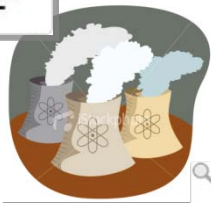
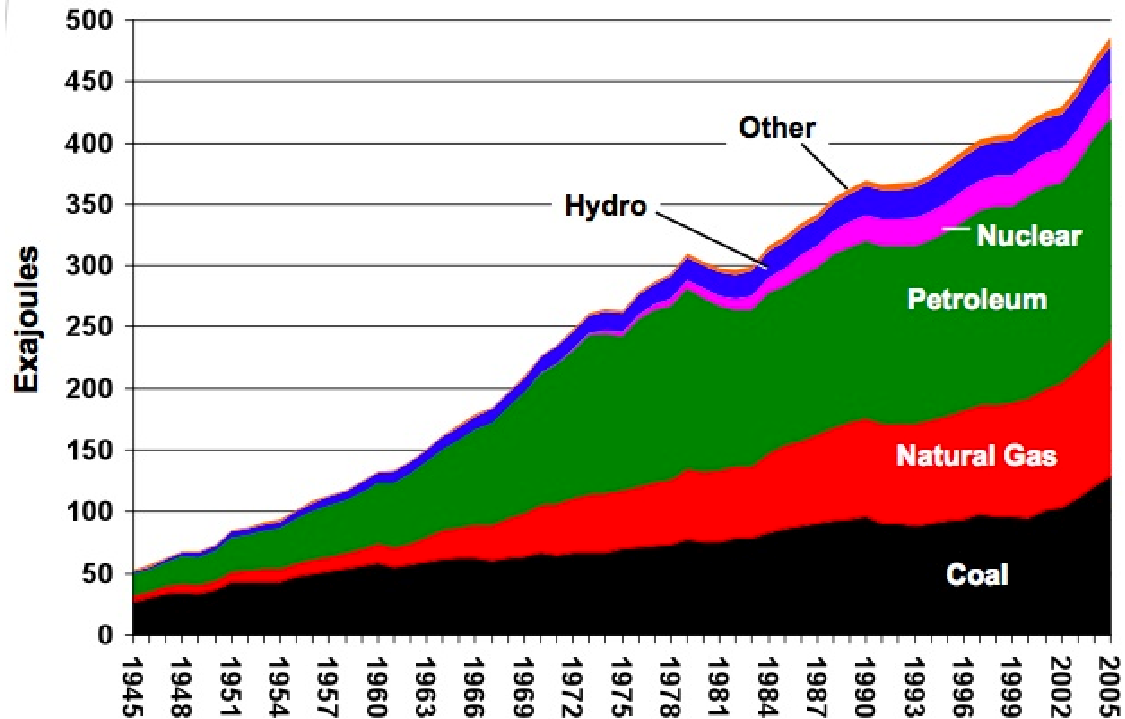


Peculiarità ed evoluzione dei grandi temi dell'energia



Sergio Carrà
Politecnico di Milano

Consumi attuali di energia nel mondo, ripartiti nelle diverse sorgenti.



Totale : 16 TW,
USA : 3.3 TW,
Italia : 0,26 TW.

CSIRO McCabe: 2008 Michel T. Halboury Lecture

Data from EIA, U.S. Dept. of Energy

Exajoule = 10^{18} joule, terawatt = TW = 10^{12} watt

500 exajoule corrispondono a 14,7 TW

“Le moderne economie industriali sono basate sul carbonio e la loro attività principale è la combustione”
Annual Energy Review(2001).

Punti di forza che rendono egemoni gli idrocarburi.

Basso costo dell'energia ottenuta (~0,05 \$ /kWh)

Disponibilità di ampie infrastrutture per

-il trasporto del greggio (1000 barili al secondo)

-la sua estrazione e raffinazione

-la distribuzione dei combustibili finiti.

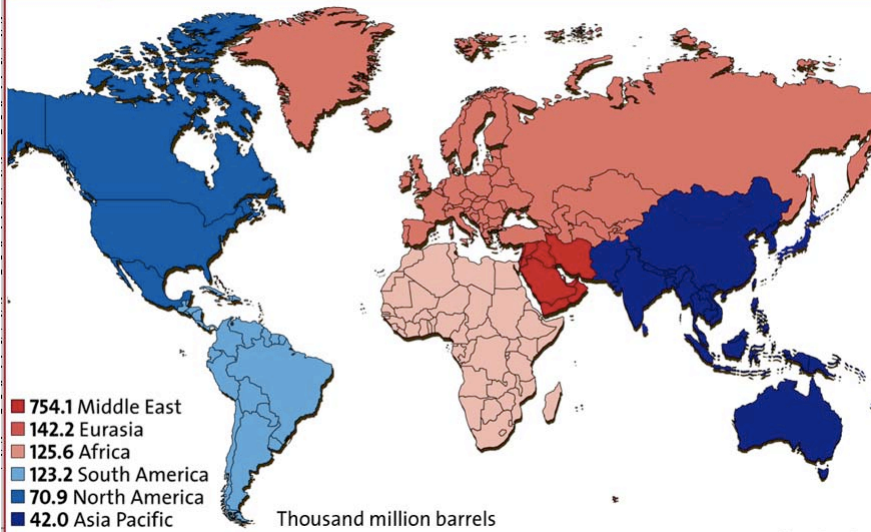
Viene fornito un efficace vettore energetico costituito da una miscela di idrocarburi.

In sostanza l'energia risulta disponibile in ogni luogo, in qualunque momento e alla potenza desiderata.

Risorse di petrolio: quantità originaria complessiva presente nel sottosuolo, senza alcuna stima sulla sua estraibilità.

Riserve: parte recuperabile alle condizioni operative economiche attuali.

Global proven oil reserves

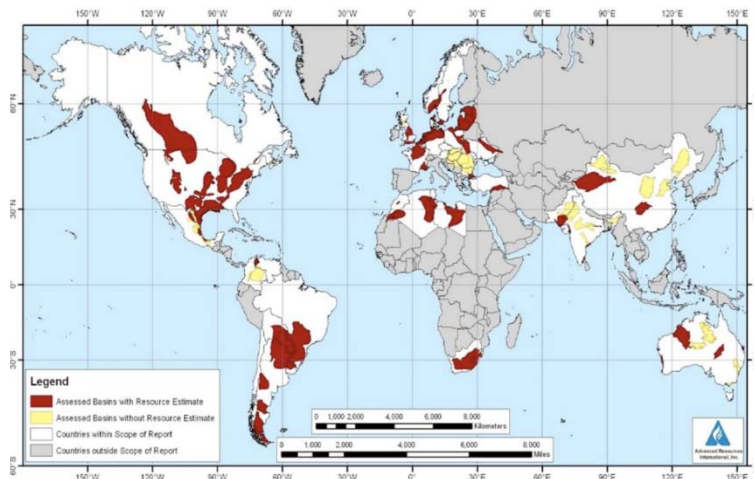
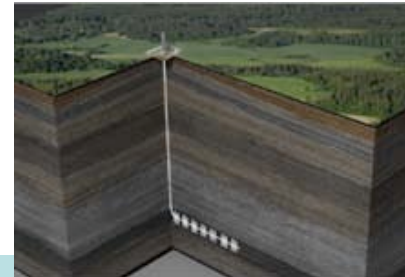
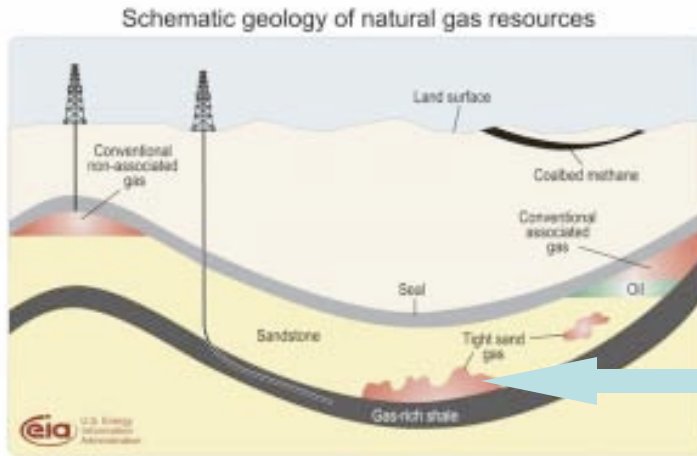


Risorse presenti circa 1260 miliardi di barili.
Consumo attuale 31 miliardi di barili/anno.

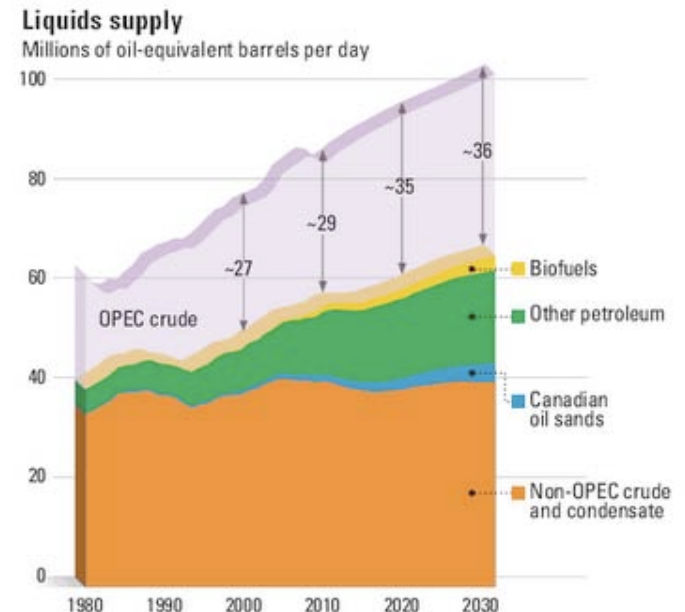
Le ricerche di nuove fonti fruisce di dati geofisici e geologici e di modelli fisico-matematici sempre più efficaci.

In sostanza esiste un rassicurante approvvigionamento di petrolio, almeno per oltre la prima metà di questo secolo, anche se il suo prezzo risente dei fattori geopolitici e regionali.

“Nuovo” protagonista: il gas naturale sotto la veste di *shale gas*.



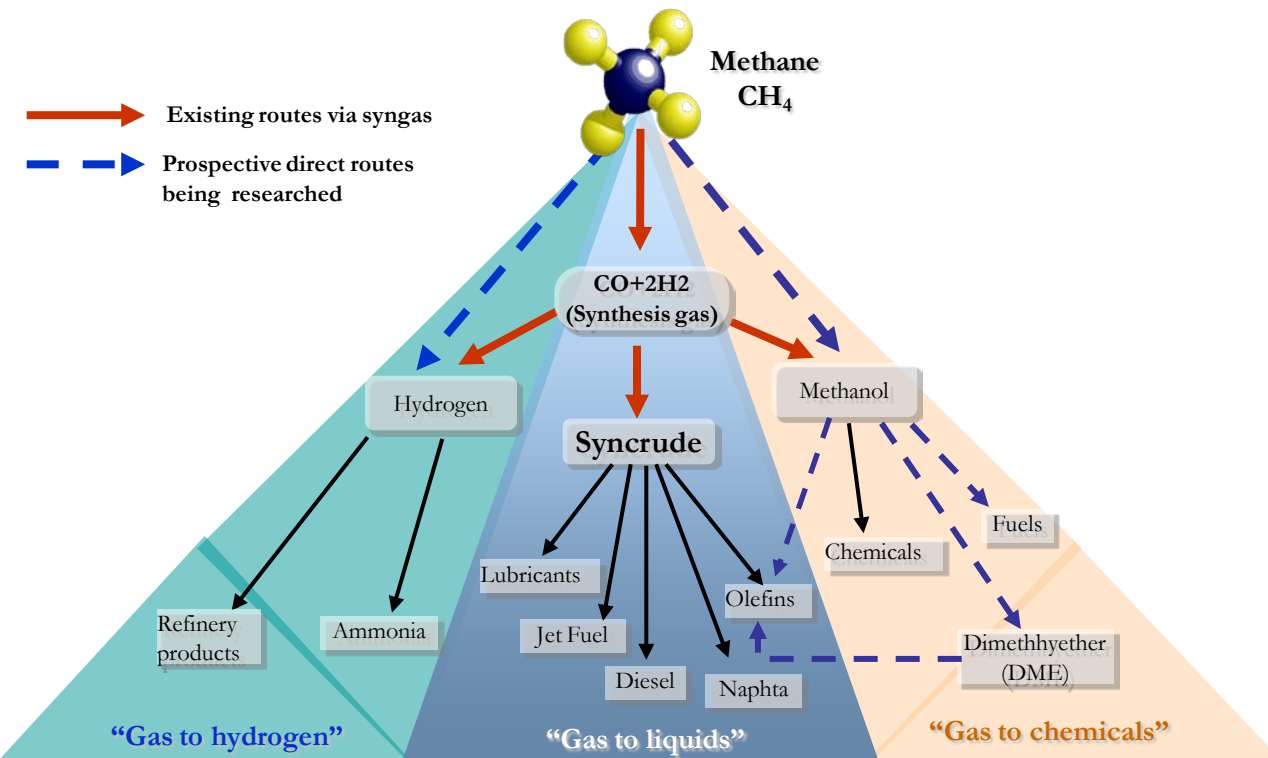
Distribuzione dello shale gas



Previsioni sulla produzione di petrolio

Ruolo della Catalisi

La scoperta di nuovi, efficienti e stabili sistemi catalitici apre importanti prospettive nella sintesi di nuovi carburanti (DOE Report, 2002).



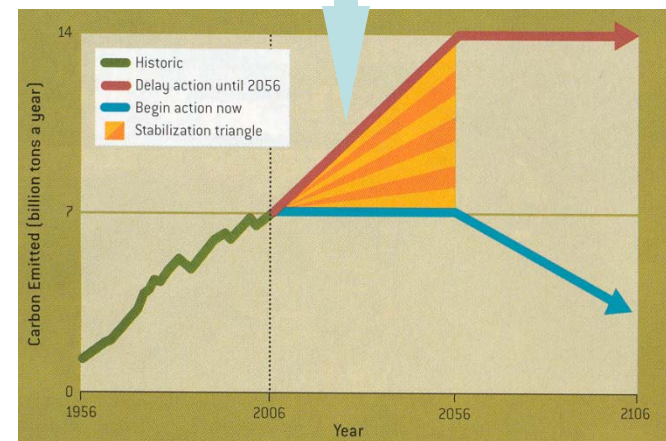
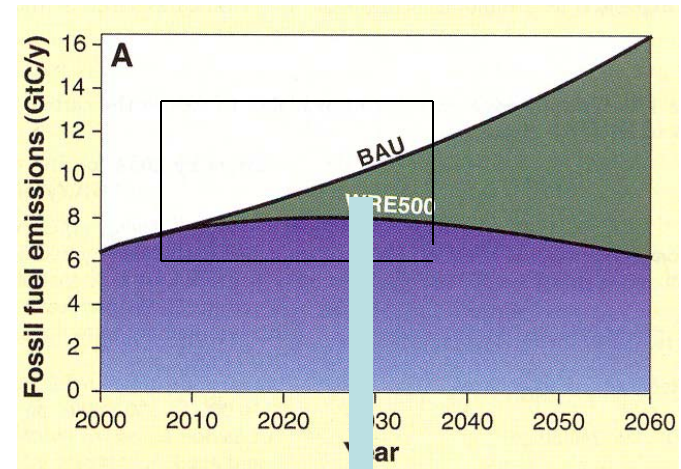
La conversione catalitica diretta del metano a metanolo può guidare la sintesi di nuovi carburanti.

Nel quadro delle, seppure incerte, previsioni sull'evoluzione climatica del pianeta la produzione di energia dovrebbe essere compatibile con il diagramma di **Pacala-Socolov** (2004).

BAU Business as Usual
WRE controllo della CO₂ a 500 ppm.

Triangolo di stabilizzazione

I contributi delle energie **Carbon-free** devono rientrare in un un mixing di diverse fonti e tecnologie



“Many experts now think that adapting to a warming planet, not mitigating emissions, will dominate policy discussions in the decade ahead”
Science, december 2010.

Fonti di energia Carbon Free rinnovabili



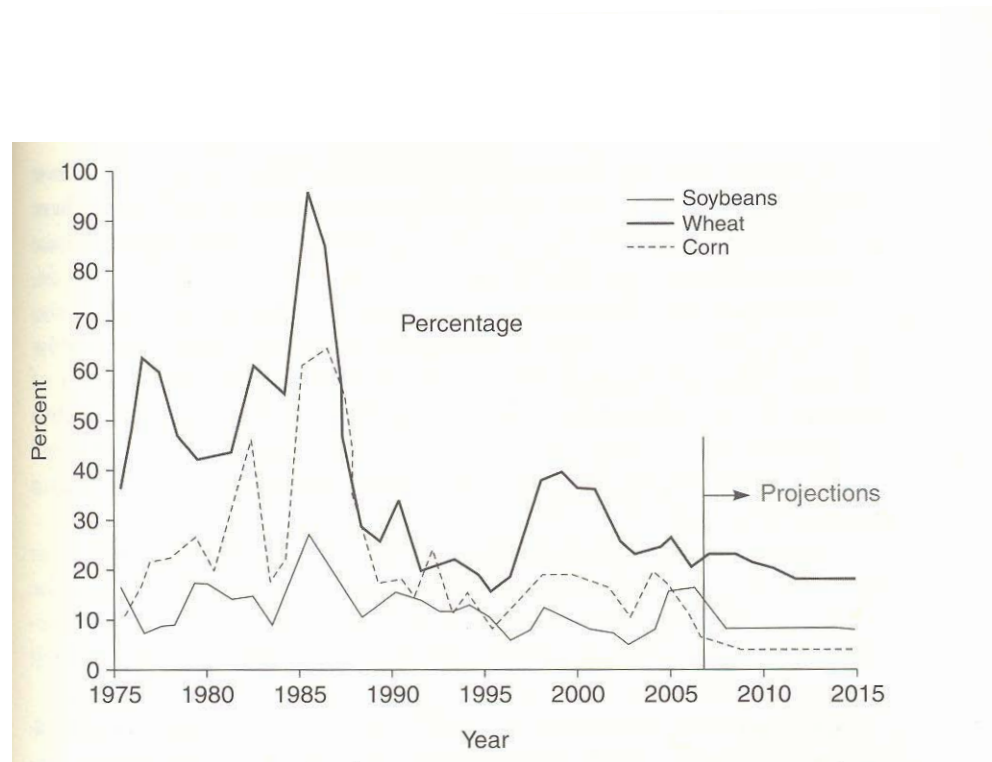
attuali (TW su 16 TW totale)

Idroelettrica	0,3	(2,0%; 0,015\$/kWh)
Geotermica	0,1	(0,7%; 0,05\$/kWh)
Eolica	0,16	(1,1%; 0,07\$/kWh)
Biomassa	1,3	(8,7%)
Solare	0,09	(0,6%; 0,30\$/kWh)
totale	1,95	(13%)

Idroelettrica, preziosa ma prossima all'esaurimento.

Geotermica, poco costosa, ma il suo impiego è strettamente connesso con le caratteristiche geologiche e logistiche locali.

Biocombustibili (esteri di acidi grassi, etanolo) forniscono circa 1,5 % dell'energia grazie ad incentivi. Nella forma attuale il loro impiego è controverso perchè viene sottratto spazio all'alimentazione.

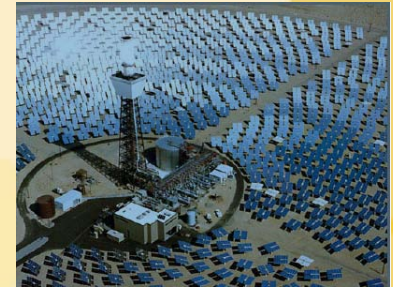


Rapporto fra le riserve di granturco, grano, soia e il loro consumo annuale.

Il sole riversa sulla terra una quantità di energia superiore di quattro ordini di grandezza di quella usata dall'uomo.

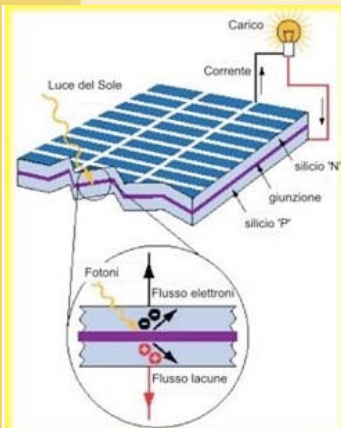
1- Centrali Solari termodinamiche (CSP)

Dalle radiazioni solari si genera vapore che attraverso una turbina produce elettricità (costo dell'energia circa 0.15 \$/kWh).

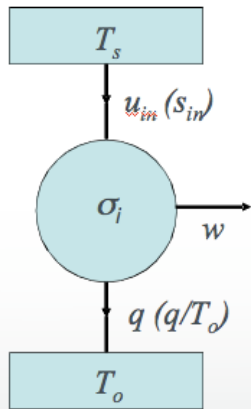


2- Celle solari.

Basate sull'effetto fotovoltaico (costo dell'energia circa 0.25 \$ /kWh).



Celle solari quali macchine termiche



$$\eta = \frac{w}{u_{in}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_S}\right) - T_0 \frac{\sigma_{irr}}{u_{in}}$$

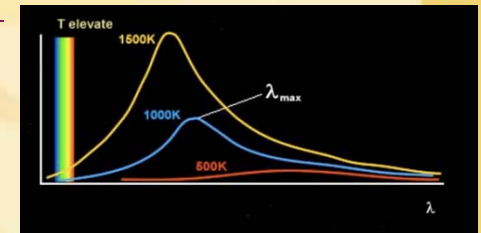


η_C rendimento di Carnot di una macchina operante con una sorgente calda alla temperatura T_S (~6000K) di equilibrio con la radiazione.

$$\sigma_{irr} \equiv \sigma_{termalizzazione} + \sigma_{kinetic} + \sigma_{opt} + \dots$$

$$\eta = \eta_C - \frac{k_B T}{\Delta \varepsilon} \left[\left(\frac{T_S}{T} - 1 \right) - \ln \frac{T_S}{T} + \ln \frac{1}{1 - \xi} + \dots \right]$$

$$\xi = \frac{\text{corrente}}{\text{velocita.creazione.coppie}}$$



Rendimento massimo circa 0,3

Analisi di Shockley-Queisser (1961)

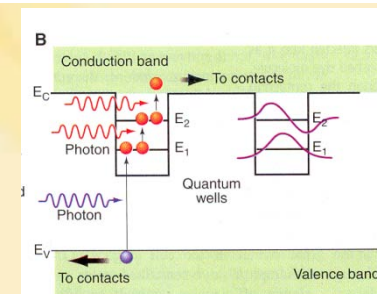
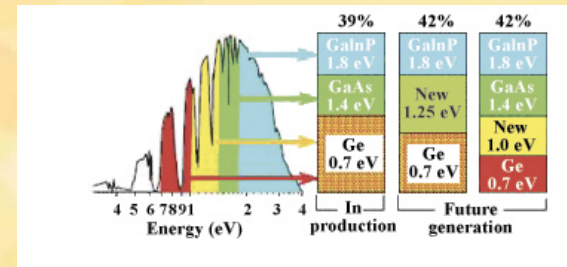
Basata su quattro presupposti:

- 1- è presente una singola giunzione $p-n$
- 2- ciascun fotone crea una sola coppia elettrone-cavità
- 3- le coppie eccitate al di sopra della band gap si rilassano termicamente
- 4- l'illuminazione avviene con radiazioni non concentrate.

Rendimento massimo del 31%

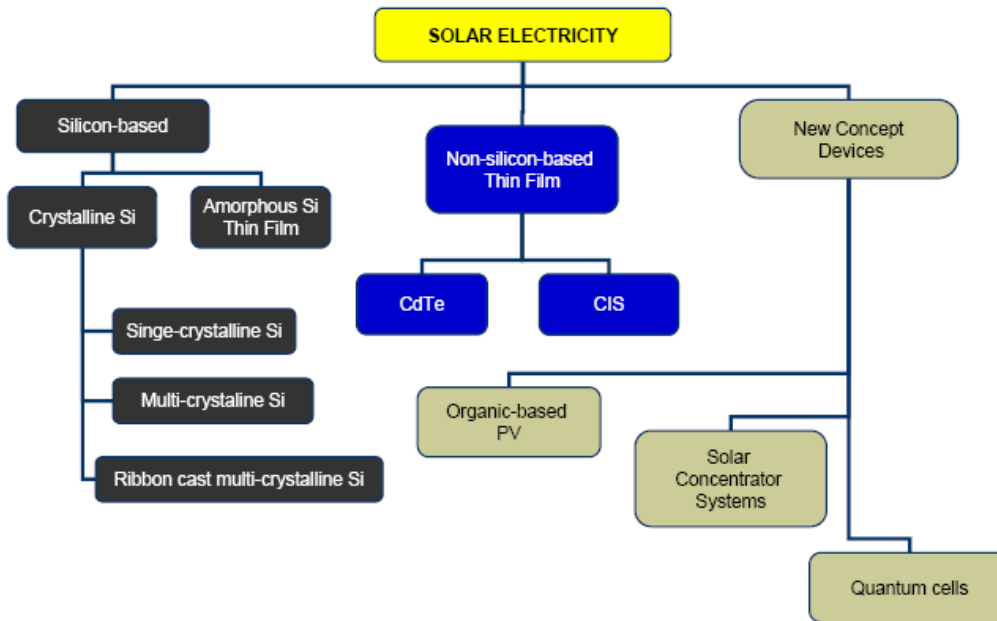
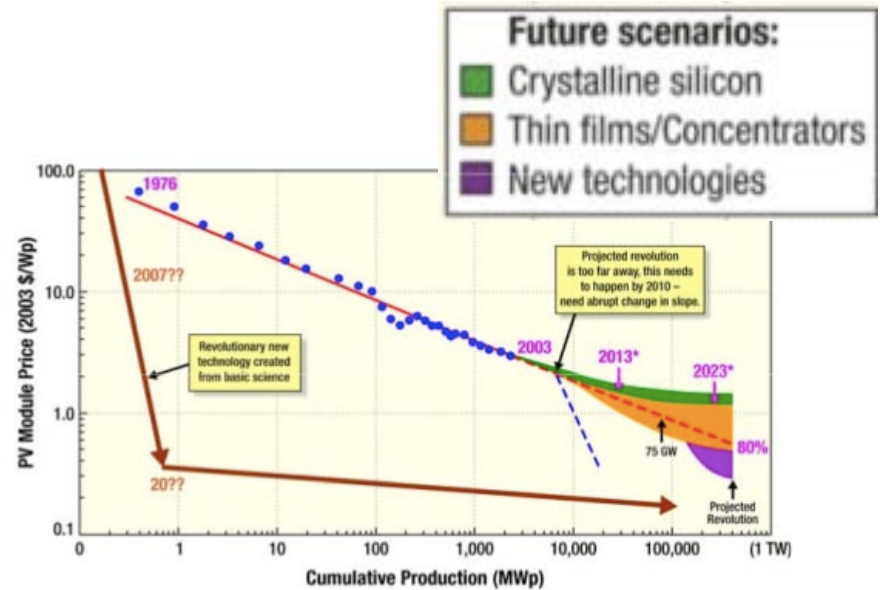
I limiti possono essere superati violando le premesse dell'analisi, costruendo :

- Celle con giunzioni multiple
- Celle con Quantum-Dots

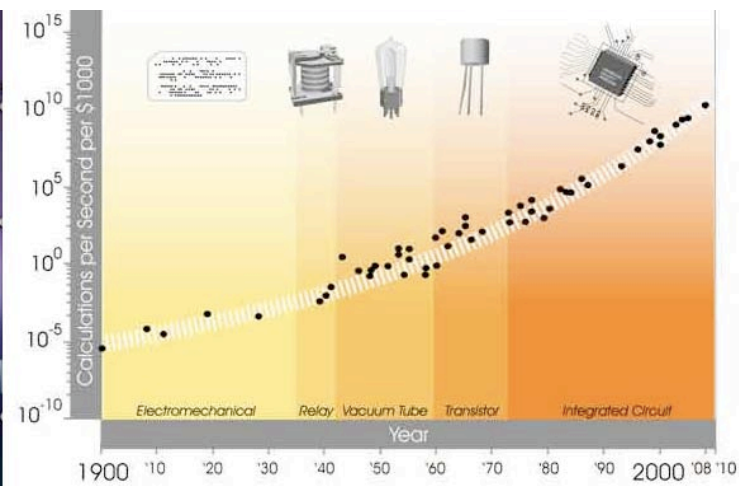


Fotovoltaico attuale= 0,01 TW
 (0,07%, **crescita del 40% circa**)

In base alla curva di apprendimento la produzione di moduli a costo competitivo può essere raggiunta entro 15 anni.



La tecnologia del silicio domina il mercato (93%). Il rendimento è del 13% circa con un fattore di capacità uguale a 0,17.



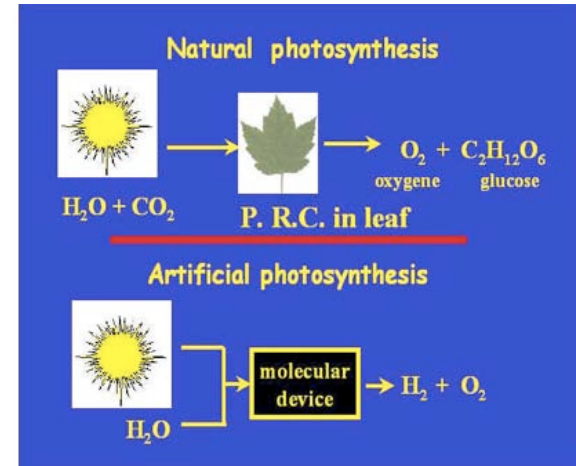
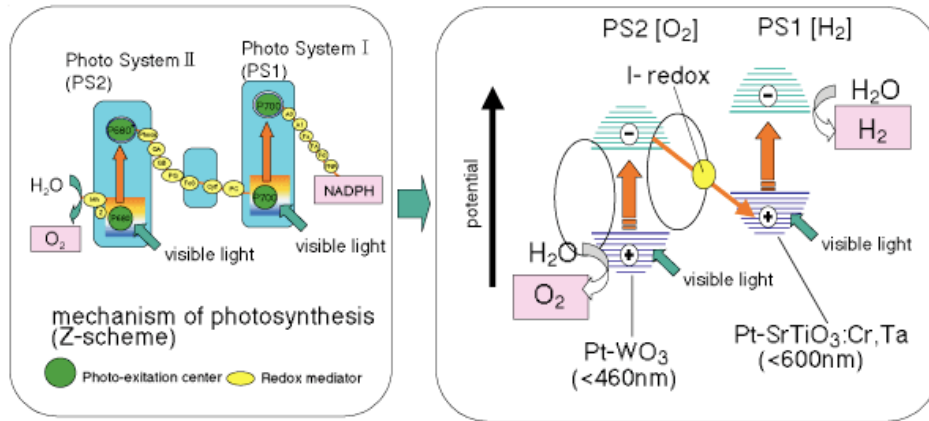
La curva di apprendimento dei pannelli fotovoltaici può essere confrontata con la curva di Moore-Kurzweil sulla evoluzione della potenza computazionale?

- 1-Nei processi informatici l'energia ricopre un ruolo secondario.
- 2-La convergenza con le fonti, fossili e nucleare si riferisce unicamente al loro costo e non include un confronto con le loro prestazioni che implicano la produzione di energia **in modo continuo, in ogni luogo e alla potenza voluta.**

Pertanto il solare potrà diventare competitivo nella produzione di energia primaria solo se disporrà di adeguate infrastrutture.

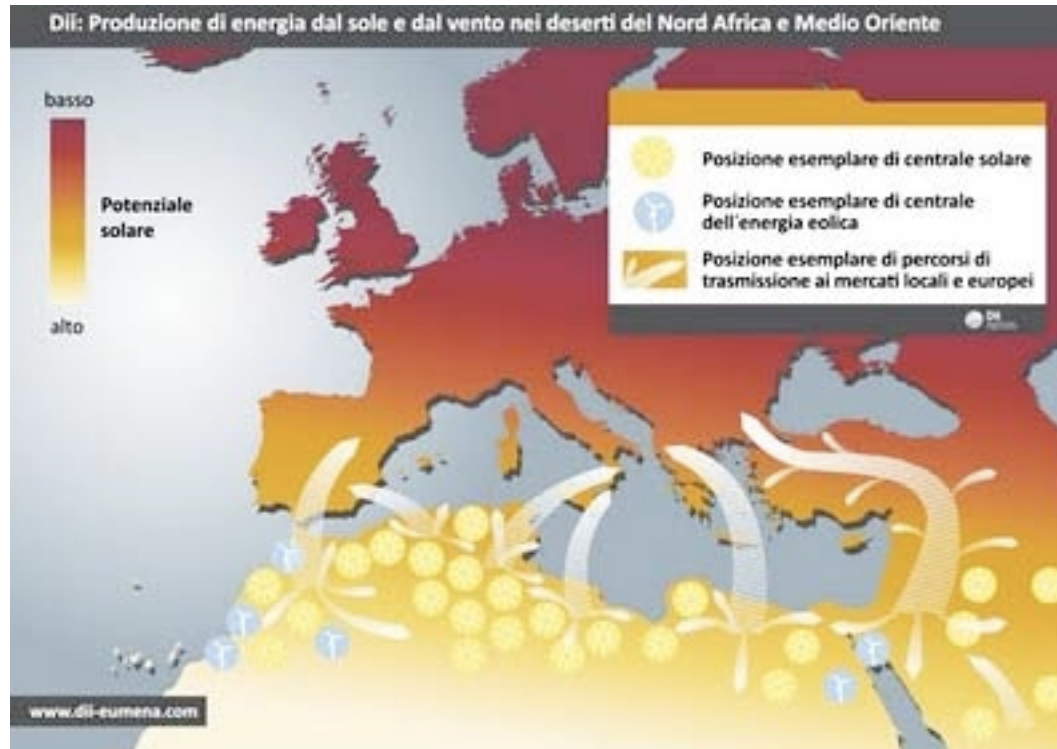
Nuovi concetti

La sfida è volta alla ricerca di tecnologie che costituiscono un ibrido fra la natura e l'industria.



In realtà come e quando queste idee potranno rivoluzionare il business energetico rimane una incognita!

DESERTEC



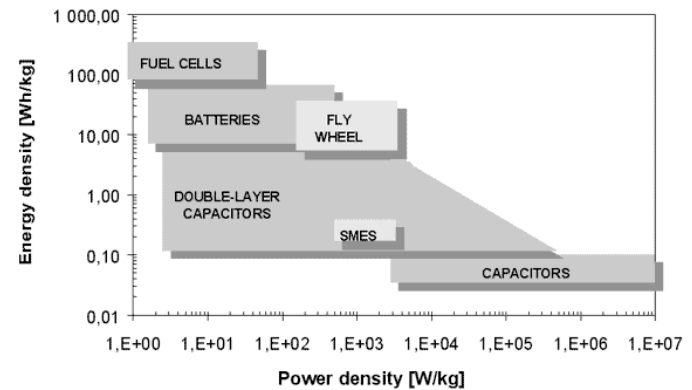
Si tratta del più ambizioso progetto contemplato per la produzione di energia rinnovabile. Pur avendo riscosso interesse, la sua realizzazione appare remota soprattutto dopo gli eventi politici che sono sorti e sono in atto nel nord Africa.



Strozzatura: le fonti eolica e solare, producono energia elettrica che non è immagazzinabile in modo efficace.

Gli attuali sistemi elettrochimici sono inadeguati e troppo costosi per un'economia di scala.

**Densità energetica benzina
11400 Wh/kg**



L'istallazione di **smart grid** intese ad equilibrare le forniture di elettricità in risposta alla stocasticità della produzione e della domanda può contribuire a migliorare la situazione.

Esercizio (riferimento 2025): impedire evoluzioni indesiderate dovute all'accumulo della CO₂

dal diagramma di Socolov, consumo $\approx 18TW$

$$4,1TW \text{ (carbon free)} \approx E_{sol} + E_R + E_{eol} + E_X$$

$$E_{sol} \approx 0,4TW, \text{ dalla learning curve (attuali } \approx 0,09TW)$$

$$E_R \equiv \text{biomasse} + \text{biocarburanti} + \text{idroelettrico} \approx 1,7TW$$

$$E_{eol} \approx 0,8T, \text{ da previsioni ottimistiche (attuale } 0,16)$$



“Though it be honest it is never good to bring bad news” (*Shakespeare*).

$E_X \approx 1,2TW$ **Manca all'appello più di un TW**

AMERICAN

Scientist, may 2011

Vaclav Smil, **Global Energy: The Latest Infatuations**

“Renewable renaissance?”

Unfortunately this has led to exaggerated expectations rather than realistic appraisal.

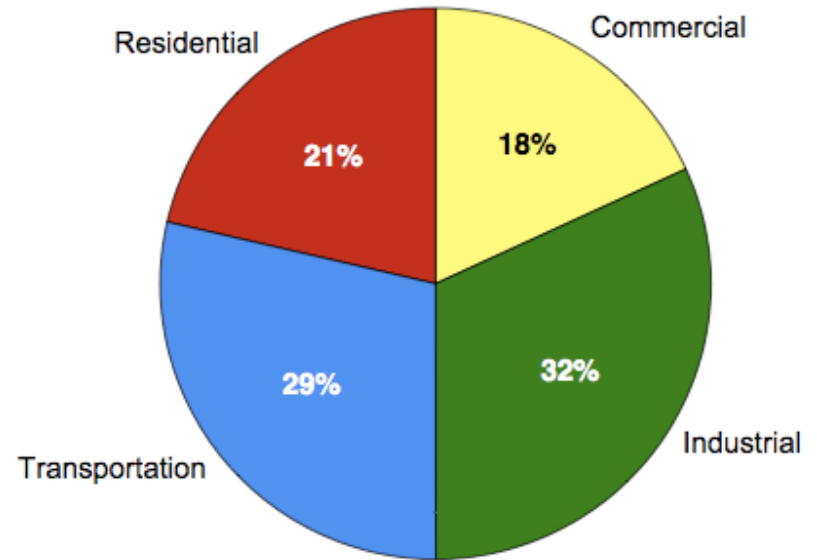
The global shift away from fossil fuels to the scale of the required transformation implies an enormous infrastructural requirements resulting from the inherently low power densities with which we can harvest renewable energy flows and their immutable stochasticity.

The scale of the required transition is immense”.



Gulliver all'Accademia di Lagado

Le emissioni dei trasporti stanno aumentando a livelli tali da impedire al mondo di raggiungere qualunque obiettivo sul limite delle concentrazioni dei gas atmosferici.



AMERICAN
Scientist,
november 2009

Non esiste soluzione alla minaccia climatica senza cambiamenti nei trasporti.

Biocarburanti:

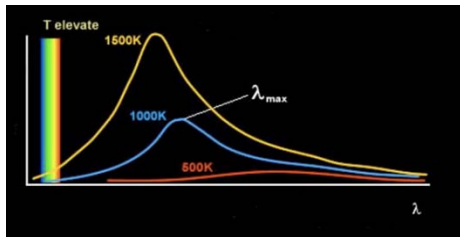
il principale è il **petrolio**, che giace nel sottosuolo, e si vuole sostituirlo con l'**etanolo** ottenuto per fermentazione degli zuccheri .
Con controversie poiché si depauperava la produzione degli alimenti.



L'attenzione è attualmente volta ai polisaccaridi (*cellulosa*) che costituiscono il naturale sostegno delle piante in una quantità che sfiora il 90% (il resto è *lignina*).

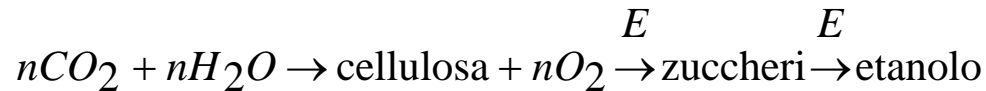
Problema: l'etanolo non costituisce un combustibile ideale perché ha un modesto contenuto energetico ed è corrosivo. Gli alcoli superiori in particolare il butanolo risultano più adeguati anche perché più facilmente separabili dall'acqua.

Approcci alternativi



$T(6000K) \rightarrow T_{ambiente}$,
termalizzazione, $\Delta S > 0$

*Flusso di energia a basso contenuto entropico
catturato dalla fotosintesi*



$E \equiv$ **enzimi batterici**

?

biocarburanti (butanolo)

E' possibile modificare i batteri in modo da renderli in grado di trasformare direttamente la stabile cellulosa?

Sviluppo dei biocarburanti

Prima fase (fino al 2007): basata sulla fermentazione delle colture zuccherine (canna, mais, frumento) attraverso l'impiego di microrganismi. La sua intensificazione sta depauperando le riserve naturali compromettendo la produzione di cibo.

Seconda fase (dal 2007): impiego di raccolti dedicati all'energia quali biomasse di scarico con particolare attenzione verso le masse cellulosiche.

Terza fase: impiego della cellulosa fruendo di batteri ingegnerizzati ottenuti mediante la **metabolic engineering**. Gli sviluppi in atto hanno prospettive rivoluzionarie, non solo per l'energia ma per l'intera chimica (**bio-economics**).

Batteri ingegnerizzati BI

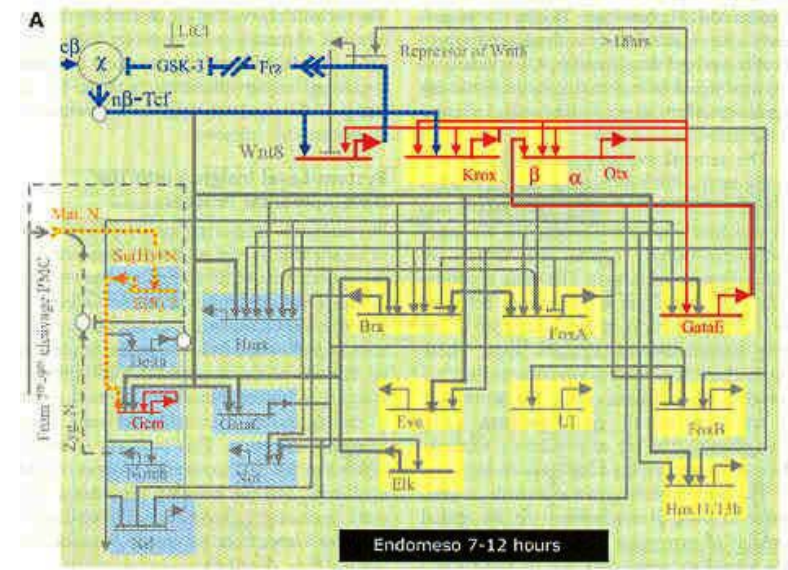
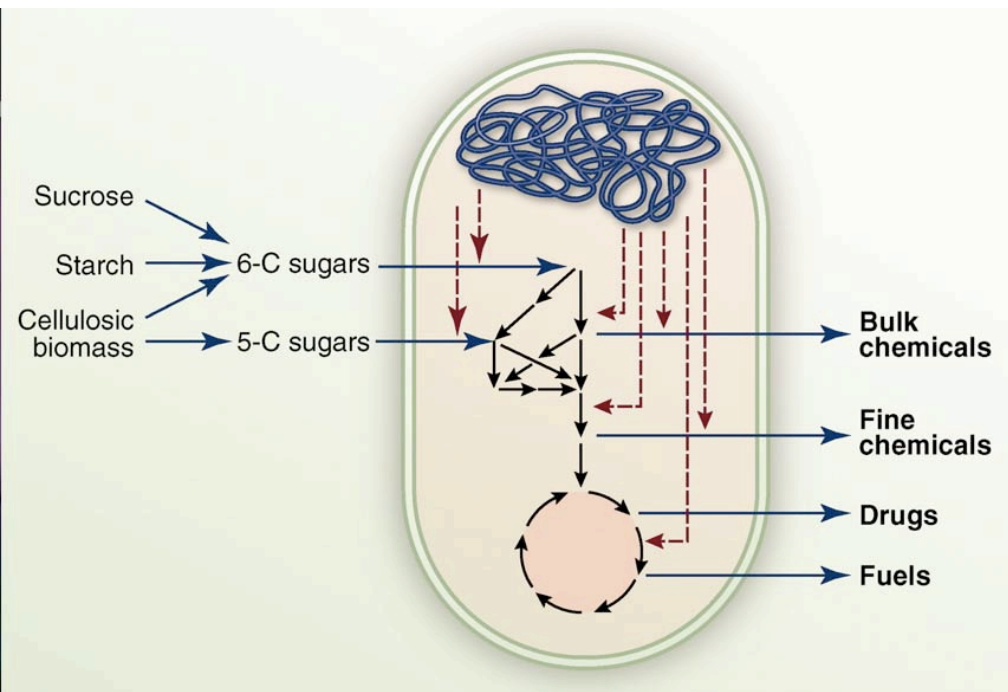
Sole → *cellulosa* → *zuccheri* → *combustibili*
piante *enzimi* *microbi*

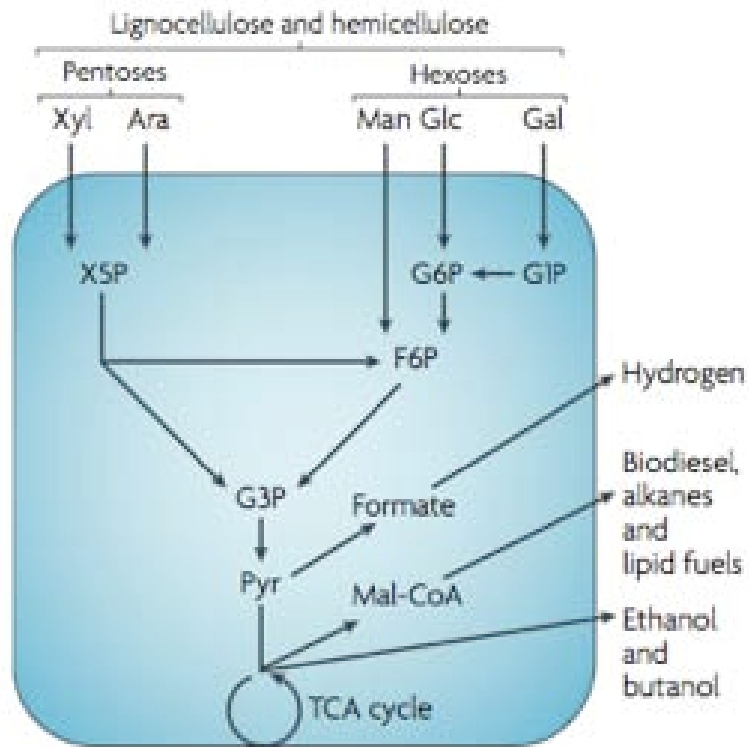


Vantaggi del processo consolidato:

- Produrre combustibili diversi dall'etanolo a prezzi più bassi del petrolio su una scala di miliardi di galloni all'anno (*Technology, Review june 2007*).

Gene Network Regulatory (GNR): L'attività naturale delle cellule è controllata da circuiti di geni analoghi ai circuiti elettronici. Pertanto modificandoli attraverso interruttori *on=off*, si possono alterare gli schemi di attività delle cellule costringendole a fabbricare nuovi prodotti.





I carboidrati con 5, 6 atomi di carbonio presenti nella ligninocellulosa sono convertiti nella forma fosforilata e successivamente trasformati in:

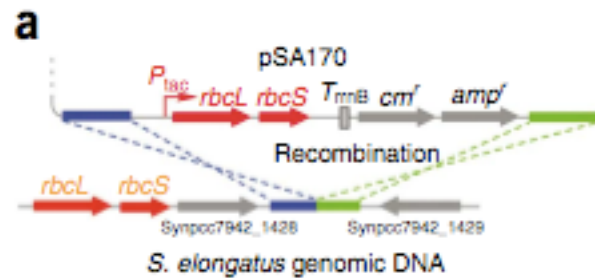
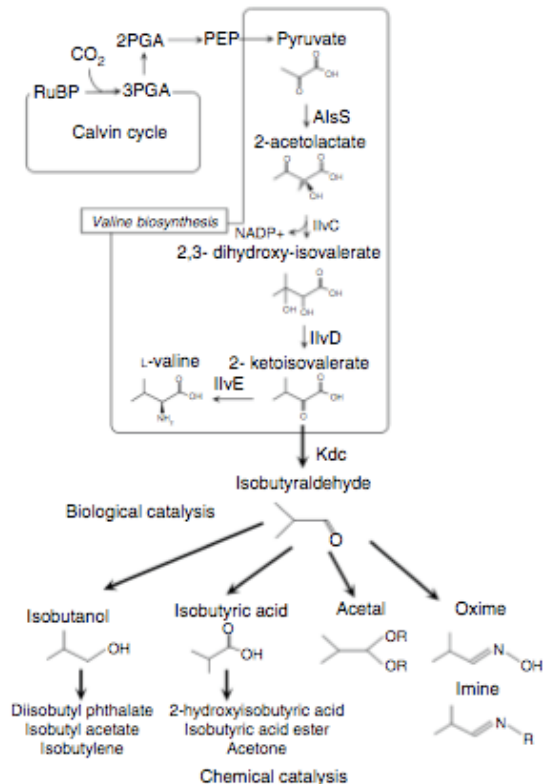
-gliceraldeide-3-fosfato

-piruviato

-formiato

Successivamente possono produrre diversi tipi di carboidrati.

Liao, nature biotechnology, 2009



b

Strain	Activity (nmol min ⁻¹ mg ⁻¹) Rubisco
SA590	15.5 ± 1.5
SA665	21.3 ± 2.9

18/04/2011

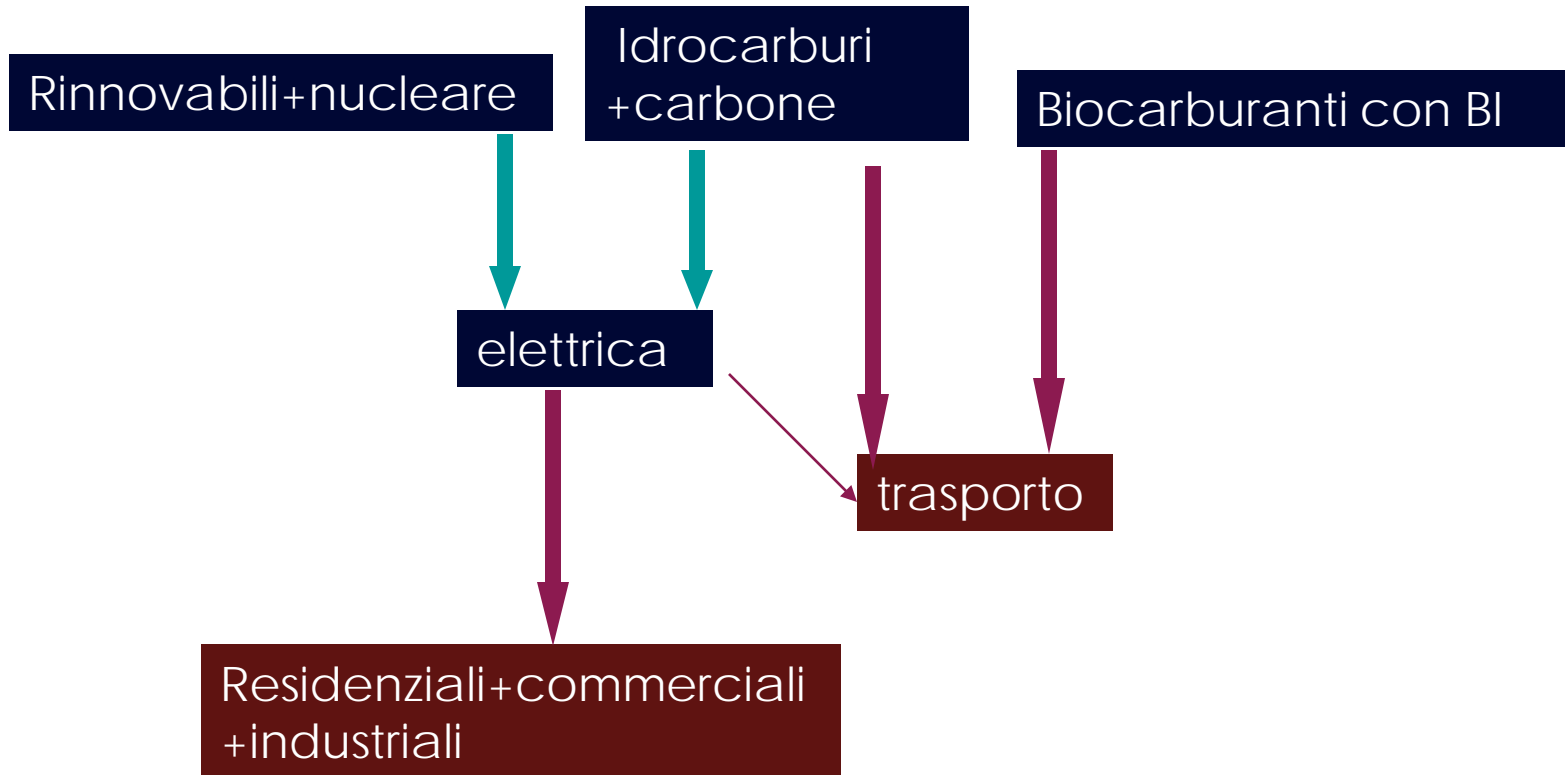
technology
review
Published by MIT

Liao's demonstration of direct cellulose-to-butanol conversion could bring down the cost of cellulosic biofuels, which is currently prohibitively high. His protein-based process provides the biofuels field with entirely novel feedstock options.

Liao's demonstration of genetically engineered *E. coli* that can turn protein into isobutanol also provides a potential alternative to biomass feedstocks: fast-growing photosynthetic algae. Current R&D projects developing algae-based biofuels seek to convert algal-produced fats, which make up about a quarter of algal mass.

Prospettiva

Si producono combustibili compatibili con l'ambiente che non alterano la struttura del sistema del trasporto.



Conclusioni

- 1- Esistono rassicuranti risorse di combustibili fossili , anche se su di essi pende la spada di Damocle del picco di Hubbert.
- 2- Malgrado le incertezze sull'entità del riscaldamento globale è necessario esercitare una continua attenzione per impedire evoluzioni indesiderate.
- 3- Una rapida transizione verso l'affermazione delle fonti eolica e solare ad una scala competitiva con quella della produzione di energia mondiale appare improbabile.
- 4- La fonte nucleare, che secondo le previsioni avrebbe dovuto avvicinare le fossili entro la fine del secolo scorso, pur con una programmazione incerta, potrebbe costituire nel futuro una componente essenziale del mixing energetico.
- 5- Le ricerche in corso sulle energie rinnovabili non sembrano prospettare a breve tempo vantaggiosi *step-changes* applicativi, mentre nuove e promettenti prospettive stanno emergendo nel settore della **metabolic engineering**.