



ISFOA
ISTITUTO SUPERIORE DI FINANZA ED ORGANIZZAZIONE AZIENDALE
LIBERA E PRIVATA UNIVERSITA' INTERNAZIONALE

Zugo



CH

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA

VALUTAZIONE DELLE FONTI ENERGETICHE PER UN FUTURO SOSTENIBILE

RELATORE

Prof. Stefano Masullo

CANDIDATO

Antonella Monaco

Anno Accademico 2022/23

Indice

Introduzione.....	4
Capitolo 1 : Le basi dell'energia	8
• 1.1 Fonti primarie e fonti secondarie	8
• 1.2 Classificazione delle fonti rinnovabili e fonti non rinnovabili.....	12
• 1.3 Fonti non rinnovabili.....	14
• 1.4 Modelli matematici previsionali.....	18
• 1.5 Indice di Sostenibilità : EROEI.....	23
• 1.6 Previsioni di sviluppo delle fonti energetiche.....	26
• 1.7 Impatto ambientale delle tecnologie energetiche	30
Capitolo 2 : Le Energie Rinnovabili	35
• 2.1 Parametri di valutazione.....	35
• 2.2 Energia dall'acqua : Idroelettrico.....	36
• 2.3 Energia del vento : Eolico.....	43
• 2.4 Energia dal sole Fotovoltaico- Solare Termico.....	51
• 2.5 Energia dalla Terra : Geotermico.....	66
• 2.6 Energia da Biomasse	75
• 2.7 Accumulo di energia	82
• 2.8 Efficienza Energetica.....	86
Capitolo 3 : Conclusioni.....	88
Bibliografia.....	93
Sitografia.....	95

*" Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia,
a mio marito che mi ha sostenuto in questo percorso,
al mio papa' , ed in particolare alla mia dolce mamma
che dal cielo continua a proteggermi"*

Introduzione

La parola energia deriva dal greco *energheia*, forza in atto. Guardando la vita dal punto di vista di colui che si interessa di energia tutto si riassume in una continua trasformazione. L'origine principale dell'energia che trasformiamo è il sole, il quale a sua volta trasforma l'energia dell'atomo di idrogeno, di cui è composto, in energia luminosa e radiante. L'energia solare accumulata da piante e animali in molte complesse trasformazioni di fissazione del carbonio, si è trasformata nelle ere passate nei giacimenti fossili di petrolio, carbone e gas naturale. L'uso di un'energia di questo tipo, accumulata in migliaia di anni da processi lentissimi e non replicabili, genera preoccupazione per due motivi legati al loro esaurimento da un lato, e gli effetti che il loro utilizzo stanno avendo ed avranno sull'ambiente dall'altro. Su quest'ultimo argomento, ormai da anni si dibattono nazioni e governi, visto che si procede verso una conclamata e dimostrata crisi ambientale che interesserà le generazioni a venire. L'uso dei combustibili fossili produce anidride carbonica che immessa nell'atmosfera aumenta il naturale effetto serra della Terra, ampliando il flusso termico solare che riscalda la Terra. Inoltre tra gli altri prodotti della combustione vi sono inquinanti vari che peggiorano la qualità dell'ambiente e generano problemi sanitari.

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 tipo 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 , 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. A tal proposito, una famosa frase dello sceicco Yamani, fondatore dell' Opec, prediceva che "la fine dell'era del petrolio non sarebbe arrivata per esaurimento delle scorte ", intendendo dire che l'industria petrolifera deve temere non tanto l'esaurimento quanto il salto tecnologico,ovvero le differenti tipologie di energie che sono a disposizione che potrebbero essere un' alternativa ai combustibili fossili.allora sorge spontanea una domanda : *qualè sara' l' energia piu' giusta per guidare la transizione ecologica ?*

Nella risposta a tal quesito , c'è il lavoro di questa tesi , ovvero la **valutazione delle fonti energetiche ,primarie e secondarie, rinnovabili e non rinnovabili , concentrando l'attenzione sulle Rinnovabili** , che potranno essere nostra fonte d' approvvigionamento per il futuro, selezionate sulla base di un progetto ragionato e a lungo termine che fonda il suo percorso di sviluppo su cinque parametri ben definiti : Economia, Efficienza, Ambiente, Disponibilita', Versatilita' .

- **Economia** : quanto costa produrre energia usando quella specifica fonte
- **Efficienza** : quanta energia viene prodotta e quanto territorio viene occupato dagli impianti
- **Ambiente** : quanto la filiera e' accettabile
- **Disponibilità** : quanto la tecnologia è disponibile e di facile realizzazione
- **Versatilità** : quanto è facile integrare l'energia prodotta in un sistema economico e sociale come il nostro

Riflettere su questi cinque principi con un approccio integrato consente il raggiungimento di due obiettivi paralleli: si sfruttano in particolare i risultati più a portata di mano delle abbondanti tecnologie delle energie rinnovabili che sono più vicine alla competitività del mercato preservando al tempo stesso la visione strategica a lungo termine che prevede la fornitura di opzioni redditizie per un futuro a bassa emissione di carbonio. L'obiettivo principale di un approccio integrato è quello di raggiungere una transizione fluida verso l'integrazione delle energie rinnovabili nei mercati di massa. Ciò richiederà inoltre una profonda evoluzione dei mercati che stanno cambiando la situazione attuale - caratterizzati da un prezzo inadeguato del carbonio e da altri aspetti esterni, visto che la maggior parte delle energie rinnovabili richiedono sussidi economici, e ulteriori barriere non economiche che impediscano la diffusione delle tecnologie delle energie rinnovabili - in un sistema energetico futuro in cui le tecnologie delle energie rinnovabili possano competere con altre tecnologie energetiche ad armi pari. Il mercato evoluto dovrebbe assegnare un prezzo adeguato al carbonio e ad altri elementi esterni e aiutare a sviluppare un'infrastruttura che consenta di ospitare l'integrazione delle tecnologie delle energie rinnovabili su vasta scala. Dopo aver raggiunto questo obiettivo, per le tecnologie delle energie rinnovabili saranno necessari pochi o zero incentivi, e la loro diffusione sarà accelerata dalla domanda dei consumatori e dalle forze generali del mercato .

Recentemente, valutazioni formulate sia dall'A.I.E. (Agenzia Internazionale dell' Energia) sia da altri organismi hanno dimostrato che sarà necessario un ampio ventaglio di tecnologie delle energie sostenibili per affrontare la sfida insita nella transizione verso un approvvigionamento energetico pulito, affidabile, sicuro e competitivo. Le fonti energetiche rinnovabili (RES) e le relative tecnologie (RET) possono giocare un ruolo importante nel conseguimento di questo obiettivo. Alcune delle tecnologie delle energie rinnovabili (RET) sono prossime a diventare commerciali, e dovrebbero essere introdotte per prime su larga scala. Altri tipi di RET, pur presentando un elevato potenziale, sono meno mature e richiedono una visione a lungo termine. Per ridurre il loro costo sarà necessario coordinare gli sforzi nel campo della ricerca, sviluppo e dimostrazione (RD&D), e applicare gli insegnamenti in materia di tecnologia derivanti dalla loro introduzione sul mercato. Ciononostante, è importante ribadire che i miglioramenti dell'efficienza energetica costituiscono, di fatto, il maggiore potenziale di risparmio di emissioni di carbonio a costo minimo se non negativo in tutti i settori economici, e con risultati immediati. Entro il 2030, si prevede che le RET contribuiranno al 29% della produzione di energia e al 7% della produzione di combustibili da trasporto in base alle *Previsioni mondiali sull'energia (WEO)* .Entro il 2050, il contributo delle rinnovabili potrebbe aumentare ulteriormente fino a quasi il 50% dell'elettricità,

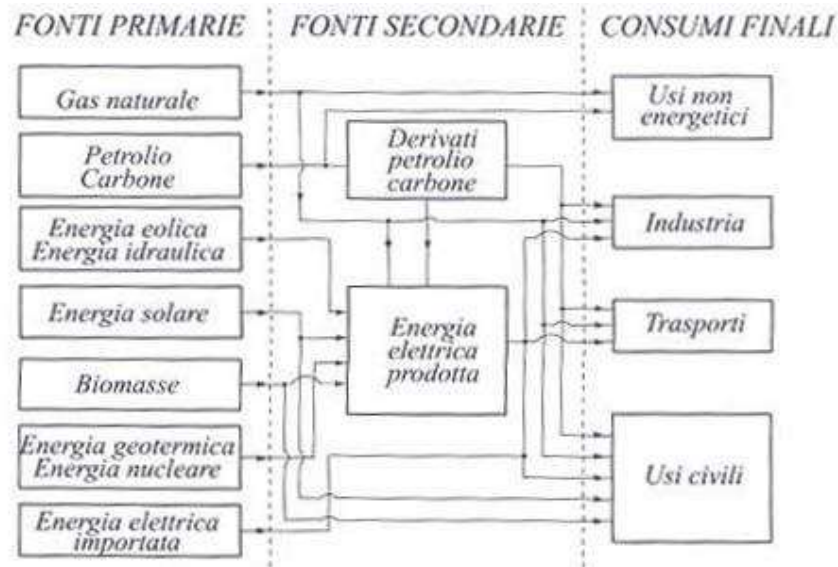
Capitolo 1 : Le basi dell' energia

1.1 Fonti Primarie e Fonti Secondarie

Prima di addentrarci nel complicato mondo dell' energia , dobbiamo dare alcune definizioni fondamentali . Le fonti energetiche sono risorse dalle quali è possibile ottenere energia e si dividono in due categorie : fonti Primarie e fonti Secondarie

- **Fonti Primarie** : sono quelle disponibili in natura e che possiamo utilizzare direttamente per produrre energia . Esse producono "Energia Primaria" .
- Esempi : petrolio, gas naturale, carbone ,energia solare, energia dal vento, uranio
- **Fonti secondarie** : sono quelle non disponibili in natura e la loro produzione richiede la trasformazione delle fonti primarie ed un certo spreco (non conversione) di energia . Esse producono" Energia Secondaria"
- Esempi : energia elettrica, benzine e sottoprodotti del petrolio, idrogeno, carburanti artificiali.

Nelle trasformazioni tra energie primarie ed energie secondarie, e nello sfruttamento finale delle fonti energetiche, occorre impiegare diversi "vettori", ovvero mezzi, apparecchiature e fluidi che consentano il trasporto dell'energia; in senso figurato, tra i vettori si annovera anche l'elettricità e quindi l'energia elettrica è considerata, allo stesso tempo, un vettore ed una fonte di energia. Una schematizzazione abbastanza completa dell'attuale sistema energetico è quella mostrata di seguito dove i trasferimenti dell'energia, prima dai "luoghi di origine" ai "luoghi di trasformazione" e poi ai "consumi finali", sono realizzati da vettori, rappresentati come linee ideali di collegamento.



Nelle statistiche sui fabbisogni d'energia primaria non compare, ovviamente, l'energia elettrica secondaria dal momento che essa è prodotta a partire dalle fonti primarie combustibili (già considerate in altre voci). Infine, per usare un metro comune e per disporre, allo stesso tempo, di un'unità di misura adeguatamente grande, le fonti primarie sono valutate in termini di "Tonnellate di Petrolio Equivalenti" (TEP). Poiché il potere calorifico inferiore del petrolio è assunto convenzionalmente pari a circa 10.000 kcal/kg, si ha con buona approssimazione:

$$1 \text{ tep} = 10^3 \text{ kg ep} = 10^3 \times 10000 = 10^7 \text{ kcal} = 11.630 \text{ kWh}$$

Di conseguenza, poiché nelle statistiche internazionali il potere calorifico inferiore del carbone fossile è assunto convenzionalmente pari a circa 7000 kcal/kg, una "Tonnellata Equivalente di Carbone" (TEC) ha valore energetico pari a circa:

$$1 \text{ tec} = 10^3 \text{ kg ec} = 10^3 \times 7000 = 7.0 \times 10^6 \text{ kcal} = 0.700 \text{ tep}$$

Analogamente, poiché il potere calorifico inferiore del gas naturale è assunto convenzionalmente pari a 8250 kcal/m³, mille metri cubi di gas naturale hanno valore energetico pari a circa :

$$10^3 \text{ m}^3 \text{ gas naturale} = 10^3 \times 8250 = 8.25 \cdot 10^6 \text{ kcal} = 0.825 \text{ tep}$$

A titolo d'esempio, i fabbisogni italiani d'energia, riferiti alle fonti primarie, possono essere quantificati come in tabella :

Anno	1973		2003		2013		2017	
Fonte	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
Combustibili solidi	10,2	7,3	15,4	7,9	14,2	8,2	10,4	6,1
Petrolio	105,3	75,3	90,8	46,8	58,3	33,7	57,7	34,0
Gas naturale	14,3	10,2	63,8	32,9	57,4	33,2	61,5	36,3
equiv. term. en. el. primaria								
• Idro-geo-rin	9,2	6,5	12,8	6,6	33,8	19,5	31,7	18,7
• nucleare	0,7	0,5	-	-	-	-	-	-
• importazioni nette	0,2	0,2	11,2	5,8	9,3	5,4	8,3	4,9
TOTALE	139,8	100,0	194,0	100,0	173,0	100,0	169,7	100,0

Come si vede, le politiche di risparmio energetico e la crisi economica (che ha causato il trasferimento all'estero, o la chiusura, d'industrie ad alta intensità energetica) hanno portato il risultato di ridurre del 13 % il fabbisogno negli ultimi 20 anni. La domanda di fonti primarie è ancora concentrata sulle fonti fossili (petrolio e gas naturale), anche se la domanda di fonti rinnovabili è notevolmente cresciuta negli ultimi decenni. Si è mostrato che le fonti primarie combustibili sono generalmente trasformate, prima dell'utilizzazione, in fonti secondarie.

Naturalmente le manipolazioni comportano consumi e perdite energetiche: si pensi, ad esempio, alla raffinazione del petrolio, alla distillazione del carbone ed alla stessa movimentazione di tutti i combustibili.

Persino una fonte primaria "pronta all'uso", come il gas naturale, deve essere convogliata dai pozzi d'estrazione fino ai bruciatori utilizzando, ad esempio, metanodotti e reti di distribuzione cittadine.

Quindi l'industria del gas naturale, come le altre, richiede energia per i compressori e gli ausiliari e sconta perdite di materia prima a causa delle tenute non perfette delle tubazioni.

Nella tabella seguente sono illustrati i percorsi, dai "fabbisogni" ai "consumi", compiuti dalle fonti primarie combustibili.

Bilancio energetico italiano nel 2020, espresso in Mtep e riferito ai consumi finali diretti di fonti primarie combustibili

Fonte	Fabbisogno	Consumi e perdite settore energetico	Trasformazione in energia elettrica secondaria	Consumi finali diretti
Combustibili solidi	14,2	0,2	11,1	2,9
Petrolio	58,3	3,8	2,5	52,0
Gas naturale	57,4	1,5	16,9	39,0
TOTALE	129,9	5,5	30,5	93,9

Come si vede, un'aliquota non trascurabile dei fabbisogni è imputabile ai consumi ed alle perdite subite durante le fasi di trasformazione, trasporto e distribuzione.

Un'altra aliquota considerevole del fabbisogno di combustibili solidi (in realtà carbone) e di gas naturale è destinata alle centrali termoelettriche.

Anche l'energia elettrica prodotta dalle centrali viene, come si è detto, in parte consumata dagli ausiliari ed in parte perduta nei trasformatori delle centrali stesse.

Successivamente, un'ulteriore aliquota viene destinata ai pompaggi, cioè impiegata per il sollevamento d'acqua a mezzo di pompe durante le ore notturne di calma al fine di poterla poi riutilizzare per la produzione durante le ore di punta.

Infine, prima di poter essere consumata, l'energia elettrica immessa nella rete subisce le perdite di trasmissione e distribuzione. Dai report internazionali, il consumo di energia primaria (che comprende l'energia spesa per estrarre l'energia stessa, il trasporto, le perdite di trasformazione e l'energia che arriva all'utenza finale) nel 2019 è stato di circa 600 exajoule (EJ) ovvero 600 trilioni di Joule . Di tutta questa energia , il quantitativo effettivamente sfruttato dall'utente finale , esclusi gli sprechi dovuti ai processi di trasformazione e' stato di 418 EJ .

1.2 Fonti rinnovabili e Fonti non rinnovabili

Le Fonti Primarie ,a sua volta , si dividono in due categorie : Rinnovabili e Non Rinnovabili

- **Fonti Primarie Non Rinnovabili** : sono le risorse con un Tempo di rinnovamento molto piu ampio della finestra temporale umana e quindi limitate ed esauribili

Esempi : petrolio, gas naturale ,carbone, elementi radioattivi

- **Fonti Primarie Rinnovabili** : sono le risorse che si rinnovano e sono considerate inesauribili nell'arco della finestra temporale umana.

Esempi : energia solare, energia geotermica, energia eolica, energia idroelettrica

L'aggettivo Rinnovabile richiede alcune importanti chiarimenti .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 – AIE rientrano in questa categoria:

- **energia idroelettrica**
- **energia solare**
- **energia eolica**
- **energia da biomassa**
- **energia geotermica**

A tutti piace la parola *Rinnovabile* perché comunica che la fonte è sostanzialmente illimitata, ma attenzione : quello che è rinnovabile, non sempre è sostenibile , e viceversa. Se da un lato è importante che una risorsa sia rinnovabile per evitare che ci si trovi improvvisamente senza, dall'altro lato è fondamentale valutare l'impatto ambientale del suo sfruttamento. L'uranio , per esempio è una fonte non rinnovabile , ma il suo sfruttamento per mezzo delle centrali nucleari è a basso impatto ambientale è quindi è considerato piuttosto sostenibile. Ma cosa significa *Sostenibile* ? In generale , un processo è "sostenibile" quando è *in grado di rimanere in funzione senza danneggiare o mettere a rischio l'ambiente, l'economia, la società* . Dalla definizione generale derivano numerose formulazioni ,che si adattano meglio ad ambiti specifici. Proprio in questi ultimi tempi l'Unione Europea sta lavorando per approvare una "Tassonomia delle attività sostenibili".

Il documento elenca ,tra le varie attività sostenibili, anche lo sfruttamento di alcune fonti primarie , a patto che quest'ultimo rispetti determinati criteri. Secondo questa Tassonomia, è definibile "*green*" un attività in grado di perseguire almeno uno di questi sei obiettivi , senza causare danni significativi agli altri cinque .

- **Mitigazione dei cambiamenti climatici**
- **Adattamento ai cambiamenti climatici**
- **Protezione e tutela delle acque e delle risorse marine**
- **Transizione verso un economia circolare**
- **Prevenzione dell' inquinamento**
- **Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi**

(Fonte EU Technical Expert Group 2020)

Inoltre l'attività dovrà rispettare i principi dell'Organizzazione per la Cooperazione e Lo Sviluppo Economico (OCSE) e dell' Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) in ambito di business e diritti umani .Il dibattito in merito a cosa fosse realmente sostenibile ha tenuto impegnati esperti, politici, e scienziati per qualche anno . A inizio del 2022 ,l'orientamento è quello di considerare sostenibili i principali metodi di sfruttamento delle fonti rinnovabili, le centrali a gas naturale, a patto che rispettino il limite di 270 grammi di anidride carbonica (CO₂) per kWh prodotto , e le centrali nucleari.

Nel 2020 ,il consumo di energia derivante da fonti sostenibili ricopriva comunque una frazione decisamente minoritaria. Tutte le fonti rinnovabili, includendo l'idroelettrico, impattano per circa il 10% sulla produzione complessiva di energia . Aggiungendo l'energia derivante dalle centrali nucleari si raggiunge il 15 % ma e' evidente come la gran parte del nostro fabbisogno energetico sia ancora coperto da fonti fossili inquinanti.Prima di addentrarci nel dettaglio delle "Fonti Rinnovabili", soffermiamoci su quelle definite "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.

1.3 Fonti non rinnovabili

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.

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.

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.

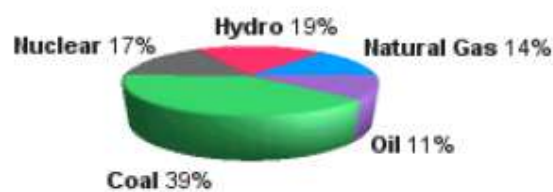
L'uranio :

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

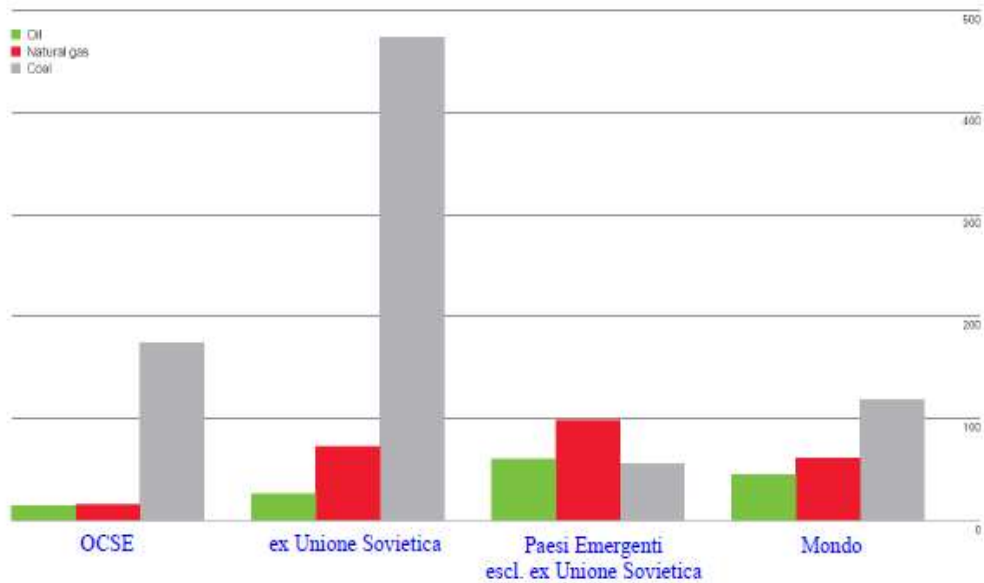
il vapore surriscaldato serve a far muovere la turbina per la produzione di energia elettrica. In natura, l'uranio utilizzabile direttamente nei reattori nucleari è molto raro, dunque il minerale estratto deve subire il processo di arricchimento, e cioè la separazione dell'U-235 dall'U-238. Nel biennio 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:



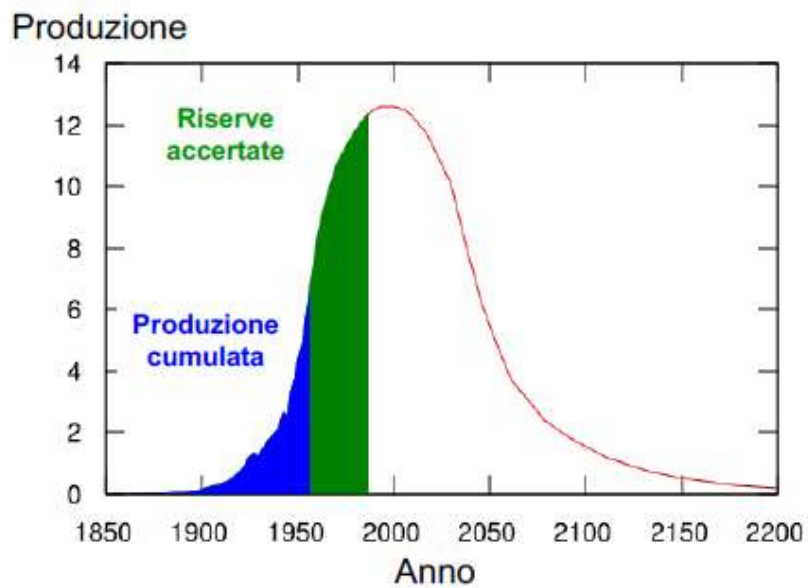
Nel grafico su indicato si può notare come le principali riserve energetiche fossili accertate riguardano il carbone, e sono localizzate prevalentemente nella ex Unione Sovietica, da cui facendo le dovute riflessioni possiamo arrivare anche alla conclusione che in realtà gli scenari bellici di cui oggi ci troviamo a vivere, forse nascondono significati *diversi* da ciò che possiamo immaginare.



Riserve ed autonomia energetica -Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2021

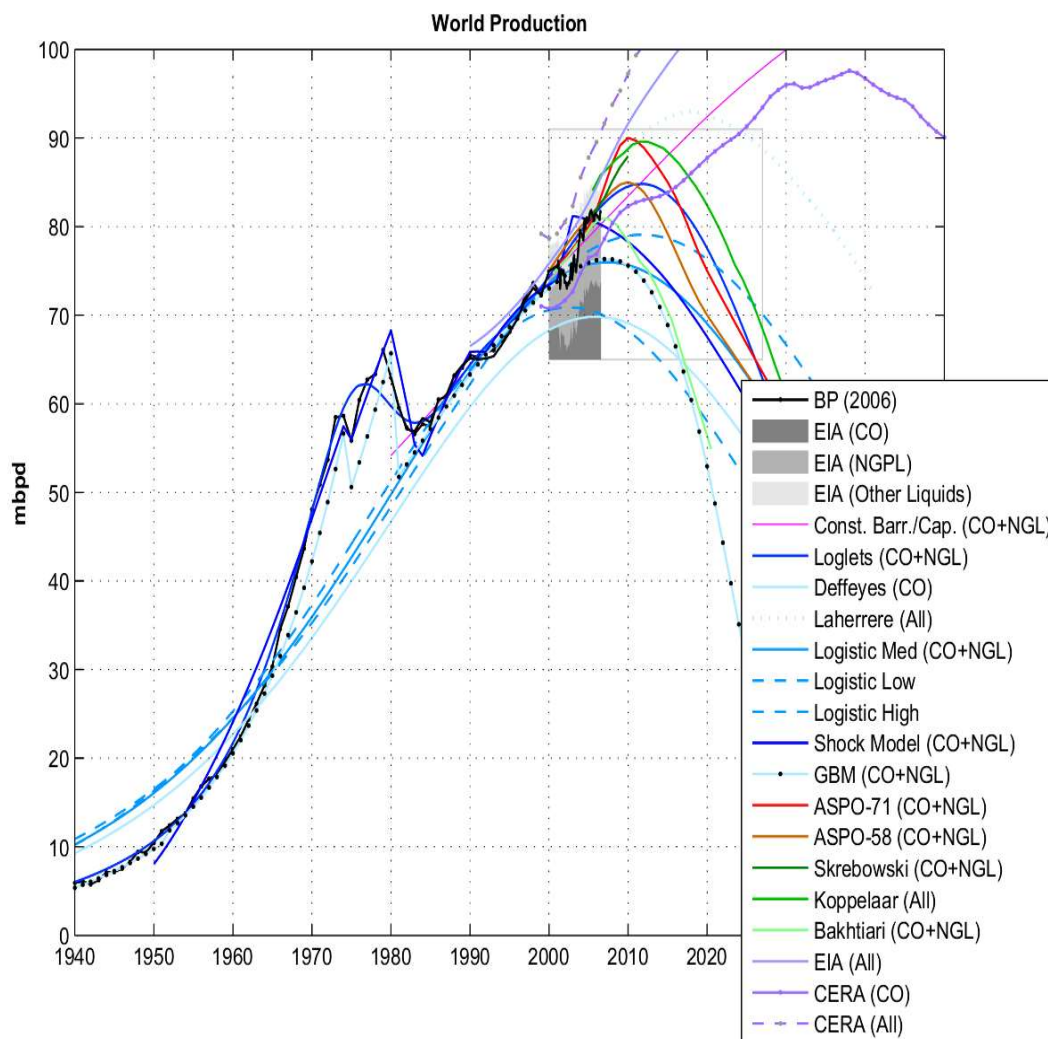
1.4 Modelli matematici previsionali

Nel 1956 il geofisico Marion King Hubbert sviluppò un semplice modello matematico per prevedere la produzione di combustibili fossili, secondo la quale ad una fase di crescita segue una fase simmetrica di decrescita, fino all'esaurimento :

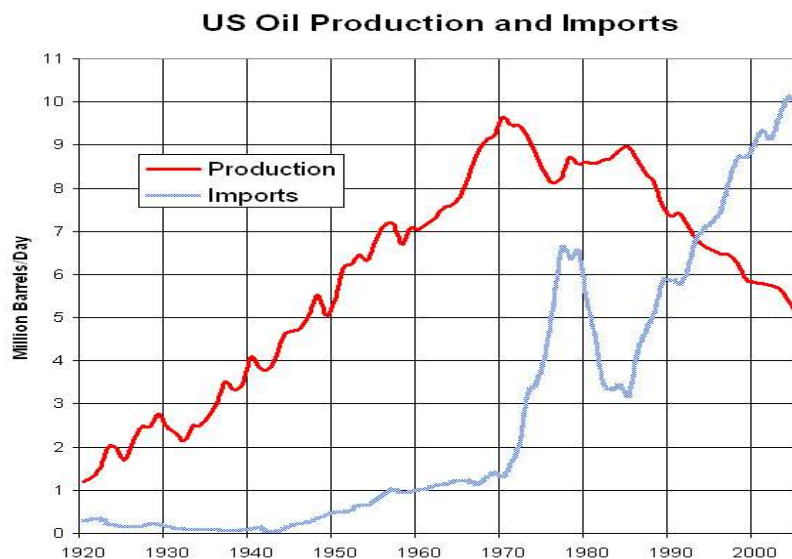


Il modello di Hubbert, inizialmente contestato, predisse con buona precisione il raggiungimento del picco della produzione negli Stati Uniti nel 1970 e l'andamento della produzione di greggio in alcune aree geografiche, come la Norvegia.

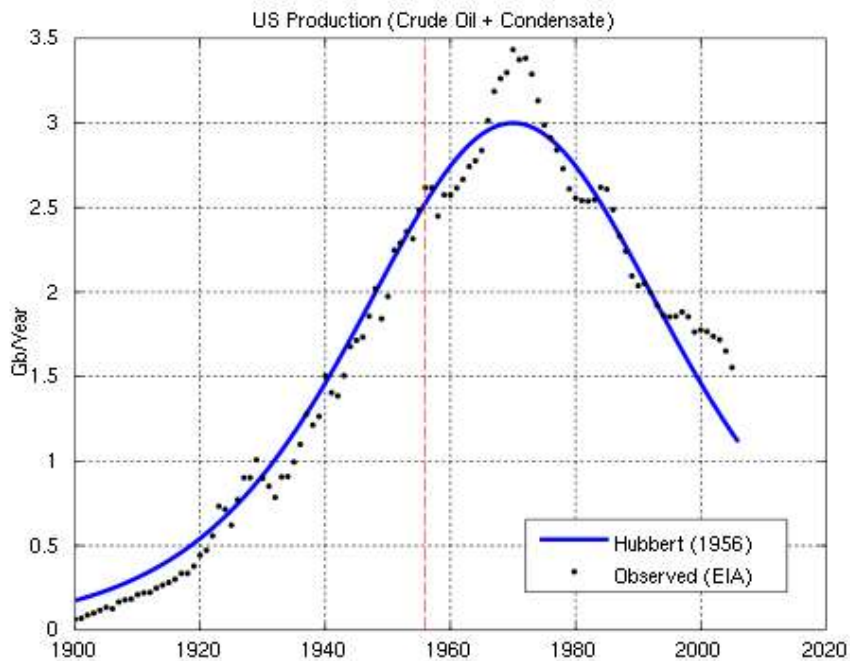
Il modello di Hubbert fu il capostipite di una serie di modelli, più complessi ed articolati. Le previsioni sulle riserve di combustibili fossili ottenute da diversi modelli presentano in alcuni casi notevoli variabilità. Comunque, molti di essi prevedono un marcato decremento della produzione nel secolo in corso .



Definiamo come "Picco del Petrolio" o *Picco di Hubbert* (Peak Oil) il punto nel quale la produzione di olio (inteso in senso generale come insieme di idrocarburi) da un campo petrolifero, una regione o il mondo intero raggiunge un massimo e successivamente inizia a declinare per cause determinate principalmente dalle limitazioni nella disponibilità della risorsa. Il termine picco del petrolio quindi non si riferisce a quei massimi nella storia produttiva che possono essere determinati da fattori “non geologici” (above ground) come la riduzione della domanda per motivi economici (ad esempio recessione), fattori geopolitici come guerre o conflitti interni ad un paese produttore, incidenti, evoluzione delle tecniche ecc. Questi fattori possono essere estesi a diversi insiemi di giacimenti ed essere simulati con diversi modelli matematici: empirici, stocastici oppure basati sulla dinamica dei sistemi. Da questi studi si ottengono sempre curve a campana, anche se non necessariamente simmetriche. La combinazione di queste curve a campana, come è logico, genera una risultante curva con caratteristiche analoghe di crescita iniziale, raggiunta di un picco e declino. Negli Stati Uniti si è effettivamente osservato un picco dell'estrazione del petrolio intorno al 1970, in seguito i consumi crescenti sono stati compensati con le importazioni :



Produzione ed importazioni di petrolio negli Stati Uniti

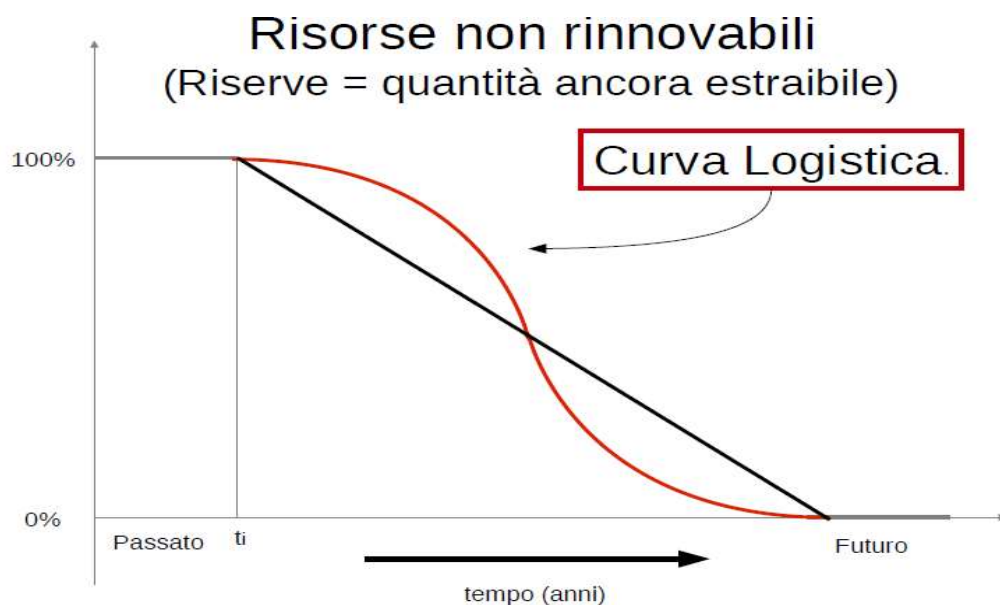


Curve blu: previsione basata sulla stima delle riserve petrolifere americane

Punti: dati reali sovrapposti in seguito

Sulla scia del successo di Hubbert gli addetti ai lavori iniziano ad affrontare il problema della previsione del picco nella produzione mondiale di petrolio ,legato alla disponibilita' delle riserve accumulate , e contemporaneamente lo studio di tecnologie in grado di accelerare l'estrazione di fonte fossile per compensare una fabbisogno che diventa sempre piu ' crescente. Le stime sulle riserve mondiali di petrolio disponibili vengono riviste costantemente al rialzo per via di innovazione tecnologica, metodi di recupero e scoperta di nuovi giacimenti .

Nella realtà naturale il progressivo sfruttamento di una risorsa del sottosuolo è rappresentabile attraverso un grafico in cui si riportano una "curva di esaurimento" detta "Curva Logistica" (in rosso) che descrive la progressiva riduzione nel tempo della risorsa del sottosuolo ed una retta (in nero) detta "retta di esaurimento" che riporta lo stesso concetto inteso in senso puramente matematico, senza tener conto di fattori concomitanti che influiscono sull'andamento. Si tratta di un grafico in cui le quantità di risorsa restanti nel sottosuolo (la riserva) sono riportate in funzione del tempo. Il motivo di questo andamento sta che all'inizio dello sfruttamento della risorsa la domanda è bassa e le tecnologie sono immature quindi il tasso di sfruttamento è relativamente più basso di quello rappresentato dalla retta. Tuttavia al passare del tempo la domanda aumenta e le tecnologie progrediscono così diventiamo sempre più bravi ad estrarre la risorsa, il tasso di produzione aumenta e con esso anche quello di esaurimento. Il tasso di produzione (cioè la quantità prodotta per unità di tempo: ad esempio i milioni di barili al giorno, o i miliardi di barili all'anno) è uguale alla pendenza (cambiata di segno) della curva disegnata in rosso. Come si vede al centro della curva (nel punto in cui la curva interseca la retta nera) la pendenza è massima. Quello è il momento di massima produzione (cioè il Picco di Hubbert). Dopo questo massimo la pendenza decresce perché le difficoltà di estrazione aumentano e ci si rivolge a giacimenti più difficili e ad EROEI più basso



1.5 Indice di Sostenibilità : EROEI

L'indice di sostenibilità **EROEI** (Energy Return On Energy Investment ossia Ritorno Energetico sull'Investimento Energetico) è il risultato del rapporto tra la somma delle energie, espresso nell'unità di misura del Sistema Internazionale, che un impianto produrrà durante il suo esercizio (Energia Ricavata) e la sommatoria delle quantità energie che sono necessarie per costruire, esercire e poi smantellare l'impianto (Energia Investita o Energia Consumata). Dal rapporto di queste grandezze energetiche –quindi tra output e input energetico- si ottiene un valore in grado di esprimere il valore, non economico ma in termini di quantità di energia spesa e ricavata, dell'investimento. Un valore del rapporto superiore all'unità informa che l'investimento in esame genera una quantità di energia superiore a quella che è stata necessaria per realizzarlo e mantenerlo in esercizio; mentre un valore dell'indice inferiore o uguale all'unità manifesta un risultato negativo dell'investimento. Ci sono molti dati e studi sull'argomento, la seguente tabella è adattata dal lavoro di molti studiosi sull' argomento: Noterete come la “forbice” fra i vari risultati sia molto ampia e il lettore potrebbe ragionevolmente chiedersi che valore abbia questa selva di numeri. In realtà, come si diceva prima, questa analisi, pur incerta com'è, ha comunque un valore enormemente superiore a qualsiasi analisi basata su stime monetarie. Osservando i dati della tabella, notiamo come il petrolio sia stato un evento forse irripetibile nella storia umana con la combinazione di un EROEI alto e di un rapido ciclo di ritorni. Fra la scoperta e lo sfruttamento, infatti, il ciclo di vita di un pozzo di petrolio può essere di pochi anni, per cui il punto di pareggio energetico arriva presto e tutto quello che si estrae dopo è profitto. Questo rapido ritorno è accoppiato a caratteristiche tecnologiche eccezionali, quali l'alta densità di energia sia in termini di volume come in termini di peso. Non c'è nulla all'orizzonte che possa produrre caratteristiche comparabili a quelle del petrolio. Tuttavia, già oggi, l'EROEI del petrolio si è molto abbassato per via del progressivo esaurimento dei pozzi a buon mercato. D'altra parte, è ovvio che, prima o poi, dovremo imparare a farne a meno. L'esame della tabella della sezione precedente mostra che esistono tecnologie che hanno ritorni energetici (EROEI) più che buoni, anche se a tutt'oggi non ancora così buoni come quelli del petrolio degli anni d'oro.

Tecnologia	EROEI (Elliott)	EROEI (Hore-Lacy)	EROEI Altri autori	Note
Grande idroelettrico	50-250	50-200		Decade con il degrado dei bacini
Mini idroelettrico	30-270			
Petrolio "anni d'oro"	50-100			Fino al 1970 circa
Petrolio oggi			5-15	Pozzi in esaurimento rendono l'estrazione sempre piu' costosa
Eolico	5-80	20		Dipende dai siti. Potrebbe essere un ottimo valore, 50 -100, per le coste del Mare del Nord. E' minore (forse intorno a 20) per un tipico sito in Italia.
Nucleare	5-100	10-60	<1	Ci sono infinite controversie su questo valore. Secondo alcuni, la tecnologia nucleare standard, "reattori ad acqua leggera" potrebbe avere una resa energetica minore di 1. Tuttavia, quasi certamente i reattori nucleari moderni hanno una resa energetica discretamente buona anche se non necessariamente superiore a quella di molte tecnologie rinnovabili
Fotovoltaico a film sottile			25-80	
Fotovoltaico convenzionale	3-9	4-9		
Carbone	2-7	7-17		
Gas Naturale		5 - 6		
Biomasse	3-5	5-27		
Etanolo			0,6-1,2	
Sabbie Bituminose			<1	ci sono molte controversie. Può darsi che l'EROEI di estrazione sia maggiore di 1, ma è sicuramente basso e, secondo alcuni, minore di 1

In particolare, le rinnovabili, a volte bistrattate come giocattoli per hippy, hanno EROEI altrettanto buoni se non superiori, di tecnologie che a volte vengono presentate come "l'unica possibile soluzione per la crisi energetica" (per esempio, carbone o petrolio).

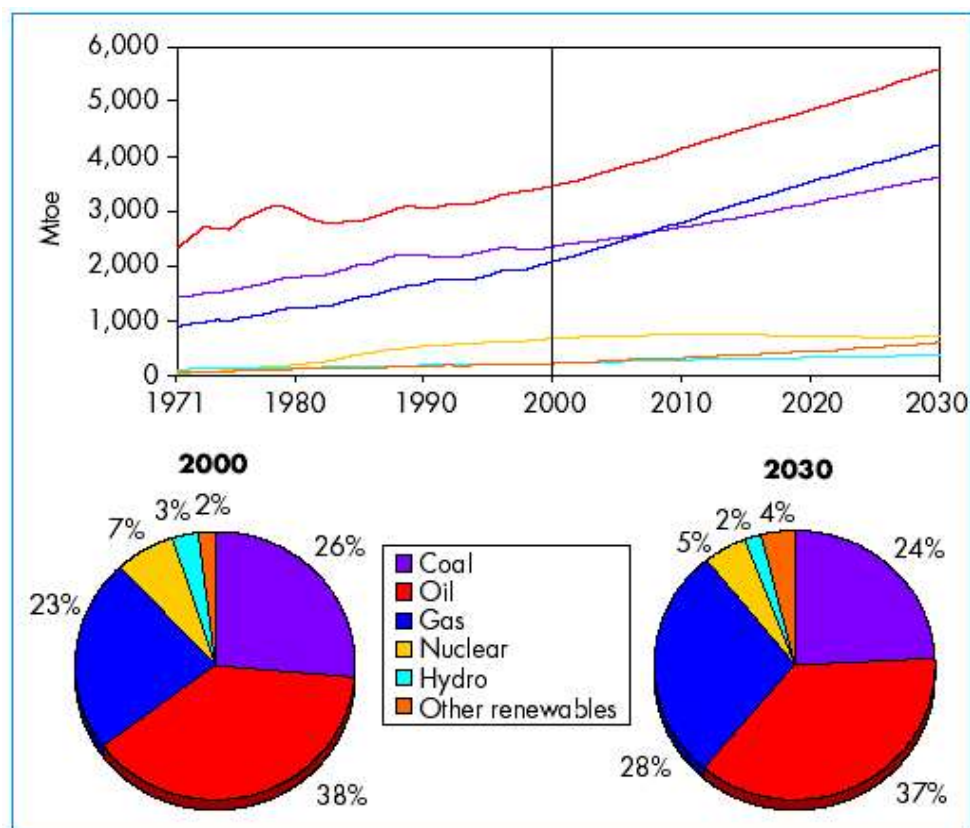
Ovviamente, nella scelta di una tecnologia, l'EROEI non è l'unico parametro da considerare. Fattori di vario tipo, incluso ambientali, strategici ed etici, giocano un ruolo importante. Per esempio, il carbone, che pure ha un EROEI accettabile, ha lo svantaggio di essere la tecnologia che emette la maggior quantità di CO₂ a parità di energia elettrica prodotta. Evidentemente, anche se l'EROEI del carbone fosse molto migliore di quello che è, non varrebbe la pena rischiare un catastrofico effetto serra planetario.

In generale, è molto improbabile che nel prossimo futuro una specifica tecnologia energetica prenda il sopravvento su tutte le altre e le faccia sparire. La cosa più probabile, specialmente tenendo conto degli investimenti pregressi, è che ci muoveremo verso un mix di tecnologie che evolverà nel tempo in funzione del progresso tecnologico, del progressivo esaurimento dei combustibili fossili e delle misure che vorremo prendere per evitare il riscaldamento globale. In un futuro un po' più lontano, è probabile che i miglioramenti tecnologici delle rinnovabili, o forse lo sviluppo di tecnologie nucleari sicure, pulite, e che usano combustibili abbondanti (forse la fusione nucleare), daranno un vantaggio tale a una specifica tecnologia che questa prenderà il sopravvento. Per ora, avremo un mix con un po' di tutto e dovremo adattarci. L'errore che potremmo fare è di investire in tecnologie che nascono già obsolete (il carbone) e che ci farebbero dei danni immensi.

Il progressivo esaurimento del petrolio non è un problema ma un'opportunità per passare a qualcosa di migliore. Nel futuro, gli investimenti fatti oggi su tecnologie pulite e rinnovabili ci daranno rese sicure e "fruttifere", ma occorre muoversi. La lotta ai cambiamenti climatici richiede orizzonti temporali che vanno al di là di quelli tradizionalmente utilizzati dal mondo finanziario per valutare e definire le scelte di investimento. Si pensi alla necessità di finanziare, da un lato, una transizione che richiederà diversi decenni, dall'altro l'esigenza per gli investitori di ottenere ritorni finanziari in tempi decisamente più brevi. È fondamentale che si creino le condizioni necessarie alla transizione (incentivi, regolamenti e sanzioni), in modo che gli "investitori" (intesi in senso largo del termine) possano cogliere appieno le opportunità di rendimento, probabilmente con tempi più lunghi, privilegiando attività verdi rispetto ad attività inquinanti, che, gradualmente, saranno penalizzate.

1. 6 Previsioni di sviluppo delle fonti energetiche

La A.I.E. , nella valutazione dello scenario energetico mondiale allo stato attuale e futuro, ha stimato un andamento dei fabbisogni e le disponibilità di energia fino al 2030. In primo luogo si riporta l'andamento della domanda di energia classificata in base alla fonte primaria:



Andamento della domanda di energia mondiale in base alla sorgente primaria

Da queste proiezioni si può vedere che non sono previsti grandi sconvolgimenti nella ripartizione delle sorgenti primarie di energia:

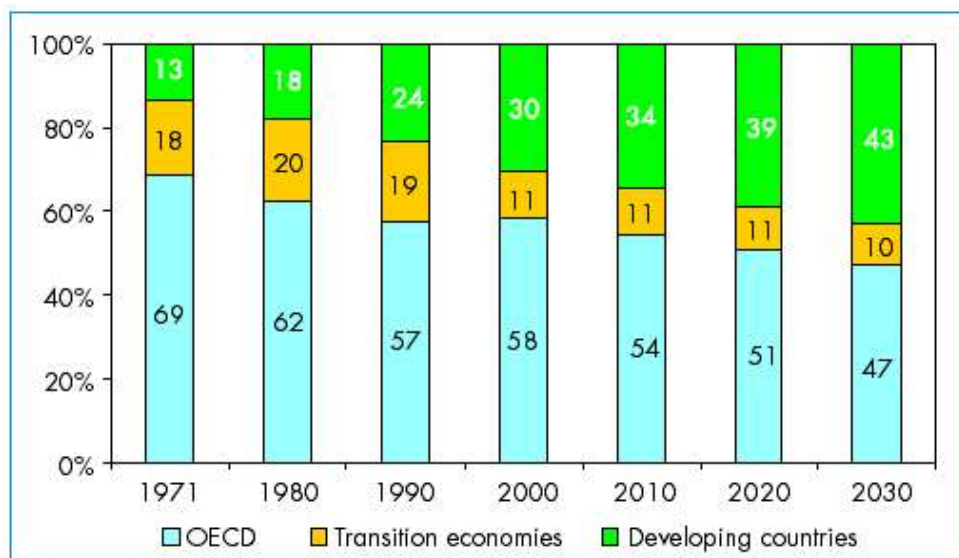
- Il petrolio resterà stabile (37%)
- Il gas crescerà (dal 23 al 28 %)
- Il nucleare diminuirà
- Le rinnovabili, comprese la fonte idroelettrica, resteranno pressoché costanti

Cambierà invece, e di molto, il peso delle aree geografiche in relazione alla domanda complessiva.

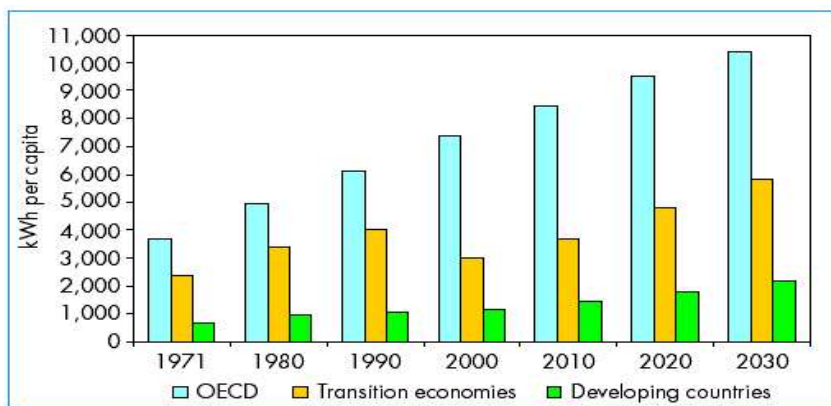
- Il peso dei Paesi industrializzati (OECD) diminuirà di molto, dal 69 al 47 %
- Il peso dei Paesi in via di sviluppo salirà invece dal 13 al 43 %

Questi scenari sono in linea con gli eventi di attualità che stiamo vivendo: la crescita della Cina edell’India e di tutte le economie emergenti.

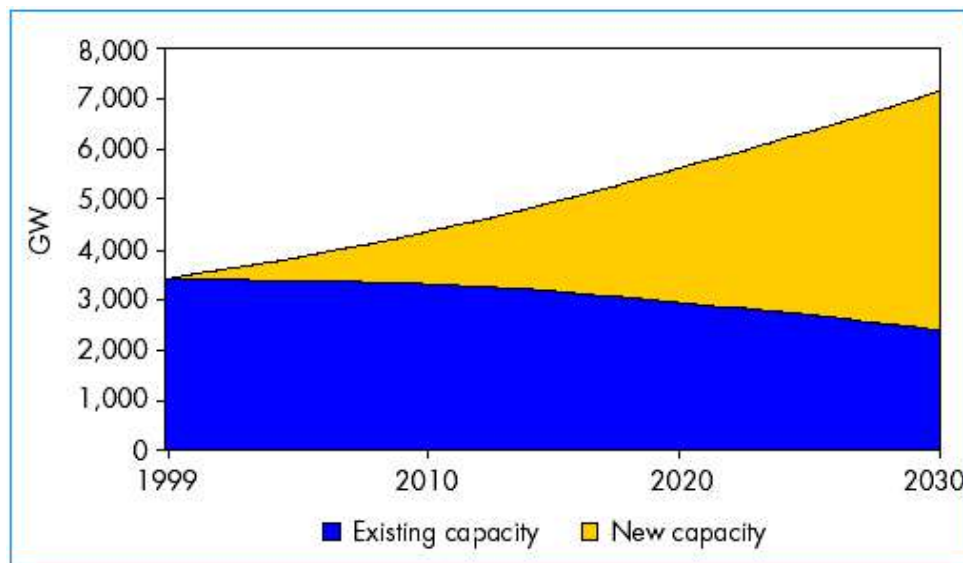
Il seguente diagramma riporta la percentuale di ciascuna area sul totale nel corso degli anni che vanno dal 2000 al 2030:



In relazione al consumo di energia elettrica si riporta il seguente diagramma di consumi di energia elettrica pro-capite



Questo mostra l'andamento dei consumi pro-capite di energia elettrica dagli anni '70 al 2030 in base alle aree geografiche. Il trend di crescita è abbastanza stabile. Una considerazione: se i consumi di energia elettrica mantengono il loro ritmo di crescita, anche nei Paesi sviluppati, mentre i consumi di energia primaria sono diversi, cioè crescono molto di più in proporzione nei Paesi in via di sviluppo, cosa succede? Succede che i processi di conversione dei Paesi sviluppati diventano più efficienti e quindi possono ottenere maggiore energia elettrica partendo da minori quantità di energia primaria. Crescerà di molto la potenza di generazione elettrica installata:



Si è visto che la quota di fonti rinnovabili sul totale sembra sia destinata a rimanere costante. Vuol dire che resta costante anche la quota delle fonti di tipo fossile. Si crea così il problema dell'**approvvigionamento**. Dato che le fonti fossili sono di tipo esauribile, diventa fondamentale entrare in possesso delle quote di energia disponibili e delle riserve. La A.I.E fornisce anche un prospetto della ripartizione della produzione di energia rinnovabile in base alle fonti: Particolarmente interessante è, in primo luogo, la crescita del peso delle fonti rinnovabili sul totale della generazione di energia elettrica, che crescerà dall'1,4 al 4,4 %. In secondo luogo, la fonte principale di generazione non sarà più la biomassa, ma l'eolico che sta riscontrando attualmente grande successo. Cresceranno anche le quote di energia geotermica e di solare, rimanendo comunque limitate sul complessivo.

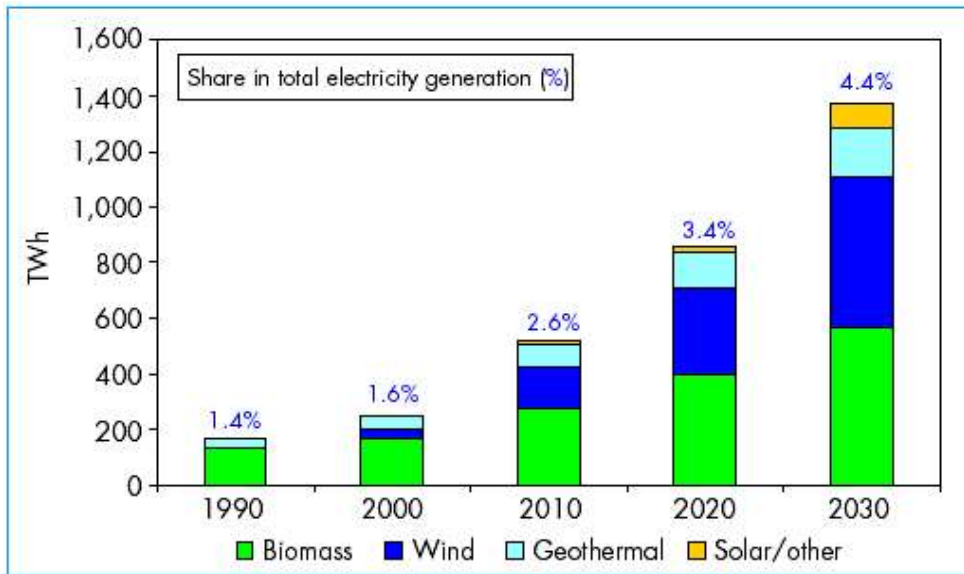
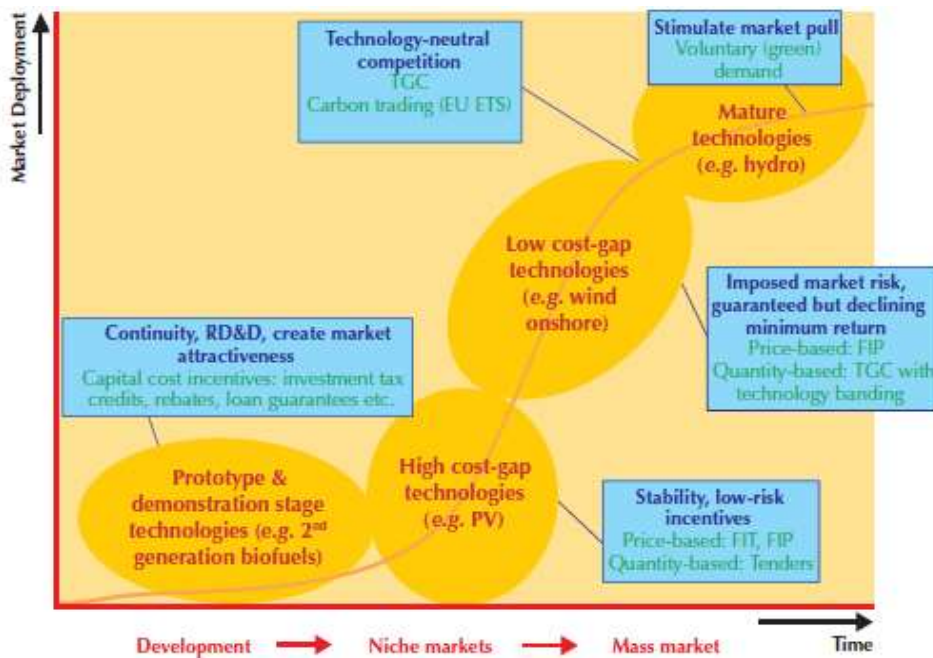


Diagramma di combinazione della politica di incentivi come funzione della maturità tecnologica :



Le posizioni delle varie tecnologie e degli schemi di incentivi lungo la "curva S" costituiscono un esempio indicativo in un dato momento. L'effettivo mix ottimale e la relativa tempistica degli incentivi dipenderanno dalle specifiche circostanze nazionali. Anche il livello di competitività varierà in funzione dell'andamento dei prezzi delle tecnologie concorrenti. Un approccio integrato che riunisca diversi incentivi alle politiche dipendenti dalla maturità della tecnologia è il modo più efficace per raggiungere una transizione facile verso l'integrazione del mercato di massa delle energie rinnovabili.

1.7 Impatto ambientale delle tecnologie energetiche

Qualunque attività industriale determina un impatto ambientale determinabile in base:

- al consumo di combustibili e di materie prime
- alla produzione di rifiuti, effluenti liquidi e gassosi, rumore, ecc.

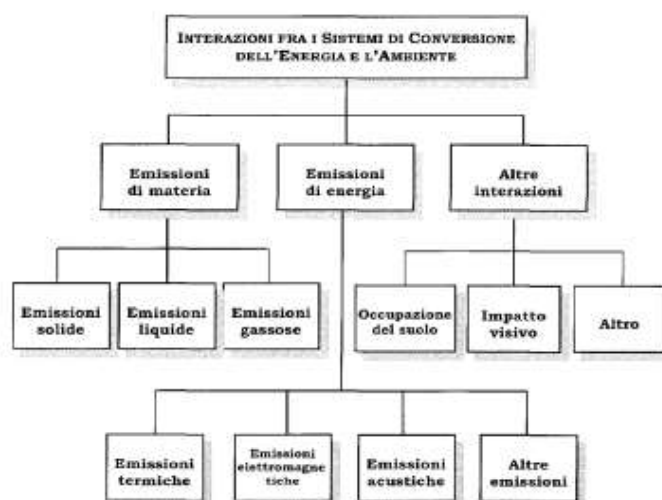
Le caratteristiche e l'entità delle interazioni ambientali dipendono dalla tipologia dell'attività industriale.

Nel settore dei sistemi di conversione dell'energia, le problematiche di impatto ambientale interessano essenzialmente:

- a) **gli impianti di generazione elettrica**, sia alimentati con combustibili fossili sia basati sull'impiego di fonti energetiche rinnovabili;
- b) **i motori per autotrazione** (MCI, motori ibridi, motori elettrici);
- c) **gli impianti termici civili e industriali**

Le interazioni ambientali prodotte dai sistemi energetici possono essere classificate considerando:

- la *componente ambientale* oggetto dell'interazione (l'aria, l'acqua, il suolo, la flora e la fauna, il paesaggio, ecc.)
- la *causa dell'interazione* stessa (le emissioni solide, liquide e gassose, acustiche e termiche, l'occupazione del suolo ,ecc)



L'entità e l'importanza relativa delle diverse interazioni ambientali dipendono essenzialmente dalla tipologia del sistema energetico considerato. Le emissioni di materia possono essere solide, liquide o gassose. Le **emissioni di sostanze solide** derivano, per esempio, da processi di pretrattamento del combustibile o di post-trattamento dei prodotti della combustione (residui e sottoprodotti della desolforazione, ceneri leggere e pesanti, ecc.); riguardano principalmente gli impianti alimentati con combustibili solidi. Le **emissioni liquide** sono prevalentemente prodotte dai processi di lavaggio dei gas, da spurghi, condense, perdite, ecc; la maggiore attenzione a tali problemi legati alle emissioni liquide è dovuta :

- alla progressiva riduzione della disponibilità di acqua dolce;
- al diffuso utilizzo di processi di lavaggio dei gas combusti ai fini della rimozione degli inquinanti gassosi.

La Valutazione del carico inquinante degli effluenti liquidi viene effettuata misurando i seguenti parametri: temperatura, pH, colore, i solidi in sospensione, i composti organici, gli oli minerali, il cloro, metalli, etc.

Il contributo più importante alle emissioni di materia proviene tuttavia, dalle **emissioni gassose** in atmosfera, prevalentemente legate alla combustione

Gli inquinanti gassosi prodotti dagli impianti di produzione dell'energia ed in generale dagli impianti di combustione derivano in parte dalla composizione chimica del combustibile ed in parte da come si è svolto il processo di combustione. Le emissioni gassose principali sono:

- anidride carbonica (CO₂)
- metano (CH₄)
- protossido di azoto (N₂O)
- idrofluorocarburi (HFC)
- perfluorocarburi (PFC)
- esafluoruro di zolfo (SF₆)

Di questi 6 gas, il più diffuso e importante è l'anidride carbonica. Infatti le emissioni si calcolano normalmente in "tonnellate equivalenti di CO₂".

L'effetto serra è dovuto alla presenza di alcuni gas nell'atmosfera (in particolare CO₂ e CH₄), che determinano una parziale riflessione sulla Terra della radiazione infrarossa emessa dalla Terra stessa. La presenza dell'effetto serra produce quindi un aumento della temperatura della superficie terrestre rispetto a quella che si avrebbe per il solo effetto della radiazione solare incidente.

La crescita eccessiva della quantità dei gas serra può produrre un aumento incontrollato della temperatura terrestre, con effetti potenzialmente catastrofici sul clima. Aumentare la percentuale dei "Gas Serra" aumenta il calore trattenuto e perciò la temperatura terrestre. Questa tesi, che è ancora oggi oggetto di discussioni, è stata accettata dai molti paesi nel mondo che hanno ratificato il "Protocollo di Kyoto", ossia uno strumento politico per avviare una riduzione dei gas serra. Senza entrare nel merito del dibattito attorno al tema scientifico, ricordiamo le conclusioni della conferenza:

E' sempre più evidente l'influenza antropogenica sul clima globale, determinata dalle emissioni di gas serra prodotte dalle attività umane.

- Senza specifiche politiche e misure per mitigare i cambiamenti climatici, la temperatura media superficiale globale relativa al 1990 è destinata a crescere di circa 2°C (tra 1.5°C e 3.5°C) entro il 2100.

- Il livello medio dei mari è destinato a crescere entro il 2100 di circa 50 cm (tra 15 e 95 cm)rispetto al livello del 1990, con la compromissione di vaste aree costiere intensamente popolate.
- Il riscaldamento globale potrà determinare modifiche significative nei cicli climatici con l'intensificazione dei fenomeni estremi (eventi alluvionali e siccità), alterazioni degli ecosistemi terrestri ed acquatici, effetti sulla degradazione ed aridificazione dei suoli, modificazioni delle produzioni agricole.
- L'aumento delle temperature avrà effetti sulla salute, diretti (incremento delle morti e delle malattie a causa delle ondate di calore) e indiretti (aumento e diffusione, anche nelle zone temperate, di malattie infettive tipiche delle zone tropicali).
- Per garantire che entro il 2100 le concentrazioni di gas ed effetto serra siano contenute entro livelli compatibili, ovvero per raggiungere l'obiettivo della stabilizzazione della concentrazione atmosferica di CO₂ a livelli doppi rispetto a quelli dell'era preindustriale, le emissioni globali dovranno corrispondere alla metà di quelle attuali.

Il metodo per raggiungere l'obiettivo della riduzione è lo stesso che ha sempre usato l'uomo quando una risorsa che si credeva infinita è diventata scarsa, ovvero la creazione di un'economia di mercato per quella risorsa. Per gestire la nuova risorsa scarsa "*aria pulita*" si sono creati i concetti giuridici di diritto di emissione e di contratto di compravendita di questo diritto, con l'obiettivo di creare un mercato che individui il valore economico del bene scarso. Questo mercato si basa su tre innovazioni legislative previste dal protocollo : Clean Development Mechanism (CDM) , Joint Implementation (JI) ed Emission Trading (ET). Il CDM e la JI danno la possibilità ad un paese sviluppato che deve ridurre le emissioni di realizzare un progetto in un paese in via di sviluppo (CDM) , o in un altro paese sviluppato (JI) vedendosi riconosciuti i relativi diritti di emissione . L' ET istituisce la compravendita dei diritti di emissione.

Le emissioni di energia sono costituite in modo rilevante dalle emissioni termiche ed acustiche :

Le emissioni termiche sono essenzialmente legate:

- allo scarico in atmosfera di gas combustibili a temperatura relativamente elevata
- all'incremento della temperatura dei fluidi (acqua o aria) prelevati dall'ambiente e impiegati nei circuiti di refrigerazione (per esempio, il condensatore delle centrali termoelettriche a vapore).

Le perdite per scambio termico verso l'esterno (nei forni, nelle caldaie e negli impianti termici in genere) risultano invece di minore importanza, così come le emissioni in atmosfera di altri fluidi caldi (per esempio sfiumi di vapore). I processi di combustione per la produzione di energia sono fonte di "inquinamento termico". Tale inquinamento può essere di "tipo indiretto"

- se legato all'emissione di sostanze che interferiscono con i meccanismi di scambio termico per radiazione tra la Terra e l'atmosfera circostante.

Di "tipo diretto"

- se derivante dal rilascio di fluidi caldi nell'ambiente, quali i fumi uscenti dal camino di una caldaia
- oppure l'acqua di raffreddamento del condensatore di una centrale termoelettrica

Le emissioni acustiche sono prodotte da tutte le apparecchiature percorse da fluidi e dotate di parti in movimento; sono particolarmente importanti nel caso delle turbine eoliche, laddove rappresentano di fatto l'unico impatto ambientale di rilievo, fatta eccezione per l'impatto visivo.

Il rumore è prodotto dall'emissione di energia sotto forma di onde sonore di elevata intensità, in genere sgradevoli e dannose e che costituiscono pertanto fonte di "inquinamento acustico".

Le emissioni acustiche sono la naturale conseguenza del funzionamento delle macchine e di tutti i componenti meccanici presenti negli impianti. In un impianto a vapore ad esempio le principali fonti di rumore sono: turboalternatore, pompe di alimento e ventilatori. In un impianto a gas elevati livelli di emissioni acustiche si hanno in corrispondenza dei condotti di aspirazione del compressore e dello scarico (le TG sono spesso provviste di *silenziatori* disposti in corrispondenza dei condotti di aspirazione e scarico). Le emissioni acustiche sono ad esempio il principale fattore di impatto ambientale degli impianti eolici (emissioni acustiche dell'alternatore).

Capitolo 2 : Le fonti rinnovabili

2.1 Parametri di valutazione

Prima di entrare nello specifico, definiamo alcuni parametri utili per valutare obiettivamente una fonte energetica sia dal punto di vista energetico che economico.

- **Capacity Factor**

Il Fattore di Capacità (CF) si ottiene dividendo l'energia effettivamente prodotta da un impianto per l'energia massima producibile in un dato periodo di tempo . In pratica , rappresenta la percentuale di tempo nel quale la centrale è operativa al massimo del suo potenziale. Un impianto con un fattore di capacità del 100% significa che produce energia in ogni momento. Si parla anche di ore equivalenti (generalmente di un anno) per produrre con la potenza nominale l'energia totale effettivamente prodotta.

- **Coefficient of Performance**

Il coefficiente di prestazione (COP) è un fattore che permette di verificare la percentuale di utilizzo della potenza intrinseca contenuta nella fonte primaria di energia (sole, vento, acqua, terra, biomassa, combustibili fossili). Maggiore è il COP e maggiore è la convenienza energetica di una FER. E' calcolabile quindi mettendo in rapporto l'energia prodotta con l'energia intrinseca della fonte primaria di energia. Solitamente si definisce con un valore in percentuale.

- **Levelised Cost of Electricity**

Il Costo Livellato dell' elettricità (LCOE) o Costo Annuo Equivalente (CAE) , definito dalla AIE (International Energy Agency) "uno strumento molto agevole per confrontare i costi unitari di diverse tecnologie di generazione elettrica lungo il loro intero ciclo di vita economica o in un lasso di tempo determinato". Esso viene calcolato essenzialmente come rapporto tra il valore attualizzato della sommatoria delle uscite di cassa e il valore attualizzato della produzione elettrica nell'arco di vita utile dell'impianto. Tale costo corrisponde, in altri termini, al prezzo a cui l'elettricità deve essere prodotta per riuscire a coprire interamente tutti costi. LCOE è lo strumento tuttora considerato più trasparente per valutare i costi della generazione elettrica ed è ampiamente utilizzato per confrontare i costi di diverse tecnologie.

LCOE approssima meglio i costi reali della produzione elettrica in mercati elettrici monopolistici o amministrati con garanzie sui prestiti e con prezzi regolati piuttosto che in mercati competitivi e con costi variabili. Pur considerando la questione energetica / economica un tema di attualità in continua evoluzione nei nostri giorni, si ritiene tuttora valida l'assunzione che le fonti rinnovabili si muovano in un quadro di mercato sostanzialmente amministrato e che quindi la metodologia LCOE rimanga la più indicata per l'esecuzione di analisi economiche. Per il calcolo del LCOE è stato utilizzato un modello di calcolo in cui i dati di input e le convenzioni adottate sono:

- 1) taglia dell'impianto, potenza lorda: kWe; 2) fattore di utilizzo: ore equivalenti; 3) potenza netta dell'impianto: kWe; 4) costi di investimento specifici sulla potenza netta: €/kWe; 5) costi specifici di personale: €/kWe anno; 6) costo specifico del combustibile: €/kWh; 7) costi di manutenzione ordinaria: €/kWe anno; 8) accantonamenti per i costi di manutenzione straordinaria: €/kWe anno; 9) costo di assicurazione: €/kWe anno; 10) costo di smaltimento rifiuti: €/kWe anno; 11) costo dei canoni : €/kWe anno; 12) costo IMU : €/kWe anno; 13) valore residuo specifico dell'investimento al termine del periodo di attualizzazione considerato: €/kWe ; 14) durata del periodo di attualizzazione: 12, 15 anni e 20 anni (per il solo fotovoltaico) ; 15) tasso di attualizzazione; 16) tasso di inflazione; 17) durata della realizzazione dell'impianto.

2.2 Energia dall'acqua : Idroelettrico

L'umanità utilizza la potenza generata dall'acqua da millenni. Nell'antichità si utilizzavano mulini e ruote ad acqua per irrigare o per svolgere lavori faticosi svolti dall'uomo o da animali. Lo sfruttamento del fluire dei fiumi è così scontato, che quasi ci spinge a sottovalutare l'importanza dell'energia idroelettrica. Intorno alla fine del 1800 iniziarono a nascere le prime centrali idroelettriche in grado di produrre elettricità dallo scorrere dei fiumi. In quel periodo la Rivoluzione industriale era nel suo massimo fermento e stavano nascendo le prime reti elettriche per portare la corrente nelle aziende e nelle case. In questo contesto, l'efficienza delle turbine alimentate dall'acqua e la loro longevità permisero all'idroelettrico una fonte indispensabile per molte economie mondiali.

La prima centrale commerciale vide la luce nel 1882 ad Appleton , nel Wisconsin, ed era in grado di produrre 12,5 kW circa , mentre la prima centrale italiana venne edificata nel 1895 ,sul fiume Adda , la centrale Bertini e dopo 130 anni essa è ancora in funzione. Per estrarre energia da un fiume o da un bacino artificiale è sufficiente avere un dislivello ed una massa d'acqua che , cadendo , acquista forza sufficiente per muovere una turbina . Si distinguono gli "impianti ad acqua fluente" ed "impianti con diga ".



Gli impianti ad acqua fluente , si trovano solitamente lungo il corso dei fiumi per alimentare piccole attività produttive o comunità locali . I costi del piccolo idroelettrico sono superiori rispetto ai grandi impianti , ma hanno il vantaggio di non dover richiedere interventi invasivi sul territorio.Ovviamente , la produzione energetica degli impianti è fortemente influenzata dalla stagionalità e dalle piogge . Secondo i dati Enel , in Italia , i 3.000 impianti ad acqua fluente contribuiscono per solo il 6% della potenza idroelettrica totale installata. Tale tipologia di impianto ha dei limiti visto che la produzione non è costante nel tempo.



L'alternativa sono grandi impianti con diga .La creazione di invasi artificiali ha diversi vantaggi : garantisce una fornitura piu' costante di acqua e permette di controllare piene ed esondazioni.Tuttavia opere di questo tipo hanno anche un impatto piuttosto grande sugli ecosistemi locali e , come vedremo, i vantaggi non sempre controbilanciano le problematiche correlate.L'utilizzo di dighe aumenta drasticamente la potenza e la quantita' di energia prodotta. Dai pochi MegaWatt installati per impianti ad acqua fluente , passiamo a svariati GigaWatt. Grazie agli invasi artificiali,l'acqua accumulata rifornisce le turbine in modo stabile e diminuisce la variabilita' stagionale. L'uso di bacini artificiali, inoltre , permette di modulare la produzione di energia molto rapidamente, seguendo cosi le fluttuazioni giornaliere nella richiesta' di elettricitá'. Tra gli impianti idroelettrici con diga , ne esiste un tipo molto particolare che avra' un ruolo fondamentale nella transizione energetica. Si tratta di un sistema basato su due invasi situati a quote differenti.In caso di eccessi di produzione di energia elettrica da parte di altre fonti , è possibile pompare acqua dall' invaso inferiore a quello superiore.

Questa procedura permette di investire l'energia in eccesso accumulandone una parte sotto forma di acqua. Quando necessario, sarà sufficiente far defluire l'acqua accumulata per ottenere di nuovo energia.



Centrale idroelettrica a due bacini

Le operazioni di pompaggio ,ovviamente, richiedono energia e quindi l'efficienza dell' operazione non è del 100% ma, a oggi , si tratta del metodo piu' promettente ed economico per accumulare parte dell' energia in eccesso prodotta dalle fonti rinnovabili. La condizione necessaria perchè una centrale idroelettrica funzioni è sostanzialmente una sola : **avere abbastanza acqua in quota**. Il principio dell' energia idroelettrica si fonda sul ciclo dell'acqua e quindi sulla certezza che il calore del sole farà evaporare il prezioso liquido , il quale ricadrà con la pioggia sulle montagne riempiendo i bacini idrici e alimentando i fiumi. Questo meccanismo è infinito e rinnovabile , almeno fino a che il sole continuerà a riscaldare il nostro pianeta.

Sappiamo però che l'acqua è fondamentale anche per l'irrigazione e l'alimentazione degli acquedotti ,perciò , in caso di periodi di siccità , la generazione di energia diventa "concorrenziale"con altre attività fondamentali per la nostra società .L' irregolarità della fornitura di acqua influenza anche gli impianti ad acqua corrente . Un fiume in secca non è in grado di produrre elettricità , ma nemmeno un fiume in piena è utile allo scopo.La generazione di energia a partire dall'acqua prevede che il flusso sia il più possibile costante . Per questo motivo spesso l'idroelettrico è legato alla costruzione di dighe o bacini artificiali . Accumulare l'acqua durante le stagioni più piovose permette di rilasciarla gradualmente garantendo un flusso adeguato verso le turbine per tutto l'anno . Questo consente all'energia idroelettrica di avere un "*Capacity Factor* " piuttosto alto ,compreso tra il 30-60% .

Nel caso dell' idroelettrico tale fattore è limitato dalla disponibilità e dalla potenziale competizione con le altre attività umane. Una delle preoccupazioni, quindi è che il cambiamento climatico possa in qualche modo influire negativamente sulla disponibilità di acqua e diminuire il fattore di capacità di tali impianti . Altri svantaggio è che le riserve idriche non sono distribuite in modo uniforme nel mondo .

Rispetto a tutte le altre fonti primarie , l'idroelettrico è l'unico le cui riserve sono in buona parte già in utilizzo da diverse decine di anni in Europa, quindi la previsione è che la crescita di tale tecnologia avverrà nei paesi in via di sviluppo : in particolare Asia e Sud America . A parte i limiti territoriali, forse il più grande problema degli impianti idroelettrici di grandi dimensioni è la loro necessità di creare dighe che , in molti casi , si scontrano con la tutela ambientale , paesaggistica e degli abitanti della zona : l' analisi del rischio collegato alla costruzione di dighe è ,oggi una prassi meglio consolidata , almeno nei paesi dove vige una democrazia . Rimane il fatto che spesso la costruzione di una diga ha un impatto ambientale e sociale non trascurabile ed è anche per questo che non tutte le riserve idroelettriche sono sfruttabili.Come per il nucleare, anche in questo caso l'impatto ecologico non implica l'emissione di gas serra che , al momento , rappresenta il problema più grave e urgente da risolvere. Tuttavia , come abbiamo visto , è sbagliato pensare che le alternative , sebbene sostenibili o rinnovabili , non abbiano alcun impatto sul territorio.

Il punto chiave è trovare un compromesso tra necessità di produrre energia , diminuzione delle emissioni di anidride carbonica e impatto socio- ambientale.

Per contro , uno dei vantaggi dell'idroelettrico è la sua competitività sui costi . Il costo livellato dell' elettricità (LCOE) per gli impianti idroelettrici è di circa 40 dollari al Mwh e questo la rende una delle fonti energetiche più economiche ad oggi disponibili. Altro vantaggio dell' idroelettrico è l'elevata possibilità di " accumulo" dell'energia : il problema dell'accumulo di energia sarà cruciale durante la transizione verso un mix energetico sostenibile. Molte delle fonti rinnovabili , infatti , sono legate a eventi naturali non controllabili, come la pioggia, il vento e sole .Nei prossimi decenni, quando la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici sarà molto più elevata di quella odierna ,come vedremo più avanti , dovremo aspettarci dei "picchi" di produzione di energia durante il giorno e un calo netto durante la notte. Molto probabilmente durante il picco quella prodotta supererà di gran lunga il fabbisogno, quindi sarà fondamentale accumularla , così da renderla utilizzabile nei momenti di necessità (per esempio di notte o in mancanza di vento).Ebbene, il miglior sistema di accumulo ad oggi noto sono i bacini idroelettrici.Una frazione , purtroppo piccola, delle centrali idroelettriche è dotata di due invasi a quote diverse ed è in grado di prendere l' acqua a valle e pomparla in quota , mettendo in pratica un processo inverso rispetto a quello naturale; il bacino in quota potrà poi utilizzare l'acqua pompata per produrre nuovamente energia. Questo processo comporta degli sprechi perchè ,ovviamente, l' elettricità che si ottiene dalla ricaduta dell' acqua è inferiore a quella utilizzata per spingerla in quota. Si tratta, tuttavia , di un sacrificio accettabile considerando che l'alternativa sarebbe non accumulare affatto l'energia in eccesso. L'aumento di interesse verso il pompaggio in quota di acqua potrebbe portare ,entro il 2030 ad un ulteriore aumento di altri 78 Gigawatt di potenza installata nel mondo . Il futuro di questa risorsa dipenderà molto dall' interesse della società. L' Italia è ad oggi al quarto posto tra i paesi con la maggior capacità di idroelettrico ad accumulo, ma nel nostro paese non sembra esserci un grande interesse mediatico e politico a informare la popolazione di questa potenzialità .

Chiaramente , non tutti i bacini idroelettrici possono essere adattati per gestire l'accumulo da pompaggio , tuttavia sarebbe interessante sviluppare questa strada ora che , con i nostri 7,7 Gigawatt siamo tra i paesi con la maggior capacità di accumulo installata. Lo sviluppo di nuove tecnologie per l'accumulo stagionale di riserve d' acqua potrebbe contribuire in maniera significativa alla stabilità della rete elettrica del futuro , soprattutto nelle Nazioni che stanno puntando a un mix energetico composto da fonti rinnovabili "intrinsecamente discontinue".

Scheda di valutazione

Economia

- L'energia idroelettrica è tra le piu' economiche attualmente a nostra disposizione. La durata pluricentenaria di molti impianti e la bassa necessità di interventi di manutenzione la rendono una risorsa decisamente conveniente.

Efficienza

- L' efficienza dell' estrazione dell' energia dall' acqua è molto alta : intorno al 90% ,con un capacity factor(CF) elevato

Ambiente

- Nonostante l'energia idroelettrica non sia collegata all' emissione diretta di gas climalteranti, l' impatto potenziale della creazione di dighe puo' essere elevato . Una corretta scelta dei luoghi dove costruire gli invasi e una dettagliata analisi dei rischi potrebbero largamente migliorarne la "sostenibilità ambientale"

Disponibilità

- Sebbene ci siano Paesi con una capacita' installabile molto scarsa ,l'idroelettrico è piuttosto "democratico" ,soprattutto se consideriamo anche gli impianti ad acqua fluente installabili lungo i fiumi. Il problema principale è dato dal fatto che l'acqua serve per moltissime attivita' umane , quindi la produzione di energia potrebbe entrare in contrasto con altre necessita' dell'uomo

Versatilità

- Le centrali idroelettriche sono molto versatili e possono essere installate anche lontano dai grossi centri abitati per fornire energia elettrica a piccole comunità .

Purtroppo , l'idroelettrico produce solo energia elettrica e perciò non può rispondere a esigenze particolari , come ad esempio il riscaldamento degli ambienti. In realtà , utilizzando pompe di calore sarebbe possibile riscaldare con la sola elettricità , tuttavia non si può ignorare la necessità di portare corrente alle comunità isolate , ed il fatto che queste ultime probabilmente non sono dotate di tale tecnologia.

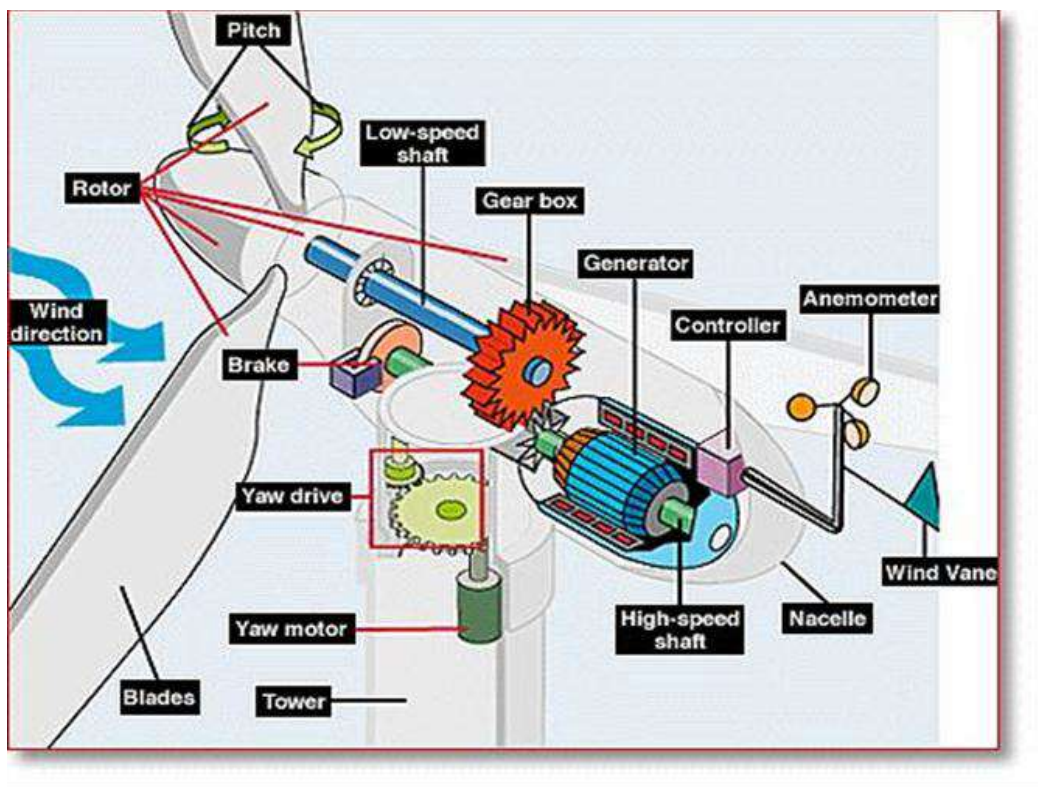
2.3 Energia dal vento : Eolico

Che il vento possa essere sfruttato per produrre energia non è una sorpresa: dalle vele utilizzate per le imbarcazioni per solcare i mari , all' utilizzo dei mulini a vento , intorno alla fine del 1800 , con la crescita della richiesta di elettricità per alimentare le attività umane portò ad inventare nuovi metodi per sfruttare il vento e "piegarlo" alle nostre esigenze. L'introduzione della dinamo, invenzione del belga Gramme, ha un ruolo importante nella fase di modernizzazione di questa tecnologia. Il vero punto di svolta 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. 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 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. 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.

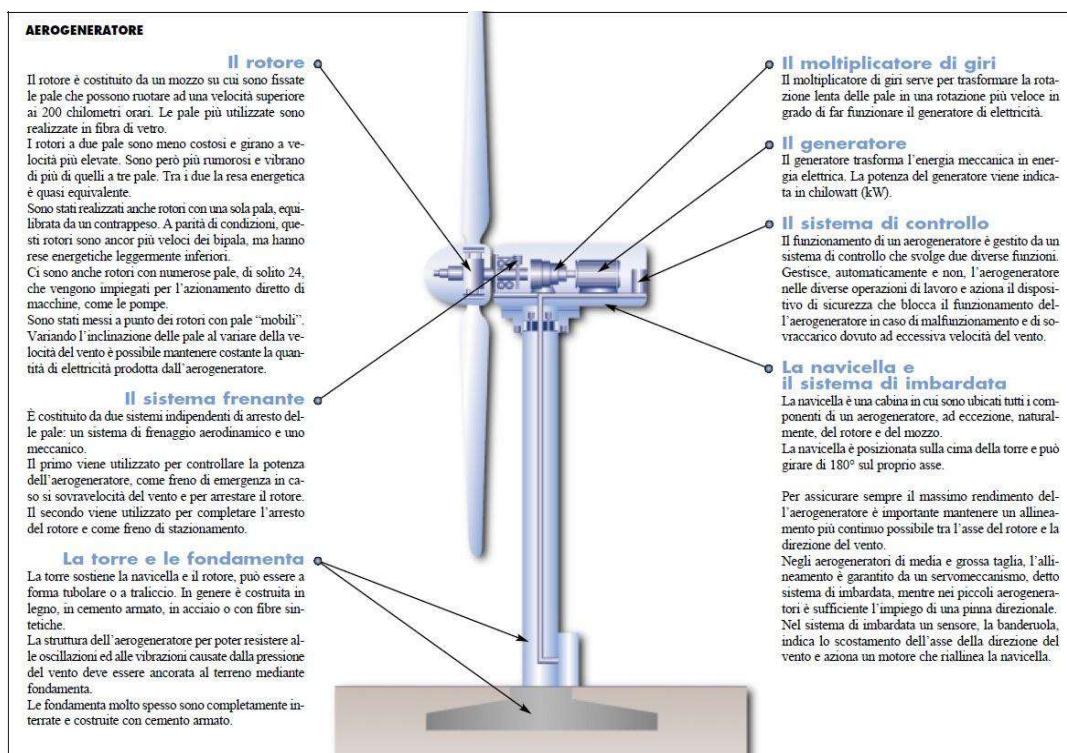


Schema di un aerogeneratore

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.

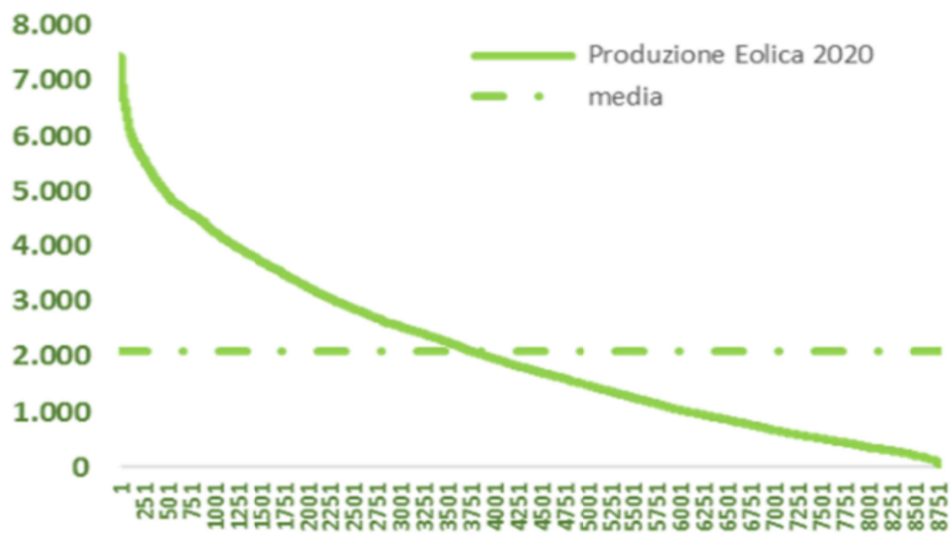
La navicella è poi completata da un sistema di controllo di potenza e da uno di controllo dell'imbardata. Il primo ha il duplice scopo di regolare la potenza in funzione della velocità del vento istantanea, così da far funzionare la turbina il più possibile vicino alla sua potenza nominale, e di interrompere 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

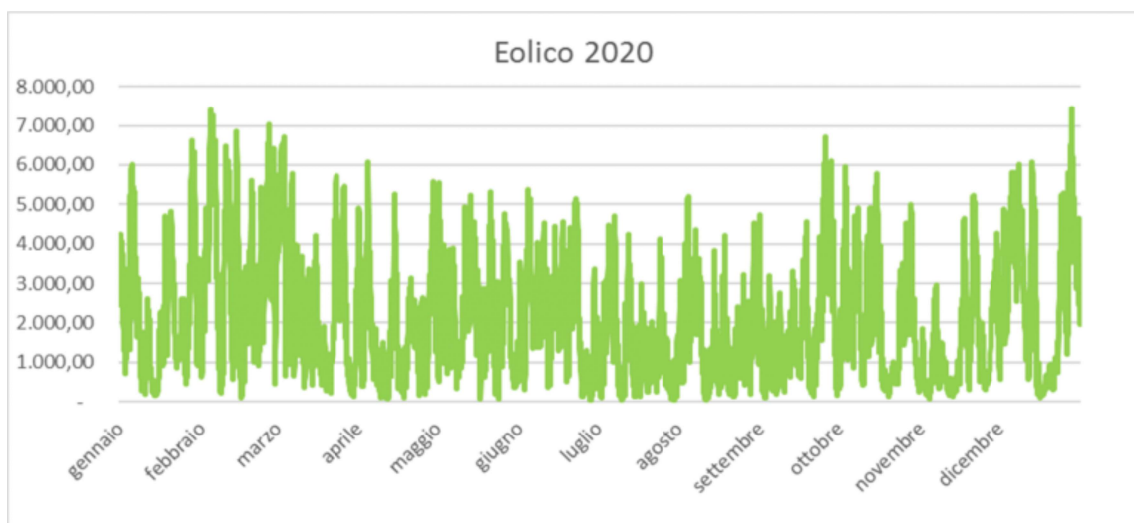


A partire dagli anni '80 le turbine eoliche per la produzione di energia elettrica si diffusero a macchia d'olio negli Stati Uniti e nel Nord Europa .

Per molti anni , questo tipo di energia sembra' conveniente e a buon mercato ,ma presto ci si rese conto che le turbine eoliche non sarebbero mai state sufficienti a coprire la crescente fame di energia . Allo stesso tempo il costo contenuto e l'ampia disponibilit  di fonti fossili rese decisamente poco conveniente investire in questa fonte di energia.Per questo motivo , nonostante l'ampio interesse per le rinnovabili e , in particolare per l'eolica , nel 2007 questa fonte copriva solo l'1% del fabbisogno di elettricit  mondiale. Nel 2020 la quota   aumentata di 6 volte. Nonostante la crescita sia indubbiamente notevole , rimane comunque ancora una percentuale decisamente contenuta. Cio' porterebbe a pensare all'eolico come una fonte "minoritaria"nel panorama delle rinnovabili, ma bisogna anche valutare che i tempi affinche' una nuova fonte raggiunga la tecnologia e i costi ragionevoli per permeare significativamente il mercato sono piuttosto lunghi . Il petrolio , ad esempio, ha impiegato circa 70 anni per occupare una quota importante nel mix energetico globale. Il vento   una risorsa piuttosto diffusa sulla terra , anche se non tutti i paesi hanno lo stesso potenziale. Individuati i territori favorevoli, le turbine eoliche possono essere costruite praticamente in qualunque nazione. Negli ultimi anni , tale settore ha visto una crescita incredibile, complice il calo del costo al Megawattora Mwh , che si attesta intorno ai 40 dollari , un valore dimezzato rispetto a quello del 2010. Nel 1996 c'erano solo 6,1 GigaWatt di capacit  eolica installata nel mondo ,nel 2018 sono diventati 591, e dopo due anni nel 2020 era gi  cresciuta a 791 Mwh. Il primato di questa crescita , va alla Cina , che ha contribuito con circa 50 GigaWatt di nuova capacit  eolica su 93 installati nell'ultimo anno in tutto il mondo . Questa incredibile ascesa , che ha reso l'energia del vento la seconda fonte rinnovabile al mondo ,dopo l'idroelettrico, non deve distrarre da un problema intrinseco a questa tecnologia: il vento non soffia continuamente.A differenza delle centrali a combustibili fossili o ad uranio , le pale eoliche producono energia solo se le condizioni meteorologiche lo consentono . Per questo motivo la capacit  mondiale installata non corrisponde a una produzione di energia 24 ore su 24 ,ogni giorno dell' anno . Nel 2020 , secondo un analisi del dipartimento dell'energia americano , il Capacity Factor dei parchi eolici statunitensi   stato del 41% . In buona sostanza , un parco eolico produce la sua piena potenza per meno della meta' delle ore presenti in un anno .



Curva di durata della potenza immessa in rete in MW da tutti gli impianti eolici italiani connessi



Variazione annuale della potenza immessa in rete in MW da tutti gli impianti eolici italiani connessi

Chiaramente, il Capacity Factor dell'eolico è circa la metà di quello del nucleare , tanto per fare un esempio, e quindi per ottenere lo stesso quantitativo di energia (espresso in Wh) sarà' necessario installare il doppio della capacita'. In breve , per permettere all'eolico di produrre grandi quantita' di energia è necessario installare molte pale.

Di per se' questo non rappresenta una grossa difficoltà ,perche' il consumo di suolo dei parchi eolici è abbastanza limitato. Il vero problema dei parchi eolici è la disponibilità di siti adeguati all' installazione. Infatti ,per ottimizzare i costi è fondamentale che i generatori siano posizionati dove le condizioni meteorologiche sono favorevoli. Per questo motivo ,la capacità eolica di un paese non può essere espansa illimitatamente. Al momento , nonostante la grande attenzione mediatica , il ritmo di crescita dell'energia eolica è decisamente insufficiente. Nel 2020 sono stati installati 93 GigaWatt e questo è sicuramente un ottimo risultato. Tuttavia , per rispettare le scadenze che ci dovranno portare ad eliminare le emissioni di gas serra entro il 2050 ,dovremmo installare 180 GW di eolico all'anno. In pratica , stiamo andando alla meta' della velocità prevista. L'obiettivo è raggiungere 1700 GW entro il 2030 e 4000 GW entro il 2050. Considerando che ad oggi siamo a circa 800 GW , la strada è ancora molto lunga. Nei prossimi anni dovremo installare oltre 3500 nuove turbine da 2,5 MW, così da produrre circa un quarto del fabbisogno globale di energia. In questa corsa contro il tempo , la tecnologia ci viene in aiuto . La capacità di ogni singola turbina è aumentata progressivamente negli ultimi 10 anni e i costi di costruzione e manutenzione sono crollati ; inoltre un parco eolico di nuova generazione produrrà energia per almeno 20 anni . Infine , c' è da considerare un'altra strada che si può perseguire : le turbine eoliche "off shore ". Poiché non tutti i luoghi possono ospitare dei parchi eolici, sia per condizioni meteorologiche sfavorevoli, sia per la concorrenza con altre attività umane, l' idea di ampliare le zone sfruttabili includendo la superficie marina è innovativa ma percorribile. Non è difficile da immaginare che , al largo dalla terraferma , il vento non incontri ostacoli come edifici o montagne . Anche l' impatto sul territorio sarebbe decisamente minore e raramente l' installazione entrerebbe in conflitto con altre attività umane . Per contro , l'eolico off shore presenta dei costi molto più elevati rispetto alla versione terrestre, anche se negli ultimi anni la situazione sta cambiando , in quanto il costo dell' energia elettrica (LCOE) , è calato drasticamente dai 160 dollari al Mwh nel 2010 agli 80 nel 2020. Al momento , gli impianti fuori costa rimangono una netta minoranza nel panorama eolico globale , con una capacità di appena 35GW , ovvero il 5% della totale potenza eolica installata.

L'interesse verso questo tipo di dispositivi, tuttavia, sta crescendo molto rapidamente e ci si aspetta che entro il 2025 siano installati 470 GW di eolico off shore. La maggior disponibilità di vento consente a questi impianti di aumentare il Capacity Factor superando il 50 %. Un esempio è la wind farm britannica Hywind Scotland , che nel periodo 2017- 2020 ha raggiunto un CF del 54%. Si tratta chiaramente di una tecnologia promettente , ma ancora in fase di sviluppo: bisogna distinguere tra tecnologia consolidata e potenziali sviluppi futuri , perciò solo nel prossimo futuro saremo in grado di valutare quanto possa impattare davvero sulla transizione energetica . Sebbene lo sfruttamento dell' energia eolica sia economicamente conveniente e possibile quasi ovunque ,ci sono alcuni problemi che potrebbero arrestarne l'ascesa . La prima difficoltà è proprio "l' intermittenza "della produzione di energia , che e' necessariamente collegata alle condizioni meteorologiche. Per poter funzionare correttamente , una turbina eolica ha bisogno di una velocità minima di vento (4-5 m/s) ma se la velocità cresce troppo (sopra i 20 m/s) il sistema blocca le pale per prevenire eventuali danni . Per questo motivo non è raro avvistare interi parchi eolici immobili in presenza di vento molto forte . Queste limitazioni sono incluse nel calcolo del Capacity Factor e si riflette sul numero di installazioni necessarie . La discontinuità di produzione può variare da improvvisi "picchi" di energia prodotta a valori praticamente nulli e tale intermittenza si riflette anche sulla rete elettrica non senza conseguenza. La rete elettrica è un sistema pensato per fornire energia in modo stabile e continuativo, quindi una generazione a "singhiozzo" mette in difficoltà l'intero sistema , che deve necessariamente prevedere altre fonti in grado di attivarsi al momento del bisogno.

Al momento l' elettricità da turbine eoliche copre una frazione estremamente bassa del fabbisogno, quindi questi sbalzi sono ben gestiti. Se però, come abbiamo visto in precedenza , i numeri di tale fonte sono destinati ad aumentare , garantire la stabilità della rete elettrica sarà fondamentale. Per farlo servono fonti in grado di produrre energia in pochi minuti e , soprattutto, attivabili in caso di necessità . Queste caratteristiche sono al momento solo proprie dell' idroelettrico e delle centrali a gas .

In un ipotetico futuro fondato sul 50 % di energia eolica , l'idroelettrico non sarà in grado di fornire sufficiente energia , quindi il gas è al momento l'unica alternativa concreta (ma si tornerebbe all' uso di fonti primarie non rinnovabile).Sarebbe ironico se spendessimo miliardi per la costruzione di migliaia di turbine eoliche , per poi dover ancora bruciare gas naturale in caso di necessita' . Una possibile soluzione prevede l' accumulo dell'energia prodotta durante i picchi di funzionamento, purtroppo pero' al momento gran parte delle strategie sono ancora in fase di prototipo. Solo il tempo ci dirà quali vie saranno realmente percorribili. Un 'altra questione , spesso sottovalutata , è la disponibilita' di territorio adatto per l' installazione di parchi eolici. Il CF , infatti , varia di parecchio in base a tale problematica. In Danimarca , per esempio l'eolico è molto efficiente e ad oggi produce già circa il 40% del fabbisogno elettrico del paese , ma si tratta di un caso isolato . Normalmente, installare grandi parchi eolici ha un impatto sulla popolazione locale e può generare malcontento o forme di resistenza. La possibilita' di installare piattaforme galleggianti al largo delle coste sicuramente diminuirebbe l' impatto visivo ma , come abbiamo già visto è una tecnologia molto meno consolidata rispetto a quello sulla terraferma. Gli ingenti finanziamenti e l'interesse della società verso la sostenibilita' stanno permettendo alle fonti rinnovabili , eolico compreso , di spiccare il volo ma rimangono alcuni importanti interrogativi a cui bisognerà dare ancora risposte .Se ,come prevedono tutti i report internazionali , il costo dell' eolico off shore calerà ancora e se saremo in grado di produrre dei sistemi di accumulo dell' energia sufficienti per diminuire l' impatto dell' intrinseca variabilità di questa fonte primaria , allora è probabile che si avrà una crescita di installazione nei prossimi anni . È ragionevole pensare cio' , anche perché tali sistemi di accumulo sarebbero fondamentali per molte altre fonti sostenibili, nucleare incluso.

Scheda di valutazione

Economia

- Gli impianti eolici sono piuttosto economici. I parchi eolici a terra sono paragonabili , in termini di costi, con le centrali idroelettriche , mentre quelli off-shore leggermente più costosi.

Efficienza

- Nel caso di fonti primarie illimitate come il vento ha poco senso parlare di efficienza di conversione dell' energia .

Il problema maggiore è legato al numero di ore all'anno in cui il vento soffia in modo adeguato in una determinata zona del mondo. In media gli impianti eolici lavorano a pieno regime per il 40-50% del tempo e purtroppo questo limite è difficilmente superabile perché dipende dalle condizioni meteorologiche

Ambiente

- Premesso che lo sfruttamento di qualsiasi fonte primaria ha un impatto sul territorio e sull' ambiente , l'eolico è tra i sistemi meno impattanti . Le emissioni di gas climalteranti durante l' intero ciclo produttivo sono trascurabili e l' impatto ambientale è minore rispetto a quello generato dall' idroelettrico di grandi dimensioni

Disponibilità

- Il vento è disponibile per lo sfruttamento in quasi tutto il mondo . Se considerassimo solo l'eolico terrestre la valutazione dovrebbe essere inferiore , ma il settore dell' off-shore è in forte sviluppo e permette di aumentare enormemente sia la disponibilità di territorio sfruttabile sia l'accesso alla risorsa

Versatilità

- L'energia eolica è intrinsecamente discontinua e legata alla variabilità meteorologica . Al momento , viste le tecnologie di accumulo dell' energia ancora in fase di prototipo , non sarebbe corretto assegnare una valutazione superiore. Se in futuro i sistemi di produzione di idrogeno o accumulo dell'energia nelle batterie si rivelassero efficienti ed economicamente vantaggiosi, la versatilità potrebbe aumentare .

2.4 Energia dal sole : Fotovoltaico- Solare Termico

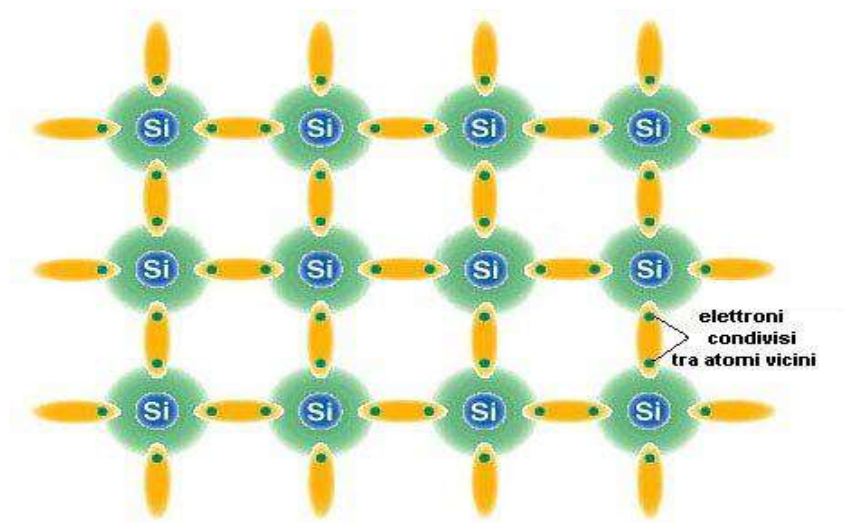
Tutti i giorni sperimentiamo gli effetti che il sole ha sulle nostre vite. Sappiamo , per esempio, che grazie alla sua luce i vegetali crescono e liberano ossigeno tramite la fotosintesi clorofilliana, e grazie alla sua energia che arriva al suolo il nostro pianeta ha una temperatura compatibile con la presenza di vita. Probabilmente, però, siamo meno abituati a considerare il sole come origine di quasi tutte le fonti primarie del pianeta.

A parte l'energia geotermica e quella nucleare , tutte le altre fonti sono in qualche modo collegate all' irraggiamento solare. Dalle fonti fossili, che derivano da primordiali specie viventi , all'idroelettrico, possibile solo grazie all' evaporazione delle masse d' acqua che poi riprecipitano sotto forma di pioggia. Per gran parte della nostra storia ci siamo accontentati di godere dei benefici indiretti provenienti dalla luce del sole ,ma e' chiaro che uno strumento piu' "diretto " avrebbe definitivamente cambiato il panorama della generazione di energia, anche se , come vedremo piu' avanti "intercettare "e rendere utilizzabile l' energia solare non è affatto semplice. Come è avvenuto per buona parte delle fonti sostenibili, si è cominciato ad impiegare l'irraggiamento solare alla fine del 1800 , in piena rivoluzione industriale . Il concetto era in realtà banale : si fondava sull' uso di specchi in grado di concentrare la luce su una massa d'acqua che , scaldandosi , avrebbe generato vapore e attivato turbine elettriche. Nonostante il principio fosse elementare , dal punto di vista tecnologico la sfida era tutt' altro che banale per l'epoca , tanto che anche i prototipi piu' promettenti rimasero relegati a mere curiosita' da esibire durante fiere e mostre. Impianti di questo tipo, basati su specchi solari e chiamati appunto "a concentrazione", continuarono a essere costruiti anche nella prima meta' del 1900 , ma sempre con scarso successo. Furono due i fattori che decretarono il fallimento, momentaneo, di questa tecnologia: il basso prezzo delle fonti fossili , che non incentivava certamente la ricerca e lo sviluppo di fonti energetiche alternative, e la scoperta dell' "Effetto Fotoelettrico", che permetteva di trasformare la luce in elettricità . Nel 1905 un giovane scienziato interpretò i risultati di una serie di esperimenti riguardanti l'interazione tra luce e materia , ottenuti nei decenni precedenti da suoi celebri colleghi e mai pienamente compresi. Il giovane fornì una spiegazione di quello che prese il nome di effetto fotoelettrico e aprì la strada ad un 'inarrestabile progresso nella fisica dell' epoca. Quel fisico , diventato famoso per la teoria della relatività si chiamava Albert Einstein e nel 1921 vinse il premio Nobel proprio per la descrizione dell' effetto fotoelettrico. Questo fenomeno è ancora oggi alla base del funzionamento dei pannelli solari fotovoltaici e, a oltre 100 anni dalla sua scoperta , possiamo dire con certezza che ha rivoluzionato l' intero panorama energetico mondiale e che probabilmente sarà il punto di partenza della transizione ecologica nei prossimi decenni.

I primi pannelli solari fotovoltaici fecero la loro prima comparsa a metà del secolo scorso, tuttavia la loro efficienza era talmente bassa e i costi così elevati da non permettere praticamente nessuna applicazione. Fu la corsa allo spazio durante la Guerra Fredda a spingere le superpotenze mondiali a investire ingenti capitali nella costruzione di pannelli fotovoltaici capaci di produrre energia dove nessun'altra fonte era in grado di farlo. Lo studio di tecnologie fotovoltaiche per scopi militari e spaziali stimolò nuove scoperte e pian piano abbattè i costi che, inizialmente erano davvero proibitivi. Nel 1956 le celle solari statunitensi prodotte dalla Bell costavano circa 380 dollari per ogni singolo Watt di potenza. Nel 1973 esse furono usate nello Skylab, la prima stazione spaziale americana, e costavano circa un terzo delle precedenti. Le crisi petrolifere degli anni '70 e dei primi anni 2000 spinsero molte compagnie a cercare un'alternativa alla volatilità dei prezzi e al progressivo esaurimento delle fonti fossili. Quindi, a dire il vero, l'interesse per il fotovoltaico fu tutt'altro che guidato dalla lungimiranza. Come abbiamo imparato, la forza trainante di questi cambiamenti è l'aumento del prezzo delle fonti fossili, quindi la tendenza è stata sempre quella di correre ai ripari durante le crisi, piuttosto che prevedere le criticità e prepararsi in anticipo. Questo comportamento, nell'ambito energetico e del fotovoltaico in particolare, ha contribuito a ritardare lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili. Dobbiamo tener presente che l'interesse verso una nuova tecnologia, diventata improvvisamente appetibile a causa dell'aumento del costo delle fonti fossili, non produce immediatamente dei risultati. Correre ai ripari investendo nella ricerca sul fotovoltaico quando ormai la crisi è in atto, difficilmente può avere un impatto immediato sul problema. Infatti, sia negli anni '70, sia dopo l'aumento dei prezzi all'inizio del nuovo millennio, il fotovoltaico ha giocato un ruolo insignificante. Chissà se, ai nostri giorni, con una crisi energetica ormai in atto, avremo imparato dal passato i nostri errori nell'agire solo per arginare momentaneamente il problema. Nel 2010, l'energia solare copriva meno dell'uno per mille dei consumi di energia primaria, con una capacità installata di soli 40 GW. Un numero trascurabile se consideriamo i 4800 GW di capacità elettrica totale installati all'epoca. Il risultato di questo interesse condizionato dai soldi e dall'emergenza è stato che per anni non si è investito nella ricerca e nell'ottimizzazione di fonti sostenibili, come il fotovoltaico.

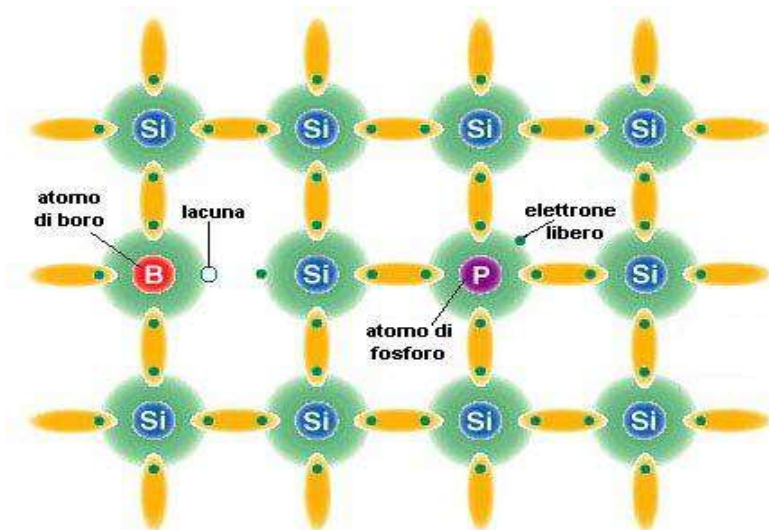
Di conseguenza ,ora che l'emergenza , climatica e politica; bussa alla nostra porta , siamo costretti a correre ai ripari cercando di raggiungere obiettivi incredibilmente ambiziosi. Il sole ci inonda di quantita' enormi di energia gratuita , basti pensare che l'energia solare che raggiunge la superficie terrestre ogni anno supera di diverse migliaia di volte il fabbisogno mondiale di energia primaria. Questo significa che basterebbe usare una piccola frazione di questa potenza "regalata" , per risolvere tutti i nostri problemi energetici. A livello teorico sembra semplice , ma sul lato pratico la situazione si complica.Gli esseri umani non fanno la fotosintesi come le piante, e le nostre attività necessitano di grandi quantità di energia concentrata in piccoli punti del territorio (per esempio case, aziende , ospedali). Lo sfruttamento dell'energia solare non puo' prescindere quindi dalla sua conversione in una forma che sia piu' facilmente utilizzabile.Il metodo di trasformazione piu' semplice è quello dei pannelli solari termici. Si tratta di un sistema di collettori solari nei quali solitamente scorre un fluido che , assorbendo la luce solare, si riscalda. Si tratta dello stesso meccanismo che causa il surriscaldamento degli oggetti lasciati esposti ai raggi del sole. Il fluido contenuto nei pannelli solari termici riscalda poi un serbatoio di acqua che potra' essere sfruttata in sostituzione della caldaia per usi sanitari o, in alcuni casi, per supportare il riscaldamento degli ambienti. Sebbene ci sia stata una discreta diffusione di tali dispositivi in ambito domestico nello scorso decennio , il bilancio dei costi si rivela conveniente solo quando il consumo di acqua calda è particolarmente elevato. In tempi recenti l' interesse per questo tipo di conversione dell' energia solare è stato superato dalla commercializzazione dei pannelli fotovoltaici in grado di convertire la luce in energia elettrica . L'elettricità è una fonte di energia secondaria molto versatile che possiamo usare in moltissimi ambiti e per la quale è già presente una rete di trasporto molto efficiente. 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.



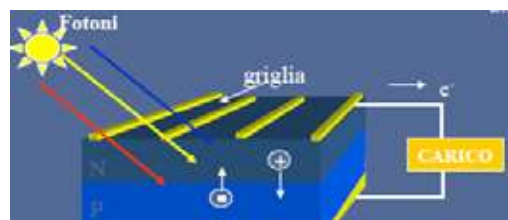
Esiste quindi un forte legame elettrostatico fra un elettrone e i due atomi che esso contribuisce a tenere uniti. Questo legame elettrostatico può essere spezzato con una quantità di energia che permetta ad un elettrone di passare ad un livello energetico superiore, cioè dalla banda di valenza alla banda 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).



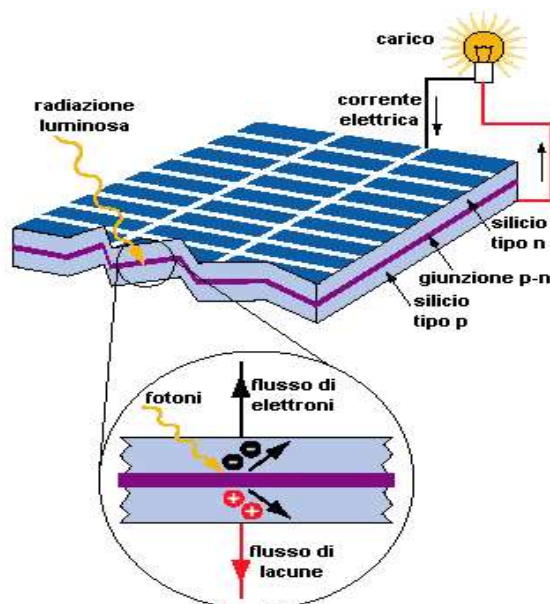
Nello strato drogato con fosforo, che ha cinque elettroni esterni o di valenza contro i quattro del silicio, è presente una carica negativa debolmente legata, composta da un elettrone per ogni atomo di fosforo. Analogamente, nello strato drogato con boro, che ha tre elettroni esterni, si determina una 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.

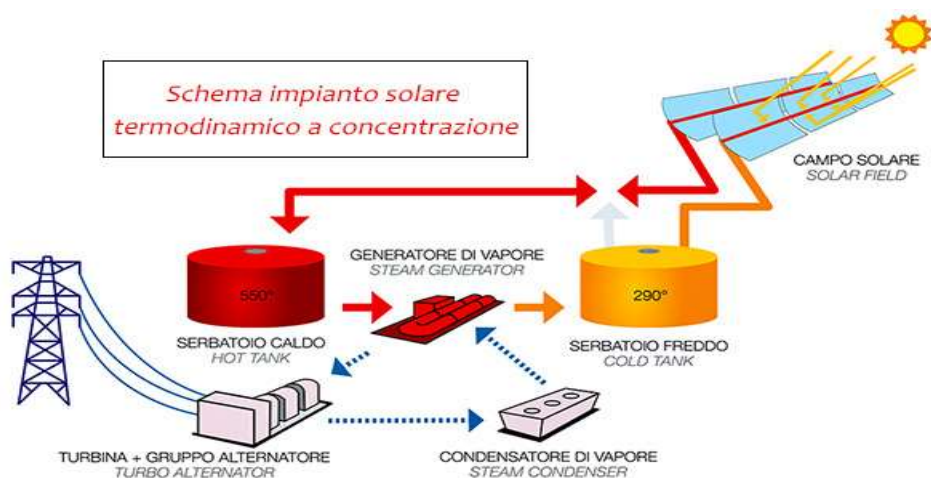
In sintesi la conversione da luce a energia elettrica effettuata dalla cella fotovoltaica avviene essenzialmente perché questi portatori di carica liberi (elettroni e lacune), generati dalla luce, sono spinti in direzioni opposte dal campo elettrico interno creato attraverso la giunzione di due semiconduttori 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.



Poter trasformare la potenza del sole in corrente elettrica è indubbiamente uno dei migliori modi per aumentare la versatilità dell'energia che proviene dalla nostra stella, tuttavia, anche in questo caso, i problemi non mancano. Per buona parte della sua vita sul mercato, il fotovoltaico ha avuto costi proibitivi, tanto che, salvo incentivi governativi particolarmente convenienti, la sua penetrazione nel mix energetico mondiale è stata piuttosto scarsa.

Ad aggravare il problema dei costi del fotovoltaico si aggiunge la scarsa efficienza del processo di conversione in elettricità che nel 2006 si attestava al 13,2% per pannelli a base di silicio policristallino e al 14,7 % per quelli a silicio monocristallino.

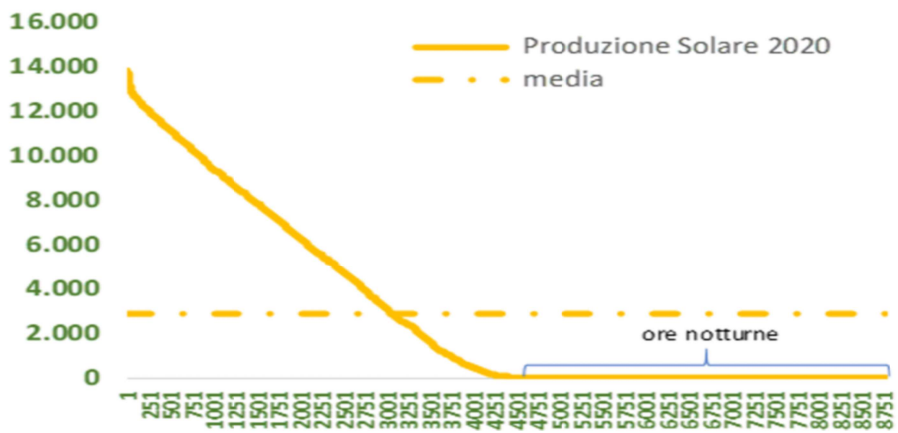
In questi anni sono stati fatti moltissimi passi avanti sia dal punto di vista dell'efficienza, sia riguardo i costi. Oggi, i pannelli fotovoltaici hanno un'efficienza intorno al 20% ed un costo LCOE di 57 dollari al Mwh, che regge il confronto con tutte le altre fonti sostenibili. La ricerca continua ad elaborare nuovi metodi e materiali per migliorare ulteriormente l'efficienza dei dispositivi fotovoltaici, ma, al momento, le tecnologie classiche basate sul silicio cristallino occupano la quasi totalità del mercato. Intorno al 2010 un nuovo tipo di pannello basato su "materiali a film sottile" aveva fatto sperare in una rivoluzione in questo ambito, ma ben presto la bassa efficienza del sistema innovativo a fronte di costi comunque confrontabili a quelli dei pannelli tradizionali relegarono tali moduli ad una decisa minoranza sul totale delle installazioni inferiore al 5% nel 2017. Un'altra opportunità per raccogliere l'energia del sole proviene dal cosiddetto "Solare Termodinamico a Concentrazione": nonostante sia stato il primo metodo ideato e quello più intuitivo, è ad oggi quello più lontano dalla commercializzazione. I moderni parchi solari a concentrazione si basano sulla costruzione di migliaia di specchi in grado di riflettere la luce e di concentrarla in un punto ben definito. L'energia solare, quindi, non viene assorbita dagli specchi, ma riflessa e concentrata verso una caldaia contenente dei sali fusi. Questa sostanza incandescente viene poi utilizzata per riscaldare dell'acqua, produrre vapore e di conseguenza elettricità.



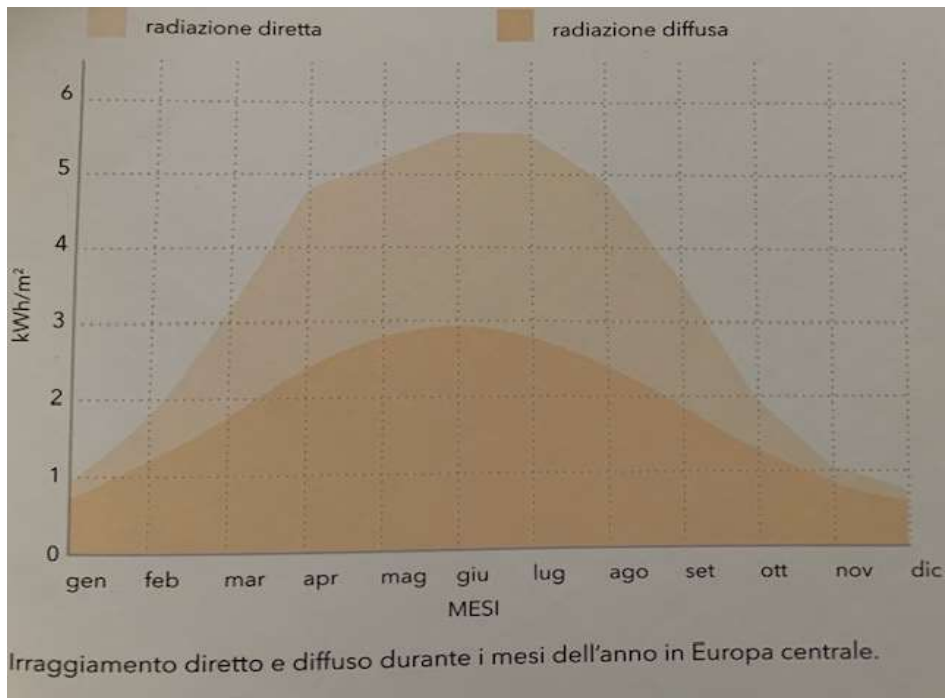
Uno dei vantaggi di questa tecnologia è la possibilità di accumulare il calore generato di giorno , così da permettere alla centrale di lavorare a ciclo continuo anche quando il sole non è presente. Per contro , gli specchi che concentrano devono essere motorizzati per seguire il movimento del sole durante la giornata e questo aumenta la complessità tecnica e i costi di manutenzione. Inoltre, installazioni di questo tipo necessitano di un territorio con un' elevata esposizione solare ed ampi spazi disponibili. Una centrale solare a concentrazione richiede, a parità di energia generata , oltre 10 volte lo spazio occupato da una centrale nucleare e fino a 4 volte l' estensione richiesta dai pannelli fotovoltaici . Non stupisce quindi che le installazioni di solare a concentrazione presenti nel mondo siano ad oggi pochissime. L' Italia è stato uno dei primi paesi ad ospitare un' installazione pilota , ma dopo anni di polemiche , proteste dei comitati locali e burocrazia non sembra che ci siano margini per un' espansione del progetto iniziale. Esistono in altre nazioni progetti sperimentali in fase piuttosto avanzata , tra cui la centrale Andasol ,in Spagna , la più grande d' Europa con una capacità di 150 MW, ma anche fuori dall' Europa , Cina ed Emirati Arabi stanno sviluppando grandi progetti. Secondo la AIE , il solare termodinamico conoscerà presto una nuova ascesa e trincererà , insieme al fotovoltaico, la transizione ecologica . E' probabile che avrà una fase di espansione entro il 2050 , ma difficilmente questa tecnologia costituirà una parte significativa delle rinnovabili , almeno nel prossimo decennio.

Il sole ci invia, ogni giorno , in media 1 Kilowatt per metro quadrato di superficie terrestre. Se potessimo convertire questa energia in modo efficiente , avremmo facilmente risolto ogni problema energetico per il resto della nostra esistenza . Purtroppo , convertire l' energia solare , come abbiamo detto , non è così semplice . L' energia prodotta usando i raggi solari , ad oggi rappresenta poco più del 3 % della produzione di elettricità annua mondiale e si posiziona al terzo posto tra le fonti rinnovabili dopo idroelettrico ed eolico. Al momento , il metodo più efficace ed economico prevede l' utilizzo dei pannelli fotovoltaici che però hanno una bassa efficienza. Questo sarebbe un problema trascurabile se il sole illuminasse senza interruzione tutto il pianeta 24 ore al giorno , ma come sappiamo non è così . Di notte i pannelli non generano corrente elettrica , inoltre, in caso di giornate con forte nuvolosità, la produzione cala drasticamente.

Come succede per il vento , anche questo tipo di energia è fortemente "discontinua", con la differenza che oltre alla variabilità meteorologica, la produzione è influenzata anche dalle notti che , per metà dell' anno , sono piu' lunghe del giorno. Il risultato è che il Capacity Factor per il solare fotovoltaico si attesta intorno al 18% : un impianto produce il massimo della potenza installata per poco piu' di due mesi all' anno . Puo' sembrare basso, ma facciamo alcune considerazioni : nel 2020 , secondo i dati Terna , in Italia abbiamo consumato 301 Terawattora (Twh) di energia elettrica . Per generare questa energia usando solo solare termodinamico, avremmo bisogno , considerando un CF del 18%, di 191 GW di capacita' installata. Per installare 1 kW di potenza sono necessari tra i 7 e i 10 metri quadrati a seconda della superficie di installazione , quindi consideriamo una media di 8,5 m² per kW installato. Per installare 191 GW di potenza e soddisfare l'intero fabbisogno elettrico italiano, servirebbero solamente, per cosi dire, 1.600 km² di superficie ricoperti di pannelli solari. Secondo i dati Eurostat 2018 la superficie occupata da edifici o strutture artificiali , in Italia è di 19.800 km² , di conseguenza basterebbe ricoprire meno del 10% dei tetti di queste strutture con pannelli solari per raggiungere l' obiettivo. Per dare un idea , si tratta di una superficie grande come la meta' della Valle D'Aosta. In aggiunta , secondo i dati Ismea 2021, in Italia abbiamo anche 34.000 km² di terreni agricoli abbandonati, e sarebbe sufficiente occuparne il 5 % per ottenere un' economia basata sul fotovoltaico. Inoltre ce' un settore in enorme crescita : "l' agrifotovoltaico". Si tratta di terreni coltivati sui quali vengono installati dispositivi fotovoltaici con lo scopo di raccogliere l' irraggiamento solare durante le ore piu' calde , diminuendo cosi lo stress termico sulle colture sottostanti. In conclusione , questi numeri ci portano due considerazioni : non è ragionevole pensare di rispondere all' intero fabbisogno energetico nazionale solo attraverso il fotovoltaico per l'occupazione del suolo e la non continuita' della fonte in discussione. In realta' , è proprio questo il problema maggiore , ovvero l'intermittenza della fornitura : sebbene sia teoricamente possibile installare centinaia di Giga watt di fotovoltaico , questi produrranno energia solo per alcune ore al giorno , e in gran parte durante la stagione estiva . Da un punto di vista numerico avremmo prodotto il fabbisogno energetico di un intero anno , ma nella pratica l' energia sarebbe concentrata nel periodo estivo , lasciandoci totalmente scoperti durante l' inverno.

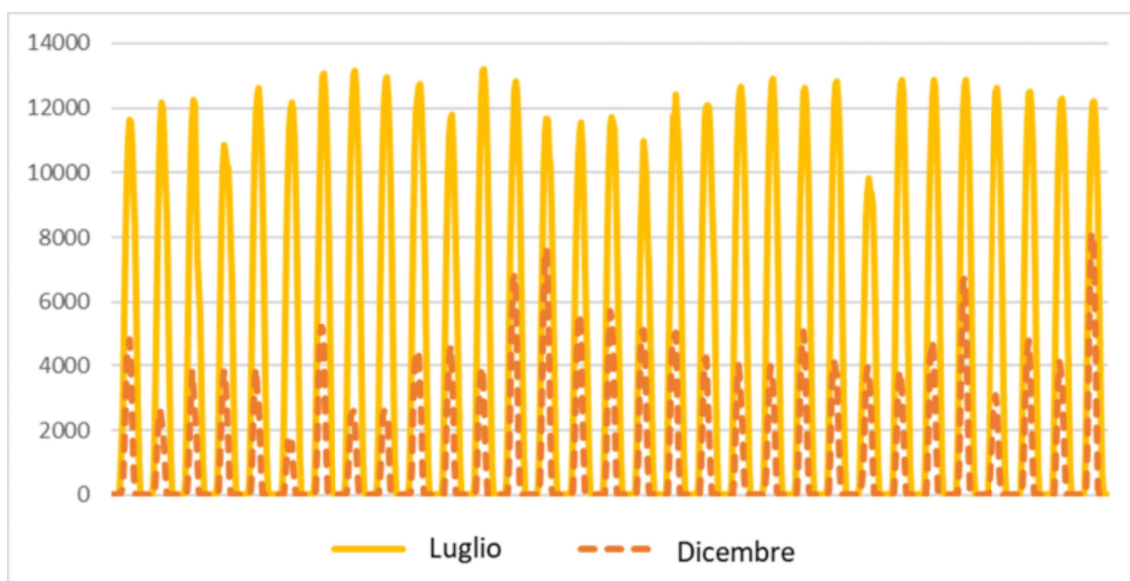


Curva di durata della potenza immessa in rete in MW da tutti gli impianti fotovoltaici italiani connessi



Irraggiamento diretto e diffuso durante i mesi dell'anno in Europa centrale.

Rilevante come nel mese di minima potenza (dicembre) il massimo picco sia pari a poco più della metà che nel mese di massima potenza (luglio) e come i minimi picchi giornalieri in inverno siano $1/6$ e $1/7$ del massimo picco estivo :



Confronto tra i mesi di massima e minima potenza immessa in rete da tutti gli impianti fotovoltaici

L'unico modo per ovviare a questo limite intrinseco della fonte è la creazione di "impianti di accumulo energetico" che permettano di dare stabilità alla rete elettrica durante i periodi di scarso o nullo irraggiamento. Chiaramente ciò porta alla crescita dei costi complessivi. Se da un lato è vero che le tecnologie fotovoltaiche stanno diventando sempre più economiche, dall'altro il costo dell'accumulo di energia per ore (giorni addirittura) è tutto da valutare. Rispetto a tutte le altre fonti energetiche, il sole è la fonte che più è legata alla necessità di accumulo e quindi il costo livellato dell'elettricità LCOE dovrebbe essere associato al costo livellato dell'accumulo LCOS. Il motivo per il quale difficilmente i due costi sono associati è che i metodi di accumulo sono ancora in fase embrionale e i loro costi subiranno variazioni enormi nei prossimi anni: al momento qualunque valutazione è azzardata e fuorviante. Inoltre, ad oggi, la potenza solare è ben lontana dall'essere sufficiente per produrre eccessi energetici ai quali associare grandi sistemi di accumulo. Sappiamo però che la quantità di installazioni in grado di raccogliere l'energia solare dovrà aumentare drasticamente nel prossimo futuro. La crescita del fotovoltaico è molto rapida, ma non sufficiente per raggiungere gli obiettivi che ci siamo posti entro il 2030. Nel 2020 nel mondo si sono raggiunti i 134 GW di capacità, ma entro il 2030 dovremo essere in grado di aggiungere 630 GW ogni anno.

A seconda degli scenari , il solare potrebbe essere piu' o meno presente nel futuro mix energetico, tuttavia è abbastanza assodato che dovremmo circa raddoppiare le installazioni annuali entro il 2025 e poi raddoppiarle nuovamente entro il 2030 .Una sfida tutt'altro che semplice , soprattutto dopo che , a causa della pandemia , la filiera del rifornimento di molte materie prime necessarie alla produzione dei pannelli fotovoltaici ha subito forti rallentamenti , con conseguente aumento dei prezzi e con ritardi nelle installazioni . Altro aspetto da esporre è la cosiddetta " vita utile di un pannello ": un pannello fotovoltaico moderno è in grado di durare 30 anni circa , mediamente esso presenta una degradazione dello 0,4 % ogni anno . Dopo 30 anni di utilizzo , quindi la potenza generata potrebbe subire effettivamente un calo significativo e l' impianto dovrebbe essere sostituito.Una delle preoccupazioni piu' grandi è quindi la capacità di riciclare i vecchi dispositivi per crearne nuovi . Per non commettere gli errori del passato , è fondamentale limitare gli sprechi ed incentivare un economia circolare basata sul riciclaggio dei pannelli dismessi.Dobbiamo infatti considerare che l'estrazione di nuovo materiale ha dei costi sia economici sia ambientali , inoltre il conferimento in discarica di risorse potenzialmente utili è insensato e contrario a qualunque principio della sostenibilita' .Per questo motivo da oltre 15 anni si studiano potenziali opportunita' per recuperare i materiali dai pannelli che hanno raggiunto il loro limite di operativita' creandone di nuovi.La filiera del riciclaggio, infatti, nasce gia' durante la costruzione di un qualsiasi dispositivo.Le strategie che consentono un facile recupero dei materiali utilizzati devono essere implementate oggi per poter rendere piu' semplice lo smaltimento tra 30 anni . In linea teorica, la riciclabilità di un pannello fotovoltaico si avvicina al 100% , ma al momento la variabilita' è ancora troppo elevata per avere qualche certezza. Ad oggi , il volume di dispositivi da riciclare è bassissimo e non è quindi possibile costruire un mercato economicamente conveniente. In futuro ,tuttavia , è evidente che ci troveremo con migliaia di pannelli da riciclare e questo necessita di nuove aziende specializzate, formazione specifica e della creazione di nuovi posti di lavoro.

Scheda di valutazione

Economia

- Gli impianti fotovoltaici sono molto economici, ed il loro prezzo è quello che si è maggiormente ridotto negli ultimi 10 anni. Le stime prevedono un 'ulteriore diminuzione nel prossimo futuro. Un 'incertezza maggiore riguarda gli altri tipi di tecnologia in fase di sviluppo, come il solare a concentrazione.

Efficienza

- Considerando in questo parametro sia l' efficienza di conversione dell' irraggiamento in corrente elettrica, sia il limite dettato dal ciclo giorno/notte o da condizioni meteorologiche avverse (nuvolosità, neve) ,la raccolta dell' energia dal sole è piuttosto scarsa.

Ambiente

- Le emissioni di anidride carbonica , collegate all' intero ciclo di produzione , manutenzione e smaltimento degli impianti solari sono molto basse , comparabili con le altre fonti sostenibili e con il nucleare. Il problema principale è che le tecnologie per convertire la luce solare richiedono una discreta disponibilità di territorio. Questa difficoltà' , tuttavia , si puo' in parte risolvere se si considerano i tetti delle strutture , i parcheggi, i terreni agricoli coltivati ed abbandonati.

Disponibilita'

- Dal punto di vista della fonte primaria , la disponibilita' è illimitata. Anche le risorse utilizzate per costruire i pannelli e gli specchi , sono largamente disponibili

Versatilita'

- L'energia solare e i sistemi per sfruttarla sono piuttosto versatili. Dalla produzione di calore all' energia elettrica , l'energia solare puo' essere trasformata per soddisfare numerosi bisogni. La necessita' di occupare molto territorio rende pero' complessa la creazione di grossi parchi fotovoltaici.D'altro canto , tecnologie diverse si prestano ad applicazioni molto variabili : dal solare a concentrazione, che richiede ampi spazi semidesertici, al fotovoltaico per usi domestici.

2.5 Energia dalla Terra : Geotermico

Una delle fonti che piu' spesso ci dimentichiamo di citare è quella proveniente dal sottosuolo. Sotto la crosta terrestre, infatti, si nasconde una sterminata riserva di energia termica che potrebbe risolvere ogni nostro problema energetico, se solo fosse possibile estrarla facilmente. Nonostante in molti luoghi del pianeta, si manifesti in modi decisamente plateali , è il caso dei geyser, delle sorgenti termali calde o dei vulcani, sfruttarla è molto complicato. All' inizio del '900 , a Lardarello, fu effettuato un primo tentativo di utilizzare l'energia proveniente dal sottosuolo. La promessa di un brillante futuro per questo tipo di energia , purtroppo, si scontro' rapidamente con difficoltà tecniche ,costi elevati e produzione troppo scarsa rispetto alle fonti energetiche concorrenti. Se da un lato il calore del sottosuolo applicato al riscaldamento diretto di abitazioni e attività umane è efficiente ed illimitato , dall' altro la sua trasformazione in elettricità è ben piu' complessa. Non stupisce quindi che nel 2011 la capacità elettrica mondiale proveniente da fonti geotermiche fosse solo di 10 Gigawatt e che , dopo piu' di 10 anni sia aumentata di soli 4 Gigawatt. Un aumento quasi trascurabile se confrontato con tutte le altre fonti sostenibili. Il solare fotovoltaico è passato da 72 Gigawatt nel 2011 a 707 nel 2020 , tanto per fare un esempio. Al momento, le possibilità che il geotermico contribuisca in modo consistente alla transizione ecologica sono piuttosto limitate. Ovviamente ci sono delle eccezioni ,come l' Islanda , dove l'elevata presenza di sorgenti geotermiche ed il basso numero di abitanti permette di generare il 25% del fabbisogno elettrico sfruttando l'energia dal sottosuolo.

L'energia geotermica nasce dalla produzione di calore della Terra rilasciato in processi di decadimento nucleare di elementi radioattivi quali l'uranio, il torio e il potassio, contenuti naturalmente all'interno della terra.

Penetrando in profondità a partire dalla superficie terrestre, la temperatura diventa gradualmente più elevata, aumentando di circa 30 °C per km nella crosta terrestre. Infatti, il gradiente medio è circa 0.025°- 0.03° C/m.

Questo valore può essere stimato considerando che il flusso termico affiorante totale è pari a 3.24×10^{13} W (ovvero circa 0.065 W/m²), assunta una conduttività termica media del terreno k di 2.2 W/m K, si può stimare che il gradiente medio sia pari a circa 3 Kelvin ogni 100 metri

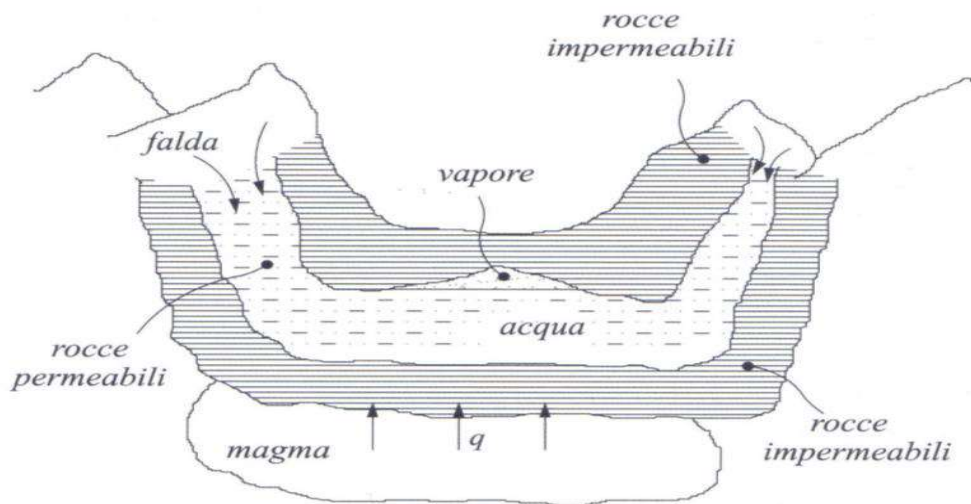
Un sistema geotermico è formato da tre elementi:

- *La sorgente di calore* può essere una intrusione magmatica a temperatura molto alta (>600 °C), che si è posizionata a profondità relativamente piccola (5-10 km), oppure, come in certi sistemi a bassa temperatura, il normale calore della Terra.
- Il *serbatoio* è un complesso di rocce calde permeabili nel quale i fluidi possono circolare assorbendo il calore. Il serbatoio generalmente è ricoperto da rocce impermeabili e connesso a zone di ricarica superficiali dalle quali le acque meteoriche possono sostituire, totalmente o parzialmente, i fluidi perduti attraverso vie naturali (per esempio sorgenti) o che sono estratti mediante pozzi.
- Il *fluido*, che è il mezzo che trasporta il calore, nella maggioranza dei casi, è acqua meteorica in fase liquida o vapore, in dipendenza dalla sua temperatura e pressione. Quest'acqua spesso trascina con sé sostanze chimiche e gas, come CO₂, H₂S ed altri.

Attualmente la produzione di energia geotermoelettrica ha luogo con impianti di tipo diverso, a seconda della temperatura a cui è disponibile l'acqua proveniente dal sottosuolo. Si hanno così tre schemi fondamentali di centrali:

1. a vapore dominante
2. ad acqua ad alta temperatura
3. a ciclo binario per acqua a media temperatura.

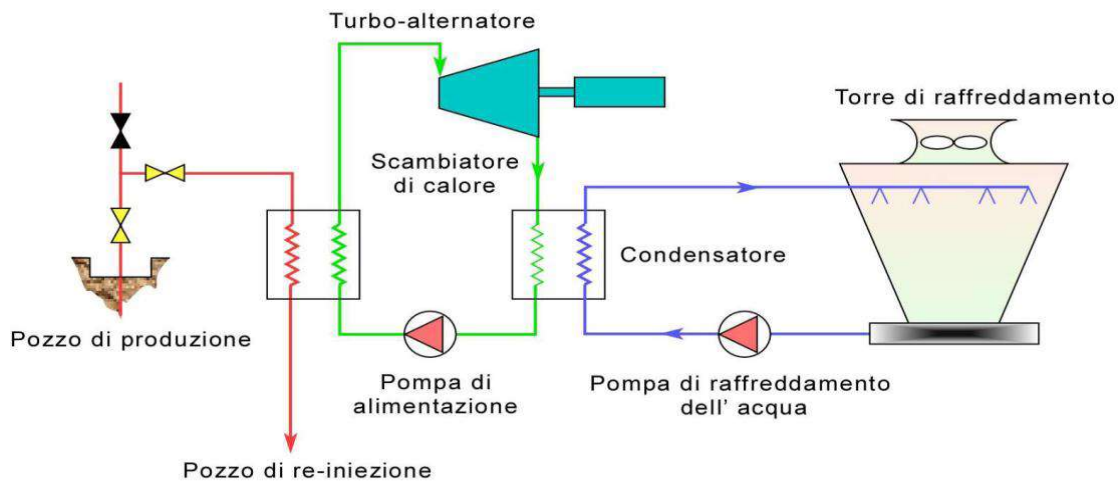
Le centrali geotermiche *a vapore dominante* sono caratterizzate dalla presenza di formazioni rocciose permeabili che accolgono una falda naturale e che sono, a loro volta, contenute entro strati di rocce impermeabili. Se il flusso termico proveniente dal magma sottostante è sufficientemente elevato, nelle eventuali caverne tra le rocce permeabili *può formarsi vapore*, come indicato schematicamente nella figura seguente . Particolarmente idonei sono i sistemi dai quali si estrae vapore saturo secco o surriscaldato, che può essere inviato direttamente in turbina .



I sistemi geotermici ad acqua ad *alta temperatura* sono simili a quelli a vapore dominante ma, in essi, la configurazione delle rocce e la temperatura *non* sono tali da dare luogo alla *formazione* di caverne riempite con vapore. Il rendimento del ciclo termodinamico è abbastanza basso. La produzione d'energia elettrica può risultare l'utilizzazione più conveniente delle risorse geotermiche ad alta temperatura, come vapore saturo o surriscaldato, od acqua ad alta temperatura, proveniente dalle sorgenti d'acqua del sottosuolo. Infatti, è opportuno convogliare questi fluidi verso apposite turbine adibite alla produzione di energia elettrica e riutilizzando il vapore acqueo per il riscaldamento urbano, le coltivazioni in serra e il termalismo. Mentre le risorse a medio/bassa temperatura, come le falde superficiali a temperatura relativamente elevata, possono essere direttamente sfruttate per il riscaldamento ambientale e la produzione d'acqua sanitaria, o possono essere utilizzate in agricoltura.

Le Centrali geotermiche *ad acqua a media temperatura* sono la tipologia di centrali più diffusa. Nel loro sfruttamento ai fini della produzione di energia elettrica, è necessario ricorrere a cicli binari che impiegano *fluidi organici bassobollenti*.

In figura una rappresentazione schematica di un impianto a ciclo binario per generazione di elettricità. In rosso il circuito del fluido geotermico, in verde il circuito del fluido secondario, in blu il circuito di raffreddamento.



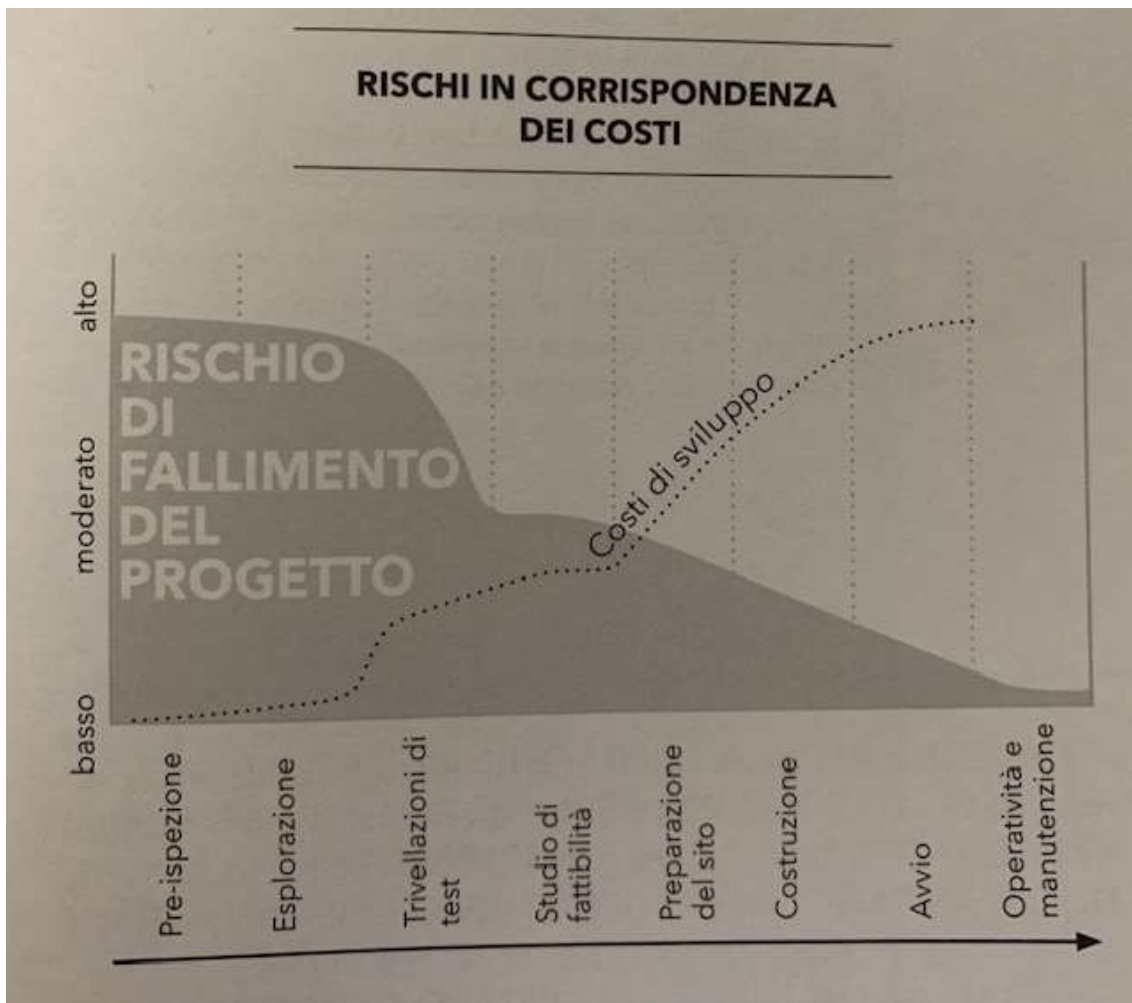
L'acqua calda alimenta uno scambiatore in controcorrente che funge da generatore di vapore per il fluido organico. Il ciclo di Rankine così realizzato è molto simile a quello utilizzato negli impianti ad energia solare a media temperatura. Il *rendimento di conversione* del calore in energia elettrica, tipico dei cicli binari, è superiore a quello ottenibile nelle centrali ad acqua ad alta temperatura dove si utilizzano la laminazione e la successiva separazione del vapore da inviare in turbina. Per questo motivo si sta considerando la possibilità di estendere il campo operativo dei gruppi binari dal limite inferiore di temperatura dell'acqua di 90 °C, sino a limiti superiori dell'ordine di 150-180 °C, tipici dei sistemi ad acqua ad alta temperatura. Dal punto di vista ecologico poi, i gruppi binari si raccomandano per le *ridotte emissioni di gas incondensabili* nell'atmosfera. Essi, infatti, funzionano con condensatori a superficie che non liberano alcun gas e quindi disperdono nell'atmosfera solo il gas contenuto nella frazione di fluido geotermico necessaria al reintegro del quantitativo evaporato. Scegliendo opportunamente il fluido secondario, è possibile costruire impianti binari, che sfruttano fluidi geotermici con temperature comprese tra 85 e 170 °C.

- Il *limite superiore* è imposto dalla stabilità termica dei fluidi organici di lavoro
- Il *limite inferiore* da fattori tecnico-economici: sotto questa temperatura, gli scambiatori di calore dovrebbero avere una dimensione talmente grande da rendere il progetto non economico.

Gli impianti binari sono di solito costruiti in unità modulari di potenza compresa tra poche centinaia di kW elettrici ed alcuni MWelettrici . Queste unità possono essere collegate l'una con l'altra in modo da formare impianti della potenza di qualche decina di megawatt. Il loro costo dipende da numerosi fattori, ma soprattutto dalla *temperatura del fluido geotermico disponibile*, che determina le dimensioni della turbina, degli scambiatori di calore e del sistema di raffreddamento. La tecnologia degli impianti binari è stata largamente sperimentata e questi impianti hanno dimostrato di essere un mezzo economico e tecnicamente affidabile per trasformare in elettricità l'energia contenuta nei campi geotermici ad acqua dominante .

Nella vita di tutti i giorni siamo esposti al calore proveniente dal sole, che è talmente elevato da mascherare completamente quello proveniente dal sottosuolo. Eppure , se scavassimo in profondità, come abbiamo precedentemente detto, la temperatura salirebbe di circa 25-30 gradi centigradi ogni chilometro. Cio' significa che scavando in media 4 chilometri in profondità potremmo trovare una temperatura di 100 C°. Questo calore abbiamo anche detto che può essere utilizzato in due modi : per riscaldare edifici o particolari attività umane o può venire trasformato in vapore e poi in elettricità. Dal punto di vista della generazione elettrica , la geotermia non ha avuto un grande successo . I problemi collegati a questo tipo di sfruttamento sono molteplici. Prima di tutto per poter generare vapore ad una pressione sufficiente a fare muovere una turbina elettrica è necessaria una temperatura ben superiore a 100 C°. Cio ' significa che, per non dover scavare svariati chilometri in profondità, le centrali elettriche geotermiche devono sorgere in particolari punti della Terra dove il calore del sottosuolo è molto elevato, per esempio zone con intensa attività vulcanica . Un altro fattore limitante è la presenza di acqua; sembra banale , ma per generare vapore serve dell'acqua, quindi i pozzi devono essere naturalmente ricchi di acqua rimasta intrappolata sotto pressione nel sottosuolo. In alternativa, può essere inserita artificialmente. Come conseguenza, la costruzione di una centrale geotermica richiede una fase preliminare di studio della zona e trivellazioni esplorative per poter individuare il luogo corretto che , nella peggiore delle ipotesi , potrebbe anche non esistere. Per questi motivi, gli investimenti iniziali per produrre elettricità dalla geotermia sono elevati e ad altissimo rischio e questo tende a dissuadere gli investitori.

Come se non bastasse , una volta individuato il luogo ideale, i costi crescono ancora perche' le fasi finali del progetto, inclusa la trivellazione del pozzo principale, sono molto onerose. D' altro canto, non è difficile immaginare che trivellare in zone con intensa attivita' geotermica ed elevate temperature sia problematico. Se ci fosse ancora qualche dubbio sul motivo per il quale tale fonte è scarsamente utilizzata per produrre elettricità, aggiungiamo che le trivellazioni sono collegate a emissione di gas climalteranti ed inquinanti presenti nel sottosuolo.



Chiaramente, con un ulteriore aumento dei costi, è possibile separare queste sostanze dal vapore proveniente dal pozzo ed iniettarle di nuovo sottoterra. Alla luce di cio', la considerazione finale è che la geotermia molto difficilmente sarà protagonista della transizione energetica sostenibile in ambito elettrico.

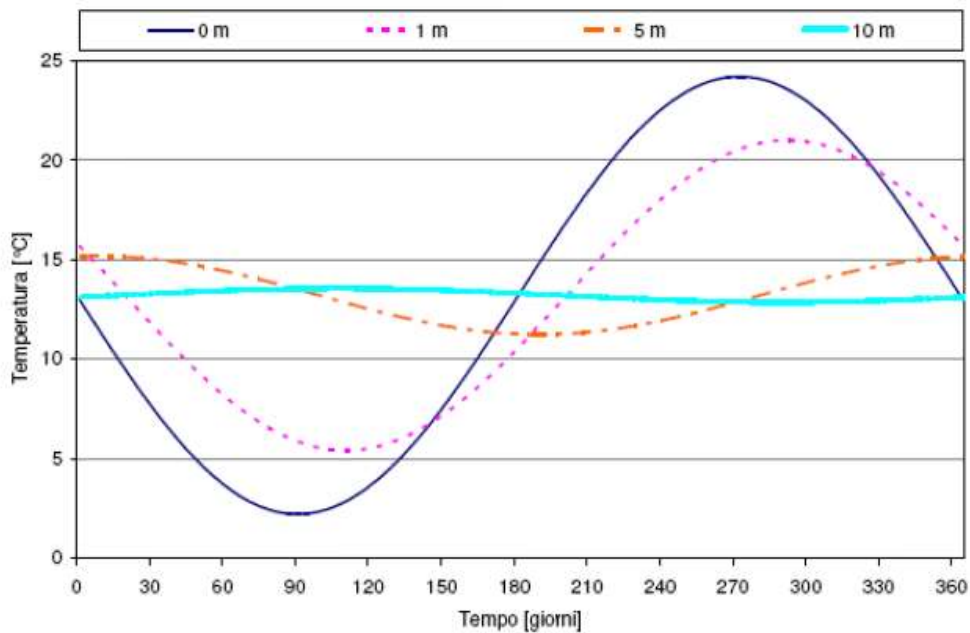
Tuttavia , per rispettare l' obiettivo di azzerare le emissioni di CO₂ nel 2050 , dovremo installare 3,5 Gigawatt di elettricità geotermica ogni anno da qui al 2030 circa. Negli ultimi anni ci siamo arenati a circa 500 Megawatt , ovvero quasi 7 volte meno del necessario. Se per l'elettricità sembra un percorso arduo, l'uso diretto del calore sta invece conoscendo un grande sviluppo. Il calore del sottosuolo è utilizzato da molti anni e continuerà ad esserlo perchè è comodo ed efficiente. Negli ultimi anni l'installazione di pompe di calore geotermiche ha fatto da traino all' intero comparto di applicazioni dirette del calore sotterraneo. Nel 2020 erano installati 108 Gigawatt di geotermico ad uso diretto: di questi il 59% è costituito da pompe di calore che , come anticipato, stanno aumentando ancora di più negli ultimi anni . Una pompa di calore geotermica sfrutta la temperatura costante del terreno per riscaldare gli ambienti domestici e industriali d' inverno e rinfrescarli d' estate. Il principio è piuttosto semplice e si basa sulla temperatura che troviamo a qualche metro sotto la superficie. Se escludiamo i primi metri di profondità che sono influenzati dalla temperatura atmosferica , la temperatura sottoterra rimane costante tutto l' anno perchè è influenzata solo dal calore proveniente dal centro del pianeta. D' inverno la temperatura atmosferica è tendenzialmente inferiore rispetto a quella che troviamo a qualche decina di metri di profondità' . Interrando un sistema di tubazioni contenenti acqua otterremo un fluido più caldo della temperatura atmosferica e potremo utilizzarlo per riscaldare gli ambienti . In estate succede l'esatto contrario : l'acqua nel sottosuolo è più fresca dell' atmosfera e quindi possiamo utilizzarla per raffreddare gli ambienti. La semplicità di utilizzo e i bassi costi di manutenzione dei dispositivi geotermici ad uso diretto , uniti alla politica di incentivi dedicata , ne hanno permesso una progressiva diffusione con una crescita di circa il 10% annuo . Sicuramente nei prossimi anni *l'uso diretto* dell' energia geotermica avrà un ruolo non banale nella transizione energetica di tutti quei settori in cui "l'elettrificazione" è ancora troppo costosa o non applicabile. Attualmente, la climatizzazione degli edifici rientra tra le principali applicazioni della geotermia. Gli impianti di riscaldamento e di condizionamento che sfruttano la geotermia, rappresentano una scelta razionale ed economica nel campo dell' utilizzo dell' energia, con realizzazioni impiantistiche che consentono di massimizzare il rapporto energia utilizzata rispetto alle risorse impiegate.

Il sottosuolo è come un immenso serbatoio termico dal quale estrarre calore d'inverno ed al quale cedere calore d'estate. Tale scambio termico viene realizzato con "*pompe di calore*" reversibili che, sfruttando questo principio, permettono di riscaldare e condizionare gli edifici con un unico impianto, assicurando un elevato grado di rendimento durante tutto l'anno e con un fabbisogno di energia elettrica assai contenuto rispetto alle prestazioni.

La pompa di calore è una macchina termodinamica la quale, con l'ausilio di una forza motrice, assorbe calore da una sorgente fredda per trasferirlo ad un serbatoio caldo a temperatura maggiore (pompa di calore per il riscaldamento invernale). Si dice reversibile quando invertendone il ciclo di funzionamento opera come refrigeratore e la sorgente fredda diventa il serbatoio di accumulo termico (pompa di calore reversibile per la climatizzazione estiva). In generale le pompe di calore per la climatizzazione degli edifici possono sfruttare come serbatoio esterno l'aria, l'acqua o il terreno.

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*. 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. L'efficienza di queste macchine è influenzata in maniera significativa dalle temperature di esercizio, o meglio dal dislivello di temperatura tra ambiente interno e sorgente esterna, che deve essere quanto più possibile contenuto. Ciò comporta un grosso limite per quei sistemi che utilizzano l'aria come sorgente esterna. Infatti, in inverno la temperatura esterna risulta minore proprio quando maggiore è la richiesta di calore per riscaldare. Un'efficace alternativa all'aria è costituita dall'impiego di una sorgente esterna caratterizzata da elevata inerzia termica, come possono essere il terreno o l'acqua che presentano temperature meno sensibili alla stagionalità. È in quest'ultimo caso che si parla di "*pompe di calore geotermiche*".

In figura si osserva come la temperatura del terreno al di sotto di una certa profondità non risenta più della stagionalità della temperatura esterna.



Scheda di valutazione

Economia

- Le due anime del geotermico sono molto diverse e dovrebbero ricevere una valutazione separata . Dal punto di vista economico, al momento la generazione di elettricità è poco conveniente, mentre l'uso diretto lo è molto di più'. Una media tra le due valutazioni porta ad un risultato complessivo non particolarmente "entusiasmante"

Efficienza

- La generazione di elettricità è poco efficiente, soprattutto se consideriamo la quantità di calore a disposizione nelle zone vulcaniche. Nell' uso diretto , invece, gli sprechi sono molto inferiori e ,considerando che si tratta di una fonte illimitata, la valutazione complessiva è moderatamente positiva .

Ambiente

- La produzione di elettricità geotermica è collegata all'emissione di gas inquinanti e climalteranti che , come sappiamo ,non devono essere emessi nell'atmosfera.

Sebbene l' inquinamento non sia paragonabile a quello di una centrale a carbone , il geotermico è l' unica fonte rinnovabile il cui sfruttamento è collegato all'emissione di gas nocivi. L' utilizzo diretto invece non ha emissioni durante il funzionamento ed ha un impatto ambientale complessivo piuttosto contenuto.

Disponibilità

- Dal punto di vista della produzione elettrica la disponibilità è scarsa e collegata a zone geografiche ben definite. L' uso diretto è piu' disponibile, anche se l' installazione di impianti ad una profondita' che raggiunge alcuni metri sottoterra non è praticabile

Versatilità

- Nominalmente con l' enegia geotermica si possono produrre calore ed elettricità , tuttavia nel caso di quest' ultima i problemi sono numerosi. L' uso diretto invece è molto promettente e potrebbe essere una delle principali alternative in settori dove l'elettrificazione risulta particolarmente difficile.

2.6 Energia dalle biomasse

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 da 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.

La direttiva europea 2009/28/CE sulla produzione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili sancisce che per biomassa si intende:

La frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

In generale, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, con esclusione delle plastiche e dei materiali fossili. Fino alla metà del 1800, quando avvenne il passaggio al massiccio utilizzo di fonti fossili di energia, le biomasse legnose fornivano la quasi totalità dell'energia utilizzata nel mondo. Fino a pochi anni fa, esse fornivano la quasi totalità dell'energia utilizzata a paesi quali il Nepal, Niger, Tanzania, Somalia, tanto per citarne qualcuno. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste quindi, in tutti quei materiali organici, paglie, potature di alberi da frutta, noccioli, gusci, vinacce, scarti di lavorazione delle olive, di produzione del legno nelle segherie, di coltivazioni erbacee e persino i rifiuti solidi urbani.

Tutti questi prodotti organici possiedono un potere calorifico pari circa ad un terzo di quello del petrolio, ma con la differenza che la *loro disponibilità in natura è decisamente più ampia di quella dei combustibili fossili.*

Quando si decide di utilizzare le biomasse per produrre energia è necessario fare caso per caso un bilancio energetico comparato fra il loro potere calorifico, che sebbene interessante non è particolarmente elevato, e l'energia che si può risparmiare attraverso altri possibili utilizzi delle stesse biomasse. Per tal motivo si legga la tabella seguente.

Tipologie di biomasse	Potere calorifico (kcal/kg sost.secca)
ramaglie cedue di valore	4.100
ramaglie cedui dolci	4.000
altri cedui: tutta la produzione	4.000
scarti da fustaie resinose	4.200
scarti da fustaie latifoglie	4.100
residui tagli fustaie varie	4.100
ripulitura cesse linee elettriche	4.200
cure forestali castagneti	4.000
materiale risulta vigneti	4.300
materiale risulta oliveti	4.200
materiale risulta frutteti	4.300
materiale risulta vivai	4.300
recupero paglia	3.950
biorifiuti-potature	3.950
biorifiuti-erba fresca	575
biorifiuti foglie secche	4.337
scarti lavorazione legno	4.100
Dati di confronto	
rifiuti solidi urbani	2.500
Carbone	7.400
petrolio greggio	10.000
gas naturale	8.250

Se l'utilizzo di biomasse a fini energetici rappresenta una risorsa alternativa preziosa per l'intero pianeta, in alcune aree, come quelle rurali e in particolare montane, dove lo spopolamento è un fenomeno sempre crescente, diventa anche una opportunità unica di sopravvivenza e rivitalizzazione. Da notare però che con il termine "biomassa" si intendono oltre alle sostanze di origine biologica in forma non fossile (materiali e residui di origine agricola e forestale, prodotti secondari e scarti dell'industria agro alimentare, i reflui di origine zootecnica) anche i "rifiuti urbani" (in cui la frazione organica raggiunge mediamente il 40% in peso), le alghe e molte specie vegetali utilizzate per la depurazione di liquami organici. Legno e residui vegetali sono sempre stati impiegati dall'uomo a fini energetici e, in gran parte dei Paesi in via di sviluppo, essi costituiscono ancora la principale fonte d'energia. Rilevazioni statistiche in questo settore non sono agevoli in quanto, molto spesso, legno e residui sono raccolti ed utilizzati direttamente dagli abitanti delle zone rurali, fuori di qualsiasi circuito commerciale. Tuttavia, le stime più accreditate indicano che nei Paesi in via di sviluppo il 35% dei consumi energetici è rappresentato da biomasse.

Nell'insieme dei Paesi industrializzati, al contrario, meno del 4% dei consumi energetici è rappresentato da biomasse. Un'incidenza così ridotta è giustificata dalle difficoltà legate alla raccolta ,al trasporto ,alla stessa combustione di grandi quantità di biomasse. A fronte degli aspetti negativi, bisogna però ricordare che le biomasse sono una fonte rinnovabile d'energia molto versatile, che può essere prodotta e trasformata localmente, consentendo di ridurre la dipendenza energetica dei Paesi industrializzati da aree politicamente instabili.

Inoltre, a differenza dei combustibili fossili, le biomasse ed i combustibili da esse derivati rilasciano nell'atmosfera, durante la combustione, una quantità di CO₂ corrispondente alla quantità assorbita dai vegetali durante il processo di crescita.

L'impiego delle biomasse a fini energetici limita quindi il rilascio di nuova CO₂ principale responsabile dell'effetto serra. Altri vantaggi ecologici legati all'impiego delle biomasse e dei combustibili da esse derivati sono:

- la *biodegradabilità*, in caso di spargimenti accidentali nell'ambiente
- *l'assenza nei fumi d'ossidi di zolfo*, dal momento che lo zolfo non è contenuto nelle piante in quantità significative

Infine, la coltivazione delle biomasse può portare considerevoli vantaggi sociali contribuendo, ad esempio, alla difesa del suolo in montagna e *stimolando l'occupazione in zone rurali economicamente deboli*.

Negli ultimi anni, le prospettive d'impiego delle biomasse nei Paesi industrializzati sono notevolmente migliorate, grazie al diffondersi dell'idea di coltivare specie vegetali per ricavarne energia. Nell'Unione Europea, la svolta è legata all'abbandono della politica agricola seguita fino alla fine degli anni '80, che prevedeva la remunerazione degli agricoltori anche per prodotti alimentari non venduti sul mercato. Nonostante le quote di produzione, ciò aveva portato ad accumuli incontrollati d'eccedenze ai quali si era deciso di porre rimedio incentivando, dapprima, la semplice messa a riposo dei terreni (*set-aside*) e, successivamente, lasciando agli agricoltori, sia pure con crescenti limitazioni, la possibilità di continuare a ricevere *sussidi* anche nel caso d'attivazione di colture non alimentari .La conversione energetica delle biomasse può essere diretta od indiretta, e presenta molte analogie con la conversione energetica del carbone:

nella *conversione diretta* le biomasse, tal quali, sono utilizzate in processi di combustione nella *conversione indiretta* le biomasse sono prima trasformate in combustibili. La combustione diretta delle biomasse trova applicazione sia nel riscaldamento ambientale sia nella produzione d'energia elettrica:

- nel riscaldamento ambientale la combustione avviene, generalmente, in piccole caldaie a servizio d'impianti monofamiliari
- nella produzione d'energia elettrica, la combustione ha luogo, di solito, in grandi caldaie che alimentano impianti con turbine a vapore a ciclo semplice (CSV).

Più in generale, la possibilità di sfruttare le biomasse come fonte energetica avviene attraverso una serie di processi che vanno dalla semplice combustione delle biomasse ligno-cellulosiche alla esterificazione degli oli per la produzione di biodiesel.

I processi di conversione in energia delle biomasse possono essere ricondotti in due principali categorie:

- Processi Termochimici: l'azione del calore permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia
- Processi Biochimici: ricavano energia per reazioni chimiche derivate dalla presenza di enzimi, microrganismi, funghi, che si diffondono nelle biomasse in particolari condizioni di ambiente (elevato contenuto d'acqua, condizioni anaerobiche).

Nei processi Termochimici l'azione del calore permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia. Sono indicate per materiale cellulosico e legnoso.

Le biomasse che più sono adatte a tale processo sono le biomasse forestali e i residui delle lavorazioni del legno, le colture dedicate ligno-cellulosiche (miscanto, ecc.) e sottoprodotti delle biomasse agricole (paglia di cereali) e delle industrie agro alimentari (lolla, gusci, noccioli, ecc.).

I processi termochimici si dividono in quattro categorie:

- *Combustione diretta* : consiste nel bruciare la biomassa in presenza di aria. Il processo si avvia con un apporto esterno di calore. La combustione di prodotti e residui forestali e agricoli presenta buoni rendimenti, purché le sostanze siano ricche cellulosa e lignina e con contenuti di acqua inferiori al 35%. Idonee a questo processo di conversione termochimica sono le biomasse di origine

forestale e le biomasse ligno-cellulosiche delle coltivazioni dedicate legnose e alcune erbacee (miscanto, canna, ecc.).

- *Carbonizzazione*: consente la trasformazione di materiale ligno-cellulosico, per azione di calore, in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale
- *Gassificazione*: processo in cui materiale ligno-cellulosico è termochimicamente convertito in un gas a basso o medio potere calorifico inferiore, tramite la vaporizzazione dei componenti più volatili (gas di idrocarburi, idrogeno ecc.).
- *Pirolisi*: decomposizione di materiali organici, per mezzo di calore (tra 400 e 800 °C) e in completa assenza di ossigeno. I prodotti della pirolisi sono sia gassosi, sia liquidi, sia solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi.

I processi Biochimici ricavano energia per reazioni chimiche derivate dalla presenza di enzimi, microrganismi, funghi, che si diffondono nelle biomasse in particolari condizioni di ambiente (elevato contenuto d'acqua, condizioni anaerobiche).

Le biomasse che più si adattano sono le colture dedicate quali le piante oleaginose (girasole, colza, ecc.), i reflui zootecnici, scarti delle lavorazioni agro-industriali o agro-alimentari e i reflui urbani.

Anche i processi biochimici si dividono in quattro categorie:

- *Digestione Aerobica*: consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di microrganismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando anidride carbonica e acqua e producendo calore proporzionale alla loro attività metabolica. Il calore può essere trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido.
- *Digestione Anaerobica*: avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di microrganismi, di sostanze organiche complesse contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, producendo gas (biogas).
- *Fermentazione alcolica*: avviene per mezzo della presenza di lieviti in condizioni di ambiente privo di ossigeno. Porta alla produzione di etanolo e altre

sostanze secondarie. I derivati dell'etanolo possono essere utilizzati come biocombustibili liquidi.

- *Esterificazione*: processo nel quale un olio vegetale è fatto reagire in eccesso di alcool metilico e in presenza di un catalizzatore. Il prodotto finale è una miscela di metil-esteri, che non contiene né zolfo né composti aromatici, con elevata presenza di ossigeno (ha come prodotto il biodiesel).

Questi processi hanno lo scopo di rendere la biomassa direttamente utilizzabile nei cicli di produzione di energia sia termica che elettrica.

Scheda di valutazione

Economia

- E' una fonte di energia relativamente economica ma , essendo una tecnologia ancora in fase di sviluppo , la sua stessa potenzialità non la rende una fonte appetibile poiché gli impianti per la produzione di energia elettrica si evolvono anno dopo anno con costi che pero' sono in aumento.

Efficienza

- E' facilmente convertibile in combustibili ad alto potere energetico quali l'alcool ed il gas.Pero' va fatta una distinzione tra produzione di Biocarburanti e prodotti agricoli e forestali : la resa energetica dei primi è molto inferiore .

Ambiente

- Per la biomassa inoltre è importante notare che la CO₂ emessa per la produzione di energia non rappresenta un incremento dell'anidride carbonica presente nell'ambiente, ma è la medesima che le piante hanno prima assorbito per svilupparsi e che alla morte di esse tornerebbe nell'atmosfera attraverso i normali processi degradativi della sostanza organica. L'utilizzo delle biomasse, quindi, accelera il ritorno della CO₂ in atmosfera rendendola nuovamente disponibile alle piante. Sostanzialmente queste emissioni rientrano nel normale ciclo del carbonio e sono in equilibrio fra CO₂ emessa e assorbita. La differenza con i combustibili fossili è pertanto molto profonda: il carbonio immesso in atmosfera è carbonio fissato nel sottosuolo che non rientra più nel ciclo del carbonio, ma nel terreno è fissato stabilmente. In questo caso si va a rilasciare in

atmosfera vera e propria “nuova” CO₂. Inoltre producendo pochissimo zolfo non contribuisce alla produzione di gas climalteranti.

Disponibilità

- E' molto abbandonate, se ne trova dappertutto sotto le piu' svariate forme anche se gli attuali strumenti di mercato sono inadeguati. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste quindi, in tutti quei materiali organici, paglie, potature di alberi da frutta, noccioli, gusci, vinacce, scarti di lavorazione delle olive, di produzione del legno nelle segherie, di coltivazioni erbacee e persino i rifiuti solidi urbani. Tutti questi prodotti organici possiedono un potere calorifico pari circa ad un terzo di quello del petrolio, ma con la differenza che la *loro disponibilità in natura è decisamente più ampia di quella dei combustibili fossili.*

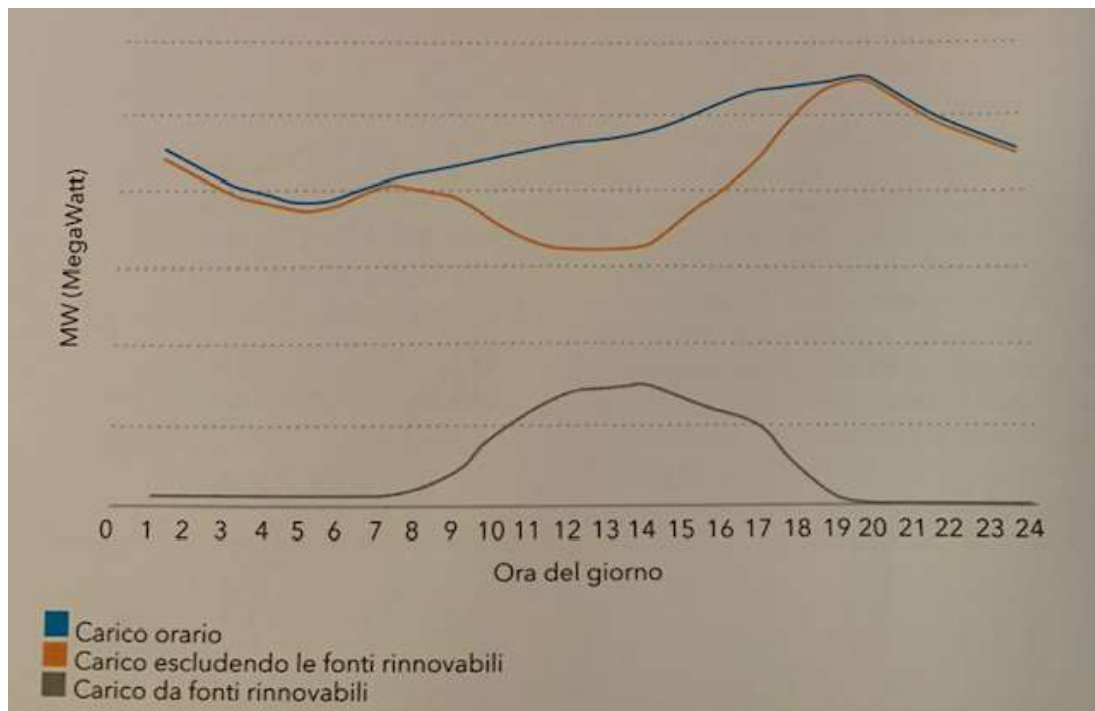
Versatilità

- E' una tecnologia che puo' essere utilizzabile per la produzione di biocarburanti con un rapporto spesa-guadagno ancora troppo basso , mentre per la produzione di calore per il riscaldamento ambientale si è raggiunto uno sviluppo soddisfacente

2.7 Accumulo di energia

Finora abbiamo esaminato le varie fonti rinnovabili ed i metodi ideati per sfruttarle; l'accumulo di energia prodotta non è strettamente in tema , tuttavia questo argomento è di vitale importanza per il futuro della transizione energetica , con cui dovremo presto fare i conti . Si potrebbe in realta' definirlo la sfida piu' difficile da affrontare nel prossimo futuro. Le fonti primarie hanno tutte dei vantaggi e degli svantaggi , ma uno dei motivi principali che hanno consacrato il dominio delle fonti fossili , oltre al basso costo , è *la possibilità di disporre in modo continuativo 24 ore al giorno per tutto l'anno.* Le fonti rinnovabili come vento ,sole, e bacini idrici sono sfruttabili solo per una frazione del tempo totale . Se non piove i bacini idrici si svuotano. Di notte le tecnologie solari non producono corrente elettrica. Senza vento le pale eoliche non si muovono. Questo significa che in caso di assenza di condizioni favorevoli alle rinnovabili è fondamentale avere un' altra fonte da cui l'energia di cui abbiamo bisogno.

Le fonti fossili sono molto "comode" in questo senso , soprattutto il gas naturale , perchè le centrali a ciclo combinato possono venire rapidamente messe in funzione per colmare il calo di produzione causato dalle rinnovabili. Sebbene questo possa sembrare un buon compromesso , di fatto ci mantiene legati ai combustibili fossili e quindi alle emissioni di anidride carbonica. Al contrario, in modo quasi paradossale , nei momenti di picco di funzionamento, le fonti rinnovabili sono in grado di generare una sovrapproduzione di energia che supera il fabbisogno. Proviamo ad immaginare un ' economia basata su una percentuale elevata di rinnovabili nel mix energetico. In alcuni giorni dell' anno avremo una produzione di energia di gran lunga superiore al fabbisogno, mentre in altri ci troveremo nella situazione opposta . Per fare un esempio pratico, pensiamo ad un impianto solare domestico. Il picco di produzione avviene intorno a mezzogiorno, ma non è possibile concentrare in quel momento tutti i consumi, azzerandoli per il resto della giornata. Ovviamente , passando da una rete domestica ad una rete nazionale la situazione diventa piu' complessa e meno intuitiva , in ogni caso la questione rimane la stessa : possiamo pensare di accumulare l'energia in eccesso delle fonti rinnovabili discontinue per utilizzarla al bisogno ?



Negli anni il problema dell' accumulo dell' energia (storage) proveniente da fonti rinnovabili discontinue è diventato centrale nel dibattito scientifico, politico ed economico proprio perché un futuro a "impatto zero" è difficilmente prevedibile senza poter contare su sistemi efficienti ed economici che permettano di conservare gli eccessi di produzione. Quando parliamo di *storage* da fonti rinnovabili dobbiamo considerare sia quello di breve durata (ore o giorni) sia quello di lunga durata (settimane o mesi).Abbiamo già parlato di uno dei sistemi di accumulo di lunga durata nel paragrafo dedicato all' energia idroelettrica , che si basa appunto sul riempimento artificiale dei bacini in quota utilizzando pompe alimentate dagli eccessi di produzione. Questa tecnologia, però non è nemmeno lontanamente sufficiente a rispondere al reale fabbisogno di accumulo energetico che permetterebbe a ogni nazione di garantire la stabilità della rete elettrica e scongiurare il rischio di black-out. Per quanto molte altre tecnologie siano più mature , ad oggi non esiste una strategia definitiva che risponda al problema della conservazione dell' energia prodotta . Questo ha fatto sì che le nazioni non si siano ancora affidate a progetti che prevedano un mix energetico al 100 % rinnovabile, ma abbiano deciso di garantire la stabilità dell' approvvigionamento energetico usando il gas oppure l'uranio.Come si può dedurre , è una sfida tutt' altro che banale e che potrà essere vinta solo con un deciso abbassamento dei costi e con la diffusione più capillare di fonti rinnovabili discontinue.Le due tecnologie , rinnovabile-accumulatori , sono legate tra loro : senza l' una , l'altra perde la sua utilità. L' accumulo conviene solo se abbiamo sorgenti di energia discontinue ed a basso costo. D' altro canto , gli accumulatori trovano ampio uso anche nella mobilità elettrica , ibrida e nei dispositivi portatili , di conseguenza è ragionevole pensare che , indipendentemente dalla diffusione delle rinnovabili discontinue nel mix energetico globale , questa tecnologia continuerà a crescere e a migliorare.Purtroppo , lo spazio dedicato al dibattito su come sarà gestita l' energia del futuro è molto ridotto e la previsione di un futuro sostenibile resta incerta ; per questo motivo , lo sviluppo di un mix energetico fortemente improntato su fonti discontinue deve essere associato a un parallelo piano di sviluppo e implementazione delle più moderne strategie di accumulo. Questo discorso è ancora più importante in un paese come l' Italia che , molti anni fa, ha rinunciato al nucleare e che quindi , nel prossimo futuro, potrà contare solo su fonti energetiche

rinnovabili. Nel breve termine sicuramente continueremo a dipendere dal gas naturale o dal nucleare dei paesi che lo posseggono . Nel frattempo ,sara' importante impostare un percorso che garantisca l' espansione delle capacita' di storage nazionale in modo parallelo alla crescita delle fonti rinnovabili discontinue. Se, per motivi sociali, politici ed economici si sceglie di chiudere l' opportunità "offerta" dall' utilizzo dell' uranio e quindi di non implementare il nucleare , è importante essere consapevoli del rischio che ci si assume. Sappiamo con certezza che non esiste ancora un metodo definito per gestire un' economia basata al 100 % su fonti rinnovabili proprio a causa della mancanza di un mix sufficientemente versatile di tecniche di accumulo.

2.8 Efficienza Energetica

Potrebbe sembrare strano definire il *Risparmio Energetico* come la fonte di energia principale, eppure è proprio così: rendere i dispositivi ed i processi più efficienti non genera nuova energia, ma permette di ottenere il medesimo risultato consumando meno risorse. In passato il risparmio energetico richiedeva necessariamente costosi investimenti che spesso non erano ammortizzabili se non dopo molti anni. Oggi, grazie al supporto degli incentivi ed al calo dei prezzi, è possibile migliorare l'efficienza di moltissimi aspetti della nostra quotidianità senza dover investire tutti i nostri risparmi e, anzi ammortizzando la spesa nel giro di pochi anni. Secondo le stime dell'A.I.E., entro il 2030 la crescita economica sarà del 40%, ma utilizzerà il 7% in meno di energia. Perché ciò avvenga sarà necessario uno sforzo molto ampio nel migliorare l'efficienza delle strutture, dei trasporti e dei processi industriali. Un grande contributo può arrivare dalla diffusione di "sistemi smart" di monitoraggio dei consumi. La possibilità di regolare automaticamente l'utilizzo dei dispositivi sulla base delle abitudini o dell'ora del giorno può evitare grandi sprechi di energia e può rendere tutti più consapevoli di cosa consuma più energia e di come e quando lo faccia. In ambito tecnologico alcuni settori che sicuramente vedranno una crescita nei prossimi anni riguardano la produzione di:

- motori elettrici ad alta efficienza, da impiegare sia nelle industrie sia per le macchine ibride o totalmente elettriche;
- lampade e dispositivi di illuminazione ad alta efficienza basati su tecnologia led;
- materiali ad elevato potere isolante per la ristrutturazione energetica degli edifici privati e pubblici;
- elettrodomestici ad alta efficienza;
- veicoli ibridi ed elettrici;
- batterie.

In alcuni casi la diffusione di tali tecnologie non necessita di politiche di incentivazione particolari (lampade a led), in quanto il costo di adozione delle stesse è ampiamente ripagato nei primissimi anni successivi all'investimento. In altri casi, invece (pompe di calore geotermiche, tecnologie per i trasporti e batterie),

i costi sono ancora elevati e le tecnologie stesse non ancora mature, per cui risultano necessarie azioni di stimolo della domanda implementate a livello politico sotto forma di crediti d'imposta. Tale meccanismo si è dimostrato un valido strumento per la loro diffusione. Importanti studi di agenzie internazionali di energia (McKinsey & Company, tanto per citare) ha valutato tutte le possibili azioni da intraprendere per la riduzione dei gas serra, evidenziandone la relativa efficacia, ed è giunta alla conclusione che l'adozione diffusa di tecnologie per l'efficienza energetica rappresenta lo strumento più efficace per contribuire al contenimento del riscaldamento globale. È importante sottolineare che la promozione degli interventi di efficienza energetica non solo aiuta a combattere il riscaldamento terrestre, ma riduce il deperimento dei combustibili fossili, allontanando nel tempo l'esaurimento di tali fonti energetiche.

Il settore industriale presenta le potenzialità maggiori di riduzione dei consumi energetici, e ciò sarebbe possibile mediante il ricorso a tecnologie mature quali l'utilizzo di motori elettrici ad alta efficienza, l'installazione di sistemi di cogenerazione (energia elettrica e calore) e l'utilizzo di processi produttivi a bassa intensità energetica. I consumi domestici potrebbero contribuire significativamente all'abbattimento delle emissioni di CO₂, mediante il ricorso all'isolamento termico delle abitazioni, l'utilizzo di sistemi isolari termici per la produzione di acqua calda sanitaria, la sostituzione dei sistemi di illuminazione con lampade a led a bassissimo consumo e di elettrodomestici a consumo.

Il settore dei trasporti, che rappresenta circa il 20% dei consumi energetici globali, potrebbe contribuire alla riduzione dei consumi di energia mediante il rafforzamento del trasporto pubblico su rotaia, il miglioramento delle prestazioni degli autoveicoli e tramite la diffusione della tecnologia ibrida ed elettriche.

In conclusione, la strada dell'efficienza energetica non solo sembrerebbe quella economicamente più conveniente per la riduzione delle emissioni di CO₂ e, quindi, per la mitigazione degli effetti del riscaldamento globale. Essa rappresenterebbe anche uno stimolo significativo ad investire in servizi e tecnologie ad alto valore aggiunto, che potrebbero consentirci di mantenere il tenore di vita attuale e al tempo stesso di mitigare

l'effetto del lento e inesorabile aumento del prezzo delle materie prime, garantendo in tal modo la nostra sicurezza energetica.

88

Capitolo 3 : Conclusioni

Alla fine di questo lungo viaggio nel mondo delle fonti energetiche , partendo dai combustibili fossili piu' comuni e inquinanti , abbiamo esplorato le nuove tecnologie che in futuro ci aiuteranno a moderare i cambiamenti climatici che sono gia' in atto. Se proviamo a ripercorrere le schede di valutazione di ognuna delle fonti di energia , sarà facile notare che nessuna risulta essere clamorosamente migliore delle altre. E quindi , qual' è la giusta energia ? Ogni fonte , ha dei vantaggi e svantaggi e nessuna , al momento , è in grado di rispondere a tutte le nostre esigenze garantendo costi non elevati , disponibilità illimitata e basso impatto ambientale. Non possiamo immaginarci, per ora , un futuro dove una sola fonte di energia risolverà tutti i nostri problemi. L'unica soluzione è lavorare allo scopo di ottenere un "*mix energetico sostenibile*" proveniente da molte fonti diverse che agiscono in modo complementare . Allora nasce spontanea un 'altra domanda : qual'è il giusto mix energetico ? Anche per questo quesito , non c'è una risposta : Non esiste un mix energetico corretto in "assoluto" . Ogni nazione è vincolata al suo territorio ed alle sue caratteristiche uniche ed ogni societa' ha delle peculiarità: queste condizioni impediscono che una scelta possa essere valida a livello mondiale. Ci sono paesi , come la Francia, che hanno puntato tutto sull'energia nucleare, mentre altri , come la Germania, stanno investendo sulle fonti rinnovabili, utilizzando il gas naturale come supporto alla transizione . La risposta giusta ,quindi , non esiste , ed è proprio per questo che noi , abbiamo una enorme responsabilità : ci sono molte strade percorribili per raggiungere la neutralità di emissioni entro il 2050. Non sappiamo se ce ne sia una migliore , ma dobbiamo essere consapevoli che una volta imboccata una via non si puo' tornare indietro.Molte delle politiche di rinnovamento del mix energetico che vogliono eliminare le fonti fossili necessitano di enormi investimenti e di decenni di programmazione che vanno definiti con la massima urgenza. Gli slogan che parlano di "net-zero" ed eliminazione dei combustibili fossili entro il 2050 non sono , e non possono essere, sufficienti. Il pianeta su cui viviamo andrà incontro a cambiamenti climatici molto importanti, che si abatteranno sulla vita di ciascuno di noi . L'

azzeramento delle emissioni climalteranti non è sufficiente, perchè dobbiamo anche sapere come sara' raggiunto quell' obiettivo, attraverso quali strategie e compromessi.

89

Non è un atteggiamento disfattista, perchè lo sconforto è il peggior nemico del cambiamento. Sobbene siamo gia' decisamente in ritardo sulla tabella di marcia , infatti , abbiamo diversi motivi per essere ottimisti. Gli ostacoli che abbiamo davanti sono in minima parte tecnologici. I problemi piu' grandi deriveranno da politiche globali e nazionali. Dal punto di vista economico, la guerra ha peggiorato le prospettive di crescita, ancora segnate dagli effetti persistenti della pandemia, ha causato un ulteriore deciso aumento dei tassi d'inflazione, proprio su quei beni, alimentari ed energia, che maggiormente incidono sul benessere delle fasce di popolazione più vulnerabili. L'elevata incertezza mette a rischio anche i progressi fin qui raggiunti nella costruzione di un nuovo modello di sviluppo sostenibile, più inclusivo e più responsabile verso l'ambiente. L'obiettivo di limitare l'innalzamento della temperatura globale diventa decisivo per garantire alle generazioni future la stessa qualità di vita di quelle attuali. L'equità intergenerazionale richiede una visione unitaria della dimensione ambientale e della dimensione sociale, strettamente legate al concetto più generale di sostenibilità, che si fonda sull'impegno a garantire che le decisioni e azioni odierne non compromettano la libertà di scelta delle generazioni future. L'attuale aumento dei prezzi dell'energia prodotta da combustibili fossili, la necessità di garantire la sicurezza energetica e la contrapposizione tra blocchi di paesi possono indebolire la cooperazione multilaterale necessaria a contrastare il cambiamento climatico e a rallentare la transizione verso la neutralità carbonica (equivalenza delle emissioni prodotte e assorbite). Allo stesso tempo possono emergere nuove opportunità, soprattutto nelle economie maggiormente dipendenti dalle importazioni di combustibili fossili, come la nostra, per accelerare l'utilizzo delle fonti rinnovabili. La transizione verso un'economia più sostenibile è un processo di lunga durata, di natura globale, condizionato da numerosi fattori caratterizzati da elevata incertezza. Nella definizione dei probabili scenari futuri occorre considerare gli effetti economici degli eventi estremi connessi ai cambiamenti climatici (i cosiddetti rischi fisici) e gli effetti economici associati

all'adozione di scelte politiche più o meno lungimiranti, alla diffusione di nuove tecnologie verdi e ai cambiamenti delle preferenze del mercato (rischi di transizione).

90

Le regole per le emissioni di gas climalteranti, infatti, dovranno essere definite a livello globale, altrimenti le produzioni inquinanti si sposteranno semplicemente verso i territori con regolamentazioni meno rigide. Bisognerà quindi seguire il modello già in uso della "condivisione di intenti" tra moltissime nazioni, incluse le più ricche, che ad oggi sono anche quelle più responsabili delle emissioni di gas nocivi. Ogni territorio dovrà, inoltre, essere in grado di programmare la transizione energetica garantendo una continuità di progetto da oggi fino al 2050. Le circostanze nazionali (potenziale delle tecnologie delle energie rinnovabili, contesto delle politiche esistenti, presenza di barriere non economiche, grado di liberalizzazione del mercato e infrastruttura del sistema energetico) influenzeranno il mix ottimale reale degli schemi di incentivazione, e quindi la scelta del momento opportuno per completare il supporto di Ricerca e Sviluppo con un supporto alla diffusione sarà di fondamentale importanza per il successo globale delle politiche di supporto. Tutte le famiglie di tecnologie delle energie rinnovabili si stanno evolvendo rapidamente e danno prova di un potenziale significativo per miglioramenti a livello tecnologico. Il quadro politico per le energie rinnovabili dovrebbe essere delineato in modo da consentire l'evoluzione di RSD (Ricerca, Sviluppo e Dimostrazione) tecnologica e contemporaneamente lo sviluppo del mercato, all'interno e tra le famiglie delle varie tecnologie, in modo da gestire i diversi livelli di sviluppo nella diversità di rinnovabili e mercati. Per permettere un passaggio senza problemi verso una completa integrazione del mercato delle energie rinnovabili, i governi sono "incoraggiati a prender nota" dei seguenti principi corrispondenti alle politiche per lo sviluppo delle RET (Tecnologie delle Energie Rinnovabili):

- Comprendere la necessità di impiegare efficaci meccanismi di sostegno per sfruttare il potenziale maggiore delle tecnologie delle energie rinnovabili (RET) per migliorare la sicurezza dell'energia e affrontare i problemi inerenti al cambiamento climatico.

- Rimuovere e superare innanzitutto le barriere non economiche al fine di migliorare il funzionamento delle politiche e del mercato

91

- Attenzione concentrata sull'attuazione coerente e rigorosa di alcuni fondamentali principi, con lo scopo di ottimizzare l'efficienza dei costi a lungo termine mentre si tiene conto delle circostanze a livello nazionale.
- Creare un campo di gioco omogeneo stabilendo il prezzo delle emissioni di gas serra e altri costi ambientali esternalizzati adeguatamente al mercato.
- Procedere verso un quadro normativo combinato che comprenda programmi di sostegno che migliorino il livello di maturità tecnologica per incrementare la transizione verso tecnologie delle energie rinnovabili (RET) verso l'integrazione nel mercato di massa, impiegando progressivamente le forze di mercato.
- Diffondere la conoscenza dei temi di sostenibilità : Su questa sfida la scuola può offrire un grande supporto, anche grazie all'insegnamento dell'educazione civica.

Sul clima, nel 2015, è stato siglato l'Accordo di Parigi, con il quale gli Stati si sono impegnati a mantenere l'incremento della temperatura media globale rispetto ai livelli pre-industriali al di sotto dei 2 °C e preferibilmente a 1,5°C. L'Unione Europea – sottoscrivendo l'Agenda 2030 e l'Accordo di Parigi – ha posto al centro delle proprie politiche la sostenibilità nelle sue dimensioni ambientale e sociale, dando una chiara priorità alle azioni per il contrasto e la mitigazione dei cambiamenti climatici. Sulla base di queste scelte di fondo, è stato lanciato nel 2018 il Piano d'azione sulla finanza sostenibile per reindirizzare i flussi di capitale verso investimenti sostenibili e gestire i relativi rischi finanziari. La promozione dello sviluppo sostenibile e il contrasto al cambiamento climatico rientra principalmente nella responsabilità dei governi nazionali, gli unici che hanno gli strumenti, sotto forma di incentivi (ad esempio, assegnando un prezzo alle emissioni carboniche), regolamenti e sanzioni, in grado di indurre più efficacemente la transizione verso una economia a basse emissioni ; Affinché gli

investimenti a favore della transizione energetica si consolidino, la finanza deve affrontare alcune sfide decisive che, al tempo stesso, offrono importanti opportunità.

La lotta ai cambiamenti climatici richiede orizzonti temporali che vanno al di là di quelli tradizionalmente utilizzati dal mondo finanziario per valutare e definire le scelte di investimento. Si pensi alla necessità di finanziare, da un lato, una transizione che richiederà diversi decenni, dall'altro l'esigenza per gli investitori di ottenere ritorni finanziari in tempi decisamente più brevi. Questa dicotomia temporale che si traduce sul piano finanziario nella sfida tra rendimenti di breve termine e rendimenti di lungo periodo, appare evidente nel tempo che stiamo vivendo. Il forte aumento dei prezzi dei combustibili fossili verificatosi nell'ultimo anno con conseguente crescita dei rendimenti per le attività dei settori legati all'estrazione e alla produzione di energia di fonte fossile sta penalizzando i portafogli finanziari gestiti con strategie di sostenibilità, tradizionalmente meno esposti a questi settori più inquinanti. C'è il rischio che si inneschino traiettorie divergenti tra paesi e tra settori, che potrebbero provocare un rallentamento del tragitto verso gli obiettivi di neutralità climatica stabiliti con l'Accordo di Parigi. Al tempo stesso gli elevati prezzi dei combustibili fossili possono incentivare lo sviluppo e l'adozione più rapida delle fonti di energia rinnovabile, accelerando quindi il processo di transizione. È fondamentale che si creino le condizioni necessarie alla transizione (incentivi, regolamenti e sanzioni), in modo che gli investitori possano cogliere appieno le opportunità di rendimento, probabilmente con tempi più lunghi, privilegiando attività verdi rispetto ad attività inquinanti, che, gradualmente, saranno penalizzate.

.Negli ultimi anni si è osservato un interesse crescente per l'ambiente e per le attività sostenibili. Il periodo che stiamo vivendo è unico perché per la prima volta tutte le grandi nazioni del mondo si stanno dando un obiettivo comune. Tutti noi possiamo contribuire scegliendo di diminuire il nostro impatto sull'ambiente, migliorando l'efficienza dei dispositivi che utilizziamo, acquistando prodotti efficienti, ma soprattutto chiedendo ai nostri rappresentanti politici di condividere un progetto dettagliato per la transizione energetica. In questa corsa per evitare cambiamenti irreversibili alla nostra vita non è importante solo vincere, ma anche non tagliare il traguardo all'ultimo secondo.

Bibliografia

- International Energy Agency (A.I.E.) , *Key World Energy Statistics 2021*, settembre 2021
- BP, *Statistical Review of world Energy*, 2021
- L. Maugeri , *Con tutta l'energia possibile. Petrolio,nucleare, rinnovabili: i problemi e il futuro delle diverse fonti energetiche* , Sperling & Kupfer, Milano 2011
- T.M. Letcher,*Future energy. Improved ,Sustainable and Clean Options for our Planet*, Elsevier, Amsterdam 2020
- B. Freese, *Coal A Human History*,Perseus, Cambridge 2003
- A.I.E. , *Projected cost of generating electricity 2020*, Dicembre 2020
- A.I.E. ,*Technology Roadmap.High-Efficiency, Low-Emissions,Coal- Fired Power Generation*,Dicembre 2012
- Goldemberg, J. , *The Case for Renewable Energies* in Abmann, D., U. Laumanns,D. Uh (eds.), *Renewable Energy: A Global Review of Technologies, Policies and Markets*, Earthscan, Londra(2006)
- A.I.E., *Renewable Energy: Market and Policy Trends in IEA Countries*, OCSE/AIE, Parigi. (2004)
- International Renewable Energy Agency (I.R.E.N.A.), *World Energy Transitions Outlook*,Pathway,Giugno 2021
- A.I.E., *Hydropower Special Market Report*, Giugno 2021
- International Hydropower Association (I.H.A.), *Hydropower Status Report,2020*

- U.S. Department of Energy, *Land-Based Wind Market Report : 2021 Edition*, Agosto 2021
- Global Wind Energy Council (G.W.E.C) ,*Global Wind Report 2021*, 2021
- A.I.E. ,*Technology Roadmap . Solar Heating and Cooling*, Agosto 2012

94

- I.R.E.N.A. , *Future of Photovoltaic*, Novembre 2019
- John A.Duffie *Solar Enginnering of Thermal processes* Jhon Wiley & Sons, 3rd Edition
- I.R.E.N.A., *Renewable Capacity Statistics 2021* , marzo 2021
- J.W. Lund , A.N. Toth, *Directed Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review* , Ottobre 2021
- National Renewable Energy Laboratory (N.R.E.L.) *Storage Technology Modeling Input Data Report* , 2021
- McKinsey & Company , *Global Energy Perspective 2022*, aprile 2022
- World Nuclear Association , *Nuclear Power in the world Today*, 2021
- U.S Department of Energy, *Grid Energy Storage technology Cost and Performance Assessment*, Dicembre 2020
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) United Nations, *Sixth assessment report*, 2021.
- Ian Hore-Lacy, *Before the wells Run Dry* ,Feasta 2003.
- McKinsey & Company *Pathways to a Low-Carbon Economy*., 2009.

Sitografia

- www.terna.it
- www.energyeducation.ca
- www.museodelpetrolio.it
- www.who.int
- www.rivistaenergia.it
- www.innovasol.it
- www.unimarconi.it
- www.uniecampus.it
- www.architetturasostenibile.it
- www.qualeenergia.it
- www.autorita.energia.it
- www.gse.it
- www.enea.it
- www.ecoone.it
- www.iea.org
- www.irena.org
- www.aspoitalia.it
- www.feasta.org

