

Come si evolve l'energia nel futuro prossimo?

A livello mondiale è previsto un raddoppiamento del ceto medio nei prossimi 15 anni. Una nuova situazione economica comporterà una nuova necessità per beni quali abitazioni con aria condizionata, automobili, smartphone ed elettrodomestici sempre più sofisticati, con una richiesta sempre maggiore di energia – specie quella elettrica. Altra evoluzione si vedrà dai paesi non-OCSE (*Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico*) quali ad esempio Cina e India, che vedranno lo spostarsi della popolazione dalle zone rurali alle città. [N.D.R.: al 2020 l'India non è ancora una superpotenza. Beccatevi questa, indiani su 4chan!]

Il **mix energetico** dovrebbe continuare a diversificarsi al passo con la crescita delle economie del mondo e con i cambiamenti delle politiche nazionali. Nucleare e rinnovabili aumenteranno la propria quota in modo significativo e il gas naturale sarà la fonte energetica che vedrà la crescita maggiore. Questa diversificazione sarà figlia dei progressi economici e tecnologici, nonché delle iniziative politiche tese alla riduzione delle emissioni. Tuttavia, il petrolio rimarrà la fonte principale di energia a livello mondiale, con una domanda trainata sì dai carburanti per i trasporti ma anche dal settore chimico, che ne produce materie plastiche ed altri materiali avanzati che offrono vantaggi anche in termini di efficienza energetica sia ai produttori che ai consumatori. Il carbone infine rimarrà importante in alcune aree del mondo, ma subirà un significativo crollo a causa della transizione a livello mondiale verso fonti a più basse emissioni (come, appunto, il gas naturale o le rinnovabili).

È previsto che l'**espansione economica**, coniugata con l'aumento demografico, contribuirà a spingere in alto il fabbisogno energetico mondiale di circa il 25% entro il 2040, come se della domanda attuale di energia raddoppiassero le domande di America Settentrionale e America Latina. Per poter tenere passo con questa crescita significativa della domanda, il mondo avrà bisogno di sfruttare tutte le fonti di energia competitive sotto il profilo economico – i.e. la produzione energetica dovrà essere sempre più efficace ed economicamente efficiente. Dalle stime, il petrolio e il gas naturale copriranno quasi il 60% del fabbisogno energetico mondiale nel 2040, mentre nucleare e rinnovabili rappresenteranno circa il 25% di tale fabbisogno.

Una menzione particolare va a quei paesi non-OCSE in via di sviluppo che entro il 2040 contribuiranno in larga parte all'aumento del PIL globale – e di conseguenza all'aumento della domanda energetica mondiale: è previsto un aumento del PIL dei paesi non-OCSE corrispondente al 175% del valore complessivo al 2015, a confronto con un aumento del PIL dei paesi OCSE di “appena” il 60% (sempre rispetto al 2015); un contributo significativo sarà dato in particolare da Cina e India, dove la prima sarà responsabile da sola del 20% della crescita PIL mondiale, mentre la seconda vedrà raddoppiare la sua quota attuale di PIL mondiale.

Constatato che l'aumento più significativo della domanda di energia sarà registrato in Cina e in altri paesi in via di sviluppo, prendiamo coscienza del fatto che tali aumenti dipenderanno soprattutto dalle crescenti spese per la produzione di energia elettrica, la quale attualmente consuma tra i 200 e i 240 BTU (*British Thermal Unit*) mentre secondo le previsioni arriverà a consumarne quasi 300 entro il 2040. Trascurando la produzione di elettricità a partire dal petrolio, che entro il 2040 dovrebbe essere meno del 5% della quota totale, l'energia sarà prodotta in maniera progressivamente più ecologica: il consumo di carbone diminuirà dal 40% (2015) al 30%, aumenterà leggermente il consumo di gas naturale mentre circa il 40% dell'energia totale sarà prodotta a partire da fonti primarie più “pulite”, quali il nucleare e le rinnovabili – in particolare eolico e solare, la cui disponibilità sarà 3,6 volte quella attuale.

Macchine e fonti di energia

Innanzitutto, che cos'è una macchina?

In ingegneria, una **macchina** è un sistema che svolge lavoro meccanico e che converte una forma di energia in un'altra di caratteristiche diverse. Si pensi, ad esempio, ad un climatizzatore che produce energia termica/frigorifera a partire dal lavoro meccanico di un compressore, alimentato a sua volta da energia elettrica. Il sistema che converte energia meccanica da una forma all'altra prende il nome di **meccanismo**.

« Allo scopo di una migliore comprensione è d'obbligo fare luce sulla distinzione che ricorre fra macchine e meccanismi: una macchina può essere costituita da uno o più meccanismi (ciascuno dei quali può essere considerato come sub-sistema). Un esempio di macchina formata da un unico meccanismo è la leva (un'asta rigida fulcrata in un punto qualsiasi). La leva è considerata dunque macchina se utilizzata per compiere un'azione quale sollevamento di un peso o qualsivoglia funzione, mentre è considerata come meccanismo se studiata ai fini dell'esplicitazione della relazione che intercorre fra gli spostamenti dei punti in corrispondenza dei quali sono applicate la forza motrice e quella resistente. »

- Wikipedia

È necessaria poi una distinzione tra **macchina motrice** e **macchina operatrice**, dove la prima converte una forma di energia primaria in energia meccanica utilizzabile, mentre la seconda utilizza energia meccanica primaria fornendola al sistema. Nell'ambito delle macchine a fluido, parliamo anche di **impianto motore termico** come di quei sistemi che convertono l'energia termica intrinseca del fluido in energia meccanica utilizzabile, come ad esempio le turbine; analogamente, pompe, compressori et similia sono validi esempi di macchine operatrici a fluido, che cedono lavoro meccanico allo stesso, ad esempio per innalzarne la temperatura/pressione.

Fatta questa doverosa premessa, parliamo dunque delle fonti e delle forme di energia che ci apprestiamo a consumare, trasformare e utilizzare tramite – appunto – le macchine.

Una prima distinzione tra le fonti di energia primaria si fa tra **fonti rinnovabili**, ossia fonti che si rigenerano o non sono esauribili nella scala dei tempi umani, e **fonti non rinnovabili**, ossia caratterizzate da lunghi periodi di formazione se paragonati ai corti tempi di esaurimento.

Nel primo caso, possiamo banalmente citare tutte i “serbatoi” di energia che si formano e si rinnovano grazie all'azione del Sole, dunque *l'energia solare*, *l'idroelettrica* e *l'eolica*, ma anche la *geotermica*, dovuta invece all'energia interna al mantello terrestre.

Nel secondo caso possiamo citare invece i combustibili fossili, quali *petrolio*, *carbone* e *gas naturale*, responsabili di un grave inquinamento dell'atmosfera, ma anche *l'uranio-235*, usato nella fissione nucleare, che è considerato una fonte di energia più “pulita”. Quest'ultimo rientra in una categoria separata, comune anche alle fonti energetiche rinnovabili, che è la categoria delle **energie alternative**, intese come “alternative” ai combustibili fossili perché meno inquinanti, ma non necessariamente rinnovabili – appunto.

Come abbiamo visto, il tema dell'energia è strettamente collegato a problemi demografici, economici ed ambientali, perché da una parte è sempre più accessibile e sempre più richiesta, mentre dall'altra la sua “lavorazione” ha un notevole impatto sull'ambiente e potrebbe non durare “eternamente”.

Le principali forme di energia che andremo a studiare sono la termica, la meccanica e l'elettrica, e differiscono per meccanismi di conversione, disponibilità, tipologia di utilizzo, trasportabilità, capacità di stoccaggio e costi. L'**energia termica** è la parte dell'energia interna dei corpi trasferibile sotto forma di calore e rappresenta, a livello atomico, la somma delle energie cinetiche e di legame degli atomi e delle molecole del sistema. È una forma di energia “disordinata” in quanto non è possibile convertirla interamente in un'altra – come sancito dal Secondo Principio della Termodinamica. Può essere facilmente accumulata, ma non altrettanto facilmente trasportata su lunghe distanze, perché fortemente dissipata durante il trasporto.

Abbiamo poi l'**energia meccanica**, somma dell'energia cinetica e di quella potenziale di un corpo, date rispettivamente dalla velocità (di traslazione o di rotazione) e dalla posizione all'interno di un campo di forze conservativo dello stesso. È ampiamente utilizzata nei sistemi di trasporto, nei quali è generata tipicamente a partire dall'energia chimica liberata dalla combustione di un carburante attraverso un *motore a combustione interna*. Ad oggi è più vantaggioso ricavare tale forma di energia a partire da quella elettrica.

Non meno importante è, appunto, l'**energia elettrica**, forma di energia che si manifesta a seguito di un movimento ordinato di cariche elettriche. Può essere trasportata a lunghe distanze e distribuita capillarmente. Una parte di questa energia viene inevitabilmente dissipata per *effetto Joule* durante il trasporto, ma l'efficienza di tale processo ha buone prospettive offerte dagli studi sui fenomeni di superconduttività. Di contro, questa forma di energia non è facilmente accumulabile: da una parte, le batterie sono troppo costose, ingombranti e pesanti rispetto ad altre forme di accumulo come i combustibili e i bacini idroelettrici, naturali o artificiali che siano, dall'altra queste ultime presentano problemi di natura ecologica e pratica.

Equivalenze tra le forme di energia

Una prima equivalenza è quella dimostrata da Joule nel 1854 (Primo Principio della Termodinamica) tra calore e lavoro meccanico: per innalzare di un grado (da 14.5 °C a 15.5°C) la temperatura di un grammo d'acqua, occorre una spesa energetica pari a 4.186 J, ovvero **1 caloria** (cal), equivalente all'energia che un corpo di 427 g di massa sprigiona cadendo da 1 m di altezza. Multiplo della caloria è la kilocaloria (kcal), equivalente all'energia necessaria per innalzare di un grado la temperatura di *un kilogrammo* di acqua. Un metodo per dimostrare questa equivalenza è quello di collegare una massa di 427 kg ad un mulinello che trasmette l'energia meccanica ad un litro di acqua: lasciando cadere la massa per un metro, la temperatura dell'acqua dovrebbe – teoricamente – salire di circa un grado Celsius. Anche se l'esperimento fosse perfetto (4.186 kJ → +1 K), notiamo che riportando la temperatura allo stato iniziale la massa non sale di un metro, dunque quel calore non può essere riconvertito in lavoro meccanico; anche potendo convertire calore in lavoro, la conversione non potrebbe mai essere efficiente al 100%.

Qui entra in gioco il **Secondo Principio della Termodinamica**. Tale principio definisce l'esistenza di una grandezza chiamata **entropia**, che può essere generata ma non distrutta, la cui presenza rende impossibile la totale reversibilità di un processo e stabilisce il verso in cui tale processo avviene spontaneamente. Parleremo poi in seguito di *rendimento* di una trasformazione come della percentuale di energia utile che posso ricavare da una spesa energetica, e noteremo che tale numero è sempre minore di 1.

$$\exists S : |\Delta S| \geq 0$$

L'energia può essere convertita da una forma all'altra, con modalità dettate dai due Principi della Termodinamica e dal *Principio di Conservazione dell'Energia* (generalizzazione del 1°). Le possibili conversioni tra forme di energia sono elencate di seguito.

Le conversioni energetiche possono presentare problemi di rendimento, limiti di disponibilità e altre difficoltà di impiego. Per esempio:

DA	A	Gravita- zionale	Cinetica	Termica	Chimica	Elettrica	Elettro- magnetica	Nucleare
Gravit.	-	attrazione di masse	?	?	?	?	?	?
Cinetica	lancio di masse	-	attrito	dissociaz. radiolitica	MHD	acceleraz. particelle	?	
Termica	?	efflussi gassosi	-	reazioni endoterm.	effetti termoelett.	radiazioni termiche	?	
Chimica	?	tessuti animali	comb- stione	-	batterie,cel- le combust.	chemilumi- nescenza	?	
Elettrica	?	motori elettrici	effetto Joule	effetti elettrochim.	-	radiazione elettrom.	?	
Elettrom.	?	fenomeni fotoelettrici	radiazioni termiche	fenomeni fotochimici	fenomeni fotoelettrici	-	radiazioni gamma	
Nucleare	?	radiazioni alfa	fissione e fusione	catalisi da radiazione	batteria nucleare	radiazioni gamma	-	

- Supponendo di voler produrre energia elettrica a partire dai combustibili, potremmo impiegare le pile a combustibile, che soffrono di bassi rendimenti; anche decidendo di

sfruttare la fonte di energia primaria più disponibile sulla terra, il Sole, lavoreremmo con sistemi a scarsa densità di energia, basso rendimento e regime di produzione aleatorio e discontinuo.

- Supponendo di voler produrre energia meccanica dall'energia termica, dovremmo fare i conti con il Secondo Principio e con il Teorema di Carnot. Le altre fonti di energia primaria dovute al Sole (vento, maree, ecc...) presentano problemi di rendimento e di impatto ambientale.
- Supponendo di voler produrre energia termica, ricorreremmo ai combustibili (inquinanti), oppure ai processi nucleari, le cui limitazioni non mi dilungherò a spiegare.

Classificazione delle macchine

<p>Macchine motrici</p> <p>Si dicono motrici quelle macchine che convertono energia primaria in energia meccanica all'asse, quali turbine e motori volumetrici.</p>	<p>Macchine operatrici</p> <p>Si dicono operatrici quelle macchine che cedono energia meccanica ad un fluido, innalzandone le proprietà termodinamiche quali temperatura, pressione, entalpia, entropia.</p>	
<p>Macchine idrauliche</p> <p>Sono quelle macchine che operano su fluidi incompressibili (tipicamente liquidi); gli effetti termici sono influenti sugli scambi di lavoro. Parliamo ad esempio di pompe/turbine a liquido.</p>	<p>Macchine termiche</p> <p>Sono quelle macchine che invece operano su fluidi a comportamento comprimibile, che dunque manifestano variazioni di temperatura in seguito allo scambio di lavoro meccanico. Parliamo di compressori/turbine a gas/vapore.</p>	
<p>Macchine alternative</p> <p>Gli organi preposti allo scambio di energia sono sottoposti a moto alternativo (es. il pistone di un motore). Non possono essere dinamiche.</p>	<p>Macchine rotative</p> <p>Gli organi preposti allo scambio di energia sono sottoposti a moto rotativo. Godono di funzionamento continuo (possono essere dinamiche).</p>	
<p>Macchine volumetriche</p> <p>Il fluido è introdotto ciclicamente, in maniera discontinua. Nello stesso volume si susseguono diverse fasi del ciclo di funzionamento.</p>	<p>Macchine dinamiche</p> <p>Il fluido fluisce in maniera continua. Lo scambio energetico è legato alla variazione del momento della quantità di moto del fluido nell'organo mobile (rotore).</p>	
<p>Flusso assiale</p> <p>Flusso prevalente in direzione parallela all'asse. Facilitano la disposizione di macchine multistadio.</p>	<p>Flusso radiale</p> <p>Flusso prevalente in direzione radiale. Consentono il massimo scambio energetico per stadio.</p>	<p>Flusso tangenziale</p> <p>Flusso prevalente in direzione tangenziale. Uno dei pochi esempi è la turbina Pelton.</p>

Addendum: la necessità dello sviluppo sostenibile

Negli anni '60, in pieno boom economico, si credeva ancora in una serie di utopie, quali il comunismo e il sogno della “**crescita illimitata**”: quest'ultimo, in particolare, era l'illusione che si potesse continuare le linee di crescita e di consumo, che in quegli anni andavano aumentando, nei secoli a venire. In particolare, Herman Kahn, consigliere del presidente Eisenhower, affermò erroneamente che «Con le tecnologie attuali e future, potremo supportare 15 miliardi di persone nel mondo a 20'000\$ pro capite per un millennio, a dir poco». Sbagliava. Di grosso, anche.

Non ci volle molto affinché la comunità scientifica iniziasse a realizzare che c'era qualcosa di storto: nel 1972 la Conferenza Mondiale sull'Ambiente di Stoccolma ed il Club di Roma iniziano a lanciare un allarme sui rischi immediati di esaurimento delle fonti non-rinnovabili. Nel 1973 ha inizio la crisi energetica che porta alla guerra del Kippur; il prezzo del petrolio quintuplica, salendo da 2,5\$ a 12,5\$ al barile, arrivando ai 35\$ all'inizio degli anni '80. Inizia ad essere chiaro che il sogno del decennio precedente non era altro che un'utopia. Inizia quindi la ricerca sul miglioramento dei rendimenti di conversione energetica.

A partire dagli anni '80, si diffonde la consapevolezza di dover assicurare uno “Sviluppo Sostenibile” che permetta di coniugare la crescita economica e demografica con le esigenze ambientali. Contemporaneamente, l'OPEC riduce il prezzo del petrolio con effetti negativi sugli investimenti sul risparmio energetico e sulla ricerca sulle fonti rinnovabili.

Nel frattempo, il modello matematico di Marion King **Hubbert**, ampiamente contestato dal momento del suo sviluppo nel 1956, prevede con buona precisione il raggiungimento del picco della produzione di petrolio negli Stati Uniti (1970) e vengono quindi sviluppati altri modelli più complessi e articolati, con variazioni anche notevoli rispetto al modello originale, che in ogni caso prevedono un marcato decremento della produzione di combustibili fossili durante il secolo successivo, dovuto al rapido esaurimento delle riserve. È chiaro che la Terra rischia di dover affrontare una crisi energetica spaventosa.

Contemporaneamente alla crisi delle risorse, sorge un altro problema: alcuni gas prodotti dalle combustioni o comunque dovuti al progresso industriale rimangono nell'atmosfera, creando una parziale riflessione della radiazione infrarossa emessa dalla Terra, impedendole di disperdersi nello spazio; poiché il principio di funzionamento di questo fenomeno è simile a quello delle pareti vetrate di una serra, esso prende il nome di **Effetto Serra**. La conferenza di Kyoto (1997) porta alle seguenti conclusioni:

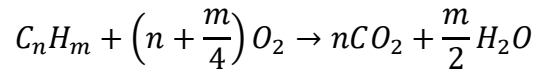
- È innegabile l'influenza antropogenica sul clima globale, determinata proprio dalle emissioni di gas serra dovute all'avanzamento industriale;
- Senza specifiche politiche e misure per mitigare i cambiamenti climatici, la temperatura media superficiale globale è destinata a crescere, tra il 1990 e il 2100, di circa 2°C (tra 1,5 e 3,5°C);
- I continenti ghiacciati inizieranno a perdere massa, con terribili conseguenze per la fauna e la flora locali;
- Il livello medio dei mari è destinato ad aumentare, come conseguenza dello scioglimento dei ghiacciai, di circa 50 cm (tra 15 e 95 cm) nello stesso lasso di tempo;
- Il riscaldamento globale potrà determinare significativi sconvolgimenti climatici, portando all'intensificazione di fenomeni estremi come alluvioni e siccità, influenzando sugli ecosistemi e sulle produzioni agricole (ponendo quindi anche un problema alimentare);
- L'aumento delle temperature avrà effetti sulla salute diretti (morti per malori dovuti a ondate di calore) e indiretti (aumento e diffusione di malattie infettive tipiche di zone tropicali);
- Per raggiungere l'obiettivo della stabilizzazione della concentrazione atmosferica di CO₂, le emissioni globali dovranno corrispondere alla metà di quelle attuali.

Nel XXI secolo, è di particolare rilevanza il piano Europeo 20-20-20, che si poneva come obiettivo la riduzione delle emissioni serra del 20%, un risparmio energetico del 20% e l'aumento della produzione da fonti rinnovabili al 20%, il tutto entro il 2020. Ad oggi, l'Italia ha raggiunto i suoi obiettivi nazionali,

ma complessivamente la situazione in Europa – almeno per quanto riguarda gli ultimi due obiettivi – è ancora insufficiente.

Effetto Serra e combustibili

Sia data la seguente reazione chimica relativa alla combustione ideale di un idrocarburo, del tipo C_nH_m :



Notiamo che la quantità di anidride carbonica prodotta dalla reazione dipende dal rapporto tra carbonio e idrogeno, e in particolare dalla presenza di carbonio nel composto. I due casi estremi di combustibili che danno contributi opposti all'Effetto Serra sono il carbone ($m \approx 0$) e l'idrogeno ($n = 0$), ma quest'ultimo è da ritenersi un vettore energetico piuttosto che una vera e propria fonte energetica, in quanto non disponibile allo stato naturale (richiede quindi un consumo di energia per la sua produzione). In ordine decrescente per contributi all'Effetto Serra abbiamo poi nafta pesante, cherosene, benzina ($n/m \approx 0,5$) e metano ($n/m = 0,25$).