


**FERMENTAZIONE ALCOLICA  
E DISTILLAZIONE:  
CENNI PRELIMINARI PER  
L'OTTENIMENTO DI ALCOOL  
COMBUSTIBILE**

La **fermentazione alcolica** è una forma di catabolismo energetico (fase demolitiva del metabolismo a carico di molecole complesse come proteine, zuccheri e acidi grassi) operata da di alcuni lieviti in assenza di ossigeno (condizioni anaerobie).

Essa è responsabile di diversi fenomeni che osservabili con l'esperienza di ogni giorno, come la lievitazione del pane o la trasformazione del mosto in vino. Essa è operata da una particolare classe di microrganismi, i *Saccharomyces*, dei quali il più comune è senz'altro il *S. cerevisiae*, presente sulla buccia dell'uva come nel lievito di birra.



# CHIMICA DELLA FERMENTAZIONE

La formazione di alcoli per mezzo di processi fermentativi può essere suddivisa in due fasi:

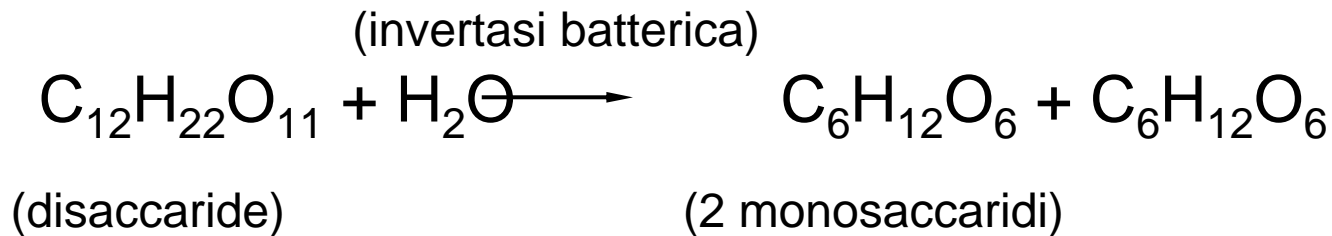
1) I lieviti scindono gli zuccheri complessi ed i carboidrati in molecole di zuccheri semplici (monosaccaridi, come fruttosio e glucosio);

2) I lieviti utilizzano i monosaccaridi come “nutrimento”, e rilasciano come prodotti di scarto (catabolismo) etanolo (EtOH) e anidride carbonica (CO<sub>2</sub>).

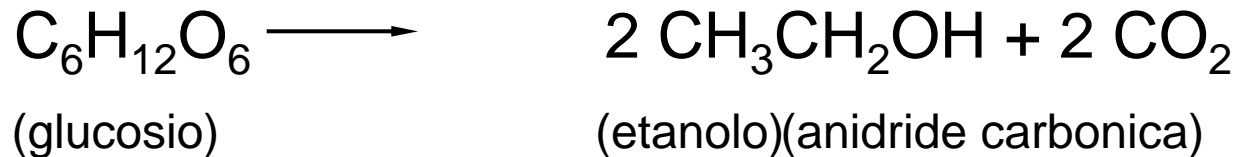


# IN PARTICOLARE....

La reazione che caratterizza la prima fase è la seguente:



Nella seconda fase, all'interno del citoplasma anaerobico dei lieviti:



secondo la reazione descritta dal chimico francese Gay-Lussac (Saint-Léonard-de-Noblat, 6 dicembre 1778 – Parigi, 10 maggio 1850).

# Impiego di alcool di origine vegetale come carburante

L'etanolo, ottenuto tramite processi fermentativi, è stato impiegato come carburante nei motori a scoppio già da Henry Ford ed in Italia fino al 1930.

A differenza della benzina e del gasolio, che si ottengono per distillazione selettiva a partire dal petrolio, l'etanolo può essere ottenuto per semplice fermentazione a partire da qualsiasi materiale contenente carboidrati (zuccheri semplici, complessi, amido e cellulosa), secondo le reazioni descritte in precedenza.



## Vantaggi dell'impiego di alcool vegetale vs petrolio:

1. La  $\text{CO}_2$  liberata dalla produzione dell'alcool vegetale è quella che le piante avevano sottratto dall'atmosfera per sintetizzare i carboidrati: l'impatto sull'effetto serra, da un punto di vista di bilancio chimico, è quindi nullo; Consideriamo il ciclo più breve possibile; la "fabbricazione" per fotosintesi dei carboidrati, la cui composizione schematizziamo in  $[\text{CH}_2\text{O}]$  richiede 44 kg di anidride carbonica per 30 kg di "biomassa". Dalla fermentazione di 180 kg di biomassa  $[6 \text{ CH}_2\text{O}]$  (che hanno richiesto  $6 \times 44 = 264$  kg di  $\text{CO}_2$ ), si ottengono 96 kg di alcool etilico e 88 kg di anidride carbonica (sottoprodotto della fermentazione). Quando i 96 kg di alcool etilico vengono bruciati per produrre energia nel motore, si liberano 186 kg di anidride carbonica. Le fasi di produzione e combustione dell'alcool etilico comportano, quindi, l'immissione nell'atmosfera di  $88 + 186$ , cioè 264 kg di  $\text{CO}_2$ , esattamente la stessa quantità ( $6 \times 44$ ) che era stata sottratta dall'atmosfera nel ciclo di produzione fotosintetica della biomassa. Questo autorizza a dire che l'uso dell'alcool carburante (ma lo stesso discorso vale anche per qualsiasi altro combustibile derivato dalla biomassa) permette di ottenere energia senza far aumentare la concentrazione dell'anidride carbonica nell'atmosfera e senza contribuire all'effetto serra.



2. I sottoprodotti della combustione dell'etanolo (acqua e CO<sub>2</sub>) sono largamente meno tossici delle strutture aromatiche, diossine, e composti organici volatili, prodotti dalla combustione del petrolio;

3. L'etanolo possiede un elevato numero di ottano: il suo impiego come combustibile eviterebbe l'utilizzo di additivi antidetonanti nocivi;



## Critiche all'impiego di alcool vegetale vs petrolio:

1. Gli effetti ecologici di colture intensive (ad es. di mais o canna da zucchero) per ottenere alcool carburante potrebbero essere devastanti, in termini di impoverimento dei terreni, erosione dei suoli, impiego di pesticidi, antiparassitari e OGM;

2. Le materie prime per l'ottenimento di alcool carburante pongono problemi di carattere etico: il "pieno" di carburante di un SUV equivarrebbe – ha calcolato l'ecologo Lester Brown – ad una quantità di materie prime agricole con le quali si potrebbe sfamare per un anno una persona;

3. Nel caso della sostituzione della benzina con alcool carburante, se si ricorre a coltivazioni di mais con una resa di circa 2 tonnellate/ettaro, occorrerebbe coltivare 10 milioni di ettari (sui 30 milioni di ettari della superficie italiana) per ottenere circa 10 milioni di tonnellate di mais da trasformare in tutto l'alcol necessario per sostituire la richiesta di benzina (nel 2006 13 milioni di tonnellate all'anno, anche se in continua diminuzione, per la sostituzione con gasolio diesel). A tale consumo va aggiunto il consumo di gasolio (nel 2006 28 milioni di tonnellate). Considerando che la produzione italiana di mais è di circa un milione di tonnellate all'anno, (circa 0,12 milioni di tonnellate all'anno di importazione), il mais aggiuntivo per la produzione di alcool carburante comporterebbe un forte aumento delle importazioni. Inoltre la tendenza al crescente uso di alcool carburante farebbe aumentare i prezzi internazionali del mais e di altri cereali.



## Possibili alternative

In considerazione dell'impatto ambientale descritto risulta ragionevole pensare di introdurre l'impiego di alcool come combustibile integrativo partendo da materiale reflui dei processi agronomici, e non da produzioni intensive appositamente destinate. Il futuro dell'alcol carburante è possibile soltanto partendo da un accurato inventario dei sottoprodotti agricoli che attualmente sono inutilizzati o vanno ad alimentare il ciclo dei rifiuti e che potrebbero fornire materie fermentescibili, comprese le eccedenze invendute di uva e di vino, oppure materiali lignocellulosici come residui di legno, sottoprodotti agricoli, o frazioni della carta straccia (cellulosa priva di lignina).

La stechiometria delle reazioni ci dice che è possibile ottenere 2 molecole di etanolo partendo da una molecola di glucosio. Nella realtà, considerando la resa delle reazioni, è mediamente possibile ottenere 1 Kg di alcool partendo da 2 Kg di carboidrati. La quantità di carboidrati contenuta nel materiale vegetale di partenza è quindi uno *step* fondamentale per prevedere la resa finale in etanolo.



# I biocarburanti: le materie prime

Le materie prime per la produzione di etanolo possono essere:

1. Residui di coltivazioni
2. Residui di coltivazione forestale
3. Eccedenze agricole temporanee ed occasionali
4. Residui di lavorazione dell'industria agraria ed agro-alimentare
5. Borlande di distilleria (sottoprodotti della distillazione dei cereali)
6. Rifiuti urbani



Tra le materie prime di origine agricola le più diffuse sono:

Canna da zucchero: resa in EtOH per ettaro 7 tonnellate

Mais: resa in EtOH per ettaro 3 tonnellate

Barbabietola: resa in EtOH per ettaro 4 tonnellate

Patate: : resa in EtOH per ettaro 3 tonnellate



# FERMENTAZIONE E DISTILLAZIONE: CENNI PRATICI

Lo schema produttivo per l'ottenimento di distillati può essere così schematicamente riassunto:

## ***Materiale vegetale - fermentazione – areazione della massa - distillazione***

*Materiale vegetale:* vengono utilizzati cereali, uva, vino ,canna da zucchero, frutti, miele, ecc, preventivamente sminuzzati e posti in fermentatori o tini a temperatura controllata (20-22 °C).

*Fermentazione:* il mosto viene poi fatto fermentare attraverso l'utilizzo di i) fermentazione spontanea (lieviti anaerobici presenti sulla superficie dei vegetali; ii) lieviti selezionati (*Saccharomyces Cerevisiae* e *Saccharomyces Bayanus*); iii) attivanti e coadiuvanti la fermentazione (ad es. Nutriferm start Enartis, complesso a base di ammonio fosfato bibasico, cellulosa e tiamina. Stimola la propagazione dei lieviti e favorisce un rapido avvio della fermentazione alcolica). L'avvio della fase fermentativa può essere visualizzato empiricamente attraverso la "ribollitura" formazione di bolle (anidride carbonica) all'interno del mosto.

*NB:* è importante mantenere controllato il pH del fermentato. In generale esso va contenuto entro  $3.3 < \text{pH} < 4$ .

Ciascun ceppo di lieviti però ha le sue peculiarità specifiche

*Areazione della massa:* l'ossigenazione della massa è utile per permettere la sopravvivenza dei lieviti, e viene eseguita per follatura o rimontaggio. La follatura è l'operazione manuale di rottura del "cappello" del fermentato, un rimestamento giornaliero che permette l'ossigenazione dei lieviti. Con rimontaggio si intende invece un sistema meccanico di pompe che crea un ricircolo del mosto dal basso verso l'alto, con la finalità di uniformare e omogeneizzare la massa fermentante.

*Distillazione:* terminata la fase fermentativa (fine della ribollitura), il fermentato può essere filtrato e la fase liquida sottoposta a distillazione.

la distillazione è un procedimento di separazione di liquidi tra loro miscibili (acqua e alcoli), in base alle loro caratteristiche fisiche, come la temperatura di ebollizione.



Ciascun componente della miscela possiede una sua temperatura di ebollizione (passaggio dalla fase liquida a quella vapore). Controllando la temperatura di una caldaia, attraverso un termometro, è possibile distillare (separare) selettivamente gli alcoli in base al loro punto di ebollizione:

Metanolo: 64.7 °C

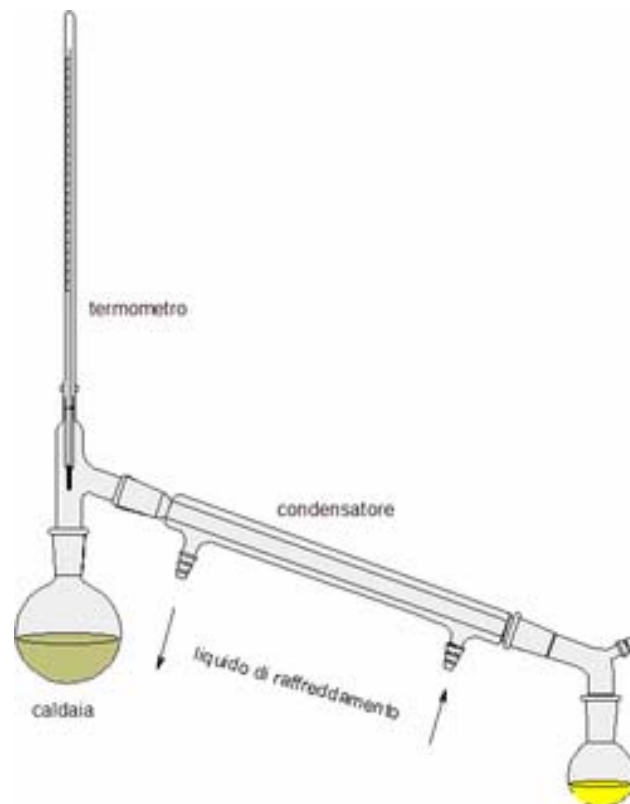
Etanolo: 78.4 °C

Isopropanolo: 82.5 °C

Propanolo: 97-98 °C

Acqua: 100 °C

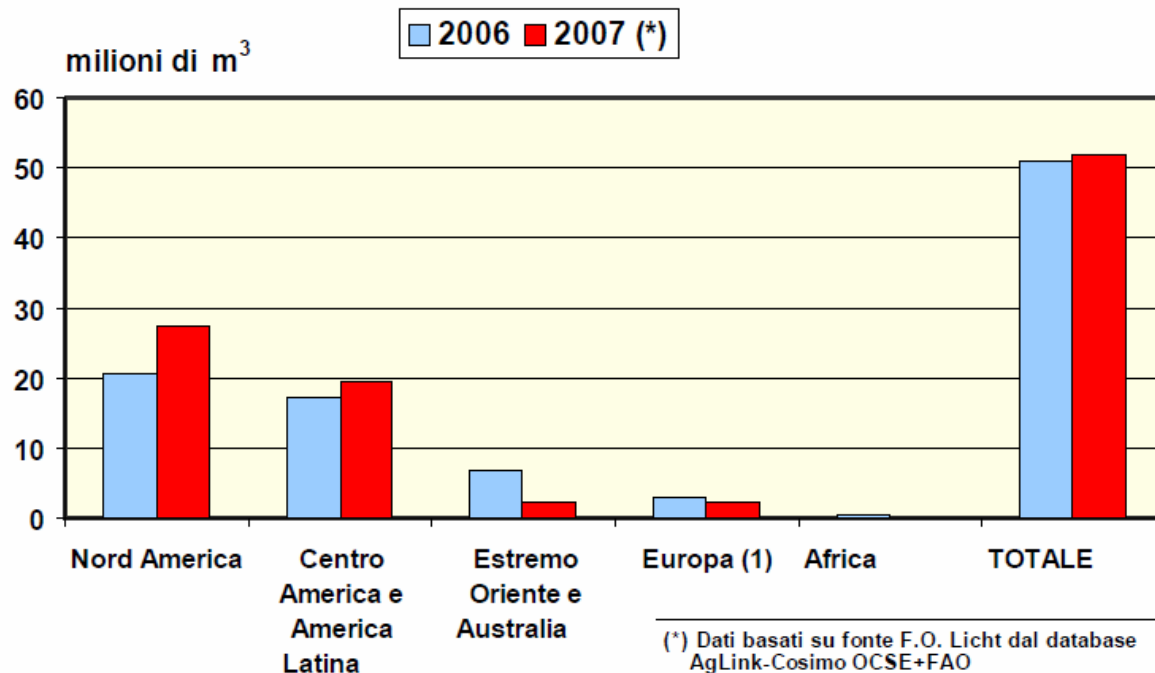
Butanolo: 118 °C



# PER CONCLUDERE: IL BIOETANOLO

**APPLICATO\***  
Il bioetanolo, così come definito dalla Direttiva 2003/30/CE [5] emessa per incentivare i paesi membri dell'Unione all'impiego dei biocombustibili nel settore trasporti, è "l'etanolo ricavato dalla biomassa e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti destinato a essere usato come biocarburante"

## PRODUZIONE MONDIALE DI BIOETANOLO



FONTI: Statistiche economiche energetiche e petrolifere - UP nov 2008

(\*) Dati basati su fonte F.O. Licht dal database AgLink-Cosimo OCSE+FAO  
(1) Dati provvisori per il dettaglio dei paesi nel 2007

Fonte: F.O. Licht

Il bioetanolo può essere utilizzato nei motori a combustione interna in differenti modi:

1. anidro per essere miscelato con la benzina dal 5% all'85% in volume. Miscele con concentrazione di etanolo fino al 5% in volume possono essere utilizzate senza apportare modifiche al motore (completa inter-cambiabilità), mentre percentuali maggiori possono richiederne specifici adattamenti;
2. idrato (95% in volume), utilizzato come sostituto integrale della benzina in autoveicoli con motore opportunamente adattato;
3. sotto forma di etere (ETBE) da miscelare nella benzina;
4. in emulsione o in soluzione stabile con gasolio a concentrazioni intorno al 15% in volume.





Confronto tra la proprietà del bioetanolo e della benzina

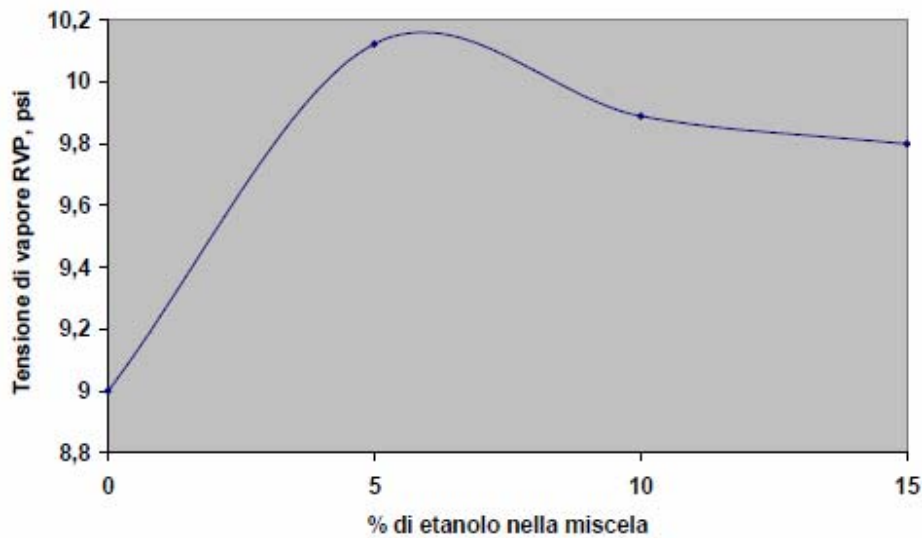
<b>Caratteristica</b>	<i>u.m.</i>	<b>ETANOLO</b>	<b>BENZINA</b>
Formula molecolare		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	-
Massa molecolare	g/mol	46,07	102,5
Densità	kg/m <sup>3</sup>	794	735-760
Temperatura di ebollizione /intervallo di distillazione	°C	78,4	30-190
Calore latente di vaporizzazione	kJ/kg	854	289
PCI in massa	kJ/kg	26800	42690
PCI volumetrico	kJ/l	21285	32020
Rapporto stechiometrico	-	8,95	14,7
Numero di ottano Research		120	95
Numero di ottano Motor		99	85



Effetti determinati dall'aggiunta di etanolo nella benzina  
sulle proprietà della miscela risultante

PROPRIETA'	EFFETTI OSSERVATI
Volatilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento della volatilità della miscela specialmente se la concentrazione è relativamente bassa (1 - 10 % in volume)</li> <li>• Incremento delle emissioni evaporative</li> </ul>
Proprietà indetonanti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del numero di ottano (N.O.) sensibile con la concentrazione</li> <li>• L'effetto è più marcato per il N.O. Research che per il N.O. Motor</li> </ul>
Caratteristiche energetiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del consumo di combustibile</li> <li>• L'elevato calore latente di evaporazione dell'etanolo consente un miglioramento dell'efficienza del propulsore per un maggiore riempimento dei cilindri del motore</li> </ul>
Caratteristiche igroscopiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibile separazione di fase durante lo stoccaggio e il trasporto della miscela bioetanolo / benzina</li> <li>• Potenziali effetti di corrosione delle parti metalliche a contatto col combustibile</li> </ul>
Compatibilità con i materiali	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenziale deterioramento di elementi del motore costruiti con materiali polimerici per azione solvente e/o ossidante</li> <li>• Problemi di corrosione di elementi metallici a contatto con la miscela</li> </ul>





Effetto della concentrazione di etanolo nella benzina sulla tensione di vapore

Effetti della volatilità delle miscele alcool/benzina sul comportamento dell'autoveicolo

<b><i>Volatilità troppo bassa</i></b>	<b><i>Volatilità troppo elevata</i></b>
Avviamento a freddo del motore irregolare	Elevate emissioni evaporative
Scarsa guidabilità in clima freddo	Problemi nella guidabilità in climi caldi ( <i>vapor-lock</i> )
distribuzione Irregolare del combustibile nel motore	Incremento del consumo di combustibile
Incremento della formazione di depositi sugli iniettori e di altri elementi a contatto col combustibile	



## Il motore Flex

La tecnologia flex è stata studiata negli anni novanta dalla Magneti Marelli per consentire, ai motori che la utilizzano, di rilevare in tempo reale qual è la percentuale di bioetanolo all'interno della miscela etanolo-benzina. In base alle informazioni rilevate, la centralina corregge la carburazione secondo i valori mappati per favorire la combustione.

In Brasile, le auto vendute nel 2005 con motore flex hanno superato le tradizionali auto a benzina grazie al risparmio garantito dall'alcool: mediamente il costo della benzina al distributore è doppio rispetto a quello dell'alcool.

Nel maggio 2003 la Volkswagen iniziò a commercializzare le prime auto con Motore flex e solo due mesi dopo la Chevrolet mise sul mercato un suo modello concorrente. In seguito tutti i marchi che vendono automobili in Brasile hanno dovuto proporre motorizzazioni di questo tipo. In Europa, al momento della sua immissione sul mercato, la Ford Taurus con motore Flex era commercializzata solo in Svezia. Nel 2005 anche Saab e Volvo hanno commercializzato modelli con motore Flex.



# La legislazione europea

La nuova direttiva “Combustibili” 2009/30/CE prevede un limite massimo del 10% in volume di etanolo. Per questo motivo la norma di qualità della benzina è attualmente in corso di revisione, anche per tenere conto dell’impatto sulla volatilità della miscela e degli eventuali problemi di compatibilità con i materiali dei motori. La direttiva prescrive inoltre che, almeno fino al 2013, venga commercializzata in Europa anche una benzina con contenuto massimo di etanolo del 5% in volume, per assicurare la protezione degli autoveicoli in circolazione non compatibili.

Diversamente, negli USA viene distribuita già da tempo una miscela E10 (10% in volume etanolo, 90% benzina), mentre in Svezia viene distribuita una miscela costituita da 85% in volume di etanolo in benzina (E85) impiegabile in autoveicoli “autoadattanti” di modello recente (Flexible Fuel Vehicles = FFV), già prodotti da alcuni Costruttori .

