



Istituto Tecnico Industriale  
"Leonardo da Vinci"  
con Sezione Commerciale annessa  
Borgomanero



Con il patrocinio del Comune di Borgomanero  
Assessorato all'Ambiente  
Assessorato alle Politiche Giovanili

# L'ENERGIA

## nella storia dell'Uomo



**Enrico Cerrai**

Presidente dell'Associazione CISE2007



[www.cise2007.eu](http://www.cise2007.eu)



**Intervento al Convegno**  
**“Facciamo il punto sull’Energia”**  
**2-3 Ottobre 2009**

**Istituto Tecnico “Leonardo da Vinci”**  
**Borgomanero (NO)**



# ENERGIA

“avere in se’ lavoro”

**Potenziale**

“Capacità” di  
generare lavoro

Meccanica, Chimica,  
Nucleare

**Cinetica**

“Essere” lavoro

Movimento di  
particelle, atomi,  
molecole

# Calore

Energia cinetica nella sua manifestazione termica

Si misura in:

Calorie  
Joule  
Wattora

# Temperatura

Stato più o meno caldo di un corpo

Si misura in:

Gradi Centigradi  
Gradi Fahrenheit  
Gradi Kelvin

# La trasformazione dell'energia

**Da: Energia Potenziale**  
**A : Energia Cinetica**

**Energia Potenziale trasformata**  
**=**  
**Energia Cinetica generata**

# Energia Cinetica



## Lavoro

(energia utile all'uomo)

Nella trasformazione parte dell'energia cinetica è persa in modo irrecuperabile nell'ambiente sotto forma di calore

Il nostro progenitore “l'uomo cacciatore-predatore”, ebbe la sua prima esperienza sugli effetti dell'energia percependo la luce con gli occhi, ed il calore con il suo corpo, provando il freddo e il caldo.



La storia comincia attorno a 450 mila anni fa, quando l'uomo, non sapendo ancora disporre a suo piacimento di una fonte di energia, per poter sopravvivere doveva soddisfare, comunque i suoi bisogni primari:

la fame - la sete - la necessaria temperatura corporea



**Ma chi erano quei nostri predecessori?**

450.000 anni fa, le specie umane che stavano avviandosi a dominare il fuoco, erano così composte:

## HOMO ERECTUS

Comparso 1.800.000 anni fa, estinto 200.000 anni fa. Presente in Indonesia, Europa, Asia, Africa. Cacciatore e artefice di strumenti da lavoro e da caccia. Arriva ad usare il fuoco. Ha un volume cranico di 900 centimetri cubici e dimensioni comparabili con quelle dell'Homo Sapiens.

## HOMO DI HEIDELBERGA

Comparso 600.000 anni fa ed estinto 200.000 anni fa. Presente in Europa ed in Africa. Cacciatore e artefice di strumenti da lavoro e da caccia. Arriva ad usare il fuoco. Considerato Homo Sapiens arcaico ed antenato dell'Homo di Neanderthal. Ha un volume cranico di 1200 centimetri cubici e dimensioni comparabili con quelle dell'Homo Sapiens.

## HOMO DI NEANDERTHAL

Comparso 300.000 anni fa, estinto fra 30.000 e 25.000 anni fa. Gli ultimi sopravvissuti in caverne isolate sulla costa di Gibilterra. Presente in Europa e nel vicino Oriente. Cacciatore e artefice di strumenti da lavoro e da caccia. Usa il fuoco. Ha un volume cranico di c.a. 1400 centimetri cubici. Di bassa statura, tozzo, scheletro pesante.

## HOMO SAPIENS

Comparso 200.000 anni fa, costituisce l'Umanità di oggi, popolava tutto il Pianeta. Ha un volume cranico di 1300-1500 centimetri cubici. Cacciatore e artefice di strumenti via via più sofisticati usa il fuoco per produrre vasellame, introduce nella sua comunità l'organizzazione del lavoro, da l'avvio al linguaggio, attorno a 20000 anni fa diviene anche agricoltore.

**Ma 450.000 anni fa, come faceva a soddisfare i bisogni primari?**

Con le calorie alimentari (carne e vegetali), fruendo del sole e del calore della terra (quando possibile), coprendosi con pelli animali, riparandosi negli anfratti e nelle cavità naturali o artificiali.



**Con quale consumo di risorse?**

Il nostro progenitore doveva poter disporre di una quantità di energia potenziale sufficiente per lo sfruttamento della sua potenza, eminentemente muscolare, dell'ordine di 150 watt (circa 128 kcalorie/ora), quindi con un fabbisogno di calorie alimentari non inferiore a 3000 kcalorie/giorno, cioè poco più di un milione di kcalorie/anno.

Equivalenti a:

**0,1 TEP/anno pro-capite**  
**1 TEP= 10 milioni di kcalorie**  
**“TEP= Tonnellate Equivalenti di Petrolio”**

Con l'energia disponibile scavava nella roccia e nel terreno, preparava lame ed accette di pietra per fendere e cacciare, batteva in un giorno un terreno "di caccia" esteso per circa 1 km quadrato entro il quale approvvigionarsi per se' e per i congiunti.

Per supplire al fabbisogno di 0,1 TEP/anno pro-capite, le fonti primarie, animali e vegetali, che venivano effettivamente coinvolte e consumate, dovevano essere in misura almeno 10 o 20 volte maggiore.

**Consumo effettivo di energia  
=  
1-2 TEP/anno pro-capite**

**Con una popolazione di 1 milione di individui,  
l'energia utile raggiunge il valore di 0,1  
MTEP/anno (Milioni di Tonnellate equivalenti di  
Petrolio)**

**Consumo effettivo di risorse  
=  
1-2 MTEP/anno**

# Come vanno i consumi oggi?

Nel 2007 l'offerta totale di energia ha raggiunto 11027 milioni di TEP costituita per l'88% c.a. da **petrolio + gas naturale + carbone** per una popolazione mondiale di oltre 6 miliardi di abitanti.

Consumo medio per abitante = 1,77 TEP/anno

Africa Sud Sahariana = 0,4\* TEP/anno

USA = 7,9 TEP/anno

\*Solo 4 volte il fabbisogno del nostro progenitore cacciatore

(Unione Petrolifera Data Book 2009)

Tale nostro progenitore aveva conosciuto il fuoco solo come fenomeno naturale, conseguenza di fulmini o di eruzioni, ma non sapeva né generarlo né gestirlo, tuttavia riuscì a superare il Terzo Periodo Glaciale, che, a partire da 450.000 anni fa, durò oltre 200.000 anni.

# La prima conquista

La Storia dell'Energia al servizio dell'uomo inizia quando questi riesce ad accendere il fuoco con la scintilla dallo sfregamento di pietre dure inviata su vegetali secchi ed a gestirlo secondo le sue necessità. Ciò avviene fra 150.000 ed 100.000 anni fa, quando il Terzo Periodo Glaciale è terminato.

La fonte energetica è il **legno** come prodotto secco o anche parzialmente carbonizzato (carbone vegetale).

Da allora inizia il contributo dell'energia termica, sotto forma di luce e di calore, allo sviluppo dell'Umanità.



## Il Fuoco

Riscalda e illumina  
Difende dagli animali predatori  
Cuoce i cibi

Con la cottura, divengono digeribili per l'uomo alimenti che a crudo non lo sono.

Anche l'apparato digerente subisce una evoluzione.

Il percorso intestinale si accorcia, occorre una minor quantità di tessuto per la digestione e l'assimilazione e ciò va a vantaggio del tessuto cerebrale.

# Il Fuoco

Da quando l'uomo ha acquistato il dominio del fuoco, attraverso i millenni, fino alla fine del 1600 d.C. il legname è stato la principale fonte primaria di energia, oltre che prezioso materiale da costruzione.

L'uomo può superare anche il Quarto Periodo Glaciale, da 80.000 a 20.000 anni fa, divenendo pure abile nel lavorare la pietra ed il legno (30.000 anni fa nel Paleolitico).

Fra 15.000 e 10.000 anni fa sta finendo il Paleolitico, e l'uomo progredisce ancora cominciando a coltivare la terra per ottenere prodotti utili al proprio sostentamento.



E' la nascita dell'Agricoltura.  
L'uomo diveniva oltre che cacciatore, anche agricoltore.

L'energia utilizzata era unicamente quella muscolare umana, generata grazie alle calorie alimentari. La loro acquisizione, con il dominio del fuoco, divenne più agevole e più efficiente.

La coltivazione del suolo, consentì una crescita della popolazione terrestre fino a 5-10 milioni di individui, con un fabbisogno energetico di  
**0,2 TEP/anno pro-capite**

**Siamo nel neolitico e l'uomo fa un altro passo avanti**

# Un altro passo avanti

8000 anni fa si entra nel **Neolitico** e l'uomo amplia la sua risorsa energetica naturale addomesticando gli animali da tiro e da trasporto come ausilio alla sua riserva di energia muscolare. La fonte è ancora di natura alimentare con la provvidenziale capacità di tali animali di nutrirsi assimilando prodotti vegetali non digeribili dall'uomo.

Al contempo il calore si applica, oltre che alla cottura dei cibi, anche alla produzione di manufatti in terracotta ed, in seguito, all'ottenimento dei primi metalli non ferrosi ed alla loro lavorazione (5000 anni fa ).

3000 anni fa si apprende anche la lavorazione del ferro

La maggiore efficienza dell'agricoltura assistita dagli animali da lavoro, porta la superficie di suolo necessaria pro-capite

da

1.000.000 di metri quadrati  
(1km quadrato-uomo cacciatore predatore)

a

500.000-300.000 metri quadrati



## Quali altre fonti?

Oltre al sole, come fonte diretta (luce e calore) e indiretta attraverso il mondo vegetale, l'uomo disponeva di una fonte di energia meccanica, anch'essa originata dal sole, costituita dalle correnti d'aria (il vento).

Per poter utilizzare una fonte primaria di energia, occorre sempre disporre di un ritrovato e di una tecnologia in grado di operare una trasformazione il cui rendimento, però, sarà sempre inferiore al 100%.

Per trasformare l'energia cinetica del vento in energia utile, 3000 anni fa (1000 anni a.C.) nasce la vela che da inizio alla diffusione del trasporto per via d'acqua.

**Inoltre**

poco più di 2100 anni fa, i Greci inventarono il mulino idraulico ad asse verticale (ruota orizzontale), conosciuto allora anche dai Cinesi, soprattutto per la macinazione delle granaglie.

Pare che tale macchina fosse usata anche nell'Impero Babilonese che era durato dal 2500 al 530 a.C.

I Romani, nell'era di Cristo, migliorarono la tecnologia costruendo il mulino idraulico ad asse orizzontale e ruota verticale, che raggiunse una maggiore efficienza.

# Il Vento

Sembra strano ma passano oltre 1500 anni, dal 1000 a.C. al 500 d.C. perché il concetto della propulsione eolica venga applicato, oltre che alla navigazione a vela, anche ad una macchina stazionaria che produca un moto rotatorio e cioè un mulino eolico anziché idraulico.

Esso nasce a ruota orizzontale (asse verticale) nel 500 d.C. in Persia, si diffonde in Cina nel 13° secolo d.C., ma intanto era giunto in Europa attraverso, gli Arabi, due secoli prima, nella sua versione moderna: ruota verticale, asse orizzontale.

Il battesimo dell'energia idraulica e di quella eolica era avvenuto.

**Altre tecnologie?**

L'energia potenziale di natura chimica era stata sfruttata quasi esclusivamente attraverso la combustione di materiali legnosi, meglio se essiccati, con i quali era possibile raggiungere, nella fiamma, temperature fino a 1000 gradi centigradi, ottenendo quindi solo energia termica.

L'idraulica e l'eolica soddisfacevano invece l'esigenza di trasformare l'energia potenziale di fluidi in movimento disordinato, in un moto ordinato e regolabile, di natura periodica, come quello rotatorio di una ruota. Abbiamo visto che le macchine escogitate per ottenere tale risultato erano i mulini.

Non era possibile però applicare tali sistemi alla trazione, salvo l'uso della vela nella nautica, dove, peraltro, il massimo contributo energetico era ancora muscolare, umano ed animale.

Eppure, una diversa forma di energia chimica capace di fornire energia cinetica era stata trovata dopo il 1000 d.C., si dice, già dai Cinesi: la **polvere da sparo** o **polvere nera**, capace di bruciare molto velocemente cioè di esplodere. Naturalmente, essa fu usata a scopi militari, per lanciare proiettili a distanza e non per ottenere un moto ordinato e regolabile.

Nel 1250 Ruggero Bacone dette la prima formulazione della sua composizione e 430 anni dopo, sempre per poter disporre di una macchina in grado di far ruotare un asse a spese di una quantità di energia potenziale chimica Huygens (1680) tentò di costruire un motore a scoppio alimentato a polvere da sparo .

L'utilizzo di una fonte energetica, o dei suoi prodotti, si afferma e si amplia quando diviene disponibile una tecnologia adeguata.

Sulla via della creazione di una macchina capace di sfruttare energia chimica per ottenere un moto rotatorio in grado di produrre lavoro, come vedremo dopo, **la macchina a vapore** (1712 Newcomen-Inghilterra) arrivò prima del **motore a scoppio** il cui brevetto fu depositato il 5 giugno 1853 da Eugenio Barsanti e Felice Matteucci. Esso era alimentato a idrogeno , un combustibile ma, come la polvere da sparo, non una fonte.

Sulla via della creazione di una macchina capace di sfruttare energia chimica per ottenere un moto rotatorio in grado di produrre lavoro, come vedremo dopo, **la macchina a vapore** (1712 Newcomen-Inghilterra) arrivò prima del **motore a scoppio** il cui brevetto fu depositato il 5 giugno 1853 da Eugenio Barsanti e Felice Matteucci. Esso era alimentato a idrogeno , un combustibile ma, come la polvere da sparo, non una fonte.

# La crescita della popolazione

Si stima che all'epoca di Cristo, la popolazione del nostro pianeta raggiungesse 300 milioni di individui con un consumo energetico pro-capite di 0,4 TEP/anno.

Da allora e fino a tutto il 1600, le fonti primarie di energia erano rimaste le stesse: la legna da ardere ed il sole a fini termici, l'eolica e l'idraulica a fini meccanici.

Intanto la popolazione mondiale era aumentata a 600 milioni nel 1600 ed a 700 milioni nel 1700.

## Riassumendo

*450.000 anni fa:*

*1 milione di individui, 1 milione di metri quadri pro-capite,  
consumo di risorse 1-2 TEP/anno*

*10.000-5.000 anni fa:*

*5-10 milioni di individui, 500.000-300.000 metri quadri p.c.  
consumo 0,2-0,4 TEP/anno*

*2.000 anni fa:*

*300 milioni di individui, 300.000 metri quadri pro-capite  
consumo 0.4 TEP/anno*

*2007:*

*6,3 miliardi di individui consumo totale 11027 MTEP/anno,  
medio pro-capite 1,77 TEP/anno*

La crescita della popolazione deve anche essere accompagnata da un adeguato sviluppo dell'agricoltura in grado di garantire una alimentazione sufficiente a tutti gli individui.

Ciò comporta anche un problema energetico

# Energia ed Agricoltura

L'uomo neolitico di 8000 mila anni fa, per 1 caloria spesa in lavoro muscolare per ottenere un prodotto agroalimentare ne otteneva 30 o 40 in valore nutritivo.

L'agricoltura non meccanizzata, come quella cinese fino al 1930, consentiva un tale rapporto energetico e necessitava di almeno 100 metri quadri di terreno fertile per soddisfare il fabbisogno annuale pro-capite di prodotto agricolo.

L'agricoltura meccanizzata, che esige un rilevante contributo energetico, gravato anche dal trasporto dei prodotti, dalla loro conservazione e distribuzione, cambia radicalmente tale rapporto.

Il grande incremento di produttività del singolo agricoltore ed il maggiore sfruttamento del terreno, aggravano il bilancio energetico.

Oggi, nella produzione alimentare europea  
1caloria spesa fornisce 0,15-0,30 calorie alimentari

# Gli inizi del 700

Alla fine del 1600, le riserve di legname, costituite dalle foreste esistenti sul suolo dei paesi civilizzati, non riuscivano più a soddisfare i fabbisogni, giacché al suo uso ormai esteso come combustibile, si era aggiunto quello, molto rilevante, come materiale da costruzione, in particolare per la realizzazione di imbarcazioni di ogni dimensione.

Si rischiava la prima crisi energetica della storia!

# La grande svolta

La “crisi energetica” della fine del 1600 fu sentita principalmente dall’Inghilterra che però aveva nel suo sottosuolo abbondanti riserve di carbone.

Nel 1200 in Inghilterra si era già tentato l’uso del carbon fossile per il riscaldamento, ma l’incapacità di usarlo con una modalità di combustione adeguata, portò ad una inspiegabile e impressionante serie di decessi per avvelenamento da monossido di carbonio, ed il re Edoardo I° ne proibì l’uso per legge pena la condanna a morte per i trasgressori.

Evidentemente le conoscenze erano ancora scarse e le tecnologie non ancora mature.

Il 1700 portò alla grande svolta con l'avvio dell'era industriale grazie alla introduzione del **carbon fossile** che incominciò ad essere cavato dai giacimenti minerali.



## Il principio

Il calore trasforma l'acqua liquida in vapore la cui energia cinetica deve poter essere sfruttata grazie all'effetto propellente dovuto all'aumento di volume. Inoltre, la sua rapida condensazione può generare un "vuoto" in un recipiente raffreddato e provocare una "aspirazione".

L'energia potenziale chimica del carbone (**potere calorifico**), a parità di massa, è circa tre volte maggiore di quella della legna da ardere. L'acqua poteva bollire anche col fuoco a legna ma le tecnologie non erano pronte.

# Le tappe nel 1700

1698 - *SAVERY* progetta una prima macchina a vapore per “sollevare l’acqua”.

1705 - *PAPIN* cerca di perfezionare la macchina di *SAVERY*

1713 - *NEWCOMEN* costruisce in Inghilterra la prima vera macchina a vapore

1765 - *JAMES WATT* inventa il condensatore per la macchina a vapore

1769 - *NICOLA CAGNOT* costruisce una “carrozza” col motore a vapore

1783 - *II MARCHESE JOUFFROIS* fa navigare un battello a vapore a ruote lungo la Senna

1784 - Una macchina a vapore rotativa è installata in una tessitura

“ da Mario Silvestri –Breve storia dell’energia-“  
(Osservatorio per l’energia M. Silvestri-Politecnico di Milano)

Ormai la macchina a vapore, che realizza il sogno della trasformazione dell'energia potenziale chimica direttamente in energia meccanica per la trazione o per le lavorazioni, entra nel mondo industriale partendo da quella mineraria e da quella tessile.



Il Carbon fossile è divenuta la fonte energetica primaria che gradualmente va a sostituire la precedente, la Legna da ardere, il cui utilizzo incomincia a declinare.

Il 1700 finisce con una nuova conquista della scienza che pone le basi per un ulteriore grande balzo delle tecnologie energetiche.

Nel 1798 Alessandro Volta inventa la pila elettrica, dando l'avvio alla conoscenza di una nuova forma di energia che non è una fonte ma un vettore che attraverso i due secoli successivi ha portato una radicale rivoluzione nella società promuovendo nuovi settori nel comparto industriale ed un nuovo stile di vita dei popoli.

Nel 1800 si verificava quello sviluppo delle conoscenze e delle tecnologie che portò alla realizzazione di macchine capaci di produrre sempre maggiori quantità di energia elettrica per supplire ai bisogni dell'industria manifatturiera, dei trasporti e degli usi civili.

# Le altre fonti energetiche

## Petrolio e Gas naturale

La rivoluzione industriale aveva portato il fabbisogno energetico pro-capite a 0,7-0,8 TEP/anno per abitante

Mentre il carbone si diffonde nelle applicazioni energetiche, inclusa la distillazione per la produzione del gas di città, che fu impiegato per l'illuminazione, il riscaldamento e la cucina, nel 1859 inizia, negli Stati Uniti, lo sfruttamento del **Petrolio**, dal quale con la raffinazione, si possono trarre frazioni di prodotti combustibili di varia densità e di vario impiego.

La sua ascesa inizia circa un secolo e mezzo dopo l'inizio dell'uso del carbone, affermandosi fra il 1800 ed il 1900.

Con l'arrivo del petrolio si passa da un combustibile solido (carbone) ad uno fluido, che ha il vantaggio di poter essere trasportato a grandi distanze, oltre che con mezzi di trasporto, anche con tubazioni di grande diametro (oleodotti) che possono collegare fra loro paesi anche molto lontani. Tale vantaggio, unito a quello che i derivati del petrolio forniscono i carburanti ideali per l'alimentazione del motore a scoppio, divenuto realizzabile alla fine del 1800 e delle centrali termoelettriche in concorrenza col carbone, dette impulso allo sfruttamento di questa nuova fonte.

Anche il **Petrolio**, pure già noto in Mesopotamia 6000 anni a.C. , ed usato grezzo, come bitume infiammabile, durante l'Impero Babilonese (2500-530 a.C.), per illuminare e cuocere il vasellame, e rinvenuto a Modena nel 1640 e in Romania nel 1650 con la perforazione di pozzi, ha dovuto attendere, come il carbone, la realizzazione delle tecnologie adatte per una loro efficiente ed economica utilizzazione.

Alla risorsa energetica **Petrolio** si aggiunge, a distanza di mezzo secolo (inizi del 1900), quella del gas naturale principalmente costituito da **Metano**, il più leggero della famiglia degli idrocarburi.

Era già noto ai cinesi nel 1000 a.C. che lo usavano per illuminare, cuocere e riscaldare.

Oltre che essere usato come materia prima nell'industria chimica, ha sostituito progressivamente il gas di città negli usi domestici e l'olio combustibile nel riscaldamento degli edifici. Inoltre, negli ultimi due decenni, col notevole sviluppo della turbina a gas è entrato anche significativamente nel settore termoelettrico consentendo un sensibile guadagno nel rendimento di trasformazione soprattutto con l'abbinamento della turbina a gas con quella a vapore.

# Il Nucleare

Col Carbone, il Petrolio e il Gas naturale , tramite la combustione con l'ossigeno dell'aria, si sfrutta l'energia potenziale chimica in essi contenuta.

L'Energia nucleare da fissione oggi in uso è generata dalla scissione di un atomo pesante, in particolare il più usato l'uranio di massa 235, ad opera dei neutroni, particelle neutre di massa unitaria.

La sua energia potenziale che si trasforma in energia cinetica utile non è chimica ma nucleare

L'energia nucleare è entrata nel settore della produzione di elettricità ed in esso si è sviluppata in concorrenza con le fonti dette fossili e con l'idraulica, quindi può essere confrontata con esse solo sotto questo aspetto.

La sua origine nella storia dell'energia risale al 2 dicembre del 1942 quando Enrico Fermi a Chicago dimostrò, con la prima "pila" nella storia, che era possibile generare e controllare l'energia nucleare per produrre calore e nel 1951 ad Akron, nell'Idaho, è prodotta la prima energia elettronucleare (EBR1 da 400 kWe) ed in Unione Sovietica nel 1954 con un prototipo da 5000 kWe).

Il lancio della tecnologia nucleare per la produzione di energia elettrica si verifica nell'agosto del 1955 con la Conferenza Internazionale "Atomi per la pace", "Atoms for peace", organizzata dall'ONU su iniziativa del Presidente Eisenhower.



# Le fonti oggi

Contributo delle varie fonti al consumo energetico mondiale – anno 2007

Energia Termica

Energia Elettrica  
Circa 4600 TEP/anno

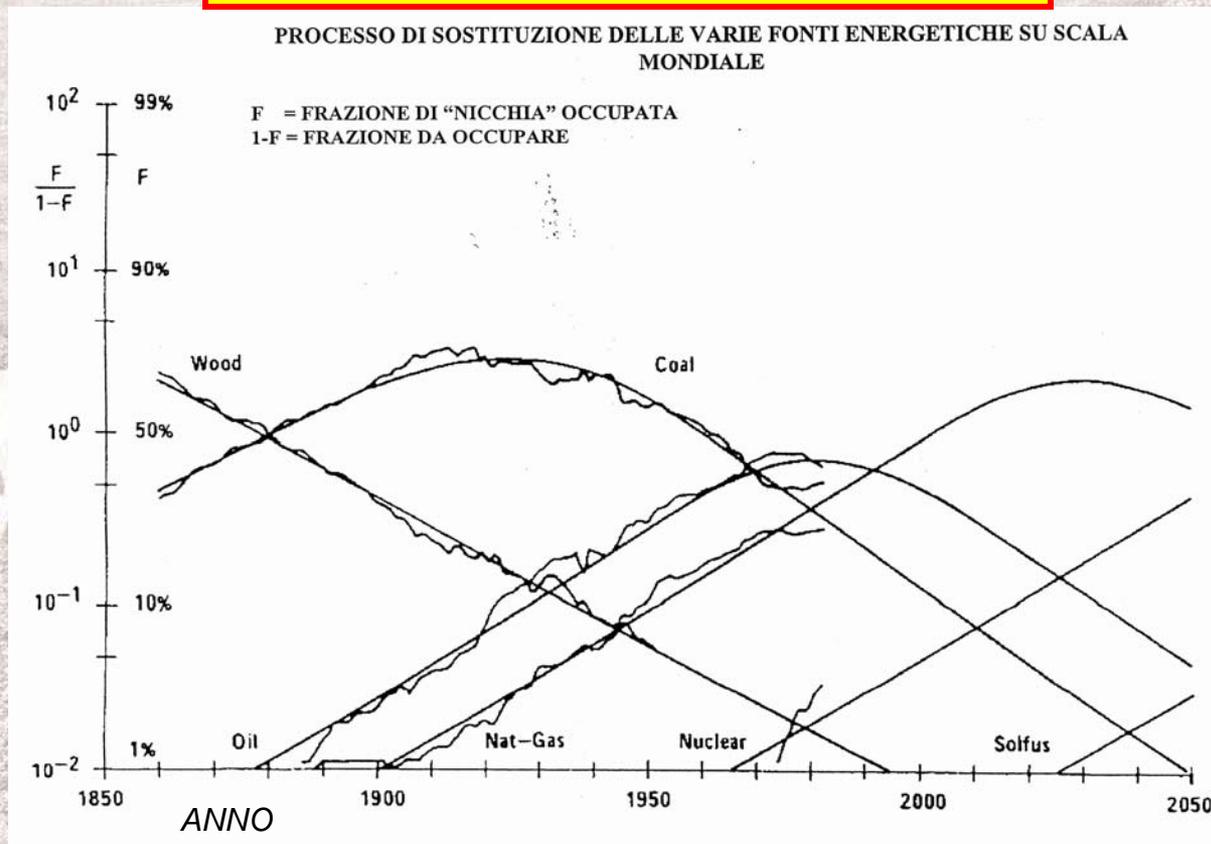
	MTEP/anno	%	Miliardi di kWh	%
<i>Petrolio</i>	3926	35,6	2024	11
<i>Gas Naturale</i>	2624	23,8	2760	15
<i>Carbone</i>	3154	28,6	7360	40
<i>Energia Nucleare</i>	617	5,6	2760	15
<i>Idro-geo</i>	706	6,4	3796	19
<b>TOTALE</b>	<b>11027</b>	<b>100,0</b>	<b>18400</b>	<b>100</b>

# La sequenza e le tendenze

Secondo gli studi dello IIASA di Vienna (International Institute for Applied System Analysis), iniziati nel 1975 e sviluppati da Cesare Marchetti e Nebojsa Nakicenovic, a partire dall'era industriale le *fonti primarie di energia, le energie secondarie ed i loro sistemi di distribuzione*, non sono altro che tecnologie di natura diversa, ciascuna delle quali compete per conquistare la propria nicchia di mercato.

La loro penetrazione segue perciò una curva logistica, come la curva di apprendimento, tanto che estrapolando i dati registrati nel passato è possibile prevedere l'andamento temporale futuro di ciascuna fonte.

### Rappresentazione sintetica di questi studi



## Deduzioni

**Il Carbone** in declino, data la sua abbondante disponibilità in natura e il suo minor costo, potrà risalire grazie a nuove tecnologie che lo rendano ambientalmente compatibile.

**Il Gas naturale** sorpasserà il petrolio.

**Il Nucleare** che è precipuamente destinato alla produzione di energia elettrica, dopo una partenza ripida ed un forte rallentamento, si riadegua alla curva come si sta verificando oggi a livello mondiale.

Per quanto riguarda la tendenza naturale della produzione di anidride carbonica nella produzione elettrica con la sequenza storica delle fonti si realizza un continuo processo “spontaneo” di decarbonatazione, infatti:

La generazione di 1kWh elettrico produce

con carbone in centrali tradizionali	800-900 grammi di CO <sub>2</sub>
con olio (idrocarburi liquidi)	600 grammi
con gas naturale (metano)	400 grammi

Ciò è dovuto non solo al crescente rendimento degli impianti di produzione e, cioè, alle tecnologie di processo, ma anche al contributo energetico dell'idrogeno legato, che è naturalmente presente nelle singole fonti.

1 atomo di carbonio è accompagnato da

0,6 atomi di idrogeno nel **carbone**

2,4 in media negli **idrocarburi liquidi**

4 stechiometrici nel **metano**

Tutta la produzione termica mondiale riceve dall'idrogeno (legato) un contributo energetico che supera il 50%.



Grazie per l'attenzione

