

TESINA INTERDISCIPLINARE

ANNO SCOLASTICO 2008/2009

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE - LICEO SCIENTIFICO  
TECNOLOGICO "S. MOTTURA"

CLASSE 5<sup>a</sup> G CORSO LICEO SCIENTIFICO TECNOLOGICO

Alunno: Marino Giuseppe Antonio



***PETROLIO, ENERGIE RINNOVABILI***

***E FUTURO DELL'ENERGIA***

*In memoria di*  
*Giuseppe Cavaleri*

# ***INDICE***

1. Introduzione .....	pag. 4
2. L'energia e la crisi energetica .....	pag. 5
3. Le centrali elettriche .....	pag. 8
4. Il petrolio e il gas naturale .....	pag. 13
5. Le fonti di energia rinnovabile	
5.1. Le biomasse .....	pag. 20
5.1.1. La produzione di biodiesel .....	pag. 24
5.1.2. Termovalorizzatori e inceneritori .....	pag. 25
5.2. L'energia solare .....	pag. 27
5.2.1. Il solare fotovoltaico .....	pag. 28
5.2.2. Il solare termodinamico .....	pag. 33
5.3. L'energia eolica .....	pag. 37
5.4. L'energia idroelettrica .....	pag. 43
6. Il futuro...	
6.1. L'idrogeno .....	pag. 46
7. Fonti e bibliografia .....	pag. 55
8. Ringraziamenti .....	pag. 57

## INTRODUZIONE



"C'è bisogno di contare su un cambiamento radicale dell'energia per il futuro dell'umanità, siamo arrivati al limite sia dalle sorgenti sia anche dalla produzione, dell'ambiente e da tutte le conseguenze del clima associate all'uso dei fossili."

Carlo Rubbia

Premio nobel per la fisica nel 1984

Il percorso che ho scelto per la mia tesina di maturità è quello della crisi energetica, problema attualissimo visti i rincari del petrolio dello scorso anno e la scelta del ritorno al nucleare da parte nel nostro Paese.

## L'energia e la crisi energetica

Fisicamente l'energia è definita come la capacità di un corpo a compiere lavoro, in particolare in termodinamica l'energia è tutto ciò che può essere trasformato in calore a bassa temperatura.

Essa è misurata nel SI in Joule(simbolo J), che corrisponde ad  $1 \text{ N} \times \text{m}$ .

L'energia esiste in varie forme, le cui principali sono:

-energia **meccanica**: è una forma di energia pregiata che può essere facilmente convertita in altre forme. Essa è data dalla somma di energia potenziale e cinetica;

-energia **elettrica**: è l'energia che ha un flusso di cariche elettriche, ed è facilmente convertibile in altre forme, come l'energia meccanica;

-energia **chimica**: è l'energia potenziale accumulata nei legami chimici che può liberarsi in una reazione chimica;

-energia **nucleare**: è una forma di energia potenziale accumulata nel nucleo di atomi pesanti che può liberarsi in una reazione nucleare;

-energia **termica**: è data da vibrazioni atomiche e molecolari; tutte le forme di energia possono essere convertite totalmente in questa forma, ma non è possibile l'opposto, per il II principio della termodinamica.

Le forme di energia elencate possono tutte essere trasformate a loro volta in altre forme di energia anche se durante questo processo si perde parte dell'energia come calore, che non è riutilizzabile totalmente per produrre lavoro.

La forma di energia forse più versatile è quella elettrica. Oggi sarebbe impossibile vivere senza elettricità dato che essa è utilizzata per illuminare ambienti, per produrre lavoro meccanico, per il riscaldamento, e per svariati altri usi!

È interessante sapere quali sono le fonti di energia elettrica, dato che saranno ampiamente descritte nella mia tesina:

- energia **idraulica**: viene convertita in elettrica mediante delle apposite centrali con altissimi rendimenti(fino al 90%);

- energia **mareomotrice**: è l'energia delle onde e delle maree e il suo utilizzo è ancora in fase sperimentale visto che presenta notevoli difficoltà;
- energia **termoelettrica**: bruciando un combustibile (di origine fossile o di altro tipo) si genera calore che crea vapore ad alta pressione; questo vapore fa girare le turbine e viene generata elettricità;
- energia **geotermica**: sfrutta il calore interno della terra per creare vapore e generare elettricità in maniera analoga ad una centrale termoelettrica; l'Italia è stata la prima al mondo ad avere centrali simili a Lardarello in Toscana;
- energia **eolica**: l'energia cinetica del vento mette in moto delle eliche collegate ad un generatore;
- energia **fotovoltaica**: sfrutta le proprietà dei semiconduttori di produrre corrente continua se sottoposti a radiazioni elettromagnetiche, soprattutto luce solare;
- energia **solare termodinamica**: la radiazione solare è convogliata in un unico punto da specchi parabolici; così facendo si riscalda uno speciale fluido che compie un ciclo termodinamico in un motore, generando elettricità;
- energia **nucleare da fissione**: rompendo i nuclei di alcuni atomi pesanti, come torio e uranio, si libera tantissima energia termica, che viene utilizzata per produrre vapore che fa girare la turbina dell'alternatore.

A parte nel caso del fotovoltaico, noi produciamo energia elettrica dall'energia meccanica, che a sua volta può essere prodotta dall'energia termica.

In tutti i processi fisici c'è uno scambio di energia tra le varie forme ed esse non sono altro che diverse manifestazioni della stessa grandezza fisica.

Nel 1905 con la pubblicazione della teoria della relatività speciale, in cui è contenuta la celeberrima equazione  $E=mc^2$ , Albert Einstein dimostrò che la massa è essa stessa una forma di energia.

L'energia non si crea e non si distrugge, ma si trasforma da una forma all'altra rimanendo costante. Ma l'energia termica è una forma di energia così detta degradata: per il secondo principio della termodinamica tutto può essere convertito in energia termica, ma questa non può essere riconvertita totalmente nelle altre forme.

### È una grossa limitazione!

La seconda legge della termodinamica spiega come entropicamente l'energia va esaurendo la capacità di generare lavoro. Tra 5 miliardi di anni il sole dicono che si spegnerà, a tutto c'è un fine!

Stando ai dati EIA del 2003 l'energia che utilizziamo viene per il 39% da petrolio, per il 23-24% da gas naturale e carbone, per l'8% da fonti rinnovabili (di cui l'energia idroelettrica ha un ruolo preponderante) e per il 6% da fissione nucleare. Eliminare subito i combustibili fossili è praticamente impossibile ma questi prima o poi si esauriranno e l'umanità dovrà fare i conti con la loro assenza, trovando delle fonti di energia che li sostituiscano. Si parla di idrogeno, di fusione nucleare ma attualmente non c'è ancora una tecnologia di fronteggiare la domanda di energia, così come fanno oggi i combustibili fossili.

Non si sa ad oggi quanto tempo ancora potrà durare il petrolio, il CERA (importante centro di ricerca nel settore energetico) afferma che fino al 2030 non sono previsti picchi di produzione del petrolio.

Le riserve petrolifere non esprimono i volumi esistenti in giacimento ma bensì la quantità di petrolio estraibile con i prezzi e la tecnologia esistenti; aumentando i prezzi del petrolio si può investire maggiormente nella tecnologia di estrazione; il petrolio come sappiamo è spinto dalla pressione iniziale verso l'alto, che dopo un periodo comincia a scendere fino ad interrompersi. Con le vecchie tecnologie si estraeva fino al 20% delle risorse mentre oggi si riescono ad estrarre dal 35% fino ad arrivare, in casi eccezionali, al 50% delle risorse.

Vento, sole, idrogeno e nucleare non danno ancora certezze per il futuro, ma sono le uniche tecnologie che possono potenzialmente contribuire a soddisfare il fabbisogno energetico globale.

L'idrogeno è un vettore energetico, non una fonte di energia, non esiste in natura ed il modo ad oggi più conveniente per ottenerlo consiste nell'estrarlo dagli idrocarburi mediante processi di steam reforming o gassificazione, mentre l'elettrolisi è ancora costosissima e pertanto non attuabile.

Il fotovoltaico è ancora caratterizzato da un basso rendimento anche se la ricerca prose-

gue egregiamente, mentre il termodinamico ha un notevole potenziale ma occorrono ancora investimenti nella ricerca.

L'energia eolica è in continua crescita negli ultimi anni per quanto concerne il contributo alla domanda globale di energia, aumentato di circa un punto percentuale ogni anno, anche se questa crescita non potrà continuare per sempre (non possono essere installati infiniti impianti eolici!).

I biocombustibili sono una realtà affermata e sono in commercio a prezzi simili a quelli dei classici carburanti. Presentano un limite fisico però: per rimpiazzare i carburanti fossili con biocarburanti occorrerebbe coltivare interamente la superficie di 4 pianeti senza contare il fatto che coltivare dovrebbe dare innanzitutto cibo e non carburanti!

Il nucleare da fissione come sappiamo, non è una fonte rinnovabile e presenta sempre problemi legati allo smaltimento delle scorie, mentre la fusione nucleare sembra ancora un miraggio.

Una delle poche cose che si possono far da subito per allontanare il picco del petrolio è il risparmio energetico. Questo tipo di energia virtuale, potrebbe ridurre, per quanto riguarda l'Italia, la domanda energetica del 20%.

Come spero di aver fatto comprendere, la situazione energetica è estremamente complessa e va ad interessare oltre la tecnica anche la politica e l'economia. È impossibile prevedere per quanto tempo durerà ancora questo sistema energetico, ma certamente cambierà, visto che i combustibili fossili non sono inesauribili, anche se non si sa chi rimpiazzerà il petrolio, forse l'idrogeno...

### Le centrali elettriche

Le centrali elettriche sono impianti industriali atti alla produzione di energia elettrica. Esse convertono altre forme di energia (termica, meccanica, ecc...) in energia elettrica mediante l'uso di apposite macchine elettriche, gli alternatori.

La corrente prodotta dalle centrali è solitamente alternata anche se esistono centrali a corrente continua come quelle fotovoltaiche (anche se immettono corrente alternata nella rete di distribuzione) o in Russia.



Le centrali si caratterizzano per due fattori principali quali la **potenza** ed il tipo di **combustibile** o di **fonte energetica** usata per produrre elettricità.

La tipologia di centrali più diffusa nel mondo è quella **termoelettrica**. Questo modello di centrale brucia un combustibile sviluppando calore che viene trasmesso ad una caldaia, nella quale circola acqua ad alta pressione; l'acqua si trasforma così in **vapore** raggiungendo elevate temperature. Il vapore mette in funzione le turbine a vapore che trasmettono il loro moto ad un alternatore che converte l'energia meccanica di rotazione in energia elettrica. Il rendimento delle centrali di questo tipo non è altissimo e si attesta nel migliore dei casi intorno al 28%.

Negli ultimi tempi si è sviluppata una nuova tipologia di centrali termoelettriche, le centrali a **ciclo combinato**, che riescono a recuperare calore dai gas di scarico della combustione; il calore recuperato è trasmesso all'acqua che diventa vapore e fa funzionare una centrale termoelettrica secondaria collegata alla principale. Il rendimento di queste centrali è più alto rispetto a quelle tradizionali e sfiora anche il 60%.

Le centrali termoelettriche sono però una fonte di inquinamento di grande portata, infatti i residui della combustione contengono particolato fine, ossidi di azoto e di zolfo, idrocarburi incombusti e anidride carbonica. Negli ultimi anni si sono però fatti dei passi avanti rendendo queste emissioni meno inquinanti, trattando i combustibili e trattando opportunamente i gas di scarico. Si può ridurre ulteriormente l'impatto ambientale legato a questo tipo di centrali utilizzando combustibili poco inquinanti come il gas naturale o le biomasse, e non disperdendo il calore nell'atmosfera ma utilizzarlo per il teleriscaldamento nelle abitazioni vicine alla centrale.

Altro tipo di centrali elettriche sono quelle **nucleari** del quale si sente parlare spesso ultimamente. Le centrali nucleari hanno un funzionamento simile a quello delle termoelettriche ma differisce il processo con il quale si fornisce calore e si forma vapore da inviare alle turbine. Il calore ottenuto è dato da reazioni di fissione nucleare, cioè della rottura del nucleo di elementi pesanti come l'uranio ed il torio. In futuro forse si arriverà a processi di fusione nucleare, che comportano reazioni di fusione tra nuclei di elementi leggeri come l'idrogeno o l'elio.

Le centrali nucleari non emettono gas inquinanti ma in compenso presentano notevoli problemi legati allo smaltimento delle scorie, altamente radioattive che rimangono attive per millenni (nel caso dell'uranio). Un altro grosso rischio è rappresentato da incidenti che possono accadere nel ciclo vitale dell'impianto, come quello di Chernobyl, anche se con le nuove tecnologie questo rischio sembra limitato, almeno in Europa.

Altro tipo di centrali sono quelle **geotermoelettriche**, centrali che sfruttano il calore del sottosuolo per scaldare l'acqua e creare vapore per far girare le turbine e quindi produrre elettricità. Vista l'assenza di reazioni di combustione non ci sono emissioni inquinanti di alcun genere anche se gli impianti presentano alcuni svantaggi, come la scarsità di siti con un'attività geotermica rilevante e gli elevati costi di manutenzione dovuta alla composizione delle acque del sottosuolo, ricca di sali, che crea incrostazioni e depositi. L'Italia è stato il primo Paese al mondo a costruire centrali geotermoelettriche nella zona di Lardarello, in Toscana.



Schema di una centrale geotermica.

Esistono attualmente vari tipi di centrale che descriverò nel seguito della mia tesina, dedicandogli ampio spazio.

#### - Alternatore e trasformatore

L'alternatore e il trasformatore sono due macchine fondamentali in quasi tutte le centrali elettriche esistenti.

L'alternatore riesce a convertire l'energia meccanica di rotazione in energia elettrica, sfruttando la legge di Lenz - Faraday - Neumann che lega la variazione del flusso del campo magnetico ad una forza elettromotrice indotta, secondo la seguente relazione:

$$f.e.m. = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Ogni qualvolta vari il flusso del campo magnetico, visto che la derivata di una costante è zero, si ha una forza elettromotrice indotta che si oppone alla causa che l'ha generata (indicata dal segno "-"). Se chiudiamo il circuito nel quale si genera la f.e.m. otterremo una corrente indotta.

Questo principio è alla base dell'alternatore. Il più semplice modello di alternatore è costituito da una spira in grado di ruotare all'interno di un campo magnetico costante. La rotazione della spira fa sì che cambi continuamente il flusso legato al campo magnetico.

Il flusso del campo magnetico attraverso una superficie è dato dal prodotto scalare tra il vettore campo magnetico, il versore perpendicolare alla superficie, moltiplicato per la superficie  $S$ ; praticamente è dato dal prodotto tra il vettore campo magnetico e la superficie  $S$  moltiplicati per il coseno dell'angolo  $\alpha$ , formato tra il campo magnetico ed il versore perpendicolare alla superficie.

$$\Phi_B = BS \cos \alpha$$

Durante il moto dell'alternatore descritto in precedenza, il flusso sarà massimo quando la spira sarà perpendicolare alle linee di forza del campo magnetico, mentre sarà minimo quando questa sarà parallela alle linee di forza. Pertanto avremo una tensione indotta variabile, per la precisione **alternata**.

Il flusso concatenato all'alternatore segue l'andamento di una cosinusoide mentre la corrente indotta che circola nella spira segue un andamento di tipo sinusoidale (derivando il coseno si ottiene il seno).

Un'altra macchina elettrica fondamentale per qualsiasi centrale è il **trasformatore**. Questo dispositivo ci permette di variare la tensione e la corrente che scorre in un conduttore, sfruttando il principio della **mutua induzione**: una corrente alternata in un circuito induce una f.e.m. alternata in un circuito vicino. Esso è costituito da un nucleo di ferro dolce sul quale sono avvolte due bobine o circuito: il primario nel quale circola la corrente alternata e il secondario. La differenza tra i due avvolgimenti sta nel numero di spire.

La corrente alternata determina una variazione del flusso del campo magnetico nel secondario, quindi una tensione indotta con la stessa frequenza della tensione del primario. Il flusso del campo magnetico di una spira, determina una tensione indotta pari a:  $V_p = -\frac{\Delta\Phi_{spira}}{\Delta t}$

quindi la tensione indotta totale, essendo  $n_p$  il numero di spire, è:  $V_p = -n_p \frac{\Delta\Phi_{spira}}{\Delta t}$ .

Supponendo che non ci siano perdite del ferro, anche il flusso nel secondario è uguale a

$\Phi_{spira}$ . Quindi  $V_s = -n_s \frac{\Delta\Phi_{spira}}{\Delta t}$ .

Il flusso della spira espresso in funzione della tensione indotta sarà uguale a :

$$\Phi_{spira} = -\frac{n_p}{\Delta t V_p} \quad \text{oppure} \quad \Phi_{spira} = -\frac{n_s}{\Delta t V_s}$$

Eguagliando le equazioni ottenute e facendo le opportune semplificazioni otteniamo:

$$\frac{n_p}{n_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

La tensione indotta al secondario dipende esclusivamente, oltre che dalla tensione al primario, anche dal rapporto tra il numero di spire tra il primario ed il secondario.

I vantaggi del trasformatore sono notevoli: visto che la potenza,  $P = VI \cos \varphi$ , è costante nei due avvolgimenti la tensione può aumentare a discapito della corrente o viceversa. Il trasporto dell'energia elettrica dalle centrali alle utenze, avviene in alta tensione e bassa corrente, per evitare eccessive perdite per effetto Joule; quindi l'energia prodotta da una centrale elettrica, prima di venire immessa nella rete è fatta passare da un trasformatore **in salita** o **elevatore**; prima di arrivare alle utenze, che necessitano di corrente elettrica a 220 V, la corrente ad alta tensione è fatta passare per diversi trasformatori **in discesa** o **riduttori**, che ne diminuiscono la tensione aumentando la corrente.

Uno dei motivi per i quali oggi si produce corrente alternata e non continua è proprio questo: con la corrente continua si avevano notevoli perdite lungo il percorso per effetto joule mentre con la corrente alternata queste perdite sono estremamente ridotte.

Durante la seconda rivoluzione industriale questi due sistemi coesistevano però ha avuto la meglio la corrente alternata.

È doveroso dare un po' di gloria a colui che scoprì la corrente alternata, **Nikola Tesla**, che oltre a questa scoperta brevettò diverse macchine elettriche, tra le quali la radio sulla quale ci fu un conflitto sull'attribuzione della scoperta tra lui e **Marconi**. Nonostante le sue innumerevoli scoperte, che fecero di Tesla uno dei padri dell'elettrotecnica e non solo (fece anche studi sui raggi X e scoprì l'esistenza dei raggi cosmici), non gli fu mai riconosciuto alcun merito tant'è che non vinse premi Nobel, pur essendo stato due volte candidato, che vinsero però Edison, inventore della corrente continua, e Marconi, anche poco dopo la morte di Tesla, un tribunale diede ragione all'ingegnere croato sulla questione riguardante la paternità della radio . L'unico riconoscimento di rilievo è l'unità di misura nel S.I. del campo magnetico che è appunto il Tesla (T).

### Il petrolio e il gas naturale

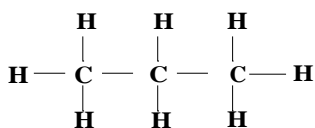
#### - L'origine

La formazione del petrolio risale a 300 milioni di anni fa durante il periodo detto "carbonifero". Si formò sotto la superficie terrestre in seguito all'alterazione di organismi marini e piante cresciute sui fondali marini: i resti della decomposizione si mescolarono con le sabbie ed il limo e si depositarono sul fondo del mare, formando sedimenti organici. I sedimenti aumentarono di spessore e per il loro peso precipitarono in fondo al mare; con l'accumulo di altri sedimenti, aumentarono pressione e temperatura. Il fango e la sabbia si indurirono trasformandosi in argillite ed il carbonio precipitò, le conchiglie indurirono diventando calcare e i resti degli organismi morti diventarono petrolio greggio e gas naturale. Il greggio salì verso la superficie dai sedimenti impermeabili, essendo meno denso dell'acqua, e trovò spesso strati di rocce impermeabili come l'argillite formando i giacimenti.

#### - Tipi di petrolio

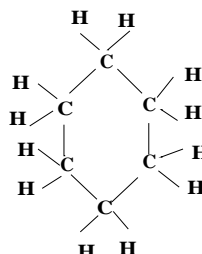
Il petrolio si presenta come un liquido nero molto viscoso ed è sostanzialmente una miscela di idrocarburi, con modeste quantità di zolfo, azoto e ossigeno. Si identificano quattro classi di petrolio, in base al tipo di idrocarburo prevalente: petrolio a base paraffinica, costituito in maggioranza da alcani; petrolio a base naftenica, costituito in prevalenza da ciclo

alcani; petrolio a base mista, con eguali percentuali di alcani e ciclo alcani; petrolio a base aromatica, molto raro e pregiato, costituito da idrocarburi aromatici.



Formula di struttura del propano, un alcano

Formula di struttura del cicloesano, un ciclo alcano presente nel petrolio a base naftenica

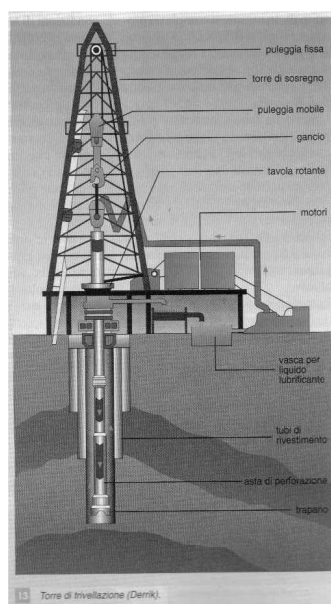


### - La ricerca dei giacimenti e la perforazione

Quando si cerca un giacimento di petrolio si escludono a priori zone granitiche e vulcaniche, e si fanno molte ricerche e telerilevamenti. In particolare si prelevano delle "carote", cioè dei campioni di terreno prelevato nella roccia. Il metodo più affermato per cercare un giacimento è il metodo sismico, che consiste nel generare onde simili a quelle dei terremoti e registrare il tempo che impiegano per tornare indietro; i dati sono rielaborati dai geofisici che stilano delle carte del terreno e ipotizzano il sito del giacimento.

Ipotizzato il sito del giacimento si prosegue con la perforazione del sottosuolo.

Questa operazione avviene con delle apposite torri dette anche torre "Derrick"



A sinistra è riportato lo schema di una torre di perforazione.

Dei potenti motori a diesel fanno ruotare la tavola rotante che trasmette il moto all'asta di perforazione, sulla cui punta è inserito uno speciale scalpello. Le aste sono continuamente rifornite di un liquido lubrificante che abbassa la temperatura dello scalpello, consolida le pareti del pozzo e riporta in superficie frammenti di roccia. Soltanto tre volte su cinque la perforazione porta alla scoperta di un giacimento. Per quanto riguarda giacimento marini o oceanici si procede alla trivellazione con apposite

piattaforme off-shore, che possono essere installate a più di 6500 metri di profondità nell'oceano.

Se si giunge alla scoperta di un giacimento petrolifero, il greggio può fuoriuscire da solo, spinto dalla pressione naturale, o deve essere estratto con apposite pompe.

### - Il trasporto

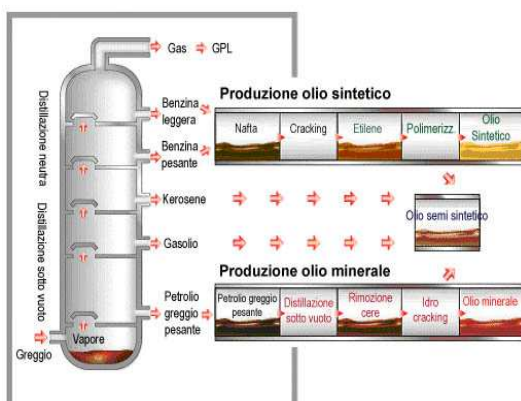
Per provvedere a questo bisogno esistono due metodi: le petroliere o gli oleodotti. Il trasporto in petroliere è di origine più antiche e passando dalla capacità di carico delle navi del 1886 di 3000 t fino ad arrivare oggi a 550.000 t. Per limitare disastri ambientali causati da eventuali incidenti le navi sono dotate di doppio scafo.

La maggior parte del trasporto però oggi avviene negli oleodotti, tubature d'acciaio poste spesso sottoterra, in cui il petrolio passa sotto la spinta delle stazioni di pompaggio. La manutenzione degli oleodotti non può essere trascurata vista la possibilità di perdite e le conseguenze a esse legate.

### - La raffineria ed i prodotti petroliferi

Il petrolio viene lavorato in impianti di grosse dimensioni, le raffinerie, che si compongono di tre parti distinte: le cisterne per lo stoccaggio del greggio, le torri delle lavorazioni e le cisterne che contengono i prodotti finiti.

Il primo trattamento che subisce il greggio, è nelle torri di distillazione, ed è per l'appunto un processo di *distillazione frazionata*.



\*Questo processo può variare a seconda del produttore di petrolio e del processo di raffinazione

Lo schema a fianco illustra i prodotti che si formano in questo processo. Il petrolio greggio, entra nella torre dal basso; la torre è costituita, come si vede dalla figura, da vari piani formati da grandi piatti d'acciaio. Ogni piatto ha una sua temperatura specifica, che diminuisce con l'altezza. Quando vapori di un certo tipo toccano il piatto, a cui corrisponde la loro temperatura di condensazione, diventano liquidi mentre gli altri gas continuano a salire fin quando non incontrano il "loro" piatto

Ecco un elenco dei prodotti che si formano alle varie temperature:

Tipo di prodotto	Temperatura di ebollizione	Utilizzi
Olio pesante	Oltre 340 °C	Si ricavano oli combustibili, per centrali termoelettriche, navi e forni industriali, oli lubrificanti, cere e bitumi
Gasolio	300 °C	Le frazioni leggere sono usate nei motori diesel mentre quelle pesanti come combustibile per riscaldamento
Kerosene	250 °C	Carburanti per motori agricoli ed aeronautici o combustibile per riscaldamento. Se sottoposto a cracking può dare benzina.
Benzine	120 °C	Sono utilizzate come carburanti e si distinguono in pesanti e leggere.
Propano e butano	60 °C	Sono impiegati come gas di petrolio liquefatti (GPL) o in bombole, per uso domestico, e accendini
Metano ed etano	Meno di 30 °C	Non sono condensabili e vengono utilizzati come combustibile per riscaldamento.

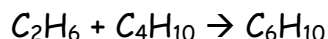
Dopo la distillazione, per produrre maggiori quantità di benzina, il kerosene o il residuo della distillazione, possono essere sottoposti a *cracking*. Questo processo consiste nello "spezzare" le molecole degli idrocarburi pesanti per ottenere frazioni più leggere. Il cracking può essere termico o catalitico. Quello termico viene effettuato a temperature comprese tra 450 e 550 °C e ad un'alta pressione. Gli atomi di carbonio si scindono formando radicali che reagiscono con altre molecole.

Nel cracking catalitico invece si formano carboanioni.

Gli idrocarburi leggeri che si formano vengono impiegati per produrre benzine, tramite reazioni di *alchilazione*, opportunamente catalizzate.



Reazione di alchilazione tra l'etilene ed il butene, che porta alla formazione dell'esano:



In questo processo si ha anche la formazione di idrogeno e carbonio elementare sotto forma di coke.

Un altro tipo di reazioni che coinvolgono gli idrocarburi del greggio, sono quelle di *reforming* che consistono nel modificare la struttura della molecola, pur conservando lo stesso numero di atomi di carbonio. In particolare alcuni alcani vengono spesso trasformati in alcani ramificati, per far aumentare le sue caratteristiche antidetonanti e per formare idrocarburi aromatici tramite ciclizzazione; queste operazioni sono fatte per aumentare il pregio delle benzina prodotta, pregio che dipende dal suo potere detonante e dalla presenza di idrocarburi aromatici. Il potere detonante di una benzina è indicato dal numero di ottano che è compreso tra zero, valore attribuito all'eptano che detona molto facilmente, e cento, attribuito all'isooottano in grado di resistere ad elevate pressioni senza detonare.

#### - Petrolio ed economia...

L'unità di misura con cui avviene la trattazione dell'oro nero è il barile che corrisponde a 159 litri.

Non è certo un caso che il petrolio venga soprannominato "oro nero". Nonostante gli ultimi rincari dello scorso anno (oltre 150 \$ al barile nel luglio 2008), in passato il prezzo del greggio era notevolmente più basso tant'è che si ebbe una crisi petrolifera negli anni Cinquanta, visto che l'eccesso dell'offerta fece crollare i prezzi. Da allora i principali paesi produttori di greggio fondarono l'OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) composto da Algeria, Arabia Saudita, Emirati Arabi, Gabon, Indonesia, Iran, Iraq, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar e Venezuela (Ecuador ritirato nel '92). La sede dell'OPEC è a Vienna ed ancora oggi, due volte l'anno, i rappresentanti dei governi dei paesi membri si riuniscono per stabilire le politiche di intervento.

Negli anni Settanta il prezzo del greggio quadruplicò, raggiungendo i 12 \$ dollari al barile e nel 1980 fu spinto oltre i 30 \$, provocando notevoli inflazioni nei paesi industrializzati. Il risparmio energetico di petrolio successivo portò ad indebolire la domanda e ad abbassare

il prezzo; in seguito, nel 1986, la scoperta di nuovi giacimenti aveva fatto crollare nuovamente i prezzi tant'è che scesero sotto i 10 \$ al barile. Durante la guerra del golfo si ebbe un ulteriore aumento del prezzo che arrivò sopra i 25 \$ al barile.

Dall'exkursus fatto sulla storia del petrolio si vede che i prezzi di questo erano molto lontani da quelli attuali. Purtroppo la domanda in questi ultimi anni è aumentata parecchio in seguito all'industrializzazione di nuovi paesi, in primis Cina e India, mentre non sono stati scoperti nuovi giacimenti che potessero incrementare l'offerta.

Vista il notevole peso che ha il petrolio nell'economia mondiale, il suo prezzo è un parametro importantissimo che ha ripercussioni su tutto. È noto a tutti l'inflazione causata dai rincari del greggio la scorsa estate: rincari su tutte le merci, vista l'elevata percentuale di trasporto gommato in Italia, e sulla bolletta energetica, dato che produciamo una grossa percentuale di energia da combustibili fossili. Vista la situazione investire in fonti di energia diverse dai fossili è sicuramente una scelta intelligente non solo per l'economia ma anche per l'ambiente.

#### - L'inquinamento da petrolio

L'oro nero è un agente inquinante molto pericoloso che può inquinare diversi fattori ambientali, quali suolo, atmosfera ed acqua.

L'inquinamento del mare può essere accidentale, dovuto a incidenti delle petroliere, o sistematico, che proviene da infiltrazioni naturali, perdite di raffinerie e allo scarico a mare delle acque di zavorra di navi cisterne e petroliere.

L'inquinamento accidentale, pur avendo effetti devastanti sugli ecosistemi marini, rappresenta

solo il 10% dell'inquinamento mentre la restante percentuale è dovuta all'inquinamento sistematico, in particolare lo scarico in mare delle acque di zavorra.

Per eliminare il petrolio in mare si procede attraverso reazioni chimiche, in passato si usavano degli emulsionanti ma questi causavano effetti più gravi del petrolio stesso, pertanto questa tecnica è stata abbandonata. Oggi si usano imbarcazioni che "raschiano" via dal mare il petrolio.

L'inquinamento del suolo è dato dalle fuoriuscite nocive, dovute alla cattiva progettazione, manutenzione e gestione degli impianti.

In Ecuador in passato si sono avute delle vere e proprie eruzioni di petrolio dai pozzi durante il trivellamento e dalla dispersione abusiva del petrolio meno pregiato, mentre in Russia molti oleodotti, a causa della cattiva manutenzione, registrano notevoli perdite.

Gli effetti di questo tipo di inquinamento sono molto gravi, ad esempio in Nigeria, nella regione del delta del Niger, le perdite sono molto frequenti ed hanno pensato, male, di bruciare i residui o di lasciarli essiccare al sole; il risultato? Sul terreno si è formato uno strato di crosta sterile, spesso un paio di metri, che rende i terreni inutilizzabili.

L'inquinamento atmosferico è dato alle emissioni inquinanti dovute alla combustione del petrolio; le emissioni contengono  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_3$  e particelle incombuste.

#### *- Il gas naturale*

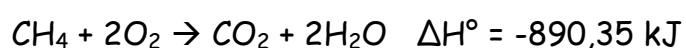
Il gas naturale, è una miscela costituita da idrocarburi gassosi con un numero di atomi di carbonio compreso tra 1 e 4, anche se è prevalente la presenza di metano; è un gas la cui origine è legata a quella del petrolio, ma che si trova spesso in giacimenti separati. Tra tutti i combustibili fossili è sicuramente il più pulito visto che la sua combustione genera esclusivamente  $CO_2$ . Allo stato naturale è incolore ed inodore, non è respirabile anche se non è velenoso.

È impiegato nelle centrali termoelettriche come combustibile, per produrre energia termica nelle industrie e negli usi domestici e civili e come carburante nell'autotrazione.

Nel nostro paese soddisfa il 26 % del fabbisogno energetico totale. Abbiamo diversi giacimenti in Abruzzo, Basilicata, Sicilia, nella pianura padana e nel Mare Adriatico.

La produzione interna è però insufficiente a soddisfare la richiesta pertanto importiamo gas dall'estero, per la precisione da Olanda, Russia e Algeria attraverso una grande rete di metanodotti internazionali di grande diametro.

La reazione di combustione del metano:



La stessa reazione avviene nelle comuni caldaie a gas installate nelle abitazioni.

Si libera una notevole quantità di calore, mentre basta una fiamma per innescare la combustione che procede spontaneamente.

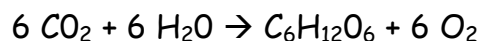
## **Le fonti di energia rinnovabili**

### **Le biomasse**

Per biomassa intendiamo qualsiasi sostanza organica che derivi, direttamente o indirettamente, dalla **fotosintesi clorofilliana**.

Le biomasse quindi comprendono materiali, di origine vegetale o animale, come scarti e sottoprodotti agroforestali e industriali, frazione organica degli RSU e colture energetiche.

La fotosintesi clorofilliana è un processo in cui il carbonio presente nell'atmosfera sotto forma di  $CO_2$  viene fissato, grazie alla luce del sole, in carboidrati e altri composti organici utili alla pianta.



Grazie alla fotosintesi ogni anno vengono fissate circa  $2 \times 10^{11}$  tonnellate di carbonio, con un contenuto energetico complessivo di circa 10 volte il fabbisogno energetico mondiale (70 miliardi di tonnellate di petrolio).

Bruciando biomasse, come ad esempio la legna, si emette nell'atmosfera anidride carbonica ma tuttavia la quantità emessa è pari a quella che viene riassorbita durante il ciclo di crescita delle biomasse appunto! Essendo un processo ciclico l'emissione complessiva di  $CO_2$  nell'atmosfera è nulla.

Le tre principali fonti di biomasse sono le seguenti:

- Filiera del legno
- Filiera dell'agricoltura
- Filiera degli scarti e dei rifiuti

I combustibili ottenuti da queste filiere sono classificati come **biocombustibili** e l'energia prodotta da questi è detta **bio-energia**.

I processi con i quali vengono utilizzate le biomasse possono essere divisi in due tipi: processi termochimici e processi biochimici.

### I processi termochimici:

sono tutti processi nei quali il calore ha il compito di far avvenire reazioni chimiche. Questo tipo di lavorazioni possono essere effettuate su prodotti legnosi e residui cellulosici il cui rapporto C/N sia superiore a 30 e l'umidità non superi il 30%.

#### La combustione

Consiste nell'ossidare completamente il combustibile ad acqua ed anidride carbonica. Questo processo è attuato solitamente in caldaie in cui il calore viene ceduto ad un fluido di processo (esempio l'acqua per il riscaldamento di un edificio)

#### Carbonizzazione

È un pretrattamento che si fa alla biomasse per migliorarne le caratteristiche. Consiste nel somministrare calore in presenza di poco ossigeno con la conseguente eliminazione di acqua e di sostanza non combustibili della materia vegetale.

#### Pirolisi

È un processo nel quale le sostanze vengono trattate ad alte temperature (nell'ordine dei 400 - 800 °C) in assenza di agenti ossidanti.

Si ottengono prodotti solidi, liquidi e gassosi ma l'applicazione di questo processo per produrre energia presenta ancora molte difficoltà.

#### Gassificazione

Consiste nel trasformare un combustibile, solido o liquido, in gas; nel caso delle biomasse questo avviene attraverso una decomposizione termica ad alta temperatura (900-1000°C). Da questo processo si ottiene una miscela di gas contenente  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $N_2$  e tracce di idrocarburi. La concentrazione di questi prodotti varia in base al tipo di gassificatore usato, al combustibile e al suo contenuto di umidità.

Il contenuto energetico di questo gas, detto gasogeno, varia molto in base al tipo di gassificatore usato ma ha comunque un potere calorifero medio basso (oscilla tra i 4.000

$\text{kJ/Nm}^3$  dei gassificatori ad aria, i  $10.000 \text{ kJ/Nm}^3$  dei gassificatori a vapor d'acqua ed i  $14.000 \text{ kJ/Nm}^3$  di quelli ad ossigeno)

L'utilizzo del gas di gasogeno presenta ancora molti inconvenienti come la presenza di gas con basso contenuto calorifero e le notevoli impurità, senza contare le difficoltà nello stoccaggio e nel trasporto.

Per rendere conveniente questo processo si trasforma il gas in metanolo, che ha un buon potere calorifero, e può inoltre essere raffinato per ottenere benzina sintetica, dotata di caratteristiche simili a quella tradizionale.

### Steam explosion (SE)

Presenta il vantaggio di separare le biomasse in 3 componenti contenenti ognuna un substrato vegetale (emicellulosa, cellulosa e lignina) e rendendo così possibile l'utilizzo totale delle biomasse.

Il legno viene riscaldato con l'uso di vapore saturo ad alta pressione, in un reattore ad alimentazione continua e discontinua.

### Processi biochimici

In questa tipologia di processo, le biomasse vengono convertite chimicamente grazie al contributo di funghi, micro organismi ed enzimi che si formano nella biomassa interessata sotto particolari condizioni. Sono idonee tutte le biomasse i cui requisiti soddisfino anche i processi termochimici, in particolare: colture acquatiche, qualche sottoprodotto colturale (foglie, steli, ecc...), reflui zootecnici e scarti di lavorazione.

### Digestione anaerobica

È il processo di fermentazione della materia organica, ad opera di micro organismi, che avviene in assenza di ossigeno. Da questo processo si origina biogas, una miscela di metano (50-70%) e anidride carbonica, dotato di un potere calorifero medio di  $23000 \text{ KJ/Nm}^3$ .

Questo processo non coinvolge l'azoto, il fosforo e il potassio presenti nella biomassa pertanto lo "scarto" di questo processo è un ottimo fertilizzante.

Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati anche da sostanze ad alto contenuto di umidità come rifiuti alimentari, reflui industriali, frazione organica dei rifiuti solidi urbani e fanghi attivi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque.

Presenta alcuni inconvenienti quali la dispersione di circa il 60% del metano prodotto nell'atmosfera, che contribuisce ad aumentare l'effetto serra, pertanto questo tipo di processo andrebbe svolto solo in impianti chiusi, i digestori, le cui perdite siano minime e trascurabili.

Il biogas, prima di venir usato come combustibile, viene raccolto, essiccato, compresso e immagazzinato, per venir poi usato come combustibile per l'appunto.

### Digestione aerobica

Le sostanze vengono metabolizzate da micro-organismi, in presenza di ossigeno, convertendo sostanze complesse in sostanze più semplici, quali anidride carbonica e acqua. Il processo libera calore che viene trasferito esternamente mediante scambiatori a fluido. In Europa le acque di scarico subiscono questo processo, detto di digestione aerobica termofila autoriscaldata. La tecnologia si è diffusa anche negli USA e in Canada ultimamente.

### Fermentazione alcolica

È un processo micro-aerofilo che trasforma i glucidi in etanolo (il carbonio si riduce). L'etanolo può essere utilizzato nei motori a combustione interna "dual fuel" insieme a benzina e gasolio.

Un prodotto alternativo a questi carburanti, oggi è l'ETBE (Etil Tertio Butil Etere), ottenuto combinando l'iso-butene e l'etanolo.

### Estrazione di oli vegetali e produzione di biodiesel

Alcune piante, dette oleaginose, hanno dei semi ricchi di oli, che possono essere estratti ed essere bruciati per alimentare motori o gruppi elettrogeni.

Queste piante presentano una percentuale di olio nell'ordine del 35-45 % rispetto al loro peso; l'olio contenuto ha inoltre un elevato potere calorifero che può raggiungere anche i 10000 Kcal/Kg. I sottoprodotti di questo processo sono ricchi di proteine e possono essere

riutilizzati come alimenti zootecnici, nell'industrie farmaceutiche e per la produzione di pellet.

Per esser resi compatibili con i motori a combustione interna è necessario che questi oli subiscano un processo di esterificazione, che riduce la quantità di acqua e di impurezze presenti nell'olio, ottenendo biodiesel.

Il biodiesel, ottenuto dall'esterificazione, fa registrare prestazioni simili a quelle del tradizionale diesel, ma in compenso inquina in maniere decisamente inferiore, vista la mancanza di zolfo e composti aromatici, ed ha una grande biodegradabilità.

### **Produzione di biodiesel**

Come detto precedentemente, il biodiesel è un biocarburante ottenuto dall'olio dei semi di colza e girasole, con prestazioni simili a quelle del classico gasolio.

Tuttavia si distingue da questo per l'assenza di zolfo e di idrocarburi aromatici; l'uso del biodiesel inoltre contribuisce alla diminuzione di gas serra, quantificabile in 2,5 t di  $CO_2$  in meno per ogni tonnellata di gasolio sostituito. Tra gli altri pregi il biodiesel presenta una grande biodegradabilità.

Il processo di produzione del biodiesel può essere così suddiviso:

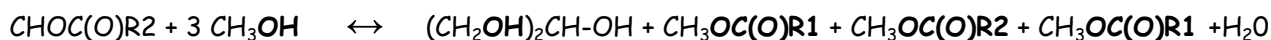
- Preparazione: si depura e si riscalda il grasso. Se il contenuto di umidità è elevato si ottiene anche sapone, a discapito del biodiesel visto l'eccesso di trigliceridi
- Titolazione: è necessario titolare l'olio per stabilire quanti moli di base utilizzare successivamente
- Preparazione del reagente: si miscela il metanolo con il catalizzatore (NaOH o KOH)
- Combinazione: si combinano, a 50 °C, la miscela di metanolo e l'olio preparato
- Separazione: si separa il glicerolo dal biodiesel tramite decantazione o centrifugazione e si rimuove l'alcol mediante distillazione
- Purificazione: si separa il biodiesel dagli scarti (catalizzatore e sapone)



La reazione complessiva chimica complessiva che porta al biodiesel è la seguente:



|



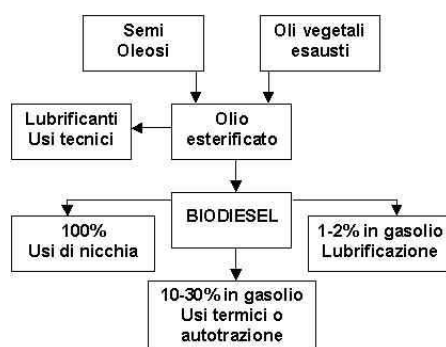
|



Questa è una reazione di esterificazione, catalizzata da KOH o NaOH, in cui l'alcol reagisce con il trigliceride per dare tre tipi di esteri (solo se i gruppi alchilici del trigliceride sono diversi, se  $R_1=R_2=R_3$  otteniamo 3 moli di uno stesso estere per mole di trigliceride) e glicerolo.

Essendo una reazione reversibile è necessario che l'alcol sia in eccesso per spostare l'equilibrio della reazione a destra verso i prodotti.

Ecco di seguito uno schema che riassume la filiera del biodiesel



Oltre al biodiesel si producono glicerolo e altri sottoprodotti ricchi di proteine che possono essere riutilizzati rispettivamente dalle industrie farmaceutiche e come alimenti nella zootecnia.

### Termovalorizzatori ed inceneritori

I termovalorizzatori sono impianti in cui viene bruciata la **frazione organica** dei rifiuti solidi urbani per produrre energia elettrica, mentre un inceneritore brucia soltanto i rifiuti senza ricavarne nulla.

Non sempre però nei termovalorizzatori va a finire solo ed esclusivamente la frazione organica dei rifiuti, almeno in Italia, ma spesso questa è accompagnata anche da altri tipi di

rifiuti che andrebbero riciclati e non bruciati, come la plastica, la cui combustione tra l'altro produce diossina una sostanza altamente tossica per l'uomo.

L'uso di un inceneritore o di un termovalorizzatore deve quindi essere accompagnato da un **programma di riciclaggio** a monte dell'impianto: il riuso ed il riciclo sono sicuramente più "valorizzanti" rispetto alla combustione dato che, per esempio, il riciclo di una bottiglia di plastica fa risparmiare molta più energia di quella che si può ricavare dalla sua combustione, tralasciando l'inquinamento.

Nel nostro Paese i termovalorizzatori sono indirettamente incentivati dallo Stato, che considera questi come una fonte di energia rinnovabile al pari di idroelettrico, solare e eolico. Pertanto l'energia elettrica prodotta dalla termovalorizzazione è rivenduta all'Enel ad un costo triplo rispetto all'energia prodotta da combustibili fossili. L'Unione Europea su questa questione ha aperto un'inchiesta visto il conflitto tra la direttiva UE e quella italiana, che considera una fonte rinnovabile anche i rifiuti non biodegradabili.

Gli inceneritori, che bruciano esclusivamente la frazione organica, di altri Paesi europei come Inghilterra, Austria, Finlandia e Svezia, sono secondo alcuni compatibili con l'ambiente tant'è che questi sono spesso inseriti all'interno di città (Londra, Vienna, Copenhagen, ecc...). Tuttavia ci sono degli studi che negano la compatibilità ambientale e di fatto molti Paesi stanno gradualmente **dismettendo** gli impianti.

Purtroppo in Italia la termovalorizzazione dei rifiuti è nemica del riciclaggio, almeno secondo i politici, quando queste sono e devono essere due facce della stessa medaglia. In Sicilia sono previsti 4 termovalorizzatori, progettati in funzione della quantità di rifiuti, organici e non, prodotti dalla regione; non si promuove minimamente il riciclaggio che sarebbe più vantaggioso sotto l'aspetto ambientale.

Gli inceneritori non possono operare se non sono dotati di sistemi di trattamento dei fumi e abbattimento delle emissioni, ma ancora una volta per non smentirci mai, il termovalorizzatore di Brescia ha avuto diverse infrazioni europee per il mancato rispetto delle norme.

La gestione dei rifiuti può avvenire essenzialmente in quattro modi:

- smaltimento in discarica
- incenerimento o termovalorizzazione

- riciclaggio
- riduzione e riuso

Purtroppo da noi il riciclaggio e il riuso sono minimi e vengono addirittura resi sconvenienti, visti gli incentivi (che paghiamo noi cittadini nella bolletta Enel) alla termovalorizzazione dei rifiuti non biodegradabili; l'alternativa ad un inceneritore rimane la discarica, anch'essa inquinante e con un impatto ambientale estremamente negativo.

Il problema dei rifiuti è certamente complesso e non è affrontato come merita; molte sono anche le infiltrazioni delle criminalità organizzata che lucra sullo smaltimento dei rifiuti tossici e a tal proposito si veda l'emergenza rifiuti in Campania degli scorsi anni, descritta benissimo nel libro "Le vie infinite dei rifiuti" scritto dal fisico e giornalista Alessandro Iacucci, che ha indagato, rischiando anche la vita, sul traffico illegale di rifiuti in Campania.

### L'energia solare

Il sole, essendo una stella, è una grande fornace nucleare in cui continuamente degli atomi di idrogeno si fondono per dare elio; per la precisione da 4 atomi di idrogeno se ne forma uno di elio, perdendo circa lo 0,7% della massa per ogni nucleo di elio che si forma. Questa differenza di massa è liberata sotto forma di energia secondo la celeberrima equazione che ha reso famoso Einstein:  $E=mc^2$ .

Basta che qualche grammo di idrogeno si trasformi in elio per liberare centinaia di miliardi di calorie!

Ogni secondo, nel nostro Sole, circa 564,5 milioni di tonnellate di idrogeno si fondono per dare 560 milioni di tonnellate di elio; ogni secondo questa stella perde 4,5 milioni di tonnellate di massa, sotto forma di energia. La potenza di irraggiamento solare è spaventosa e ammonta a **380.000 miliardi di kW**. Il sole in un secondo produce più di tutta l'energia che ha consumato il genere umano nella sua storia!

Sulla Terra arriva tuttavia una piccola quantità di radiazione solare, che corrisponde a circa 2 calorie al minuto su  $\text{cm}^2$  di superficie (costante solare).

Della radiazione solare che investe la Terra solo il 51 % raggiunge il suolo.

Questa energia viene assorbita dal nostro pianeta e ceduta all'atmosfera sotto forma di calore; la luce inoltre è fondamentale per far avvenire la fotosintesi e di conseguenza per la vita, il Sole è la fonte di energia principale del nostro pianeta.

Oltre a essere convertita per via naturale dalle piante in energia, la luce solare può essere convertita in energia in due modi artificiali: tramite conversione **fotovoltaica** o **termodinamica**.

### Il solare fotovoltaico

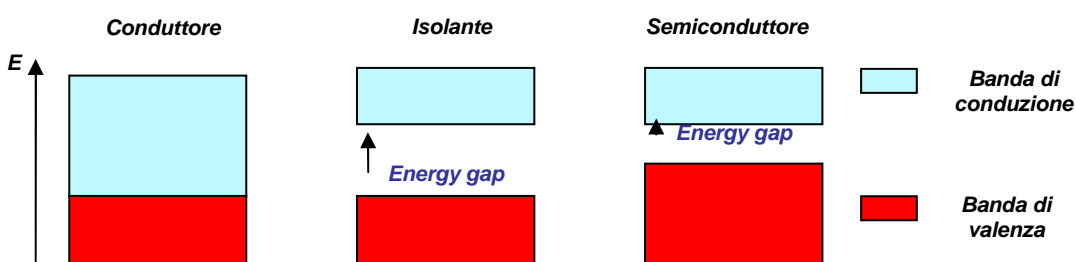


Questo tipo di conversione sfrutta la capacità che hanno alcuni materiali, i **semiconduttori**, di produrre corrente continua se investiti da radiazione luminosa.

Questo fenomeno è conosciuto dal 1839 con i primi esperimenti di Becquerel, e fu spiegato a distanza di quasi 100 anni da Albert Einstein con la teoria dell'effetto fotoelettrico, che confermò la natura corpuscolare delle onde elettromagnetiche, e valse al grande scienziato il premio Nobel per la fisica nel 1921.

#### - L'effetto fotovoltaico

Il principio che spiega questo effetto è molto semplice: i fotoni sono caratterizzati da un'energia cinetica pari a  $h f$  (dove  $h$  è la costante di Planck e  $f$  la frequenza della radiazione elettromagnetica) ed impattando con gli elettroni più esterni dell'atomo, se hanno sufficiente energia, riescono a "strapparli" dal nucleo. L'assenza di un elettrone è chiamata **lacuna**. L'energia minima per allontanare un elettrone dall'atomo deve essere superiore alla **banda proibita (Energy gap)** del materiale, una regione intermedia tra la banda di conduzione e quella di valenza, in cui non sono permessi livelli energetici agli elettroni.

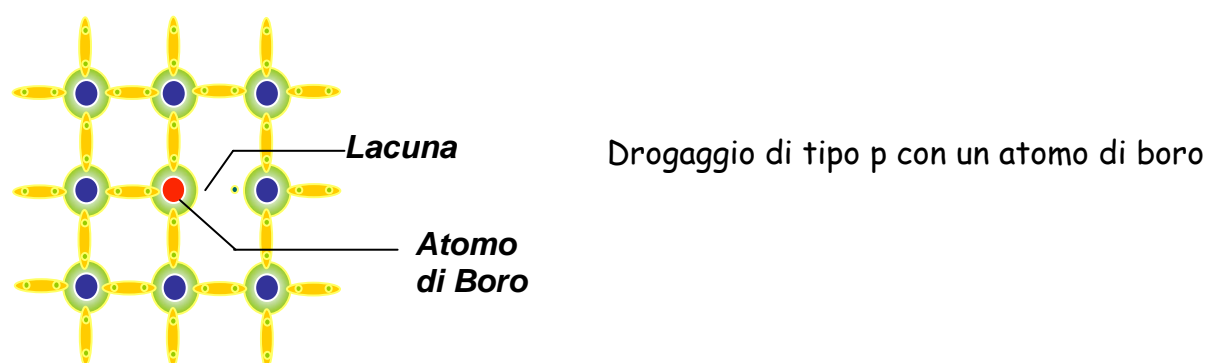
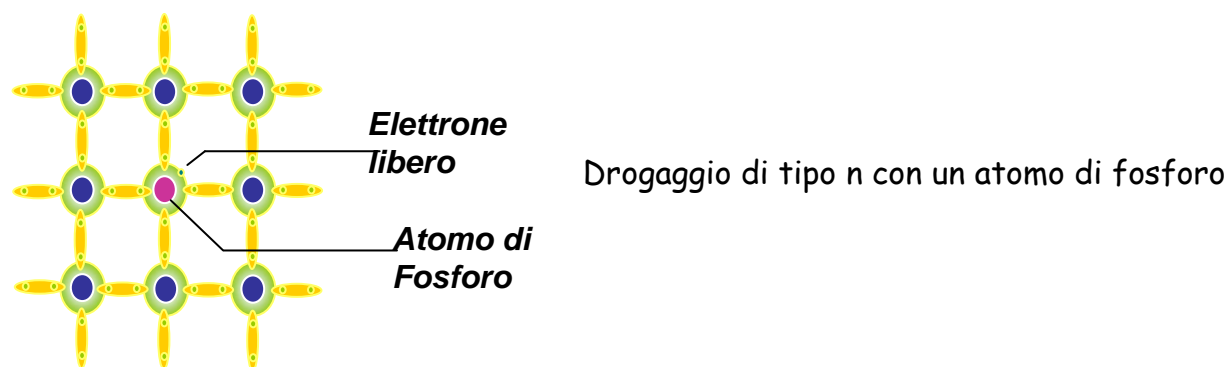


Questo fenomeno, come anticipato prima, avviene nei semiconduttori. Questo tipo di materiale se investito da un flusso luminoso libera un certo numero di elettroni al quale corrisponde un egual numero di lacune.

Questo è esattamente quello che avviene nelle **celle fotovoltaiche**.

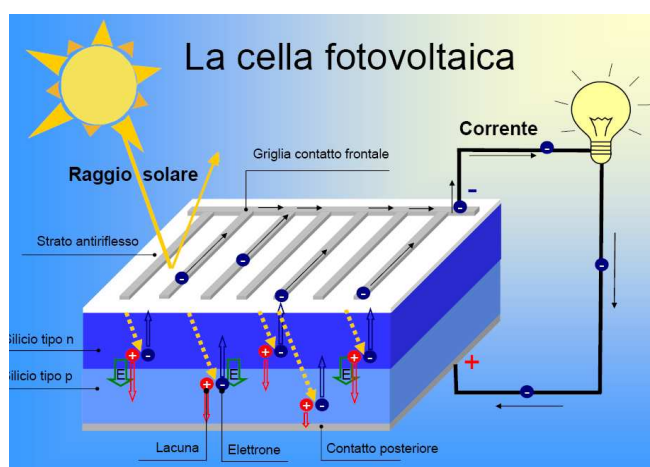
Essendo liberi gli elettroni occorre generare una corrente; lo si fa creando all'interno della cella, un campo elettrico, stabilendo un eccesso di anioni in una parte del semiconduttore e un eccesso di cationi nell'altra parte del materiale. Questo si realizza effettuando un **drogaggio** del semiconduttore, che si effettua inserendo elementi del 3° gruppo, come il boro, e del 5° gruppo, come il fosforo, ottenendo rispettivamente giunzioni di **tipo p**, con un eccesso di lacune, e di **tipo n**, con un eccesso di elettroni.

Lo strato drogato con elementi del 5° gruppo, aventi 5 elettroni di valenza contro i 3 di quelli del 3° gruppo, presenta una carica debolmente negativa data da un elettrone in più per ogni atomo drogante; viceversa lo strato drogato con elementi del 3° gruppo, aventi 3 elettroni di valenza, ha una carica debolmente positiva data dalle lacune presenti. Lo strato n, è lo strato a carica negativa, mentre lo strato p, quello avente carica positiva; i 2 strati sono separati da una giunzione di tipo p-n.



Complessivamente il materiale è sempre neutro, dato che il drogaggio è effettuato con atomi neutri e non con ioni; avremo però un eccesso di elettroni nei legami covalenti nello strato n e un difetto di questi nello strato p. Ponendo a contatto i due strati si creerà un flusso di elettroni dallo strato n allo strato p e un flusso, avente direzione inversa, di lacune fin quando non si raggiunge un equilibrio elettrostatico, caratterizzato da un eccesso di elettroni nello strato p, da un eccesso di lacune nello strato n e da una regione intermedia detta "regione di svuotamento", da cui parte un campo elettrico.

Se si illumina la cella vengono a crearsi delle coppie elettrone-lacuna in entrambi gli strati; questi elettroni vengono divisi dal campo elettrico della regione di svuotamento, che manda gli elettroni in eccesso in direzione opposte alle lacune. Gli elettroni che superano la regione di svuotamento non possono ritornare indietro a causa del campo elettrico, pertanto se colleghiamo la giunzione con un conduttore esterno, si otterrà un circuito chiuso nel quale avremo un flusso di elettroni dallo strato n allo strato p, nel tempo in cui la cella viene esposta alla luce.



#### - Semiconduttori usati

Il materiale più utilizzato per realizzare le celle fotovoltaiche è attualmente il **silicio**.

In particolare si utilizza molto il silicio **cristallino** che presenta rendimenti del 15-17% rispetto al silicio **policristallino** (12-14%), che però ha un costo minore rispetto al primo. Altro tipo di silicio è il silicio **amorfo**, utilizzato nella tecnologia a film sottile, che viene spruzzato su una superficie di supporto e vista la quantità minore di silicio per cella, risulta anche più conveniente ma ha una resa molto scarsa dovuta all'irregolare struttura del materiale.

Altri tipi di materiali utilizzati sono il diselenurio di indio(**CIS**) e di rame e il telluro di cadmio(**CdTe**) che hanno un rendimento del 13% e presentano costi leggermente inferiori a quelli del silicio, ma vista la scarsa disponibilità di selenio e indio non si è ancora arrivati ad una produzione su vasta scala.

#### - Efficienza delle celle

L'efficienza dipende da vari fattori meteorologici e geografici, ma in generale non supera mai il **20%**.

Per le latitudini italiane il rendimento massimo si raggiunge orientando i moduli verso sud con un angolo di 32-45° rispetto all'orizzonte.

In condizioni ottimali(temperatura di 25 °C con 1 kW/m<sup>2</sup> di irraggiamento) ogni cella fornisce una potenza di **1,5 Wp**.

Il rendimento è influenzato negativamente dall'aumento della temperatura e dalla nuvolosità. Per aumentare il rendimento nella stagione estiva, vista l'alta temperatura, la ditta "**E-energy project**" di Mussomeli insieme ad altri ingegneri, sta lavorando ad un pannello bisolare, cioè che produca elettricità con l'effetto fotovoltaico e contemporaneamente acqua calda sanitaria da utilizzare negli edifici vicini ai pannelli; la temperatura del pannello, con questo meccanismo, verrebbe abbassata visto che l'acqua assorbirebbe parte del calore! Un pannello simile avrebbe un rendimento complessivo abbastanza alto e potrebbe rappresentare una concreta alternativa ai classici pannelli per il futuro.

#### - Dalle celle ai pannelli...

Le celle sono collegate tra loro in serie formando le stringhe, a loro volta collegate in parallelo tra loro vanno a costituire il **modulo fotovoltaico**.

Un modulo può essere formato da 36 o 72 unità, con una potenza che varia, in funzione del numero di celle, da 50 Wp ai 150 Wp.

I moduli sono rivestiti e formano un pannello fotovoltaico che insieme ad altri pannelli costituisce un impianto di produzione di energia elettrica.

La corrente elettrica generata è però continua, pertanto occorre modificarla e renderla alternata per distribuirla alle utenze; questo viene realizzato da un dispositivo, l'**inverter**,

che va anch'esso ad influenzare il rendimento complessivo dell'impianto (anche se oggi il rendimento di questi apparecchi supera spesso il 90%).

- Sunto dell'intervista all'ing. Terenzio Alio, proprietario dell' "Energy project" (Mus-someli): fotovoltaico, micro eolico e ricerca...

Nel mese di aprile ho avuto il piacere di visitare la fabbrica di pannelli fotovoltaici e di intraprendere un interessante conversazione amichevole (non voglio definirla un'intervista) con il proprietario della ditta "Energy project", l'ing. Terenzio Alio, che si è dimostrato abbastanza disponibile nonostante gli impegni che comporta il suo lavoro.

Questa ditta oltre a produrre pannelli fotovoltaici si occupa anche dell'installazione di questi e della progettazione di impianti per la realizzazione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Oltre al ruolo del fotovoltaico abbiamo discusso molto delle fonti rinnovabili in generale con particolare attenzione al **microeolico**, una tecnologia più conveniente, in alcuni casi, rispetto al fotovoltaico e che potrebbe avere un ruolo importante in futuro, ma che ha difficoltà ad affermarsi vista la bassa "popolarità" che nutre rispetto al fotovoltaico.

Spesso però il micro eolico non sempre è una scelta giusta, visto che la realizzazione di impianti simili interessa piccoli privati, viene a mancare una fase di studio, precedente alla progettazione, inerente a direzione, periodicità ed intensità del vento.

Per le zone realmente ventose però rappresenta una risorsa molto più conveniente del fotovoltaico dato che:

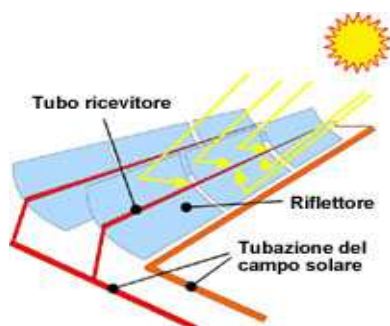
- il rendimento è più alto (quasi il **50%** contro il 17% massimo del fotovoltaico di oggi);
- maggiore **quantità di energia prodotta**, visto che il vento soffia anche la notte e soprattutto in inverno (periodo con bassa insolazione);
- **risparmio** di circa il **20%** per ogni kWp di potenza installata (4000 €/kW contro i 5000 €/kW del FV).

Nonostante la convenienza il fotovoltaico è una realtà più affermata, per quel che concerne le piccole utenze, mentre su larga scala il contributo di questo è praticamente nullo o quasi contro un peso sempre più crescente dell'energia eolica.



È spiacevole sentire dire che in Italia si parli spesso di tagli alla ricerca e su questo sono quasi tutti d'accordo, soprattutto per quel che interessa le nuove energie. Abbiamo cominciato ad investire sulla ricerca per il fotovoltaico solo dopo l'instaurazione del conto energia, una scelta non certo intelligente per un Paese come il nostro che non è sicuramente ricco di petrolio, gas ed altre materie prime.

### Il solare termodinamico



Questo tipo di tecnologia sfrutta direttamente la radiazione solare sotto forma di calore, concentrando tramite dei collettori parabolici la luce solare in unico punto riscaldando un fluido.

Dallo schema si comprende benissimo il funzionamento di un impianto termodinamico: la radiazione solare è convogliata dai collettori parabolici su un tubo ricevitore contenente un fluido per l'appunto.

È una tecnologia sul quale si investe molto, ed è sostenuta dal premio Nobel **Carlo Rubbia**, che ha progettato diversi impianti in Spagna e che ha provato, finora invano, a farlo anche in Italia, a Priolo Gargallo per esser precisi.

Il fluido usato finora è per lo più olio minerale anche se sta per essere sostituito da sali fusi, molto più efficienti e soprattutto non inquinanti rispetto all'olio.

Il vantaggio del termodinamico, rispetto al fotovoltaico, è la resa ma soprattutto l'accumulo; è infatti possibile immagazzinare il calore del giorno ed utilizzarlo anche la notte.

#### - La classificazione degli impianti

Esistono attualmente 3 tipologie di impianti solari termodinamici:

- impianti a **torre**: sono formati da un sistema di specchi indipendenti che inseguono il moto del sole, concentrando la sua radiazione su un ricevitore posto sulla sommità di una torre; il più grande impianto al mondo di questo tipo si trova in California, ha una

potenza di 10 MWe ed è stato il primo impianto al mondo ad utilizzare sali fusi come fluido termo -vettore;



Impianto "Solar Two" in California

- impianti a **collettori parabolici a disco**: sono formati da un pannello riflettente di forma parabolica, che insegue il sole, con un movimento attorno ai due assi ortogonali, e concentra la radiazione in un punto focale. Il calore è trasferito ad un fluido e viene utilizzato da un motore, situato sopra il ricevitore. Un esempio di impianto simile è il generatore "Eurodish" del CESI;



Generatore "Eurodish"

- impianti a **collettori parabolici lineari**: sono formati da specchi parabolici, in grado di ruotare su un solo asse per inseguire il sole, che concentrano la radiazione solare su un tubo ricevitore, contenente il fluido termo vettore, che viene inviato ad un centrale per la produzione di vapore e quindi di energia elettrica. L'impianto che sorgerà a Priolo Gargallo è di questa tipologia.



Collettori parabolici lineari

- La parola a Carlo Rubbia...

In questo paragrafo riporto un po' la sintesi di alcune interviste del premio Nobel per la fisica, riguardanti il solare termodinamico e le sue potenzialità.

Un kW prodotto con un impianto termodinamico costa intorno ai 10-11 cent e si stima che entro

il 2020 si potrà arrivare a 6 cent/kW.

Visto il fabbisogno attuale di energia, l'energia solare che arriva sulla terra è circa 10.000 volte superiore al fabbisogno mondiale se si usasse il solare a concentrazione.

L'Arabia Saudita è una tra i maggiori produttori di petrolio del mondo, ma riceve dal sole un'energia 1000 volte maggiore rispetto a quella che produce estraendo petrolio e gas naturale; ogni m<sup>2</sup> di deserto riceve ogni anno l'equivalente energetico di un barile di petrolio!

Il progetto di Priolo Gargallo prevede una centrale termodinamica di 5 MW, in grado di soddisfare le richieste energetiche di **4500 famiglie** e di evitare le emissioni di **7000 t di CO<sub>2</sub>** in un anno.

- La centrale di Priolo Gargallo

Dagli specchi ustori di Archimede agli specchi parabolici usati per produrre energia elettrica, c'è un motivo storico preciso per cui dovrebbe sorgere proprio in provincia di Siracusa un impianto simile!

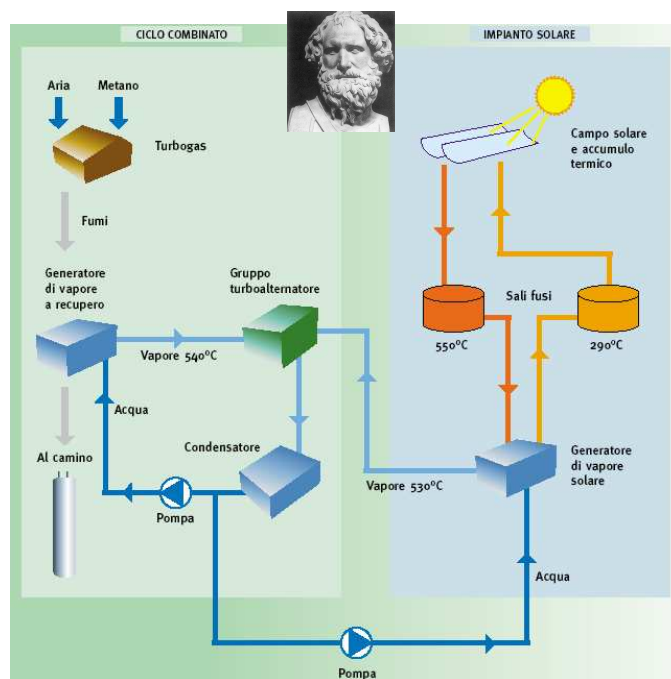
Si prevede che sarà operativo per il 2010, la prima centrale al mondo che integra un ciclo combinato a gas con un impianto solare termodinamico a sali fusi per produrre energia elettrica.

L'uso dei sali fusi, costituiti da nitrati di sodio e potassio che riescono ad accumulare calore per tempi prolungati, è una tecnologia sviluppata dall'Enea, con l'apporto determinante di Carlo Rubbia.

L'impianto è formato oltre che dai collettori, anche da un generatore di vapore e due serbatoi, uno caldo e uno freddo, per l'accumulo termico.

In presenza del sole, il fluido prelevato dal serbatoio freddo è fatto circolare nel tubo ricevitore, e viene riscaldato fino a raggiungere una temperatura di 550 °C, e viene immesso nel serbatoio caldo. L'energia termica accumulata nel serbatoio è inviata alla centrale Enel di Priolo, e contribuisce alla generazione di energia elettrica. Così facendo, si può produrre energia elettrica in ogni momento della giornata e in qualsiasi condizione meteorologica, fino all'esaurimento dell'energia immagazzinata. La centrale Enel è inoltre a ciclo combinato a gas, un'altra particolarità del complesso di Priolo. Complessivamente le prestazioni ambientali dell'impianto attuale, con l'aggiunta del solare termodinamico, miglioreranno parecchio.

Schema dell'impianto a ciclo combinato di Priolo Gargallo:



#### - Il generatore Eurodish del CESI

Il generatore eurodish del CESI è un sistema di stirling che trasforma l'energia solare in energia elettrica per via termodinamica.

Una grande parabola riflettente concentra i raggi solari su uno speciale ricevitore dove si sviluppa calore ad alta temperatura. Il calore permette il funzionamento del motore **stirling** che fa ruotare un alternatore collegato alla rete elettrica.



Questo tipo di generatore **non emette CO<sub>2</sub> nell'atmosfera**.

La parabola è mossa da un sistema di orientamento che la mantiene sempre puntata verso il sole grazie ad un sistema di controllo che individua la posizione del sole e fa ruotare la parabola con due motori ausiliari.

Il generatore stirling è un motore a pistoncini al cui interno è chiuso un gas che compie un ciclo termodinamico che trasforma il calore in energia meccanica che viene convertita in energia elettrica da un alternatore trifase.

Quando entra in funzione la temperatura del gas sale fino a 500 °C ed il motore gira con una frequenza di 1500 giri/minuto.

La parabola, durante il giorno, si muove in modo tale da far restare i raggi solari focalizzati sul motore stirling.

L'impianto del CESA ha una potenza di **10 kW** con un'**efficienza massima del 17%** e riesce in un anno a produrre **9000 kWh** di energia elettrica evitando l'**emissione di 6 t di CO<sub>2</sub>** nell'atmosfera.

### **L'energia eolica**

L'energia eolica è l'energia cinetica che possiede il vento.

I venti sono masse d'aria in moto, causato da differenze di pressione dell'atmosfera.

L'aria calda ha una densità minore e quindi minor pressione e per questo motivo si trova nella parte alta dell'atmosfera; salendo, questa massa d'aria si raffredda e per tanto la sua pressione aumenta e quindi ricade al suolo; da questo si deduce che dovremmo avere dei

venti che spirano verticalmente ma nella realtà non è così poiché questi subiscono la deviazione della forza di Coriolis, dovuta al moto di rotazione terrestre.

Fin dall'antichità l'uomo ha sfruttato questa energia e ne sono un esempio concreto i mulini a vento o le navi a vela; da alcuni decenni si utilizza anche per produrre elettricità tramite l'uso di mulini a vento più moderni: **gli aerogeneratori**.

### **La fisica di un aerogeneratore**

Le turbine eoliche denominate aerogeneratori utilizzano l'energia cinetica posseduta da un **flusso d'aria** di densità  $\rho$  che attraversa il rotore (costituito da pale e mozzo) dell'aerogeneratore riducendo la sua velocità dal valore  $v$  indisturbato di fronte al rotore, ad un valore inferiore dopo il passaggio attraverso le pale.

La differenza di velocità della massa d'aria tra monte e valle del rotore si riflette, essendo costante la portata del fluido attraverso le pale, in una differenza nell'area occupata dalla massa d'aria, e misura proprio la quantità di energia cinetica che muove il rotore ed il connesso generatore elettrico.

La potenza estraibile da una turbina eolica può essere descritta dalla seguente equazione:

$$P = \rho / 2 C_p \eta A v^3$$

dove:

$P$  = potenza espressa in Watt

$\rho$  = densità della massa d'aria espressa in  $\text{kg/m}^3$

$C_p$  = coefficiente di potenza massimo di una turbina ideale ad asse orizzontale, pari a 0,593

$\eta$  = efficienza meccanica ed elettrica della turbina

$A$  = area circolare spazzata dalle pale del rotore ed attraversata dal vento espressa in  $\text{m}^2$

$v$  = velocità della massa d'aria prima del passaggio attraverso le pale, espressa in  $\text{m/s}$

La potenza estraibile dalla risorsa vento per mezzo di un aerogeneratore cresce all'aumentare dell'area spazzata dalle pale (quindi all'aumentare della loro lunghezza), e della velocità del vento; dipende inoltre dalla densità dell'aria, funzione delle caratteristiche condizioni meteo del sito (temperatura, umidità, ...).



Gli aerogeneratori sono diversi per forma, dimensione e conseguentemente potenza erogata.

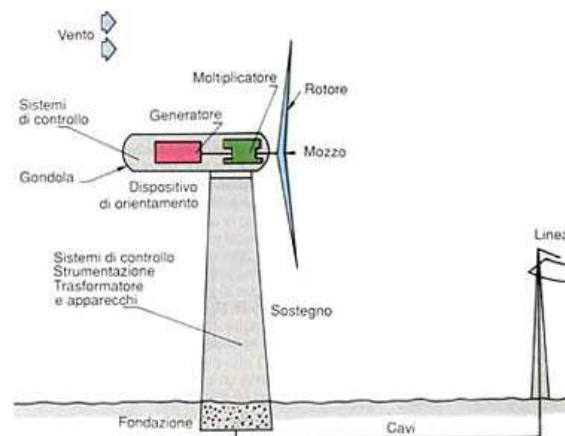
Le pale possono essere lunghe da 30 cm fino ad arrivare a 30 m.

Sono molto diffusi gli aerogeneratori di media taglia con 3 pale di circa 20 metri, in grado di erogare una potenza di 0,6 MW, il fabbisogno giornaliero di circa 500 famiglie.

L'energia cinetica che il vento cede ad un aerogeneratore è del 59,3 %, limite calcolato da *A. Betz*; sarebbe impensabile arrivare al 100 % poiché la massa d'aria dovrebbe fermarsi dopo aver incontrato le pale dell'aerogeneratore!

La resa complessiva dell'aerogeneratore dipende anche da altri fattori di natura aerodinamica ma anche meccanica ed elettrica. Il rendimento più alto viene raggiunto quando la velocità del vento eguaglia la velocità nominale (quella per cui è stato progettato) e si attesta attorno al 45-50 %, valore ottimo.

### Schema di un aerogeneratore



Descrizione dei vari componenti:

- rotore: è costituito da un mozzo su cui sono collegate le pale. Le pale sono generalmente di fibra di vetro e variano nel numero. Esistono aerogeneratori a 2 o 3 pale, la cui resa è quasi equivalente (quelli con 2 girano più velocemente però), ed anche ad una pala, però la resa è leggermente inferiore;
- sistema frenante (non visibile in figura): è formato da 2 differenti sistemi di arresto della pale, uno aerodinamico che viene utilizzato pure per controllare la potenza dell'aerogeneratore e come freno di emergenza in caso di sovra velocità, ed un altro

meccanico che completa l'arresto del rotore e serve anche da freno di stazionamento;

- moltiplicatore di giri: serve a trasformare la frequenza di rotazione lenta delle pale e renderla più veloce per far funzionare il generatore;
- generatore: trasforma l'energia meccanica di rotazione in energia elettrica;
- sistema di controllo: gestisce l'aerogeneratore e lo arresta in caso di eccessiva velocità del vento o di malfunzionamento;
- fondamenta e torre di sostegno: le fondamenta sono fatte di cemento armato e sono completamente interrate mentre la torre di sostegno è costituita da vari materiali, legno, acciaio e cemento armato, per resistere alle oscillazioni e alla pressione del vento.

L'insieme di vari aerogeneratori costituisce le **wind-farm**, vere e proprie centrali elettriche. La distanza tra i vari tra i generatori è solitamente 5-10 volte quella del diametro delle pale, per evitare interferenze tra essi e cadute di produzione.

In base alla collocazione degli impianti possono essere suddivisi in impianti onshore(sulla terraferma) ed offshore(in mare).



esempio di impianto  
eolico onshore



esempio di impianto  
eolico offshore

Occorre valutare diversi fattori inerenti al sito sul quale installare l'impianto, tra questi i più importanti sono sicuramente l'intensità e la direzione del vento e la conformazione del terreno.

Per quanto concerne la conformazione del terreno esistono quattro classi di rugosità, tra queste la più bassa è quella di suoli completamente piatti come il mare o la spiaggia e poi si sale sempre più fino ad arrivare ai suoli dei paesi o dei boschi.



La classe di rugosità del suolo sul quale si va a costruire una wind-farm deve essere chiaramente la più bassa possibile mentre il vento deve avere almeno una velocità minima di 5 m/s oltre a essere costante tutto l'anno.

Gli impianti offshore hanno dalla loro parte la classe di rugosità 0 del suolo in cui si trovano, il mare, che rende questo tipo di impianti interessanti visto il loro potenziale, ma ancora ritardano ad affermarsi per questioni progettuali e ambientali.

### **Classificazione degli aerogeneratori**

#### **- Aerogeneratori ad asse verticale**

Sono delle macchine eoliche caratterizzate da poche parti meccaniche in movimento, dotati di una grande resistenza alle raffiche di vento e in grado di sfruttare qualsiasi direzione questo abbia. Presentano però notevoli limiti dovuti a fattori dinamici e statici, visto che le dimensioni del rotore dovrebbero essere nell'ordine dei 100 m con l'altezza della torre di 180 m (dato che il vento soffia più velocemente a quota più alta) e questo impone molte complicazioni progettuali. Inoltre la più bassa efficienza (30%) rispetto ai generatori ad asse orizzontale (45-50%) ne ha limitato l'uso soltanto ai laboratori. L'unico impianto eolico al mondo che è stato progettato secondo questi criteri si trova in California ed è in fase di smantellamento per le difficoltà economiche del produttore.

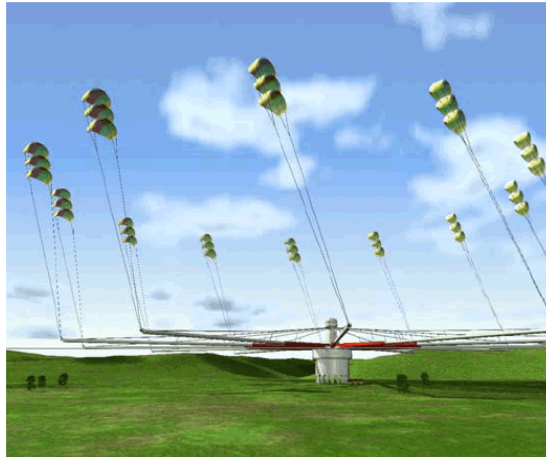
#### **- Aerogeneratori ad asse orizzontale**

Sono di questo tipo tutti gli aerogeneratori che vediamo nelle nostre zone o i più antichi mulini a vento. Questi necessitano una velocità minima del vento di 5 m/s ed erogano la potenza di progetto a velocità intorno a 12-14 m/s mentre vengono bloccati dal sistema frenante, per ragioni di sicurezza, se il vento supera velocità di 25 m/s.

#### **- Nuove tecnologie: twind technology**

Un modo innovativo di sfruttare l'energia eolica, è quello di sfruttare dei palloni aerostatici, situati ad un'altezza di 800 m, che trasmettano il moto ad un rotore ad asse verticale sulla terraferma tramite dei cavi in acciaio.

Questa tecnologia è ancora in fase di sperimentazione però potrebbe affermarsi nei prossimi anni, vista anche la necessità di trovare alternative ai combustibili fossili.



Twind technology

### Gli svantaggi dell'eolico

Pur essendo una fonte totalmente pulita e rinnovabile, l'eolico presenta alcuni svantaggi che riguardano le aree vicine agli impianti. Ecco l'elenco:

- Occupazione del territorio: non è molto rilevante visto che le macchine e tutte le opere che le supportano occupano solo il 2-3% della superficie necessaria per la costruzione di un impianto. La restante parte del territorio può essere utilizzata tranquillamente per l'agricoltura e la pastorizia.
- Impatto visivo: questa è una ragione per la quale si limitano un po' le dimensioni degli impianti, visto che l'impatto visivo è tutt'altro che trascurabile. Si cerca di armonizzare l'aerogeneratore scegliendo accuratamente i colori e la forma e facendo delle scelte progettuali adeguate. Sono stati fatti notevoli miglioramenti sotto questo aspetto.
- Rumore: viene causato dall'attrito tra le pale e l'aria e dal moltiplicatore di giri. Migliorando il profilo aerodinamico delle pale e isolando acusticamente la navicella (che contiene il moltiplicatore di giri) il rumore può certamente diminuire. Secondo la legge il rumore di un aerogeneratore deve essere inferiore ai 45 dB in prossimità dei centri abitati. Questo valore è soddisfatto dai moderni aerogeneratori a partire da 150/180 m.
- Flora e fauna: il numero di uccelli che muoiono urtando con il rotore delle macchine o le pale è inferiore a quello dovuto al traffico o ai pali della luce o del telefono. Nei

siti in cui si trovano specie avicole protette o comunque rare, si provvede a progettare gli impianti riducendo la velocità di rotazione della pale.

- Interferenze sulle telecomunicazioni: è necessario installare gli aerogeneratori lontani da ponti radio o simili.

### Le emissioni evitate:

Secondo i dati Enel un aerogeneratore da 1 MW produce 2000 MWh/anno evitando l'emissione di:

- 1656 t di CO<sub>2</sub>(equivalente alla CO<sub>2</sub> assorbita da 3200 ettari di bosco!)
- 7,6 t di SO<sub>2</sub>
- 3,8 t di NO<sub>x</sub>
- 0,2 t di polveri

### **L'energia idroelettrica**

L'energia idroelettrica è l'energia elettrica ottenuta sfruttando l'energia potenziale che cede una massa d'acqua durante un salto o una discesa.

Gli impianti possono essere classificati in due tipologie a seconda che questi sfruttino la **caduta dell'acqua** attraverso un dislivello, o che sfruttino l'elevata **velocità delle correnti**.

Negli impianti che sfruttano la caduta dell'acqua, la potenza da due fattori quali, la portata, ovvero la massa d'acqua che fluisce attraverso la macchina nell'unità di tempo, e il salto, cioè il dislivello dove è presente l'acqua svasata e dove questa viene restituita all'ambiente naturale passando per la turbina.

Negli impianti che sfruttano le correnti la potenza è determinata dalla velocità dell'acqua e dalla superficie attiva della turbina (flusso della massa d'acqua); tale tipologia di impianto funziona in maniera analoga agli impianti eolici soltanto che un sistema idrico, a parità di velocità della corrente e di superficie di turbina, sviluppa una potenza **10** volte superiore rispetto ad un generatore eolico.

La potenza di un impianto idroelettrico è così calcolabile:

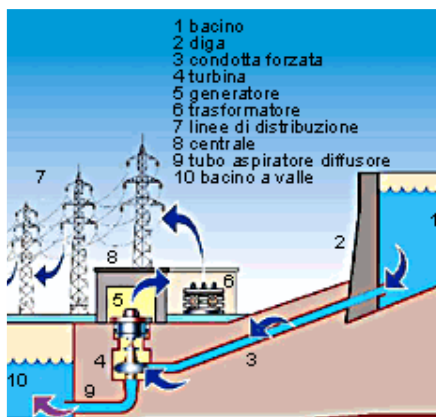
$$P = \eta \, g \, Q \, h$$

Dove  $P$  è la potenza espressa in kW,  $\eta$  il rendimento globale dell'impianto,  $Q$  la portata espressa in  $\text{m}^3/\text{s}$  e  $h$  il dislivello o salto espresso in m.

Il rendimento totale dipende da vari rendimenti parziali come quello idraulico, quello volumetrico della turbina, quello meccanico del gruppo turbina-generatore, quello del generatore e quello del trasformatore.

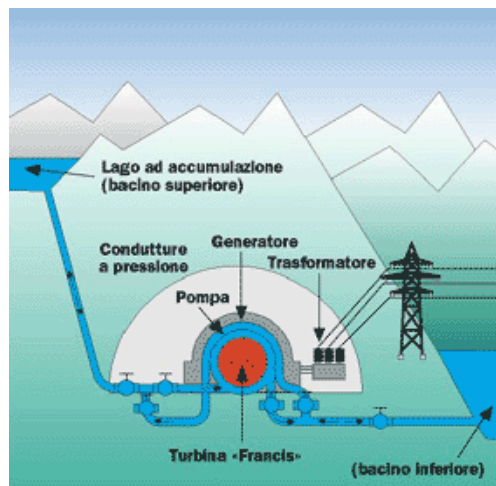
Un'altra classificazione delle centrali idroelettriche può essere data in base alla tipologia:

- Impianti ad acqua fluente: le centrali di questo tipo sono posizionate sui corsi d'acqua e la produzione di energia è legata alla portata del fiume, pertanto hanno un picco di produzione nel periodo autunno-inverno;
- Impianti a bacino: sfruttano l'acqua raccolta in bacini naturali o artificiali, regolando gli afflussi e dato il loro tempo breve di attivazione, sono utilizzati come riserva di energia per coprire il fabbisogno durante il periodo di maggiore richiesta di potenza (ad es. ore centrali della giornata). Hanno un'elevata potenza ma di contro hanno un elevato impatto ambientale.



Funzionamento di un  
impianto a bacino

- Impianto ad accumulo a mezzo pompaggio: possiedono un serbatoio di accumulo superiore, detto bacino di svasso, ed uno inferiore, detto bacino di invaso. Di notte quando le tariffe energetiche sono minori, l'acqua è pompata dal serbatoio inferiore a quello superiore e viene riutilizzata il giorno con una turbina, la turbina Francis, per generare energia elettrica. La validità di questa centrali sta proprio nella differenza tra il valore commerciale dell'elettricità usata per il pompaggio e quella generata dall'impianto, quando aumenta la domanda.



Schema di un impianto ad accumulo

- Impianti in condotta idrica: sono una nuova tipologia di impianto che consiste nell'inserimento di una turbina all'ingresso di un impianto per il trattamento delle acque, recuperando così energia diversamente dissipata.

La tipologia delle turbine usate dipende essenzialmente dalla portata dell'acqua e dal suo salto, oltre che dalla tipologia di impianto. Ogni turbina si compone di un organo fisso, che regola la portata, e di un organo girante, messo in movimento dall'acqua con la funzione di trasmettere il suo moto all'albero motore sul quale è montato.

In base al salto e alla portata si utilizzano: turbina **Pelton**, per salti notevoli e modeste portate, turbina **Francis**, per valori medi di salti e portata, turbina **Kaplan**, per basso salto e consistente portata.

Gli impianti idroelettrici, di grande portata, necessitano di varie opere sull'ambiente pertanto presentano un notevole impatto ambientale. Per quel che riguarda l'Italia, l'idroelettrico in passato riusciva a soddisfare l'80% della richiesta di elettricità, mentre oggi, per via dell'aumento dei consumi, soddisfa meno del 10% del fabbisogno di energia elettrica. Purtroppo sono stati esauriti i luoghi in cui poter costruire centrali simili, non solo in Italia ma anche nel mondo, salvo qualche raro caso; quello dell'idroelettrico tradizionale è un settore **saturo**. Negli ultimi anni si vanno però diffondendo il **mini** ed il **micro** idroelettrico, impianti di piccola portata che possono essere costruiti vicino a torrenti o laghi. Questo tipo di impianti genera una potenza nel range 1-100 kW, per il micro - idroelettrico e compresa tra 100 e 1000 kW per quanto concerne il mini - idroelettrico.

## Il futuro...

### *L'idrogeno*

#### Biografia dell'idrogeno

In chimica l'idrogeno si indica con la lettera H ed è l'elemento più leggero e piccolo della tavola periodica, essendo costituito da un elettrone orbitante attorno ad un protone. È l'elemento più abbondante dell'universo (come emerge dalle analisi degli spettri stellari) ma raramente si trova puro in natura vista la sua elevata reattività pertanto lo troviamo in molti composti (acqua, idrocarburi, acidi, ecc...).

In condizioni normali esso si presenta allo stato gassoso. Ha i punti di fusione e di ebollizione più bassi di ogni altra sostanza (tranne che per l'elio) infatti liquefa a  $-252,77\text{ }^{\circ}\text{C}$  solidifica a  $-259,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Oltre a essere un gas molto reattivo è anche incolore, insapore ed inodore.

L'idrogeno gassoso è una miscela di 2 forme diverse quali l'**ortoidrogeno** (con spin dei 2 nuclei paralleli), che rappresenta circa il 75% della miscela, e il **paraoidrogeno** (con spin dei 2 nuclei antiparalleli), che costituisce il restante 25% della miscela.

Esistono anche 2 isotopi dell'idrogeno (oltre all'idrogeno ordinario) quali il **deuterio** in cui il nucleo è costituito da un protone ed un neutrone ( $M.A.=2$ ) e il **trizio**, isotopo radioattivo molto instabile, il cui nucleo è formato da 2 neutroni e un protone ( $M.A.=3$ ).

È considerato il combustibile del futuro che andrà a sostituire il petrolio dato che è molto abbondante e che il suo contenuto energetico per unità di massa è il più alto tra tutti i combustibili.

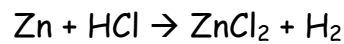
Basti pensare che **1 Kg di idrogeno** ha la stessa energia di **2,1 Kg di metano** e di **2,8 Kg di benzina**.

Non può essere definito una fonte energetica visto che la sua produzione deriva dalla lavorazione di altri prodotti; è più correttamente classificato come **vettore energetico**.

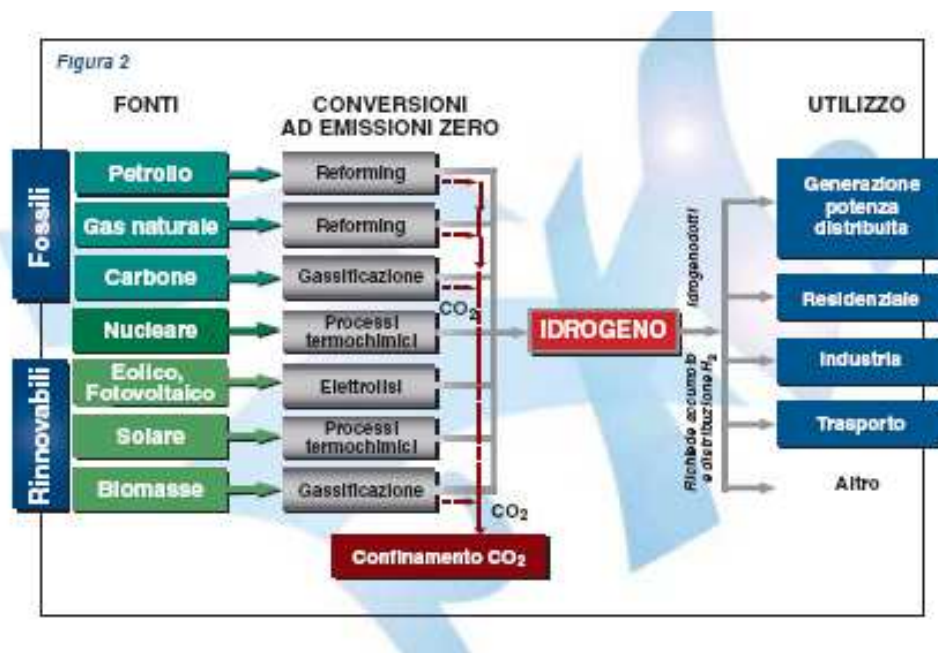
Viene definito vettore energetico tutto ciò da cui si può ricavare energia utile mediante conversione di fonti energetiche primarie (carbone, gas, energia solare, ecc...).

## Metodi di produzione

Il metodo più semplice per ottenere idrogeno è quello di far reagire un metallo con un acido, come ad esempio avviene nel classico esperimento in cui lo zinco viene versato nell'acido cloridrico.



Questo è un classico esperimento che si fa in laboratorio ma non rappresenta sicuramente un modo conveniente di produrre quello che potrebbe essere il combustibile del futuro. Con il passare degli anni si sono scoperte nuovi processi per la produzione di idrogeno. Eccone uno schema:



Fonte ENEA

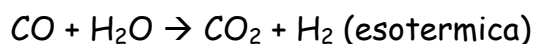
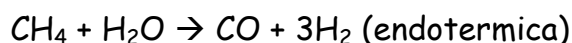
Come si vede dalla figura è possibile ottenere idrogeno sia da fonti di energia non rinnovabili come nucleare e combustibili fossili che da fonti energetiche rinnovabili.

La produzione da combustibili fossili però produce anidride carbonica e rende l'idrogeno più costoso dei prodotti di partenza quindi non è conveniente mentre i processi termochimici sono ancora in fase sperimentale, così come l'elettrolisi, il più costoso tra tutti i processi.

Analizziamo i metodi di produzione uno per uno:

- **Steam Reforming** del metano: il processo di steam reforming può essere applicato a tutti i tipi di idrocarburi e non solo al metano. Questo processo si svolge in due fasi, la prima che consiste nella decomposizione del metano in idrogeno e monossido di carbonio e la seconda

nella reazione tra monossido di carbonio ed acqua che danno anidride carbonica ed idrogeno. Le reazioni sono:



La reazione complessiva è pertanto:  $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$

Il rendimento di questo processo oscilla tra il 50 ed il 70%.

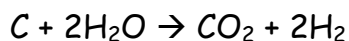
L'energia termica e chimica necessaria per il processo è fornita dagli idrocarburi.

La reazione avviene ad una temperatura di 900 °C e in presenza di un opportuno catalizzatore.

L'anidride carbonica prodotta viene confinata all'interno di giacimenti geologici profondi o viene immessa negli acquiferi salini, rocce impermeabili saturate d'acqua; la tecnologia di confinamento della  $\text{CO}_2$  è ancora in fase sperimentale e non è sicuramente la soluzione alle emissioni inquinanti.

L'idrogeno prodotto è più costoso del metano o dell'idrocarburo di partenza pertanto questo processo non è conveniente nonostante risulti essere, allo stato attuale, uno dei processi più economici per la produzione dell'idrogeno.

- **Gassificazione del carbone:** consiste nella parziale ossidazione di una sostanza solida, liquida o gassosa, che ha l'obiettivo di produrre un combustibile gassoso formato da idrogeno, monossido di carbonio e metano. Tramite questo processo il carbone è convertito, parzialmente o totalmente, in combustibili gassosi. La reazione complessiva del processo è la seguente:



Questa tecnologia è meno competitiva del reforming ma può essere vantaggiosa in regioni in cui il gas è costoso o che abbiamo carbone in abbondanza.

- **Produzione da biomasse:** ci sono vari processi, come la gassificazione, la pirolisi o la produzione biologica, ma nessuno di questi è attuabile su scala industriale ed occorrono molti investimenti nella ricerca.

- **Elettrolisi dell'acqua:** Questo processo prevede la scissione dell'acqua in ossigeno e idrogeno attraverso processi di elettrolisi. La reazione chimica è la seguente:





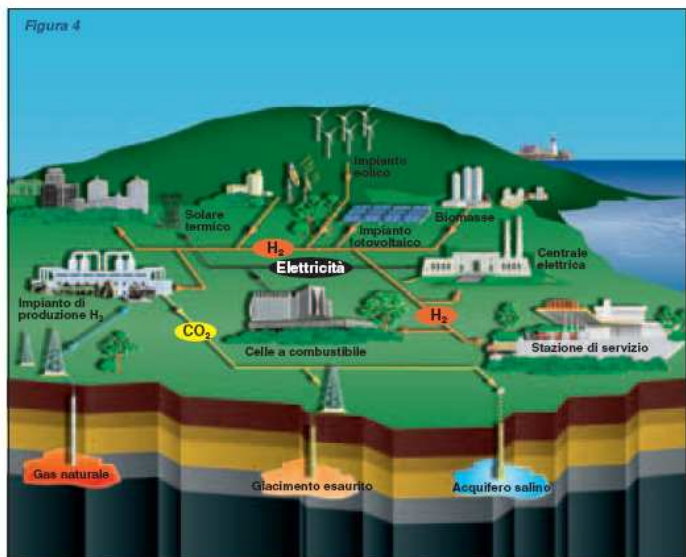
I costi dell'elettrolisi sono estremamente elevati e nonostante si produca, oltre all'idrogeno puro, anche ossigeno questo processo non è ancora conveniente.

Per ridurre i costi si prevede di attuare l'elettrolisi con vapore ad alta temperatura che accelera le reazioni, diminuendo la richiesta di elettricità e aumentando l'efficienza del sistema.

L'intero processo è totalmente sostenibile a livello ambientale, se si utilizza elettricità prodotta da fonti pulite. In particolare si pensa di associare l'elettrolisi ad impianti eolici e fotovoltaici, in modo tale che l'idrogeno prodotto faccia da "accumulo" e possa essere utilizzato come fonte energetica quando cala la produzione energetica (ad esempio di notte per il fotovoltaico, o quando non c'è vento per quanto riguarda l'eolico). Se estraessimo idrogeno dall'acqua con un processo simile, magari più conveniente in futuro, i nostri problemi energetici potrebbero essere finiti visto che le grandi distese oceaniche diventerebbero dei serbatoi di energia illimitata o quasi: da un Kg di acqua si estraggono 111 g di idrogeno che bruciando libera 3200 kcal di energia termica, convertendo tale valore per la massa d'acqua dell'oceano...

Lo schema qui sotto mostra un possibile sistema a idrogeno: questo viene prodotta sia da fonti rinnovabili che per reforming del gas naturale, mentre per la  $CO_2$  è previsto il confinamento.

I problemi sono però legato allo stoccaggio ed al trasporto...



## Stoccaggio e distribuzione

Esistono vari metodi per immagazzinare l'idrogeno ma rimangono ancora molti problemi pratici e progettuali legati a questo aspetto.

Un primo metodo di stoccaggio è quello della **compressione**, che prevede l'immagazzinamento del gas in bombole in grado di resistere a pressioni di 20-25 MPa. La compressione è un metodo che fa lievitare ulteriormente il costo dell'idrogeno visto che occorre energia per comprimerlo e soprattutto per mantenere il gas a tali pressioni. Inoltre le bombole usate sono molto voluminose nonostante il loro peso minimo. I rischi legati a questa tecnologia sono gli stessi del metano, vista l'esplosività dell'idrogeno, però rispetto al gas naturale, essendo più leggero, l'idrogeno tende a disperdersi abbastanza velocemente diminuendo i rischi di raggiungere la concentrazione critica; questo è un vantaggio in ambienti aperti ma non in ambienti chiusi!

Un altro metodo di stoccaggio è la **liquefazione** che comporta un complesso processo di raffreddamento. L'intero processo è molto costoso e prevede che circa il 30% dell'energia dell'idrogeno venga utilizzata per il suo raffreddamento oltre al fatto che occorrono particolari attrezzature per il mantenimento dello stato liquido. Altro inconveniente è la fuoriuscita di liquido: l'idrogeno è immagazzinato alla temperatura di ebollizione e basta un piccolo passaggio di calore per far sì che questo evapori facendo perdere efficienza al sistema. Tale tecnologia è tuttavia più costosa della compressione e richiede notevoli quantità di energia elettrica

Come detto all'inizio di questo capitolo riguardante l'idrogeno, esso si trova in svariati composti chimici, tra i quali gli idruri chimici. Un terzo possibile metodo di stoccaggio è proprio quello **dell'accumulo chimico** per mezzo di idruri. L'idrogeno può legarsi ai metalli andando ad occupare i siti interstiziali del reticolo cristallino. Attuando questo metodo il volume di stoccaggio si riduce di 3-4 volte ma rimangono molti problemi. I materiali disponibili per questo processo sono troppo pesanti tant'è da rendere più conveniente la compressione e la liquefazione per quanto riguarda l'uso nell'autotrazione. Si stanno sviluppando tecnologie che impiegano nanostrutture di carbonio, in grado di assorbire buone quantità di idrogeno,

ma si è ancora alla fase sperimentale e non si quando queste potranno essere commercializzate.

Il trasporto dell'idrogeno può avvenire, con le tecnologie attuali, mediante **autocisterne** o **idrogenodotti**. Per gli idrogenodotti si può sfruttare l'esperienza che abbiamo per i gasdotti, cambiando però alcuni materiali e sostituendoli con altri più compatibili con il gas. Considerando la minore viscosità dell'idrogeno rispetto al metano, l'energia utilizzata dalle stazioni di pompaggio sarebbe minore.

#### *L'utilizzo: celle a combustibile e motori a combustione interna*

L'idrogeno è definito da molti scienziati "il combustibile per eccellenza", pulito ed efficace ed in grado di immagazzinare l'energia delle fonti rinnovabili, che come sappiamo può non essere costante nel tempo.

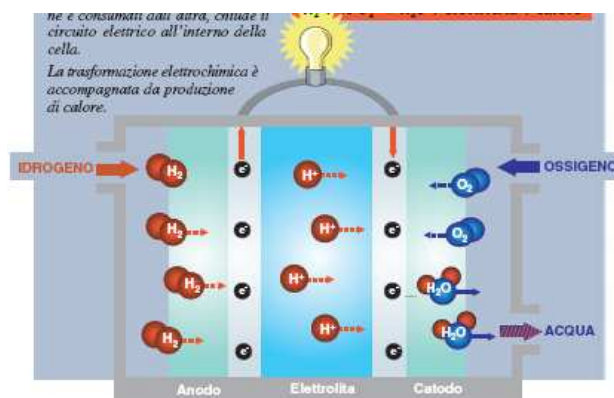
Esso può essere utilizzato nei tradizionali **motori a combustione interna**, riducendo fortemente le emissioni eccetto quelle di  $\text{NO}_x$  che aumentano in maniera esponenziale con la temperatura di combustione, anche se vista la versatilità del combustibile si può anche operare a basse temperature riducendo le emissioni degli ossidi di azoto. Le emissioni di  $\text{CO}_2$  sono nulle se l'idrogeno proviene da fonti di energia pulita, mentre la produzione tramite reforming del metanolo si hanno emissioni 100 volte inferiori rispetto a quelle del reforming tradizionale del gas naturale.

La vera innovazione dell'idrogeno è però il suo uso nelle **celle a combustibile**, dispositivi elettrochimici che convertono direttamente l'energia chimica in energia elettrica senza passare attraverso cicli termici e quindi non risentendo delle limitazioni della termodinamica. Praticamente una cella a combustibile funziona come una batteria però a differenza di quest'ultima, non contiene direttamente i reagenti ma questi provengono dall'esterno quindi, può funzionare ininterrottamente finché il sistema viene rifornito di combustibile e ossidante.

Una cella è costituita da due elettrodi porosi separati da un elettrolita. Gli elettrodi fungono da siti catalitici per la reazione mentre l'elettrolita conduce gli ioni prodotti da una semireazione nell'altra semireazione, dove vengono consumati. Questa trasformazione elettrochimica è accompagnata dalla produzione di calore che, per mantenere costante il ren-

dimento, deve essere estratto. Una singola cella produce tensioni di 0,6-0,7 V quindi vengono disposte in serie, per raggiungere la potenza e la tensione desiderata, formando uno "stack", a loro volta assemblati in moduli per ottenere dei generatori.

Sotto: schema di funzionamento di una pila a combustibile.

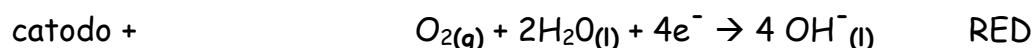
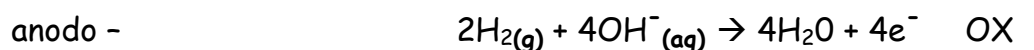


Questi dispositivi sono stati ampiamente sperimentati sui veicoli spaziali.

Le pile a combustibile si classificano in base all'elettrolita utilizzato o in base alla temperatura di utilizzo.

L'elettrolita ha un ruolo importantissimo per una cella poiché determina il campo della temperatura operativa, il tipo di ioni e la loro direzione di diffusione, la composizione dei gas reagenti, la durata della cella e altro ancora...

Un tipo di cella utilizza come elettrolita idrossido di potassio, KOH, queste sono le cosiddette celle alcaline(AFC) che operano tra temperature comprese tra i 60 e i 120 °C ma vista le loro caratteristiche sono limitate all'applicazione in campo militare e spaziale. La reazione di ossido riduzione che avviene in questo tipo di celle è la seguente:



La reazione comporta la trasformazione dell'idrogeno e dell'ossigeno in acqua, con un passaggio di elettroni che viene sfruttato come elettricità.

Altri tipi di celle sono:

- le celle ad elettrolita **polimerico**, che utilizzano una membrana polimerica ad alta conducibilità protonica, operanti tra temperature comprese tra i 70 °C ed i 100 °C; sono sviluppate per la trazione;
- le celle ad **acido fosforico**, operanti a temperature prossime ai 200 °C, rappresentano una tecnologia affermata per gli utilizzi stazionari;
- celle a **carbonati fusi**, che utilizzano come elettrolita una soluzione di carbonati alcalini fusa alla temperatura di funzionamento della cella (650 °C); possono produrre una potenza che varia da qualche centinaia di kW fino ad arrivare ad alcune decine di MW;
- celle ad **ossidi solidi**: l'elettrolita è costituito da materiale ceramico, pertanto per garantire una sufficiente conducibilità dell'elettrolita funzionano a temperature elevate, nell'ordine dei 900-1000 °C. Il loro potenziale è paragonabile a quello delle celle a carbonati fusi;
- celle a **metanolo diretto** operano a temperature comprese tra 80 e 100 °C ed utilizzano come elettrolita una membrana polimerica. Queste vengono alimentate direttamente a metanolo, che viene ossidato all'anodo. La tecnologia di queste celle è ancora in fase sperimentale.

### *Benefici ambientali e non solo...*

L'applicazione delle celle a combustibile comporterebbe un risparmio di combustibile, vista la loro elevata efficienza (fino al 48% di efficienza elettrica e complessivamente anche al 90% se si riutilizza il calore per la cogenerazione), ma soprattutto zero emissioni inquinanti, dato che gli unici prodotti sono acqua, calore ed energia elettrica. Se l'idrogeno utilizzato non proviene da fonti fossili questo ha praticamente un impatto zero sul pianeta. Inoltre questi dispositivi sono estremamente flessibili e relativamente semplici da realizzare. Un altro beneficio derivante da un possibile sistema ad idrogeno sarebbe quello dell'autonomia energetica, visto che chiunque potrebbe produrre idrogeno disponendo di una fonte di energia, diminuendo sensibilmente la dipendenza dal petrolio e creando un'economia "domestica" basata sull'idrogeno. L'uso delle pile a combustibile inoltre consen-

tirebbe di avere l'energia elettrica direttamente nelle abitazioni o nei complessi industriali rendendoci indipendenti dalla rete elettrica, di cui si potrebbe anche fare a meno, risparmiando sui costi di manutenzione ed evitando di dissipare energia lungo il suo trasporto.

Le strade che portano all'idrogeno sono molteplici però si deve lavorare ancora molto per rendere conveniente questo combustibile. Attualmente verrebbe a costare più del doppio della benzina e del gasolio alla pompa, però non si tiene conto dei problemi di salute dovuti all'uso di idrocarburi: l'uso di idrogeno farebbe diminuire anche questi facendo risparmiare sulla spesa sanitaria! Da queste conclusioni si può certamente dire che:

**I soldi alla ricerca non sono sicuramente buttati al vento!**

## FONTI E BIBLIOGRAFIA

<http://it.wikipedia.org>

<http://www.geotermia.org>

G.P. Parodi - M. Ostili - G. Mochi Onori "L'evoluzione della fisica 3" Paravia

G.P. Parodi - M. Ostili - G. Mochi Onori "L'evoluzione della fisica 2" Paravia

<http://www.enel.it/VisitaCentrali/main.htm>

"Calore ad alta temperatura dall'energia solare" - ENEA

"L'energia fotovoltaica" - ENEA

"Fotovoltaico" a cura dell'ing. Francesco Trezza

"Le celle fotovoltaiche e i moduli" di Ivano Pola (SUPSI)

"PV Manual" - Helios Technology

Interviste e articoli di Carlo Rubbia tratti da "Repubblica", "La stampa" e

[www.pecoraroscanio.it](http://www.pecoraroscanio.it)

"L'energia eolica" - ENEA

<http://www.enelgreenpower.it>

<http://www.jimp.it>

A.P.E.R. ASSOCIAZIONE PRODUTTORI ENERGIA DA FONTI RINNOVABILI

<http://aldopiombino.blogspot.com>

Elvidio Lupia Palmieri - Maurizio Parotto "La terra nello spazio e nel tempo", Zanichelli

"Mini Idro" a cura dell'ing. Luigi La Pegna

"Dossier Micro Idroelettrico" realizzato da A. P. E. R. (associazione produttori energie rinnovabili)

"Report Idroelettrico 2007 - 2008" a cura dell' A. P. E. R.

"BIODIESEL UN'ENERGIA PULITA" a cura dell' ing. Massimo Grotti

"Biomasse" a cura dell' ing. Luca Rubini

"La valorizzazione delle biomasse a fini energetici" a cura dell' ing. Luca Rubini

Alberto Bargellini "Chimica Società Ambiente", Signorelli editore

"Le fonti rinnovabili di energia: analisi e valutazioni" - ENEA

<http://www.altrenotizie.org>

Umberto Ghezzi "Possibilità di impiegare rifiuti o RDF nelle centrali"

"Celle a combustibile: stato di sviluppo e prospettive della tecnologia" - ENEA

Dott. Samuel Stucki "La produzione di idrogeno"

"Idrogeno" a cura di "energia!lab"

"Solare" a cura di "energia!lab"

"Idrogeno Energia del futuro"- ENEA

"Idrogeno: sistemi di stoccaggio e rifornimento" a cura dell'ing. Stefano Barengo (LINDE)

Massimo Nicolazzi "Petrolio: il tempo breve dell'energia"



## Ringraziamenti

Alla conclusione di questo lavoro e di questo percorso scolastico voglio ringraziare tutti coloro che mi hanno fornito informazioni e approfondimenti inerenti alla mia tesina, in particolare all'ing. Terenzio Alio della "Energy Project", tutti i miei docenti che mi hanno accompagnato in questo percorso di sviluppo culturale e umano ed infine tutti i miei compagni di classe, che hanno contribuito non poco alla mia crescita umana.

Un ultimo pensiero va a Giuseppe Cavaleri, mio ex docente Enaip durante un corso estivo, prematuramente scomparso nel mese di maggio per via di un incidente stradale.

*Giuseppe Antonio Marino*