente dal suo uso; ad oggi siamo al quinto “conto energia”, ossia alla quinta revisione di questo tipo di incentivi. Tali contributi sono erogati nella forma di detrazione fiscale per la durata di 20 anni. Chiaramente, i contributi variano in ragione della potenza dell’impianto, ed anche del suo livello di integrazione architettonica. L’integrazione architettonica, che istintivamente potrebbe sembrare elemento di secondaria importanza, è invece degna di attenzione considerando il caso italiano: il nostro Paese infatti gode di numerosi siti urbani di elevato interesse storico, artistico e culturale, il che implica l’esistenza di numerosi tipi di vincoli e restrizioni dal punto di vista edile e impiantistico e la necessità quindi di doversi spesso interfacciare con le Soprintendenze per il territorio e i beni culturali nel momento in cui si avviano ristrutturazioni in aree di particolare interesse, come i centri storici o i parchi.

Per capire quale sia la portata e l’importanza del fotovoltaico e del solare in Italia è interessante considerare la relazione del Direttore Operativo del GSE Gerardo Montanino, che ha informato che al 31/10/2011 la potenza installata sul territorio nazionale ammontava a 11213 MW, fornita dai 291238 impianti realizzati. Facendo base anche su questi dati, l’Amministratore Delegato di Althesys, Prof. Alessandro Marangoni, ha fornito un’interessante prospettiva e previsione per il prossimo futuro *“un aumento dell’occupazione, una riduzione delle emissioni e del fuel risk e tutta una serie di benefici indotti, porteranno da qui al 2020 ad un saldo positivo di 9500 miliardi di euro”*. Il problema italiano tuttavia è anche in questo settore quello tipico delle lungaggini dei salotti politici ed economici di casa nostra, ben esposto da Roberto Vigotti, vice Presidente dell’ISES Italia: *“Nel nostro Paese ci sono almeno cinque associazioni che si occupano di fotovoltaico e si fanno la guerra come i Guelfi e i Ghibellini. All’estero non è così: c’è una sola realtà coalizzata che si interfaccia direttamente con gli organismi governativi”*.

Capitolo 4 - Solare a concentrazione

4.1 - Stato e prospettive della tecnologia

Il Solare termodinamico o solare a concentrazione (CSP: Concentrated Solar Power) utilizza l'energia solare per produrre calore ad alta temperatura in modo analogo all'impiego dei combustibili fossili nelle convenzionali centrali termiche.

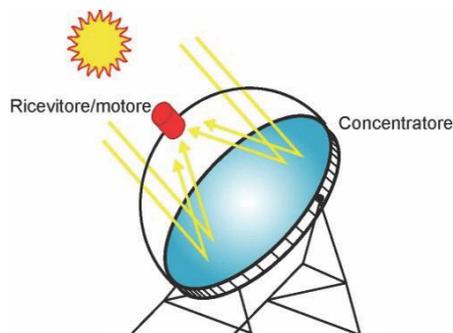
Il calore così prodotto può essere utilizzato in vari processi industriali (ad esempio desalinizzazione dell'acqua di mare, produzione di idrogeno da processi termochimici, ecc) o nella produzione di energia elettrica, riducendo in questo modo il consumo di combustibili ed eliminando le emissioni di inquinanti nell'atmosfera.

Questa tecnologia si basa sull'uso di opportuni sistemi ottici (concentratori), che raccolgono e inviano la radiazione solare diretta su un componente (ricevitore), dove viene trasformata in calore ad alta temperatura trasferito ad un fluido. Il parametro che caratterizza questi sistemi è il fattore di concentrazione. Tanto più alto è questo fattore, tanto più alta sarà la temperatura che è possibile raggiungere.

Nell'ambito degli impianti solari a concentrazione si possono identificare fondamentalmente tre diverse tecnologie, che presentano differenti situazioni di sviluppo tecnologico e commerciale:

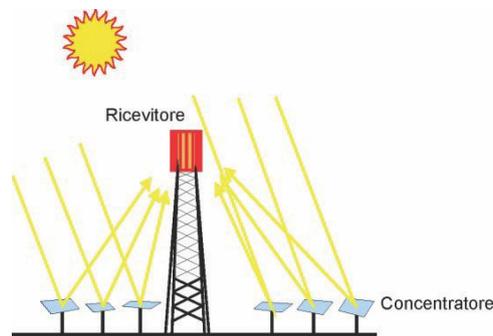
- *dischi parabolici*
- *torri solari*
- *collettori parabolici*

I *dischi parabolici* utilizzano pannelli riflettenti di forma parabolica che inseguono il movimento del sole attraverso un meccanismo di spostamento su due assi e concentrano continuamente la radiazione solare su un ricevitore montato nel punto focale. Il calore ad alta temperatura viene normalmente trasferito ad un fluido utilizzato in un motore a combustione esterna (Stirling), posizionato al di sopra del ricevitore, dove viene prodotta direttamente energia elettrica.



La forma ideale del concentratore è un paraboloide di rivoluzione; alcuni concentratori approssimano tale forma geometrica utilizzando un insieme di specchi con profilo sferico montati su una struttura di supporto.

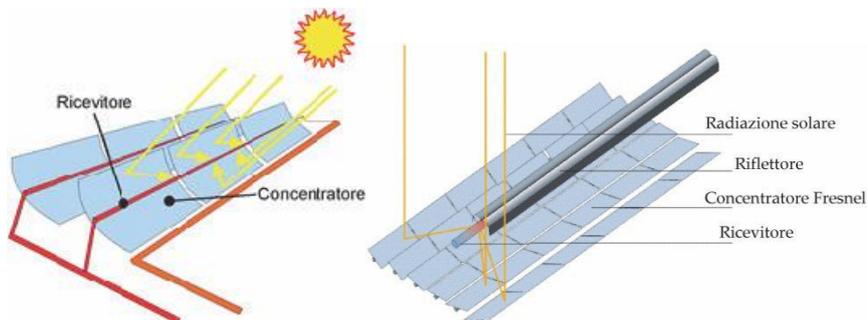
La *torre solare* utilizza pannelli riflettenti piani (eliostati) che inseguono il movimento del sole su due assi, concentrando la luce solare su un ricevitore, montato sulla sommità di una torre, all'interno del quale viene fatto circolare un fluido per l'asportazione del calore solare. Il principio di funzionamento è analogo a quello dei sistemi a dischi parabolici, con il concentratore costituito da un elevato numero di eliostrati a formare una superficie riflettente di migliaia di metri quadrati (campo solare)



I raggi solari che colpiscono ogni eliostrato vengono riflessi su un punto unico, fisso nel tempo, che funge da punto focale del paraboloide.

Nei *collettori parabolici* il concentratore ha un profilo parabolico lineare, con superfici riflettenti che inseguono il sole, attraverso un meccanismo di rotazione su un solo asse, per focalizzare la radiazione solare su un tubo ricevitore posizionato lungo il fuoco della parabola.

L'energia solare assorbita dal tubo ricevitore è trasferita ad un fluido di lavoro che viene fatto fluire al suo interno.



Un'evoluzione dei collettori parabolici lineari, è il sistema di *concentratori lineari Fresnel*. In

questo sistema il concentratore parabolico è costituito da segmenti di specchi piani disposti secondo il principio della lente Fresnel, con il tubo ricevitore posizionato nel punto focale. In questo caso la movimentazione riguarda solo il concentratore mentre il tubo ricevitore è fisso.

Per quanto riguarda le prestazioni, i sistemi con puntamento su due assi, cioè le torri e i dischi, consentono di concentrare maggiormente la radiazione solare (oltre 1000 volte contro le 100 dei sistemi ad un solo asse) e di raggiungere temperature più elevate. Ciò comporta rendimento più elevato nella produzione di energia elettrica, ma anche maggiore complessità tecnologica.

Dal punto di vista dello sviluppo tecnologico, i collettori parabolici lineari hanno raggiunto la piena maturità commerciale, anche se ci sono ancora grossi margini di miglioramento. Le altre tecnologie sono essenzialmente in fase dimostrativa o preindustriale, anche se non mancano applicazioni commerciali.

In particolare i collettori parabolici lineari hanno avuto un forte sviluppo negli anni 1980 – 1990, con la costruzione di 9 impianti, per una potenza complessiva di 354 MW, nel deserto della California. Questi impianti, denominati SEGS (Solar Energy Generating Systems) sono ancora in esercizio commerciale.

La costruzione di nuovi impianti solari termodinamici ha subito una battuta di arresto fino al 2000 quando in Spagna è iniziato un nuovo programma di sviluppo su scala industriale e nel 2001 in Italia è iniziato il progetto di ricerca dell'ENEA, finalizzato allo sviluppo e alla dimostrazione su scala industriale di impianti a collettori parabolici lineari di seconda generazione.

Gli impianti di seconda generazione si caratterizzano oltre che per le migliori prestazioni, soprattutto per il superamento dei limiti posti dall'utilizzo dell'olio diatermico come fluido termovettore. Questo fluido limita la temperatura massima di esercizio a meno di 400 °C, ed inoltre comporta rischi per la sicurezza e per l'ambiente, essendo altamente infiammabile ed inquinante.

Gli impianti a collettori parabolici di nuova generazione utilizzano miscele di sali fusi come fluido termovettore e come mezzo di accumulo termico (Progetto Archimede, Italia, 2010). Negli impianti spagnoli si continua a usare olio diatermico come fluido di scambio termico e sali fusi solo per il sistema di accumulo termico (Andasol, Spagna, 2008).

La tecnologia dei sali fusi è utilizzata da tempo in campo industriale, per esempio nei trattamenti metallurgici in forma di “bagni statici”, ma rappresenta una novità come fluido circolante in reti di notevole estensione.

Le miscele di sali fusi, principalmente nitrati di sodio e di potassio, ma anche altre composizioni a più componenti, rimangono stabili fino a circa 600 °C, non sono infiammabili, in caso di fuoriuscite

accidentali solidificano rapidamente a contatto con il terreno e sono quindi facilmente recuperabili, sono poco costose e hanno buone caratteristiche termo-fluidodinamiche inoltre consentono di realizzare sistemi di accumulo termico compatti a pressione ambiente.

A fronte di questi vantaggi, i sali fusi presentano però l'inconveniente di avere un'alta temperatura di solidificazione (tra 140 e 240 °C secondo il tipo di miscela), e quindi l'impianto dovrà prevedere opportuni sistemi ausiliari e particolari procedure operative per garantire la corretta circolazione del fluido in ogni condizione di funzionamento.

Un aspetto fondamentale delle tecnologie solari termodinamiche è la possibilità di accumulare energia in forma di calore ad alta temperatura; in questo modo è possibile disaccoppiare la raccolta dell'energia solare, legata al ciclo giorno - notte e alle condizioni atmosferiche, dalla produzione, legata invece alla domanda da parte degli utilizzatori.

Grazie al sistema di accumulo termico il solare termodinamico, pur utilizzando una fonte variabile come l'energia solare, può, entro certi limiti, essere gestito come un impianto a combustibile fossile, cioè in grado di programmare la produzione. Il limite di questa possibilità è costituito dalla capacità dell'accumulo termico, che può essere definita in sede di progetto come punto di equilibrio tra il maggior costo di impianto e il maggior valore economico dell'energia prodotta.

Un aspetto della tecnologia solare termodinamica è la disponibilità di acqua, sia per la pulizia periodica degli specchi, ma soprattutto per il raffreddamento del condensatore del ciclo vapore. Questo potrebbe sembrare un grosso limite per le applicazioni nei deserti, che costituiscono l'ambiente ideale per la loro installazione. In realtà il problema può essere superato con sistemi di lavaggio a recupero dell'acqua e sistemi di raffreddamento con torri a secco.

Attualmente la maggior parte degli impianti solari termodinamici si trovano negli Stati Uniti (49% della potenza totale installata) e in Spagna (47%).

4.2 - Case Study: Centrale Archimede

La centrale solare termodinamica Archimede, che è stata inaugurata il 14 luglio 2010 a Priolo Gargallo (Siracusa), deve il nome proprio al grande inventore che con i suoi "specchi ustori" incendiò le navi romane che assediavano la città durante la guerra punica del 212 a.C.

Si tratta di un campo solare di 30.000 m² composto da 72 collettori parabolici che concentra la luce del sole su circa 5.400 metri di tubazioni percorse da un fluido a base di sali, composto da nitrati di sodio e di potassio, in grado di accumulare calore ad alta temperatura, 550 °C, per renderlo disponibile in ogni momento della giornata e in qualsiasi condizione meteorologica.

La centrale è la prima al mondo ad usare i sali fusi come fluido termovettore ed è anche la prima al mondo a integrare un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico per la produzione di energia elettrica.



4.2.1 - Cenni storici

La centrale elettrica dell'ENEL di Priolo Gargallo (SR) fu costruita negli anni '70 ed era una comunissima centrale termoelettrica avente come combustibile l'olio minerale (petrolio); pertanto risultava altamente inquinante e i gas di scarico venivano rilasciati nell'ambiente a temperature di circa 600°C producendo gravi danni al sistema aria-acqua-suolo. Nel 2002 per ridurre l'impatto ambientale e aumentare la produzione di energia elettrica la centrale è stata convertita, diventando così un impianto a ciclo combinato con potenza erogata dal turbo gas di 256 MW e potenza erogata dal turbo vapore di 125 MW. In totale 381 MW che coprono l'esigenza energetica di circa un terzo della popolazione siciliana.

4.2.2 - Il Ciclo combinato

In un impianto a ciclo combinato viene inizialmente utilizzato metano (è il caso della centrale di Priolo) che brucia in una caldaia come combustibile e l'energia termica prodotta dalla combustione viene trasformata in energia meccanica grazie ad una turbina a gas; questa a sua volta è convertita in energia elettrica da un alternatore. I gas di scarico derivanti dalla combustione del metano hanno una temperatura di circa 600°C; l'energia termica, che un tempo andava dispersa nell'ambiente, oggi viene riciclata. Così si è risolto sia il problema dei maggiori danni causati negli ecosistemi circostanti alla centrale, sia quello afferente la dispersione di energia. Nel ciclo combinato infatti i gas di scarico della combustione del metano (o di qualsiasi altro combustibile) vengono convogliati in uno scambiatore di calore e cedono buona parte dell'energia termica in essi contenuta all'acqua

circostante contenuta in un serbatoio. L'energia così trasmessa fa sì che l'acqua si vaporizzi e il vapore ottenuto viene utilizzato per ottenere energia meccanica da una turbina a vapore. Successivamente, questa energia meccanica, verrà convertita in energia elettrica da un alternatore. Il vapore che fuoriesce dalle turbine, dopo aver ceduto gran parte del suo contenuto energetico, viene fatto condensare (trasformato in liquido), attraverso un raffreddamento che avviene per scambio termico con l'acqua di mare prospiciente l'impianto di Priolo, e inviato nuovamente nel serbatoio per essere successivamente vaporizzato. L'innalzamento della temperatura dell'acqua di mare in prossimità della zona dove avviene lo scambio termico è minima risultando così in regola con le norme ambientali intese a non sconvolgere i delicati equilibri dell'ecosistema marino, assai sensibile all'inquinamento termico. I gas di combustione che hanno ceduto, quasi totalmente, il loro calore all'acqua, ormai con ridottissimo potenziale energetico, vengono rilasciati nell'ambiente a temperature che si aggirano intorno ai 95/100°C. La produzione della centrale elettrica a ciclo combinato di Priolo è di circa 381MW, come già anticipato sopra.

4.2.3 - Impianto solare termodinamico "Archimede"

Nel luglio 2008 nella centrale elettrica "Archimede" furono avviati i lavori per la costruzione di un impianto termodinamico (progetto dell'ENEA e del Prof. Carlo Rubbia, premio Nobel per la fisica, in collaborazione con ENEL; costo dell'opera 50milioni, spesa totalmente sostenuta dalla società ENEL spa), inaugurato il 14 luglio 2010, ma in continua evoluzione.

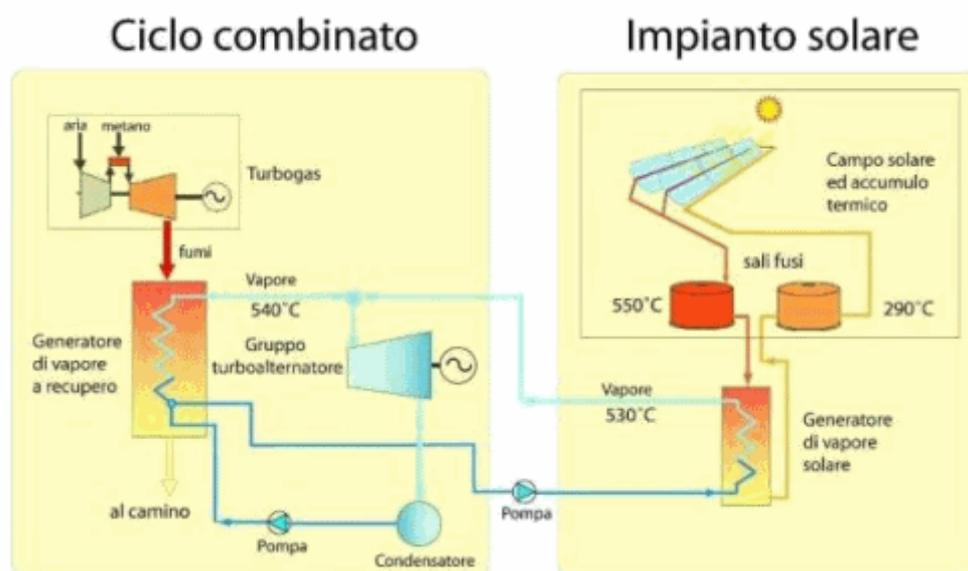
Esso prende il nome dall'omonimo matematico, fisico, astronomo nonché inventore siracusano vissuto nel III sec. a.C. E' proprio da una sua "supposta" invenzione, gli specchi ustori, che è nata l'idea del suddetto progetto. Quest'ultimo sfrutta il medesimo fenomeno, la concentrazione dell'energia termica solare mediante uso di specchi parabolici, che nel caso di Archimede fu usata per bruciare le navi dei romani invasori, nel nostro caso invece per ottenere energia elettrica.

La tecnica di produzione energetica viene considerata assai innovativa e rivoluzionaria, non tanto per il sistema che adotta, in quanto era già usato dagli statunitensi a partire dagli anni '80, ma per il fluido termovettore utilizzato; difatti nelle centrali americane degli anni '80, dette di I generazione, il fluido era costituito da olio minerale che poteva incendiarsi provocando la perdita dell'intero impianto o, in seguito ad una semplice dispersione, dar luogo ad un'alterazione irreversibile delle proprietà del suolo. Nelle centrali di II generazione, di cui l'impianto Archimede di Priolo rappresenta un prototipo, al posto dell'olio minerale si utilizza una miscela di sali fusi (60% nitrato di sodio, 40% nitrato di potassio) adoperati anche in agricoltura; questi non solo evitano il rischio d'incendi ma, in caso di dispersione nel suolo, non lo inquinano, casomai lo concimano. Inoltre,

nelle centrali di I generazione, essendo gli oli tossici ed infiammabili, per motivi di sicurezza non era possibile realizzare un serbatoio di accumulo del fluido in grado di fornire energia anche di notte.

La centrale Archimede è la prima al mondo ad usare i sali fusi come fluido termovettore ed è anche la prima al mondo a integrare un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico per la produzione di energia elettrica.

4.2.4 - Funzionamento dell'impianto



La centrale presenta degli specchi parabolici, che seguono il sole durante il moto di rivoluzione con una precisione del 10%; anche se in termini di percentuale la cattura dei raggi solari può sembrare bassa, nella pratica si riesce a ottenere una grande quantità di calore. L'energia solare viene convogliata su un tubo, situato sulla linea focale degli specchi, costituito da due cilindri coassiali separati da un'intercapedine sotto vuoto con funzione di isolante termico. All'inizio di ogni tubo troviamo una bolla "spia" di vernice di bario di colore bronzo-oro; se il tubo di vetro si danneggia e dunque entra aria, in presenza d'ossigeno il bario diventa trasparente facendo capire che il tubo è danneggiato e quindi da riparare.

Ogni tubo contiene i citati sali fusi, composti poco costosi ed a basso impatto ambientale. Inoltre, i sali sono in grado di lavorare a temperature più alte rispetto agli oli di I generazione, aumentando l'efficienza dell'impianto; a Priolo si raggiungono i 550°C, contro i 390°C delle altre centrali attualmente in funzione nel mondo.

I sali fusi vengono scaldati passando all'interno dei tubi e, dopo aver raggiunto una temperatura di 550°C, sono convogliati in un serbatoio "caldo" dimensionato in modo da accumulare l'energia termica necessaria al funzionamento del sistema anche nei periodi di mancata insolazione.

Questa energia viene utilizzata all'interno di uno scambiatore termico dove parte del calore dei sali fusi è ceduto per la generazione di vapore alla temperatura di 530°C. Lo scambio di energia termica abbassa la temperatura del fluido termovettore che viene raccolto in un serbatoio "freddo" a 290°C prima di essere nuovamente immesso nel ciclo. Il vapore generato con questo sistema è utilizzato all'interno di un turbo alternatore per la produzione di energia elettrica che, a questo punto, può essere immessa in rete. Nel caso in cui non fosse disponibile lo sfruttamento dell'energia solare per diversi giorni, la produzione di elettricità sarebbe garantita dal descritto ciclo combinato a gas.

Dati tecnici e statistici

DATI	VALORE	UNITÀ DI MISURA
Potenza ciclo combinato	381	MW
Potenza turbogas	256	MW
Potenza turbina vapore	125	MW
Rendimento impianto	56,5	%
Minimo tecnico ambientale	170	MW
Limiti emissioni NOx	30	mg/Nmc
Limiti emissioni CO	50	mg/Nmc
Petrolio risparmiato annualmente	13.000	ton.
Emissioni CO2 evitate annualmente	6.300	ton.
Superficie	100.000	m ²
Potenza installata	5	MW

Inizialmente la potenza prevista per l'impianto termodinamico Archimede era di 20 MW ma, a causa della tipologia del suolo (argilloso) a disposizione, che diede problemi statici nella fase costruttiva, si decise di ripiegare su un impianto con minor potenza.

Capitolo 5 - Energia eolica

L'energia eolica è l'energia posseduta dal vento. L'uomo ha impiegato la forza del vento sin dall'antichità per navigare e per muovere le pale dei mulini, utilizzati per macinare i cereali, per spremere olive o per pompare l'acqua. Solo da pochi decenni l'energia eolica viene impiegata per produrre elettricità. La parola "eolica" deriva da Eolo, dio greco del vento, il cui nome "aiolos" significa "veloce".

L'energia elettrica si ottiene sfruttando l'energia cinetica del vento che fa girare le pale di un'elica; queste a loro volta sono collegate ad un generatore che trasforma l'energia meccanica (rotazione delle pale) in energia elettrica. Questi moderni mulini a vento sono chiamati aerogeneratori.

5.1 - Come si forma il vento

Il vento è un fenomeno atmosferico dovuto al riscaldamento del Sole. La Terra cede all'atmosfera il calore ricevuto dal Sole, ma non lo fa in modo uniforme. Nelle zone in cui viene ceduto meno calore la pressione dei gas atmosferici aumenta, mentre dove viene ceduto più calore, l'aria diventa calda e la pressione dei gas diminuisce. Si formano così aree di alta pressione e aree di bassa pressione, influenzate anche dalla rotazione della Terra. Quando diverse masse d'aria vengono a contatto, la zona dove la pressione è maggiore tende a trasferire aria dove la pressione è minore. Succede la stessa cosa quando lasciamo sgonfiare un palloncino. L'alta pressione all'interno del palloncino tende a trasferire l'aria verso l'esterno, dove la pressione è più bassa, dando luogo a un piccolo flusso d'aria. Il vento è dunque lo spostamento d'aria, più o meno veloce, tra zone di diversa pressione. E tanto più alta è la differenza di pressione, tanto più veloce sarà lo spostamento d'aria, tanto più forte sarà il vento.

5.2 - Come si misura il vento

Un vento viene descritto attraverso due parametri: la forza (che è in relazione alla velocità) e la direzione. Tutti abbiamo potuto sperimentare che il vento non è costante, cambia forza e direzione.

La direzione di provenienza si può osservare mediante una banderuola lasciata libera di orientarsi.

Per classificare il vento in base alla sua direzione si usa definirlo col luogo da cui proviene. A volte si prende spunto dalla provenienza geografica (Grecale se viene dalla Grecia, Libeccio se viene dalla Libia, Scirocco se viene dalla Siria), altre volte, come nella "Rosa dei Venti", viene indicato con i punti cardinali (vento di Nord-Est, vento di Sud-Ovest).

La forza del vento può essere indicata o con la misura della sua velocità, e cioè in nodi, che corrispondono alle miglia orarie (1 nodo = 1 miglio orario = 1,85 chilometri orari), o attraverso la scala proposta da Francis Beaufort.

La velocità si misura con l'anemometro, una semplice girandola esposta alla forza del vento: si va a misurare la velocità di rotazione.

5.2.1 - Anemometro a coppe

Fra i più usati, il più semplice anemometro è quello a coppe, in cui il vento, soffiando sulle coppe, le pone in rotazione attorno a un asse verticale; un contatore elettrico o meccanico, misura il numero di giri che esse eseguono in un certo intervallo di tempo. Mediante opportune tabelle di taratura è possibile risalire alla velocità del vento.

5.2.2 - La circolazione dei venti

Gli spostamenti di masse d'aria sono dovuti al riscaldamento solare e, in particolare, alla differenza (gradiente) di temperatura esistente tra le zone equatoriali e quelle tropicali. L'irraggiamento solare delle zone equatoriali è maggiore rispetto a quello delle zone tropicali. L'aria equatoriale, più calda e quindi meno densa, tende a salire richiamando aria fredda dalle zone tropicali. Giunta in corrispondenza dei tropici, l'aria calda si raffredda e comincia a scendere. E così via in un continuo ricircolo equatore-poli e viceversa. In assenza di altri fattori, la circolazione dei venti sulla Terra avrebbe un andamento regolare di questo tipo.

5.2.3 - Fattori che influenzano la circolazione dei venti

In realtà, altri fattori di tipo geografico-astronomico intervengono nella circolazione dell'aria, modificandone l'andamento. L'inclinazione dell'asse terrestre e la rivoluzione della Terra intorno al Sole, spostano stagionalmente le fasce di maggior irraggiamento tra i due tropici. Inoltre, la rotazione della Terra contribuisce all'alternarsi dell'irraggiamento solare e la sua superficie, scarsamente omogenea, ha una diversa capacità di assorbimento e scambio del calore. La rotazione della Terra induce inoltre un altro fattore fondamentale per la comprensione della circolazione dei venti: l'accelerazione di Coriolis, che conferisce alle masse d'aria una componente rotatoria o a spirale. Altri fattori importanti per la determinazione della direzione e dell'intensità del vento, sono la forza d'attrito della superficie terrestre, per vincere la quale la corrente d'aria consuma energia, e la presenza di catene montuose, che bloccano o deviano la traiettoria del vento.

5.3 - Il vento e la rugosità del terreno

La velocità del vento dipende, oltre che da parametri atmosferici, anche dalla conformazione del terreno. Più un terreno è rugoso, cioè presenta variazioni brusche di pendenza, boschi, edifici e montagne, più il vento incontrerà ostacoli che ridurranno la sua velocità.

Per definire la conformazione di un terreno sono state individuate quattro classi di rugosità:

- classe di rugosità 0: suolo piatto come il mare, la spiaggia e le distese nevose
- classe di rugosità 1: suolo aperto con terreni non coltivati a vegetazione bassa e aeroporti
- classe di rugosità 2: aree agricole con rari edifici e pochi alberi
- classe di rugosità 3: suolo rugoso in cui vi sono molte variazioni di pendenza del terreno, boschi e paesi

In generale la posizione ideale di un aerogeneratore è in un terreno appartenente a una bassa classe di rugosità.

5.4 - Descrizione dell'impianto eolico

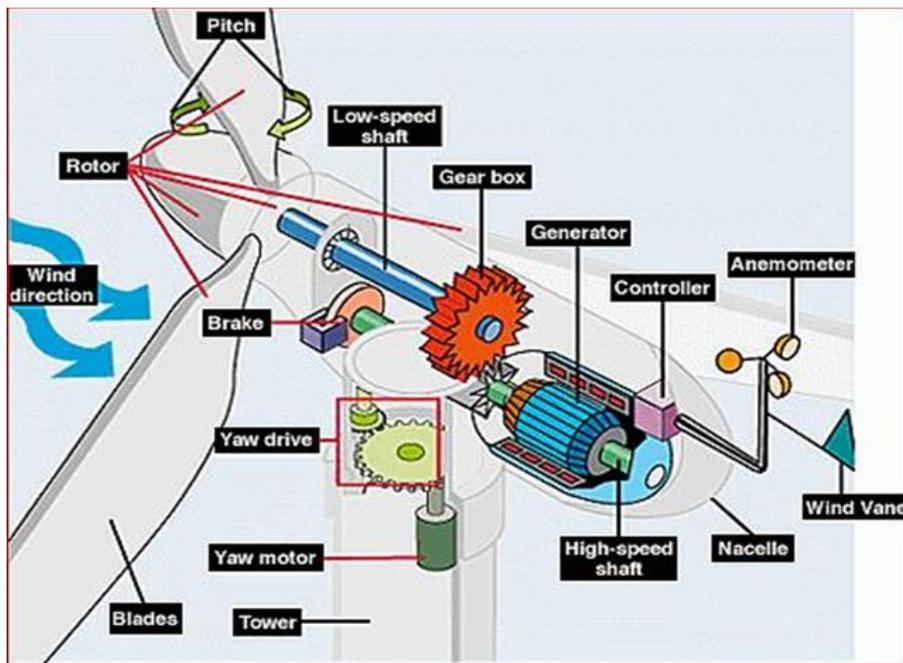
Un impianto eolico è costituito da uno o più aerogeneratori posti ad adeguata distanza gli uni dagli altri così da non interferire dal punto di vista aerodinamico tra loro e secondo un disegno sul territorio in funzione dell'esposizione al vento e dell'impatto visivo (su file, a gruppi, ecc.).

Gli aerogeneratori sono collegati, mediante cavi interrati alla rete di trasmissione presso cui viene realizzato il punto di consegna dell'energia.

Una tipica macchina eolica, al di là delle particolarità dei modelli e degli sviluppi tecnologici apportati in modo differenziato da alcune aziende costruttrici, è composta come di seguito descritto. Le pale della macchina (comunemente in numero da uno a tre) sono fissate su di un mozzo e, nell'insieme, costituiscono il rotore.

Il mozzo, a sua volta, è poi collegato ad un primo albero - albero lento - che ruota alla stessa velocità che ruota invece con velocità angolare data dal prodotto di quella del primo albero per il moltiplicatore di giri.

Sull'albero veloce è poi posizionato un freno, a valle del quale si trova il generatore elettrico, da cui si dipartono i cavi elettrici di potenza.



Schema di un aerogeneratore

Tutti questi elementi sono ubicati in una cabina detta navicella o gondola la quale a sua volta è posizionata su di un supporto-cuscinetto, orientabile in base alla direzione del vento. La navicella è poi completata da un sistema di controllo di potenza e da uno di controllo dell'imbardata.

Il primo ha il duplice scopo di regolare la potenza in funzione della velocità del vento istantanea, così da far funzionare la turbina il più possibile vicino alla sua potenza nominale, e di interrompere il funzionamento della macchina in caso di vento eccessivo. Il secondo invece consiste in un controllo continuo del parallelismo tra l'asse della macchina e la direzione del vento.

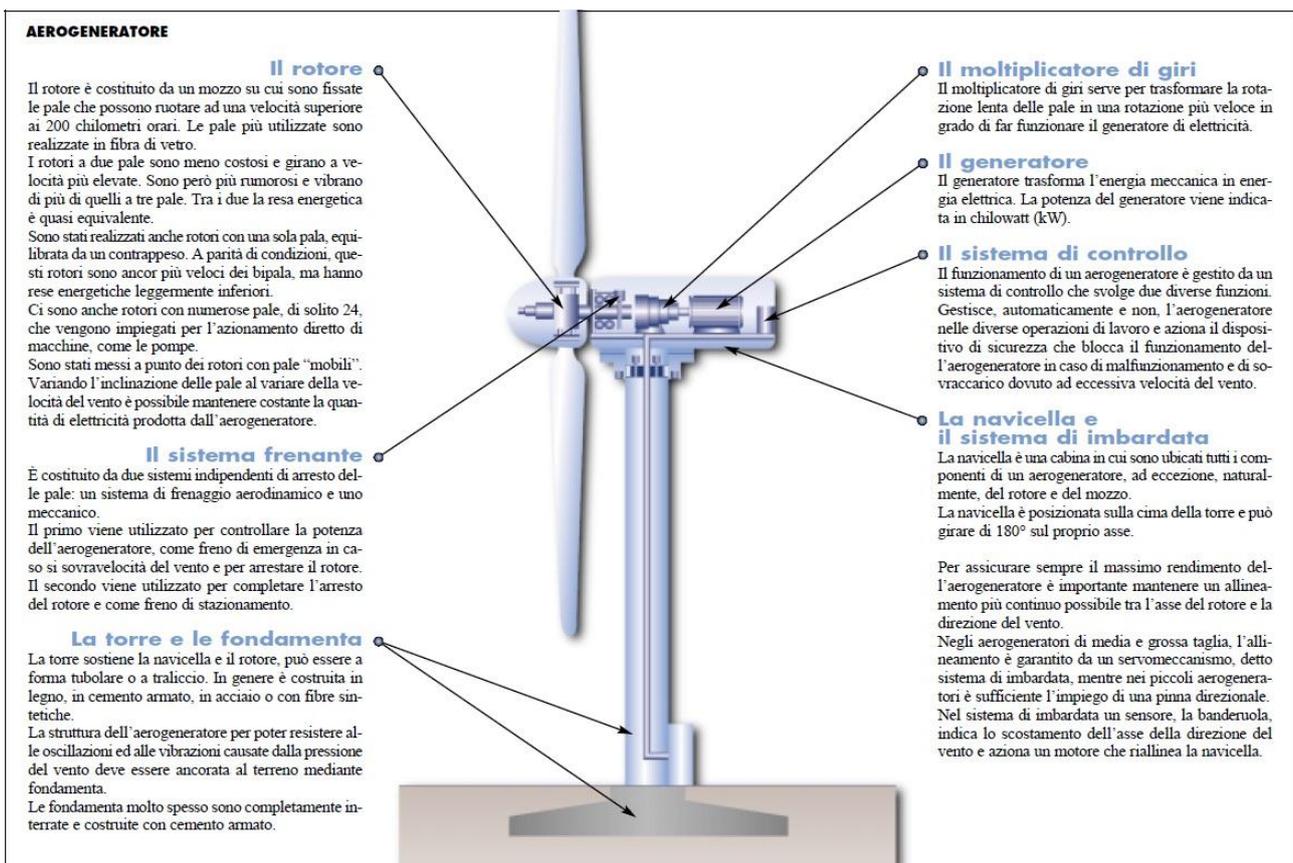
L'intera navicella è poi posizionata su di una torre che può essere a traliccio o tubolare conica, ancorata al terreno tramite un'opportuna fondazione in calcestruzzo armato.

Gli aspetti caratteristici che differenziano una tipologia di macchina da un'altra, indipendentemente dalla taglia di potenza e quindi di dimensione, sono i seguenti:

- sistema di controllo della potenza: a passo o a stallo
- velocità del rotore: costante o variabile
- presenza o assenza del moltiplicatore di giri

Dal punto di vista delle tipologie di impiego, le turbine eoliche possono attualmente essere raggruppate in due grandi categorie:

- *le macchine per la produzione di energia elettrica da immettere in rete:* sono di solito anche quelle di maggiore potenza (da circa 600 kW fino a circa 2 MW, pur se iniziano ad affacciarsi sul mercato macchine ancora più potenti) e che hanno contribuito maggiormente allo sviluppo del settore eolico a livello mondiale. Il loro impiego prevalente è la realizzazione di impianti a terra o a mare (impianti off-shore), costituiti da più macchine (in genere 10-20 in Italia) e collegati alla rete di media-alta tensione.
- *le macchine per la produzione di energia per l'alimentazione di utenze isolate:* sono mediamente più piccole (al massimo 100-200 kW) ed utilizzate singolarmente in sistemi che prevedono una qualche forma di accumulo energetico (accumulatori elettrici o sistemi idraulici) o l'integrazione con altre fonti primarie di energia (generatori diesel, fotovoltaico, ecc.).



5.4.1 - Le wind farm onshore

Più aerogeneratori collegati insieme formano le wind farm, le “fattorie del vento”, che sono delle vere e proprie centrali elettriche. Una wind farm è costituita da un gruppo di turbine eoliche situate nello stesso luogo, interconnesse tra loro da una rete di collegamento a medio voltaggio, che raccoglie l’energia prodotta da ciascuna turbina e la convoglia ad una stazione di raccolta, dove un trasformatore converte la corrente elettrica a medio voltaggio in corrente ad alta tensione e la immette nel sistema di trasmissione e distribuzione. Una grande wind farm può consistere di dozzine di generatori eolici, fino a più di cento turbine singole, e copre un’area di diversi km²: poiché, però, l’area occupata dai singoli generatori eolici è molto piccola, tutte le zone tra una turbina e l’altra possono essere destinate ad altro uso, come, per esempio, l’agricoltura o l’allevamento di bestiame. Nelle wind farm la distanza tra gli aerogeneratori non è casuale, ma viene calcolata per evitare interferenze reciproche che potrebbero causare diminuzioni di produzione di energia. Di regola gli aerogeneratori vengono situati ad una distanza di almeno cinque-dieci volte il diametro delle pale. Nel caso di un aerogeneratore medio, con pale lunghe circa 20 metri, questo significa installarne uno ogni 200 metri circa.

Gli USA possiedono il maggior numero di wind farm, seguiti dalla Germania, dalla Spagna e dalla Danimarca, con l’Italia al quarto posto, seguita poi da Gran Bretagna, Portogallo Francia e Irlanda. La più grande wind farm onshore (cioè, situata su terraferma) del mondo è quella di Roscoe, in Texas, con 627 turbine e una capacità di 781 MW. La più grande in Europa è in funzione a Glasgow (Scozia), con 140 turbine, che forniscono energia a 180.000 abitazioni, con una potenza installata di 322 MW.



5.4.2 - *Le wind farm offshore*

Le wind farm più recenti tendono ad essere situate offshore, cioè in mare, lontano dalle coste, dove è possibile sfruttare i forti venti che soffiano, senza essere rallentati da ostacoli, sulla superficie dei mari, degli oceani, ma anche di grandi laghi. I costi di realizzazione e di manutenzione di wind farm offshore sono molto più elevati di quelle onshore, a causa dei costi di trasporto dei materiali, delle difficoltà costruttive, dei problemi di ancorare le torri al fondale (tecnicamente, con una profondità massima di 200 m, ma in genere non più di 20 m e a non più di 20 km dalla costa, per tenere bassi i costi) e dei problemi legati alla corrosione ad opera delle acque marine sulle strutture, ma i vantaggi in termini di produttività sono molto elevati. Sulla superficie di mari e oceani, infatti, i venti non trovano ostacoli e soffiano con velocità maggiori e con maggior costanza. Il posizionamento offshore di grandi wind farm risolve anche i problemi di impatto estetico e acustico, poichè le torri sono situate oltre la linea dell'orizzonte visibile, ad almeno 3 km dalla costa, e anche i problemi ambientali legati al pericolo costituito dalle torri per gli uccelli, rapaci e migratori in particolare, e per i pipistrelli sono molto più limitati. Le centrali in mare rappresentano, inoltre, un'utile soluzione per quei paesi densamente popolati e con forte impegno del territorio che si trovano vicino al mare.

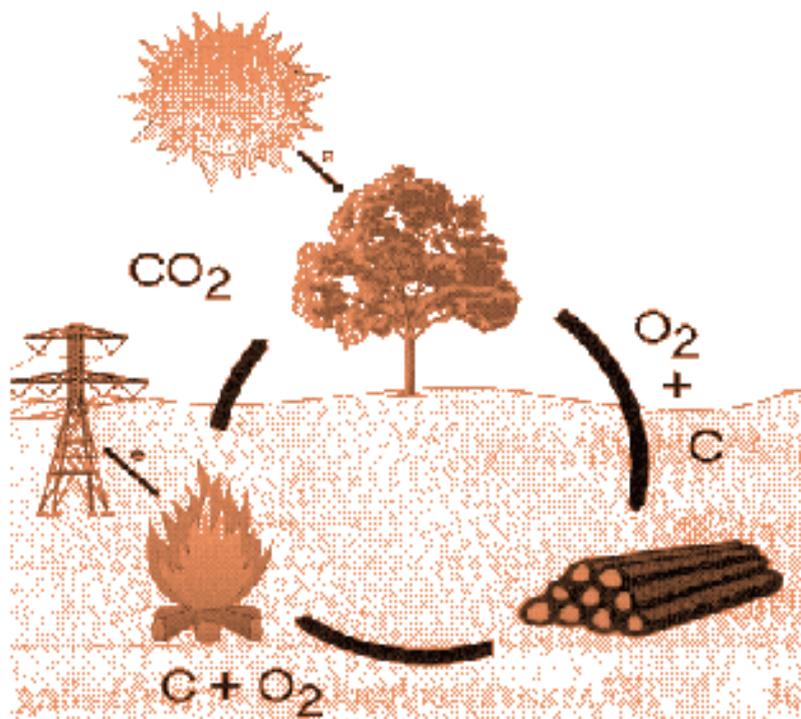
Alcuni ricercatori sostengono persino che la creazione di piattaforme e sistemi di piloni e cavi sottomarini potrebbe creare, nel tempo, zone di ripopolamento e di biodiversità sui fondali, come accade per le pile e gli ancoraggi delle piattaforme petrolifere. Gli impianti offshore rappresentano quindi, secondo la maggior parte degli esperti del settore, il vero futuro dell'energia eolica, sia in termini ambientali sia di potenziale produttivo.

Danimarca e Regno Unito possiedono il maggior numero di wind farm offshore, seguiti da Olanda e Svezia. Attualmente la maggiore wind farm offshore si trova di fronte alle coste del Kent in Gran Bretagna (Thanet Wind Farm): è costituita da 100 turbine per una potenza installata di 300 MW.

Vi sono grandi progetti per l'eolico offshore: il Regno Unito ha pianificato di illuminare ogni abitazione del Paese con energia prodotta da wind farm offshore entro il 2020, il Canada sta progettando la realizzazione di wind farm offshore nella regione dei Grandi Laghi, e una delle più grandi wind farm offshore del mondo, denominata London Array, verrà costruita nell'estuario del Tamigi, con una potenza installata di 630 MW (che diventeranno poi 1 GW), e fornirà energia a 750.000 abitazioni, circa ¼ delle case di Londra, tramite 341 turbine situate a 12 miglia dalla costa.



Capitolo 6 – Energia da biomassa



Per “biomassa” s’intende tutto ciò che ha matrice organica e che, essendo ad alto contenuto di carbonio, è perciò portatore di una grande energia chimica che si sprigiona nella combustione. Le principali tipologie di biomassa sono ad ogni modo residui forestali, scarti dell’industria di trasformazione del legno, scarti delle aziende zootecniche e rifiuti solidi urbani.

6.1 - Le fonti di biomassa

Sulla Terra ci sono molti esseri viventi e molto materiale organico (cioè proveniente da esseri viventi): tutto ciò può essere considerato fonte di biomassa.

Le piante costituiscono la fonte più comune di biomassa. Sono state utilizzate sotto forma di legno, torba e paglia per migliaia di anni, ma oggi il mondo occidentale fa molto meno affidamento su questo combustibile ad alto potere energetico. Questo dipende dall’opinione generale che il carbone, il petrolio o l’energia nucleare siano più puliti, più efficienti e maggiormente in linea con il progresso e la tecnologia. Tuttavia quest’opinione non è corretta. Le piante possono essere coltivate appositamente per la produzione di energia o possono essere raccolte dall’ambiente naturale. Nella foto è rappresentata una foresta pluviale; questi ecosistemi tropicali sono specializzati nella produzione di una vasta quantità di biomassa da un suolo povero.

Le piantagioni di solito usano tipi di piante capaci di produrre una gran quantità di biomassa in tempi brevi e in modo sostenibile. Si può trattare di alberi (come pini ed eucalipti) o altre piante a crescita veloce (come canna da zucchero, mais o soia).

Possono essere usati per la produzione di energia anche rifiuti industriali che contengono biomassa. Ad esempio, la melma che resta dalla produzione di alcolici (nota come vinaccia) può essere lavorata per produrre gas infiammabile. Altri rifiuti utili comprendono gli scarti della produzione di cibi e la lanugine dall'industria tessile e cotoniera.

I rifiuti agricoli, infine, sono una fonte potenziale di grandi quantità di biomassa. Essi comprendono gli scarti dei raccolti (tra cui quelli della selvicoltura), le produzioni danneggiate o in eccesso e lo sterco animale. Se i residui e gli scarti di produzione di canna da zucchero, selvicoltura e grano, oltre al letame, fossero convertiti in energia, si potrebbe soddisfare con essi il 30% della richiesta mondiale.

6.2 - Come la biomassa può diventare una fonte di energia

Il modo più semplice per estrarre energia dalla biomassa è darle fuoco. Nel Terzo Mondo questo uso della biomassa non è controllato e costituisce certamente una grossa porzione dell'energia prodotta da biomassa nel mondo, la quale costituisce il 15% dei consumi energetici mondiali. Un problema che presenta questo sistema è la sua poca efficienza. Con un fuoco aperto, infatti, la maggior parte dell'energia termica prodotta viene sprecata, piuttosto che essere utilizzata per cuocere o per altri scopi. Un modo di migliorare l'efficienza del focolare, nei paesi in via di sviluppo, è la costruzione di cucine con fango e pezzi di ferro.

Tuttavia, bruciare la biomassa non è l'unico modo di trarne energia, ma si può procedere anche per gassificazione o fermentazione.

6.2.1 - Gassificazione

Questo processo produce una mistura gassosa infiammabile di idrogeno, monossido di carbonio e metano, oltre ad altri prodotti non infiammabili. Questo risultato viene ottenuto in parte bruciando la biomassa e in parte facendola cuocere (utilizzando il calore della combustione parziale) in presenza di carbone (un sottoprodotto naturale della combustione di biomassa). Il gas così ottenuto può essere usato per esempio al posto della benzina e riduce la potenza di uscita dell'autoveicolo del 40%. È possibile che in futuro questo carburante divenga una tra le fonti di energia principali per gli impianti elettrici.

6.2.2 - Fermentazione

Per ottenere energia dalla biomassa attraverso la fermentazione esistono due diversi modi.

Il primo consiste nell'aggiungere un opportuno "cocktail" di batteri alla biomassa ed acqua in un contenitore sigillato (in modo che non vi entri ossigeno). Il prodotto della fermentazione è principalmente metano (un gas infiammabile, lo stesso che si usa per il riscaldamento e la cucina in casa), un eccellente combustibile. Questo processo elimina la biomassa dall'acqua e può quindi essere utilizzato anche in un impianto di depurazione.

Se la biomassa usata proviene invece da (o può essere trasformata in) zucchero, allora si può aggiungere lievito. La fermentazione che segue produce alcool, che è un combustibile ad alto potere energetico e quindi molto indicato per alimentare autoveicoli.

6.3 - Qualche dato più preciso

Una pianta nel corso della sua vita accumula energia e CO₂, richiede poca energia di produzione come materiale da costruzione e costa poca energia grigia se utilizzato come combustibile. Un metro cubo di legno assorbe, durante la sua crescita, 1.000 Kg di Biossido di carbonio (CO₂); dopo circa 50 anni un albero costituisce una buona riserva di Carbonio ma una volta che questa è ultimata inizia ad assorbire sempre meno CO₂ e a produrre meno Ossigeno (O₂). Diventa inoltre più vulnerabile ad insetti, funghi e soggetto a facile rottura; la sua funzione di collettore biologico si fa sempre più ristretta, quindi un albero non più efficiente biologicamente deve essere abbattuto.

Dal punto di vista energetico un metro cubo di legno può essere convertito in 2500 kWh, mentre se utilizzato come materiale da costruzione circa il 75% può essere tagliato in legni squadrati, mentre il restante 25% di scarto può essere utilizzato come combustibile ottenendo 625 kWh.

Per abbattere, trasportare, segare e piallare un metro cubo di legno occorrono circa 660 kWh di energia, dei quali 200 kWh per il processo meccanico e il resto usato termicamente per l'essiccazione. Ciò significa che utilizzando l'energia contenuta negli scarti per alimentare il processo di produzione e lavorazione, il bilancio energetico è quasi in pari.

Se poi si considera che la maggior parte del processo di essiccazione può essere effettuato impiegando tecnologie solari, il bilancio diventa attivo.

6.4 - I rischi derivanti dall'uso della biomassa

Quando la biomassa è riconosciuta come la principale risorsa energetica di una regione, diviene difficile fornire sufficiente materia prima. Questo è vero sia se parliamo di una grossa centrale

elettrica che di migliaia di cucine a legna. Se la risorsa (la vegetazione locale o i rifiuti organici) non è gestita ed utilizzata in modo efficiente, presto essa sparirà. Una gestione efficiente significa anche assicurarsi che la biomassa non venga utilizzata ad un ritmo maggiore di quello della sua crescita. Significa ancora massimizzare la produzione di biomassa (ad esempio ripiantando le foreste tagliate). Se questo non avviene, ne risulta la deforestazione.

VANTAGGI	SVANTAGGI
È molto abbondante, se ne trova praticamente dappertutto sotto le più svariate forme	Per ottenere alta qualità e rendimento sono necessarie tecnologie avanzate che ancora scarseggiano
Grazie alla possibilità di rimboschimento, è rinnovabile	V'è carenza di un preciso piano operativo nel settore
È facilmente convertibile in combustibili ad alto potere energetico quali l'alcool ed il gas	Gli attuali strumenti di mercato sono inadeguati
È economica	Le procedure autorizzate sono anche molto travagliate
Con la sua produzione si possono rigenerare aree disboscate	
Può sfruttare le zone inutilizzate dell'agricoltura e creare occupazione che non richiede specializzazione nelle comunità rurali	
Se prodotta da risorse rinnovabili (piante), non provoca un aumento dei livelli di CO ₂ (per la fotosintesi)	
Produce pochissimo zolfo, riducendo così la produzione delle piogge acide	

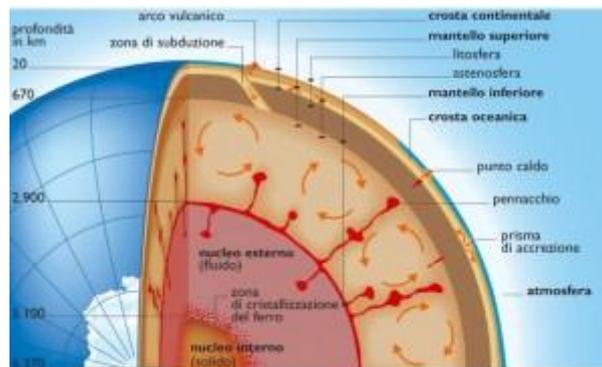
In conclusione, la biomassa è una fonte di energia ancora agli albori, che ha bisogno di essere conosciuta di più (gran parte dell'opinione pubblica ne ignora addirittura l'esistenza), ma che offre comunque grandi prospettive per quanto riguarda l'inquinamento, che conoscerebbe, con un più largo utilizzo della biomassa come fonte di energia, un forte calo.

Capitolo 7 - Energia geotermica

La geotermia consiste in tutto ciò che riguarda l'energia che può essere estratta sotto forma di calore dal sottosuolo. Questa energia scambiata con il terreno può essere impiegata in campo civile nella climatizzazione e rappresenta una importante fonte di energia rinnovabile.

All'interno del nostro pianeta la temperatura al di sotto della crosta terrestre varia a seconda della profondità:

- Nucleo: $\approx 6000^{\circ}\text{C}$ circa 3500 km di raggio
- Mantello: $\approx 1300^{\circ}\text{C}$ circa 3000 km di raggio
- Crosta Terrestre: $< 100^{\circ}\text{C}$ dai 5 ai 50 km di profondità



L'elevata temperatura presente nel nucleo terrestre è dovuta in parte al decadimento degli isotopi radioattivi naturali e in parte all'isolamento termico prodotto dal mantello sovrastante. La temperatura quindi aumenta in modo continuo dalla crosta fino al nucleo con un gradiente termico di circa 3°C ogni 100 m di profondità.

In genere a 500 m di profondità, le rocce hanno una temperatura di $25-30^{\circ}\text{C}$, e di $35-45^{\circ}\text{C}$ a 1000 m di profondità; poi in particolari condizioni geologiche (presente attività vulcanica, ecc) possono essere superati i 200°C .

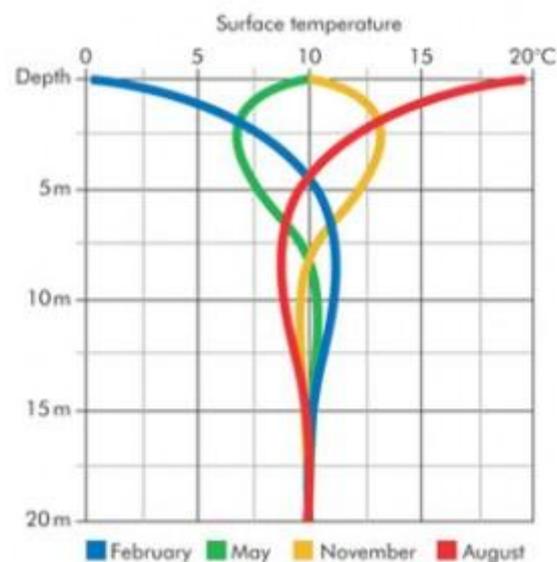
Il primo strato di terreno superficiale separa quello sottostante dalle variazioni di temperatura che avvengono in ambiente aperto. Il terreno infatti accumula il calore raccolto ed attenua le fluttuazioni di temperatura esterna man mano che si scende in profondità: già nei primi metri, la temperatura del terreno si avvicina ad un valore prossimo alla media annuale della temperatura dell'aria mentre sotto i 15 m circa la temperatura si mantiene sempre costante.

I sistemi di riscaldamento e raffreddamento con pompe di calore geotermiche sfruttano il fatto che la temperatura del terreno, già a pochi metri di profondità, ha oscillazioni limitate durante l'arco

dell'anno o, addirittura, si mantiene quasi costante: questa è una caratteristica comune a qualsiasi località del pianeta.

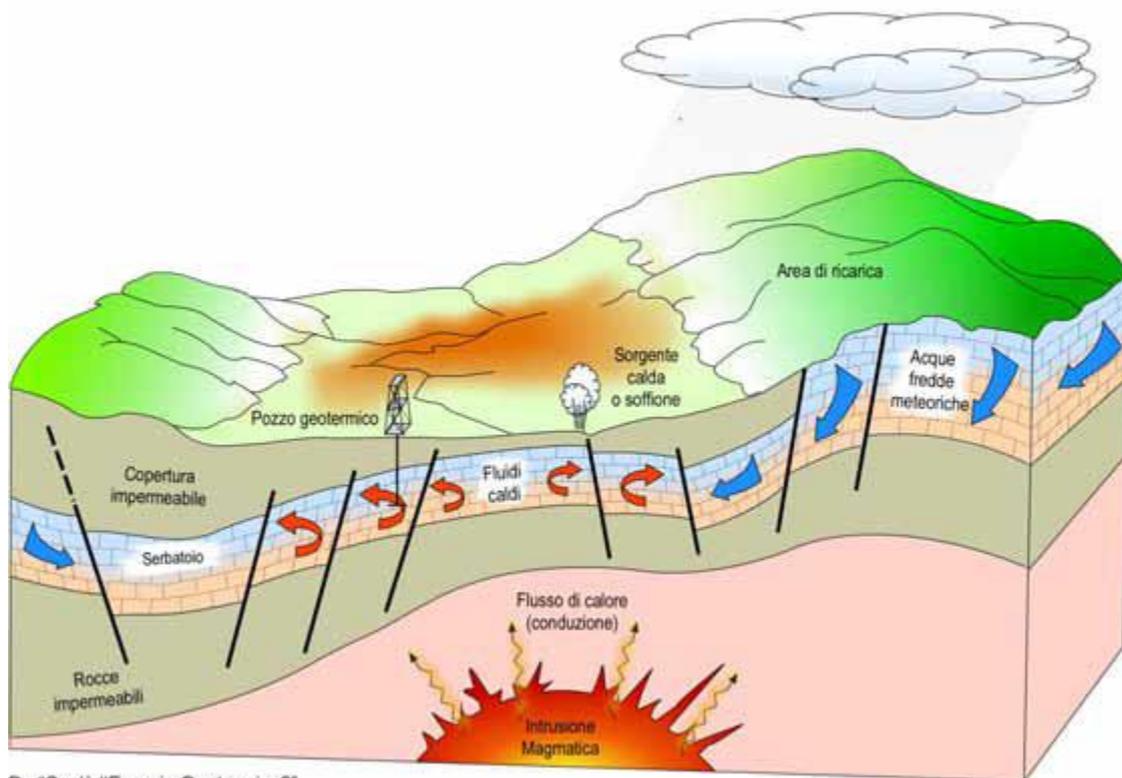
La costanza della temperatura del suolo comporta un duplice effetto benefico: durante l'inverno il terreno si trova a temperature relativamente più calde dell'aria esterna; durante l'estate la temperatura è più bassa di quella dell'aria.

Nel diagramma sottostante è riportato un esempio schematico di come varia la temperatura del terreno nelle varie stagioni in una località a clima mite ipotizzando una temperatura media annuale dell'aria pari a 10°C.



Nella gran parte dei casi la geotermia utilizzata, cosiddetta convenzionale, è quella dei sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua, la quale muovendosi a partire dalla superficie della crosta terrestre all'interno di uno spazio confinato raggiunge zone calde profonde caratterizzate da un'anomalia termica e determina risalendo un trasferimento del calore profondo in superficie o a profondità economicamente raggiungibili.

L'utilizzo convenzionale dell'energia geotermica è identificato dalla suddivisione in due categorie principali: risorse ad alta entalpia impiegate per produzione di energia elettrica e risorse a bassa entalpia impiegate per usi diretti ed a scopo di riscaldamento. Le possibilità di utilizzo dell'energia geotermica a temperature inferiori a quelle comunemente utilizzate per la produzione geotermoelettrica sono notevoli e spaziano dalle comuni terme ai sempre più frequenti utilizzi diretti per scopi agroalimentari, florovivaistici ed industriali.



Da "Cos'è l'Energia Geotermica?"
 IGA
<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=it>

7.1 - Teleriscaldamento

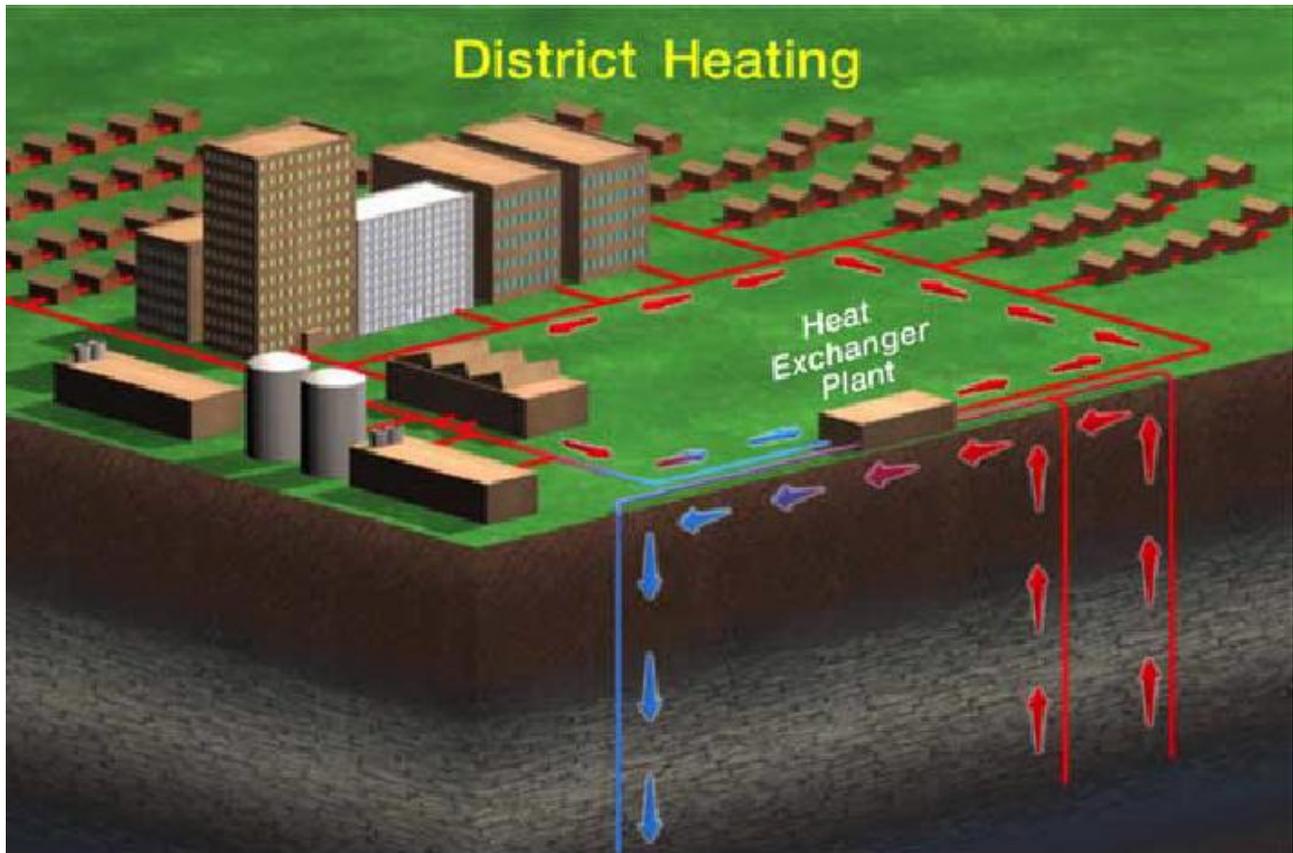
Il riscaldamento geotermico convenzionale utilizza direttamente gli acquiferi del sottosuolo con temperature comprese fra 30 e 150° C. Esso permette sia di fornire calore per il riscaldamento domestico sia di produrre acqua calda sanitaria mediante scambiatori di calore posti all'interno delle singole costruzioni o centralizzati.

Il teleriscaldamento geotermico consiste nell'usare il fluido geotermico per scaldare direttamente, tramite degli scambiatori di calore, l'acqua circolante nei corpi scaldanti (radiatori, termoconvettori o pannelli radianti) dell'impianto di riscaldamento delle abitazioni.

I locali necessari per una centrale di teleriscaldamento geotermico sono contenuti nei volumi e possono essere mimetizzati in ambito cittadino, anche perché nel sistema non sono coinvolti combustibili e il fluido utilizzato non ha temperature tali da creare pressioni pericolose.

Un impianto del genere è quello di Ferrara nel quale si utilizza un pozzo geotermico situato a 2000 metri di profondità, sviluppa una potenza di 12 MW termici con i quali vengono riscaldati circa 500.000 m³ di alloggi collegati alla rete.

Altro esempio è la rete realizzata in Toscana nei comuni di Castelnuovo Valdicecina, Monterotondo Marittimo e Pomarance, che, complessivamente, fornisce calore a oltre 3000 utenze (per un totale di oltre 915.000 metri cubi riscaldati), con un risparmio complessivo annuale di oltre 5200 tonnellate di petrolio.



Hot water from one or more geothermal wells is piped through a heat exchanger plant to heat city water in separate pipes. Hot city water is piped to heat exchangers in buildings to warm the air.

Slide 90 of 122, ©2000 Geothermal Education Office

7.2 - Il condizionamento geotermico

Il condizionamento di ambienti (riscaldamento e raffreddamento) con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80, a seguito dell'introduzione nel mercato e della diffusione delle pompe di calore.

Negli ultimi anni l'esigenza di rinfrescare gli edifici d'estate oltre che riscaldarli d'inverno sta portando alla diffusione di un'unica "macchina" in grado di soddisfare entrambi i fabbisogni termici: la pompa di calore reversibile.

Per spiegare cos'è la pompa di calore si deve ricorrere ai principi della termodinamica: è noto che il trasferimento di calore avviene in modo spontaneo da un corpo caldo a uno più freddo, mentre il processo inverso può verificarsi solo con l'apporto di energia dall'esterno. Quindi la pompa di calore è una macchina che preleva calore da una sorgente "fredda" a temperatura T_0 (aria, terreno, acqua) per cederlo ad un altro ambiente detto "sorgente calda" a temperatura T_1 .



La macchina è in grado quindi di somministrare una quantità di calore Q_0 da una sorgente a bassa temperatura (aria, acqua di falda, lago o terreno) e di trasferirla alla sorgente calda in quantità $Q_1 = Q_0 + L$ (per esempio l'aria ambiente, l'acqua calda sanitaria o l'acqua del circuito di riscaldamento) a spese di lavoro esterno (energia elettrica per il funzionamento dei compressori).

Per effettuare il trasferimento del calore fra le due sorgenti (calda e fredda) si utilizza un fluido frigorifero che mediante evaporazione (passaggio da liquido a gas) è in grado di prelevare il calore Q_0 per cederlo all'ambiente da climatizzare ad un livello termico più alto Q_1 mediante processo di condensazione (passaggio da gas a liquido).

Affinché possa avvenire questo processo bisogna utilizzare un fluido frigorifero che abbia un determinato campo di lavoro: ad esempio un fluido che evapora a temperatura inferiore ai -10°C con pressione superiore a quella atmosferica e che condensi a $40-50^{\circ}\text{C}$ a pressioni più alte.

I diversi sistemi di pompe di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, ecc.

7.3 - Produzione di energia elettrica geotermica

Il calore sotterraneo non viene utilizzato direttamente per la produzione di energia, ma attraverso una massa d'acqua che scambia ed estrae il calore immagazzinato nelle rocce (sistemi idrotermali).

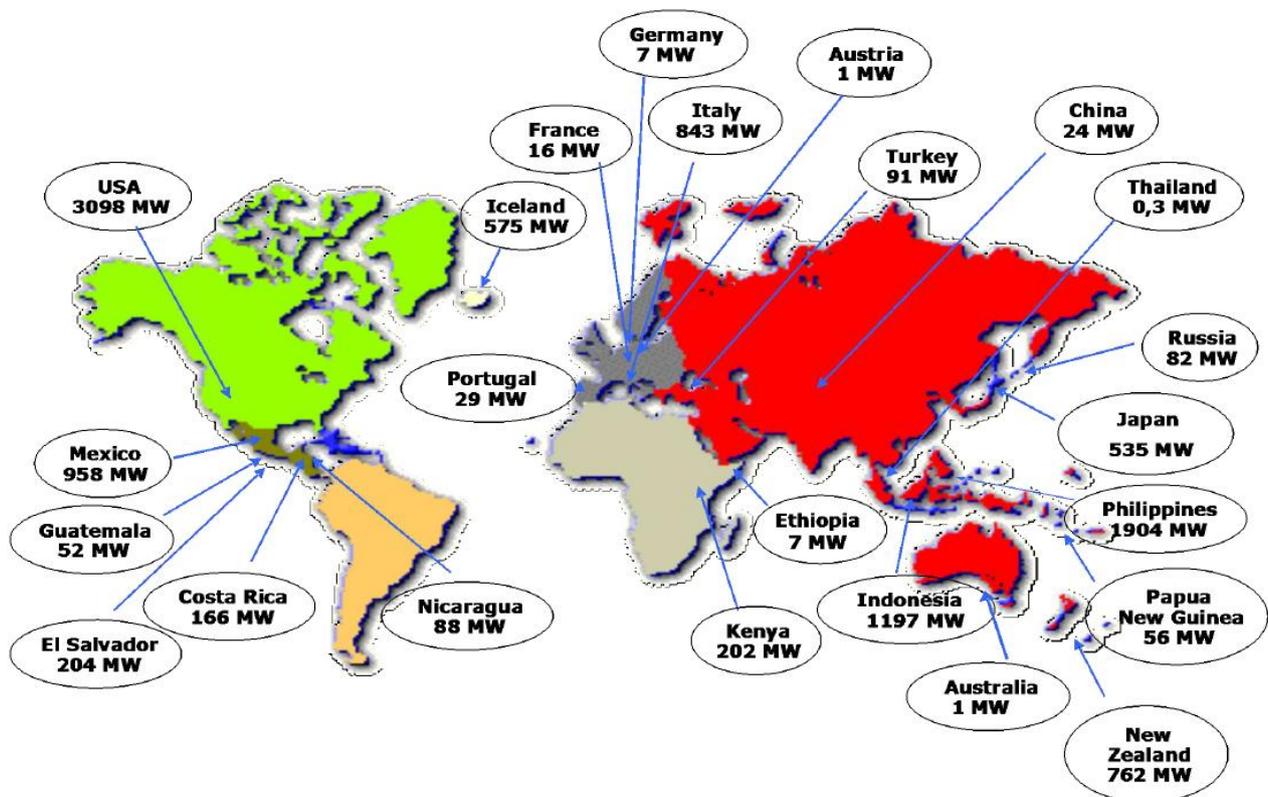
La potenza elettrica è prodotta dalla conversione di energia termica immagazzinata nella massa d'acqua in energia meccanica attraverso una turbina, direttamente (tecnologia convenzionale flash) o indirettamente (tecnologia binaria), ed infine in energia elettrica grazie al generatore.

La produzione di elettricità da impianti geotermici convenzionali consiste nella conversione del calore proveniente da acquiferi a media e alta temperatura (da 90°C a 350°C) attraverso l'utilizzo di turbogeneratori.

Tasso di conversione: 10 MWt (termico) → 1 MWe (elettrico)

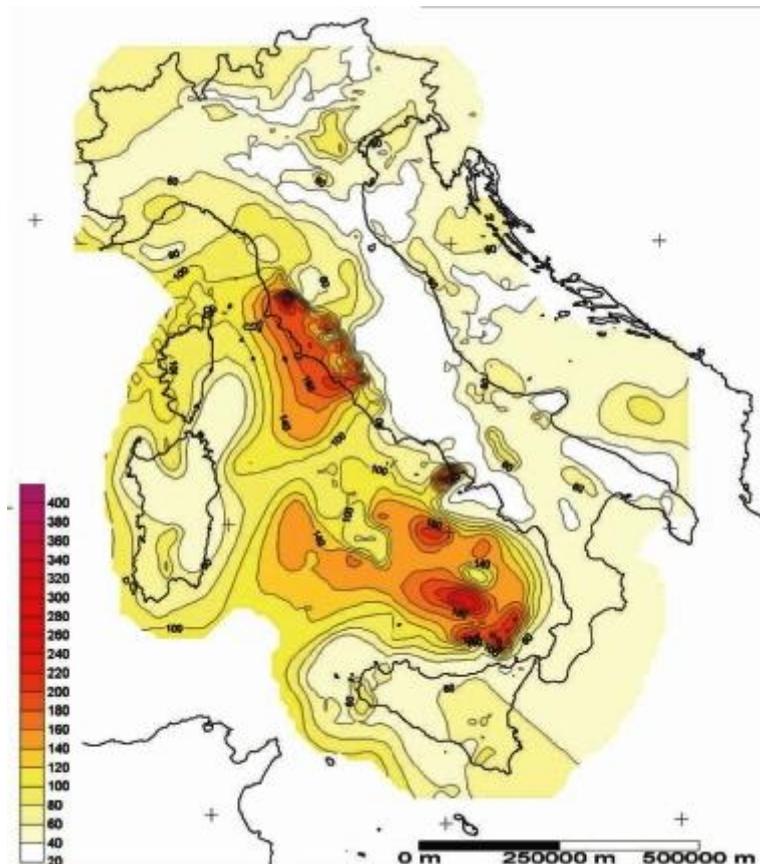
La produzione di 1 MWe richiede:

- 7 -10 t/h di vapore secco
- 30-40 t/h di fluido bifase a 200-250°C (tecnologia flash)
- 400 -600 t/h di acqua se si utilizzano cicli binari ORC a bassa entalpia (120-160°C)



2010 Mondo geotermico: 10,9 GW

7.4 - Energia geotermica in Italia



La mappa delle aree di interesse geotermico in Italia

L'Italia è il paese geotermicamente più "caldo" di tutta l'Europa, cosa testimoniata dai numerosi vulcani, dai soffioni boraciferi, dalle sorgenti termominerali.

Al 2000 la potenza installata era di 785 MWe (l'1,5% della produzione elettrica totale del paese); mentre per gli usi diretti era di 324,6 MWt dei quali il 41% utilizzato per il riscaldamento, il 28% per usi termali, il 22% per le serre, il 9% per i processi industriali e l'1% per l'orticoltura.

Le prime applicazioni della geotermia si sono avute proprio nel nostro paese ed in particolare a Larderello (Toscana) dove esistevano evidenti manifestazioni geotermiche; infatti, già dal 1777 veniva utilizzato l'acido borico delle acque geotermiche della zona e nel 1827 si ha la prima vera utilizzazione in forma diretta dell'energia geotermica il cui calore veniva usato, al posto della legna, per l'evaporazione dell'acqua da cui estrarre l'acido borico.

Nel 1904 nasce la geotermoelettricità, vennero accese delle lampade tramite una dinamo azionata da una macchina a vapore da 0.75 CV, alimentata da un soffione. Tra il 1905 ed il 1936 vengono

migliorate le tecniche di perforazione e si arriva ad una potenza elettrica installata di 73 MW; dagli anni venti, proprio da Larderello, si estende a tutto il mondo l'interesse per la geotermia.

Dagli anni Settanta viene dato un notevole impulso all'esplorazione in tutte le aree italiane, cosa che porta all'individuazione di diverse aree geotermiche e di altri due campi ad alta entalpia, oltre a quello di Larderello, presso Latera nel Lazio e Mofete in Campania.

7.4.1 - Produzione di energia elettrica in Toscana



In Toscana esistono due principali aree geotermiche: Larderello-Travale/Radicondoli e Monte Amiata, entrambe posizionate nella Toscana meridionale. A causa di problemi ambientali e tecnici, la centrale geotermoelettrica di 40 MW installata a Latera, nel Lazio settentrionale, è stata dismessa e questo campo geotermico attualmente non è utilizzato.

Dopo il primo esperimento di sfruttamento geotermico portato avanti a Larderello nel 1904, il primo impianto per la produzione di energia elettrica (250 kW) fu messo in opera nel 1913, e la produzione elettrica da fonte geotermica è da allora aumentata continuamente fino al valore attuale.

I serbatoi geotermici utilizzati nelle aree di Larderello-Travale/Radicondoli e del Monte Amiata sono due: un serbatoio superficiale all'interno di livelli cataclastici delle rocce carbonatiche-

evaporitiche delle unità Toscane il quale produce un vapore surriscaldato, ed un serbatoio più profondo, molto più esteso, caratterizzato da un sistema di rocce metamorfiche fratturate posto ad una profondità maggiore di 2 km. All'interno del serbatoio profondo del campo di Larderello-Travale/Radicondoli a vapore-dominante (mentre nell'area dell'Amiata è ad acqua dominante) si riscontrano valori di 20 MPa e 300-350°C a 3 km.

Larderello e Travale/Radicondoli sono due parti adiacenti dello stesso campo profondo che ricoprono un'area vasta con l'estensione di circa 400 km²: questo grande serbatoio profondo ha la stessa temperatura (300-350°C) e pressione (4-7 MPa) ovunque. Il tasso di produzione di vapore è di 850 kg/s a Larderello e 300 kg/s a Travale/Radicondoli. L'area utilizzata a Larderello copre circa 250 km², con 180 pozzi e 21 unità con 562,5 MW di potenza installata; nell'area a sud-est il campo di Travale-Radicondoli copre circa 50 km², con 22 pozzi che alimentano sei unità di 160 MW di potenza installata. L'acqua condensata da Travale è reiniettata nel campo di Larderello attraverso un sistema di tubazioni lungo 20 km.

L'area del Monte Amiata include due campi geotermici ad acqua dominate: Piancastagnaio e Bagnore. Attualmente ci sono 5 unità con 88 MW di potenza installata: una a Bagnore e quattro a Piancastagnaio.



Centrale di Larderello

Conclusioni

Le energie rinnovabili vengono sempre più viste dagli Stati, specie in tempi di congiuntura economica come questo, non solo come una necessaria soluzione per raggiungere gli obiettivi del protocollo di Kyoto, ma anche come un'occasione sia per rilanciare la ricerca e l'economia del paese, coinvolgendo un (ottimisticamente) sempre maggior numero di aziende e di privati, che per godere anche di un qualche riflesso mediatico per l'attenzione rivolta dai tecnici e dai dirigenti della politica ai temi dell'ecologia e delle nuove tecnologie.

Gli incentivi offerti dallo Stato italiano concretizzano, di fatto, una prospettiva di risparmio per chi ne usufruisce installando nelle proprie pertinenze degli impianti fotovoltaici, però il costo degli impianti in sé risulta ancora difficilmente affrontabile da molte delle famiglie, specie nel meridione, e da gran parte delle piccole e medie imprese. Dovendo guardare più in “casa nostra” che in “casa” di Paesi con condizioni differenti dal nostro e che si possono permettere uno sviluppo più marcato, non si può trascurare il fatto che viviamo in un periodo in cui sono purtroppo frequenti non solo le aziende che chiudono per fatturato troppo basso, ma perfino i suicidi di imprenditori che non vedono i propri crediti saldati o che vivono in una condizione di pressione fiscale eccessiva per i propri orizzonti. Sarebbe quindi saggio auspicare in un “buon governo” in cui gli incentivi, l'utilizzo consolidato di fonti di energia rinnovabile, la progettazione e costruzione di centrali all'avanguardia, siano il naturale, più che necessario, percorso di completamento di crescita di un Paese in ripresa, che vede il suo substrato fatto di piccole e medie imprese, e prima ancora di singoli individui, occupato ed impegnato in maniera univoca per la crescita sia economica che tecnologica. Guardare ai trend degli altri Paesi “amici” per cercare di raggiungere degli obiettivi energetici investendo risorse finanziarie ed umane abbinate per progettare impianti innovativi e di sicuro interesse tecnico e scientifico (caso della centrale Archimede, ad esempio), non sarà realmente utile al caso italiano se non si troverà la maniera per far sì che tali “impianti-campione” vengano costruiti in più ampia scala e con maggior contributi.

In altre parole, finanziare il singolo piccolo impianto fotovoltaico di una abitazione avrà un beneficio limitato alla famiglia che ha potuto permettersi di affrontarne il costo dell'installazione, ma il vantaggio che ne trarrà l'intero Paese non sarà così rilevante. Va ricordato inoltre che non è dato sapere o prevedere per quanto tempo durerà l'erogazione di tali incentivi.

È altresì vero che le vigenti normative prevedono che in caso di manutenzione extra-ordinaria, ristrutturazione oppure costruzione ex-novo di edifici residenziali, si risponda a requisiti di risparmio energetico importanti (spessore del cappotto, impianti fotovoltaici...) ma anche in questo

caso si vede interessata una nicchia di cittadini: dato che, ancora una volta, bisogna in “casa nostra” fare i conti con una pesante crisi del mercato immobiliare e con gli ancora alti costi di materiali e installazioni, si rischia di vedere aumentato il numero di persone che non potranno permettersi una casa o, peggio, che costruiranno dimore con materiali di scarsa qualità rischiando di incorrere in pericoli o danneggiamenti in caso di emergenze, anche di tipo naturale.

Bisognerebbe, insomma, con un’umiltà decisamente poco pertinente alla politica italiana, ammettere i propri limiti, e non arrischiarsi a fare previsioni che impegnino economicamente tutta la nazione, sapendo quanto fragile ne sia il substrato. Il rischio è di continuare a vederci come un Paese sanzionato, il che pesa ancora di più sulle ipotesi di ricrescita economica nazionale.

Analizzando questi elementi si può concludere affermando che la questione delle energie rinnovabili è, nel caso italiano, materia più da economisti che da tecnici e da ecologisti. Non essendoci più molta riserva di combustibili fossili, l’unica alternativa sono, per forza di cose, le energie rinnovabili, ma nel caso italiano prima di buttarvisi a capofitto sono necessarie delle misure di risanamento più generali. Pertanto, per salvare l’equilibrio ecologico, economico e politico mondiale, in una crisi nazionale che mina le basi dello Stato generando paure e insicurezze negli individui, sarà necessario cercare e trovare un compromesso che coinvolga i singoli individui in un progetto, direi quasi corale, per un nuovo sviluppo di un Paese deciso finalmente a guardare al futuro e ad interfacciarsi con gli altri Stati in un mondo ormai globalizzato e indirizzato a nuove frontiere.

Bibliografia e sitografia

Antonio Luque, Steven Hegedus - "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering" Wiley, 2003.

Tom Markvart, Luis Castafier "Practical Handbook of Photovoltaics - Fundamentals and Applications" Elsevier Ltd, 2003.

John A.Duffie "Solar Engineering of Thermal processes" Jhon Wiley & Sons, 3rd Edition

www.enea.it

www.enel.it

www.gse.it

www.solaridea-fotovoltaico.it

www.eniscuola.net

Si ringrazia la Dott.ssa Roberta Giacometti per la gentile consulenza chimica.