

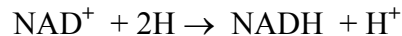
DALL'UVA AL VINO: LE FERMENTAZIONI

- **FERMENTAZIONE ALCOOLICA**
- **FERMENTAZIONE GLICEROPIRUVICA**
- **FERMENTAZIONE MALOLATTICA**
- **ALTRE FERMENTAZIONI SECONDARIE**

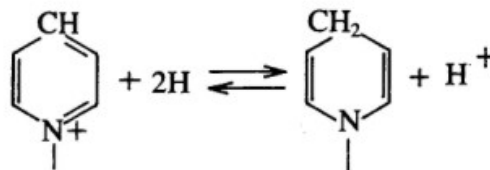
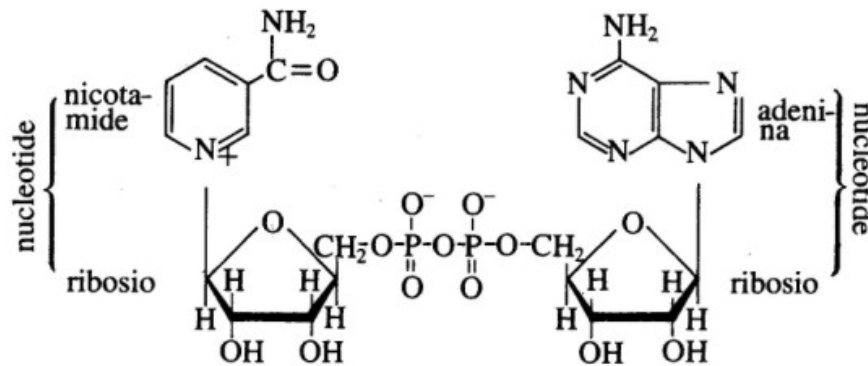
Come abbiamo visto precedentemente, durante la vinificazione avvengono una serie di reazioni chimiche tra le quali sono molto importanti le fermentazioni alcolica, gliceropiruvica e malolattica

Nel meccanismo delle fermentazioni hanno un ruolo fondamentale quattro coenzimi.

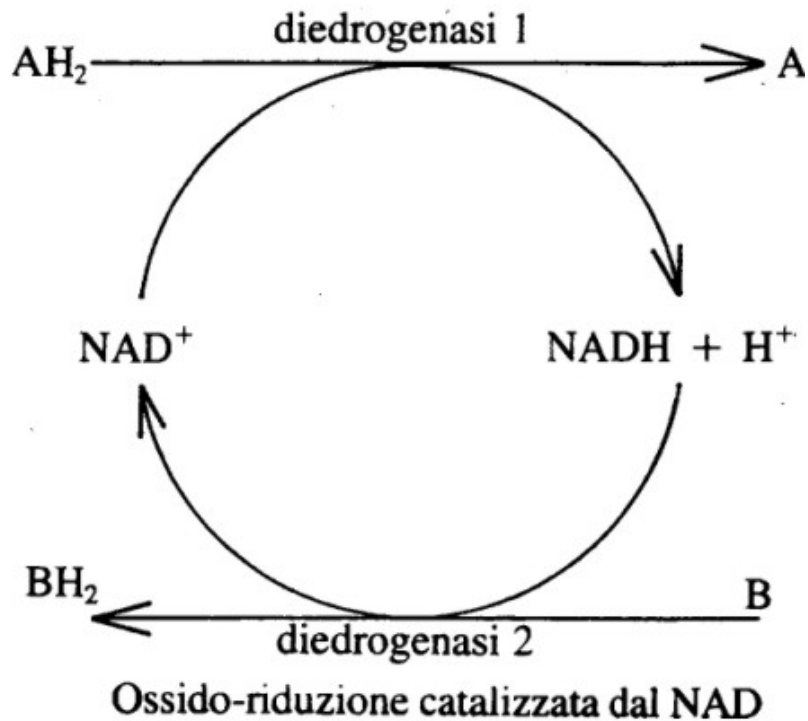
Il NAD^+ o nicotinamideadeninucleotide può fissare reversibilmente due atomi di idrogeno secondo questa reazione:



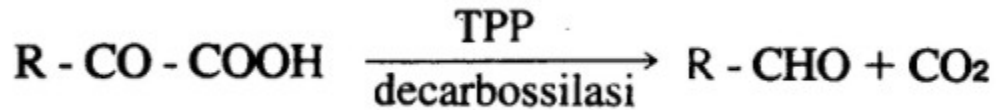
Il coenzima risulta dall'unione di un nucleotide formato da ribosio e adenina con il nucleotide formato da ribosio e nicotinamide.



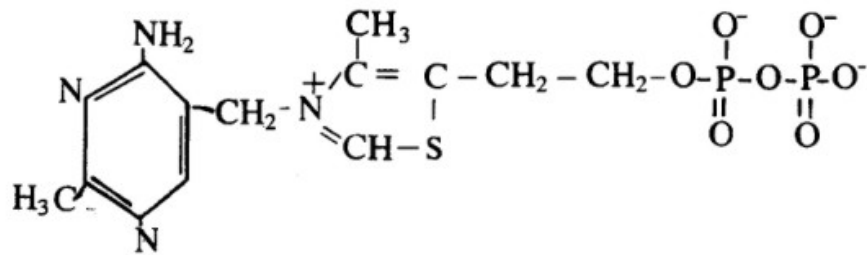
Il meccanismo di ossido-riduzione che avviene a livello del nucleo piridico è il seguente:



Un altro importante coenzima è la cocarbossilasi o tiaminapiridossilfosfato (TPP), che interviene nella decarbossilazione degli acidi chetonici secondo lo schema:



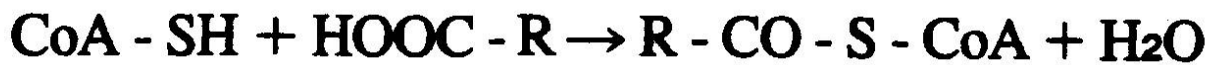
Il TPP è l'etere pirofosforico della tiamina o vitamina B1



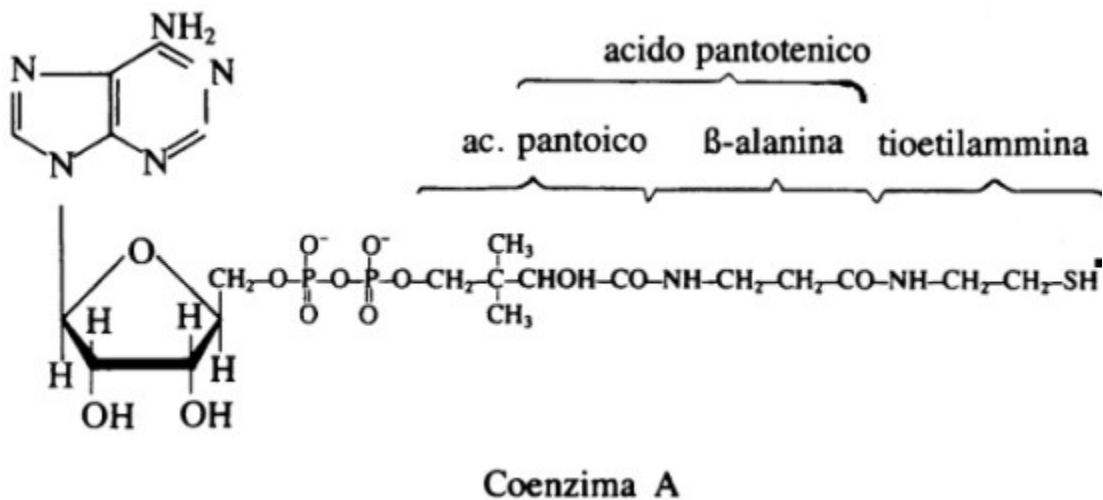
Tiaminapiridossilfosfato o TPP

Gli altri due coenzimi sono l'**ATP** (adenosintrifosfato) e l'**ADP** (adenosindifosfato) che hanno un ruolo molto importante nel trasferimento di energia; dal punto di vista strutturale essi si differenziano per una molecola di acido fosforico. La rottura del legame che unisce la molecola terminale di fosfato, porta alla formazione di adenosindifosfato e acido fosforico e determina la liberazione di energia. Semplificando il processo, possiamo dire che queste reazioni chimiche sono esoenergetiche ovvero capaci di liberare energia.

Un'altra importante molecola è rappresentata dal **coenzima A** (CoA-SH); che reagisce con gli acidi formando un tioestere molto reattivo che consente di fissare su un'altra molecola il radicale acilico R-CO-:



Il coenzima A viene rappresentato con la seguente formula:



LA PRIMA TAPPA DELLA FERMENTAZIONE: la glicolisi

In un primo momento (8-10 ore) i lieviti del mosto utilizzano, in presenza dell'ossigeno atmosferico, il glucosio per crescere e riprodursi.

Inizia poi la **glicolisi**, ovvero quell'insieme di reazioni che permettono alle cellule viventi di trasformare gli zuccheri con 6 C (fruttosio e glucosio) in acido piruvico. Queste reazioni possono avvenire sia in aerobiosi.(respirazione) sia in anaerobiosi (fermentazione alcolica e lattica).

Il primo passaggio della glicolisi è un processo di fosforilazione e di isomerizzazione del glucosio che, con l'intervento di due molecole di ATP, porta alla formazione del fruttosio-1,6-difosfato con un consumo di energia relativo al passaggio di due ATP a due ADP.

La molecola di fruttosio-1,6-difosfato si spezza in due molecole di triosi in equilibrio tra loro: diossiacetonfosfato e gliceraldeide-3-fosfato.

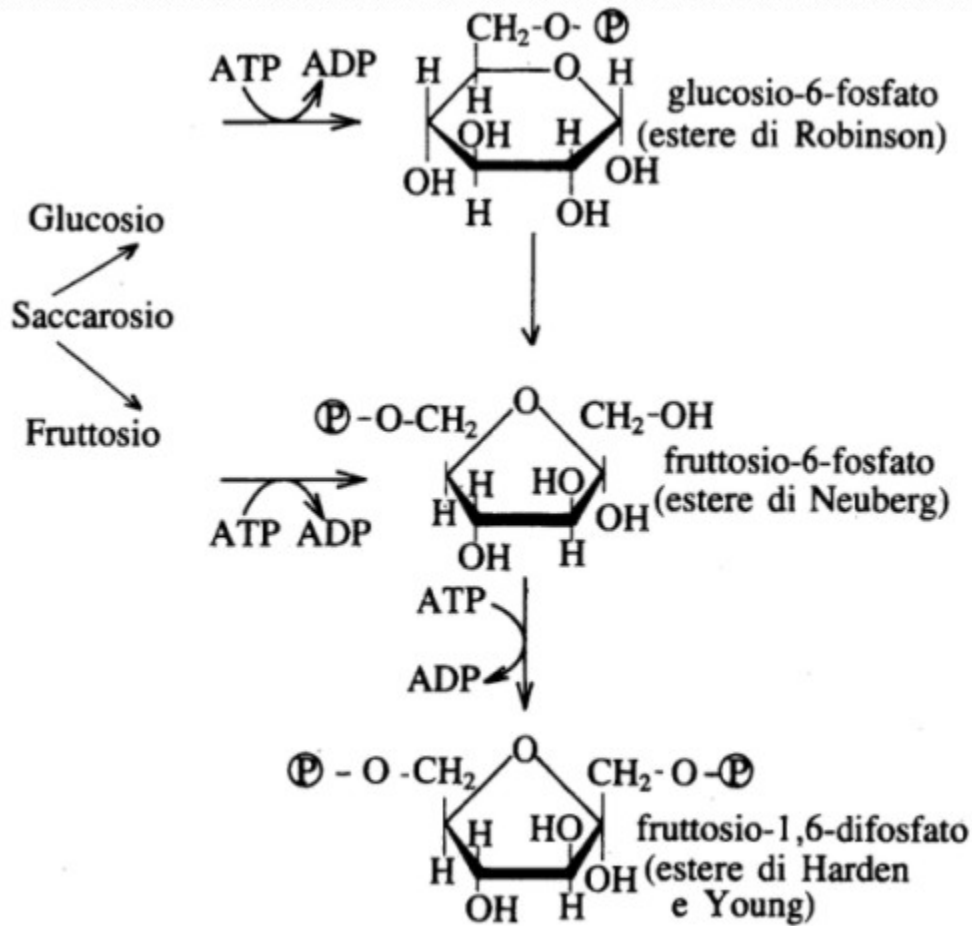
L'equilibrio è spostato verso il diossiacetonfosfato che rappresenta il 96,5%, mentre la gliceraldeide-3-

fosfato rappresenta il 3,5%. Tuttavia è quest'ultima che reagisce, per intervento del NAD, trasformandosi in acido 3-fosfoglicerico. Successivamente questo acido si trasforma in acido 2-fosfoglicerico, il quale per eliminazione di acqua passa ad acido fosfoenolpiruvico.

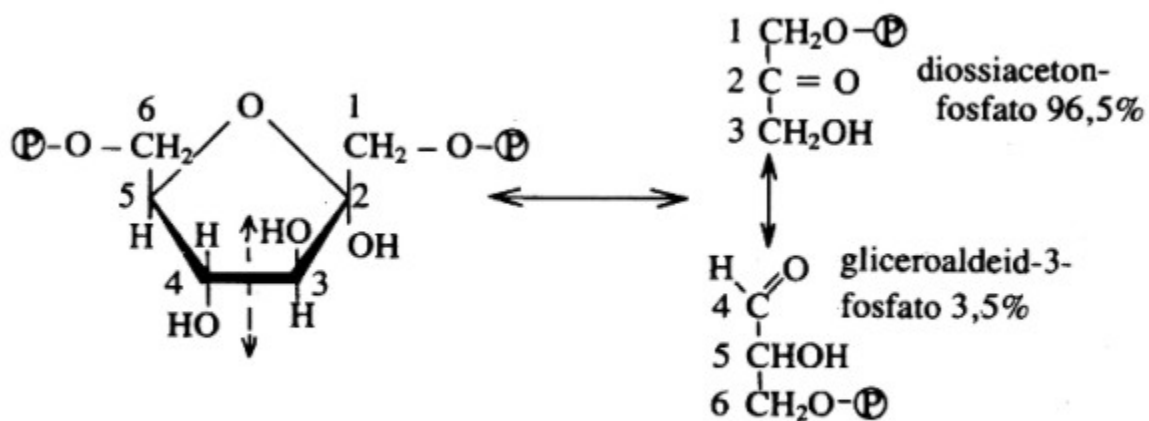
Il legame del fosforo con l'ossidrile enolico, è un legame ricco di energia che consente per reazione con una molecola di ADP, la formazione di un'altra molecola di ATP, mentre viene liberata la forma enolica dell'acido piruvico in equilibrio con la forma chetonica.

Poiché dalla demolizione di una molecola di glucosio si formano 2 molecole di ac. piruvico si formeranno anche quattro molecole di ATP. Due molecole di ATP vengono tuttavia consumate nelle reazioni di fosforilazione e pertanto la glicolisi comporta un guadagno di due ATP per ogni molecola di zucchero metabolizzato.

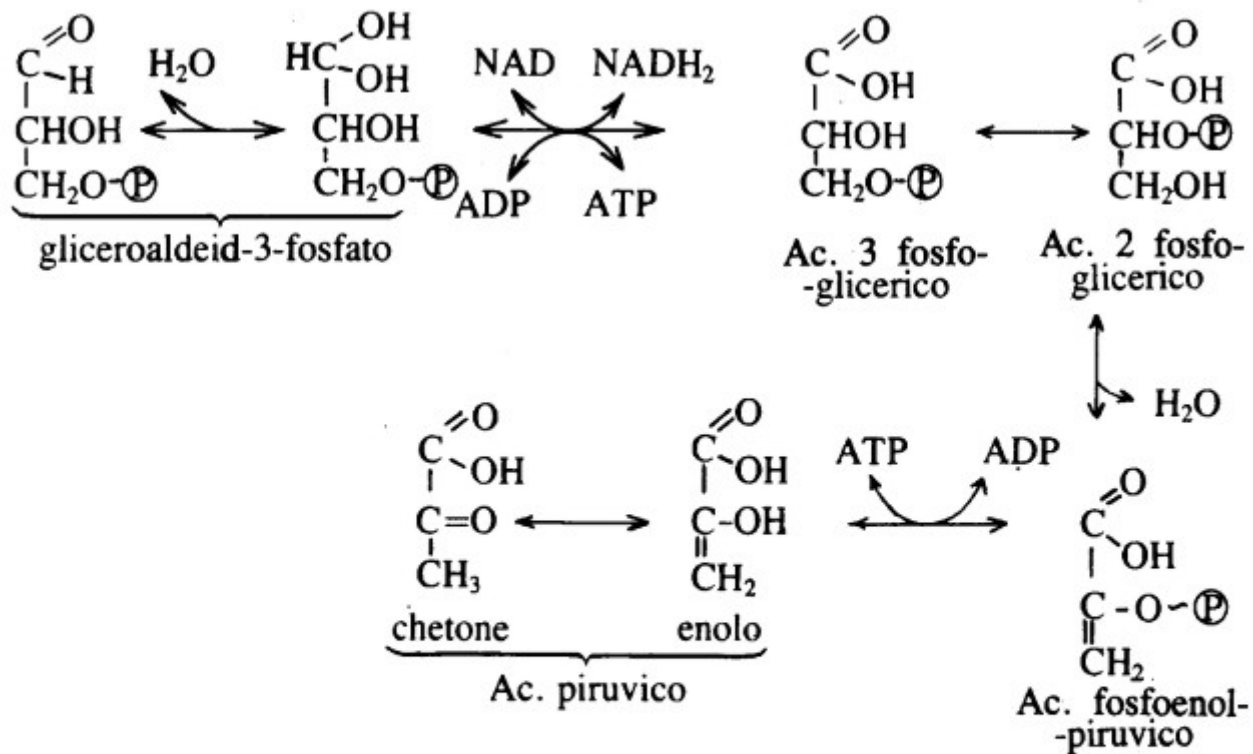
La glicolisi si conclude con la formazione di acido piruvico. Nella respirazione aerobica, questa molecola può essere ossidata in acqua e anidride carbonica attraverso le reazioni del ciclo di Krebs



Fosforilizzazione degli zuccheri



Rottura del fruttosio — 1,6 — difosfato in due molecole di triosofosfati



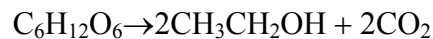
Trasformazione del gliceroaldeid-3-fosfato in acido piruvico

Al contrario in anaerobiosi, e cioè quando viene a mancare l'ossigeno nel mosto, l'acido piruvico non può essere ossidato, ma viene sfruttato come accettore dell'idrogeno che nella glicolisi appare sottoforma di NADH_2 : in questo caso esso viene ridotto direttamente ad acido lattico (fermentazione omolattica). Se la riduzione è preceduta dalla decarbossilazione ad aldeide acetica, si ha formazione di alcol (fermentazione alcolica).

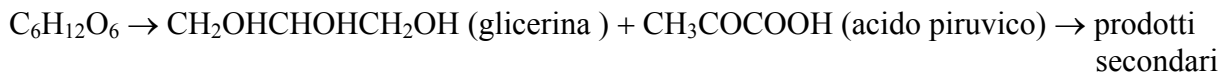
Tuttavia se i due atomi di idrogeno della glicolisi vengono usati in altro modo, l'acido piruvico non può più essere ridotto ad alcool ed allora può dare origine in anaerobiosi ad un gran numero di prodotti secondari. Di tutti questi processi parleremo nelle pagine seguenti.

LA FERMENTAZIONE ALCOLICA

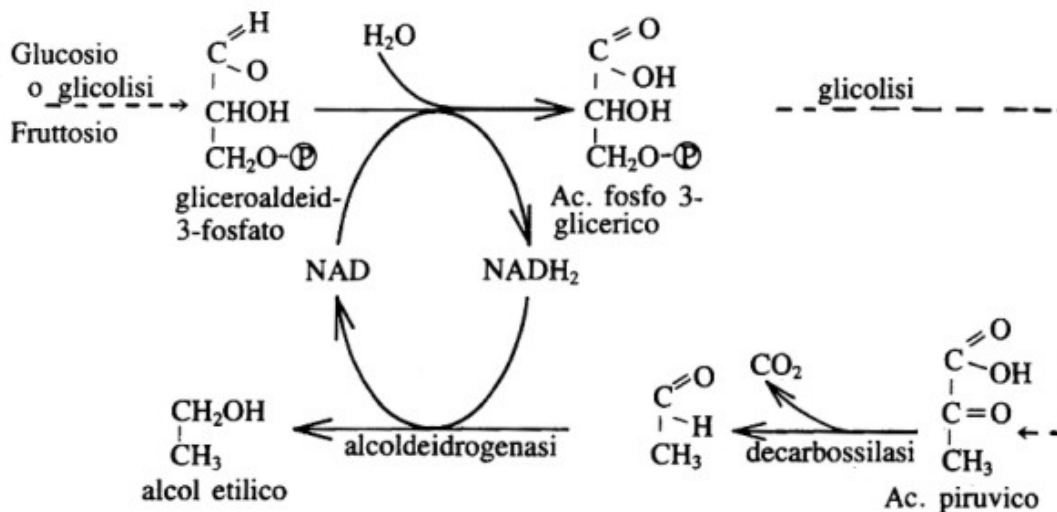
Si dice fermentazione alcolica la trasformazione biochimica del glucosio e del fruttosio in **alcol etilico** e **anidride carbonica** secondo l'equazione



Nel caso di una fermentazione riguardante il vino, non si ha una fermentazione alcolica pura, in quanto una certa porzione di molecole di zucchero vengono degradate per fermentazione gliceropiruvica (vedi più avanti) secondo l'equazione



Nella fermentazione alcolica l'acido piruvico che si forma in seguito alla glicolisi viene decarbossilato e l'acetaldeide viene ridotta in alcol per mezzo del NADH_2 che si era precedentemente formato dall'ossidazione della gliceraldeide-3-fosfato.



Schema della fermentazione alcolica

Come nella glicolisi, anche nella fermentazione alcolica si ha la formazione di 2 ATP.
 Il bilancio chimico completo della fermentazione ad opera del lievito si può pertanto esprimere nel modo seguente:



Sul piano energetico, la variazione di energia libera della trasformazione di una molecola di esoso in alcol e anidride carbonica comporta la cessione di 40 Kcal.
 Di queste una parte vengono utilizzate dal lievito per svolgere le sue funzioni vitali mentre 25,6 Kcal vengono liberate sotto forma di calore che riscalda la massa in fermentazione.

Durante la fermentazione alcolica degli zuccheri il lievito produce anche sempre una piccola quantità di **acido lattico** (circa il 0,05% delle molecole di zucchero presenti) perchè una piccola quantità di acido piruvico sfugge all'azione decarbossilasi e viene direttamente ridotta ad acido lattico per mezzo di una latticodeidrogenasi.

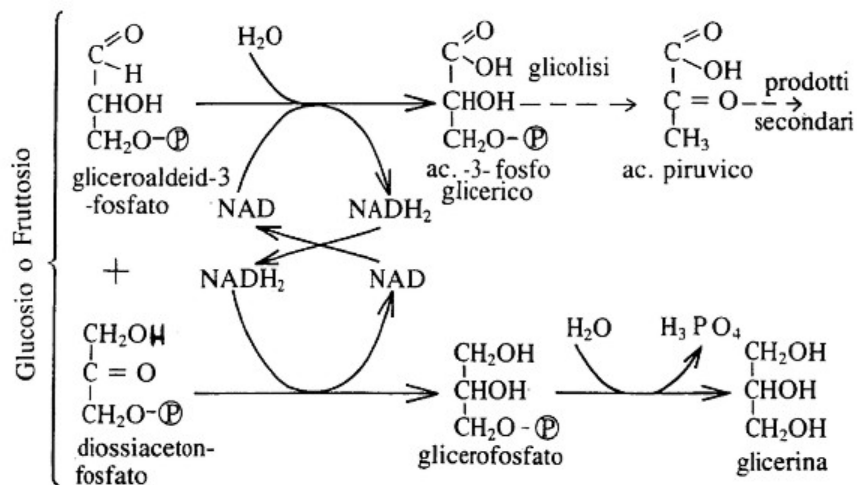
L'acido lattico prodotto in questa sede dal lievito è quasi esclusivamente di tipo D (-) lattico, perchè i lieviti sono provvisti essenzialmente della latticodeidrogenasi corrispondente.

LA FERMENTAZIONE GLICERO-PIRUVICA

Nelle prime fasi della fermentazione alcolica il NADH₂ che si forma nell'ossidazione della gliceroaldeid-3-fosfato, (vedi schema della fermentazione alcolica) non potendo scaricare il suo idrogeno sull'acetaldeide non ancora formata deve riossidersi in altro modo per permettere alla glicolisi di proseguire.

La riossidazione avviene a spese del diossiacetonfosfato, che viene ridotto a glicerofosfato e quindi idrolizzato a **glicerina**.

Esiste pertanto un periodo di induzione durante il quale avviene una fermentazione gliceropiruvica. Infatti riossidandosi il NADH₂ con formazione di glicerina, la glicolisi può proseguire, ma l'acido piruvico formatosi o l'acetaldeide proveniente dalla sua decarbossilazione, non possono più essere ridotti ad acido lattico e ad alcol e si accumulano: l'acetaldeide formatasi permette di avviare la fermentazione alcolica.



Schema della fermentazione gliceropiruvica

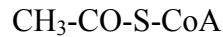
Esiste quindi una competizione tra i due accettori di idrogeno acetaldeide e diossiacetone; il primo è più facilmente ridotto ed è per questo che prevale la formazione dell'alcol, ma una certa competizione del secondo accettore sussiste anche dopo il periodo di induzione.

Se si considera una quantità di glicerina nel vino pari a 8 g/l, riscontrata in corrispondenza a 100 gr di alcol (~12°), circa l'8% delle molecole di zucchero seguono la fermentazione gliceropiruvica e il 92% la fermentazione alcolica.

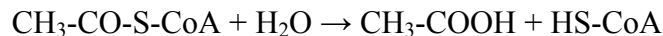
L'acido piruvico è all'origine di tutta una serie di prodotti secondari.

Prodotti secondari formati a partire dall'acido piruvico

L'acido piruvico (nel vino si riscontrano in media 80 mg/l.) è all'origine di tutta una serie di prodotti secondari come ad esempio l'**acetilcoenzima A**,



il quale per idrolisi fornisce **acido acetico**:



La formazione di acido acetico durante la fermentazione avviene prevalentemente all'inizio e poi rallenta: ciò dipende dalla quantità di zuccheri e dal tipo di lievito.

I lieviti infatti riducono inizialmente tale acido ad acetaldeide, favorendo così la fermentazione alcolica rispetto a quella gli cero-piruvica, con diminuzione della glicerina ,ma un aumento dei prodotti secondari.

La capacità dei lieviti di metabolizzare l'acido acetico preesistente, rende possibile abbassare per rifermentazione l'acidità volatile di un vino (un vino inacidito aggiunto al mosto in quantità pari a un terzo o alla metà, fino ad ottenere una acidità volatile di 0.7 g/l, può dare dopo fermentazione un prodotto con acidità volatile non superiore a quella di una fermentazione alcolica normale).

La condensazione di due molecole di acido piruvico accompagnata da decarbossilazione porta alla formazione di **acetoino** (o acetilmetilcarbinolo)



che può ridursi a 2,3-butandiolo (o **butilenglicole**) riscontrabile nel vino fino a 1g/l ,oppure ossidarsi a **diacetile** $\text{CH}_3\text{COCOCH}_3$

L'acido piruvico può inoltre essere carbossilato con formazione di **acido ossalacetico**, il quale può trasformarsi ad opera del lievito in **acido malico**, (nel vino questa trasformazione è mascherata dalla normale decomposizione dell'acido malico nel mosto).

L'acido malico può dare origine **all'acido succinico** passando per l'acido fumarico come prodotto intermedio, oppure tramite la condensazione ossidativa di due molecole di acetilCoA. L'acido succinico è uno dei prodotti secondari più rappresentati nel vino, con livelli fino a 1,5 g/l.

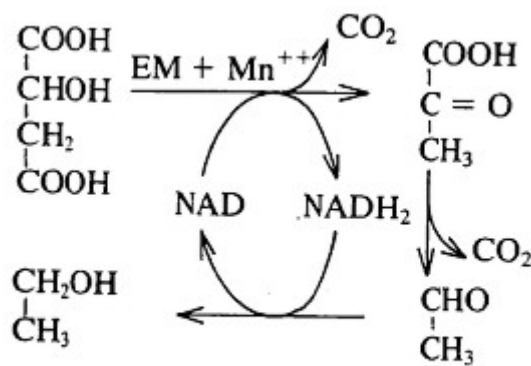
Formazione dei prodotti della fermentazione gliceropiruvica in funzione del pH. - Valori espressi in mmoli									
		Glicerina g	Ac. Acetico a	Ac. Succinico s	Acetoino m	2,3 Butandiolo b	Ald. Acetica h	Σ	Σ/g
Mosto	pH 3,0	84	16,6	6,3	1,0	7,2	1,0	75	0,90
	5,0	80	16,4	6,3	0,8	7,2	1,1	74	0,93
d'uva	5,8	112	31,9	5,6	0,7	6,3	1,3	101	0,86
	7,0	169	53,1	9,3	0,5	4,8	1,0	159	0,94
	8,0	209	80,5	10,1	0,5	4,1	1,0	216	1,03

LA FERMENTAZIONE MALOALCOOLICA

Degradazione dell'acido malico

L'acido malico del mosto diminuisce durante la fermentazione alcolica dal 10 al 25% a seconda della specie di lievito; questa demolizione avviene in misura maggiore a pH bassi e si annulla a pH 5.

Nella degradazione interviene l'enzima malico, in presenza di ioni manganosi, che trasforma l'acido malico in acido piruvico, il quale poi segue la fermentazione alcolica.



Fermentazione maloalcolica

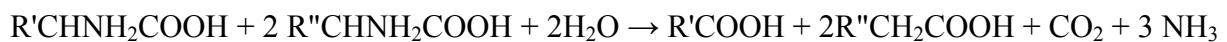
Da 5.6 g/l di acido malico si potrebbe ottenere un aumento di 0.23° nella gradazione alcolica del vino

METABOLISMO DEI COSTITUENTI AZOTATI AD OPERA DEI LIEVITI E FORMAZIONE DI ALCOLI SUPERIORI

I lieviti sono in grado di sintetizzare tutti i composti azotati (amminoacidi, polipeptidi, proteine) che loro necessitano partendo dall'azoto ammoniacale, il più facilmente assimilabile.

Tuttavia la presenza di amminoacidi nel substrato facilita la fermentazione in quanto il lievito può seguire tre vie di assimilazione dell'azoto.

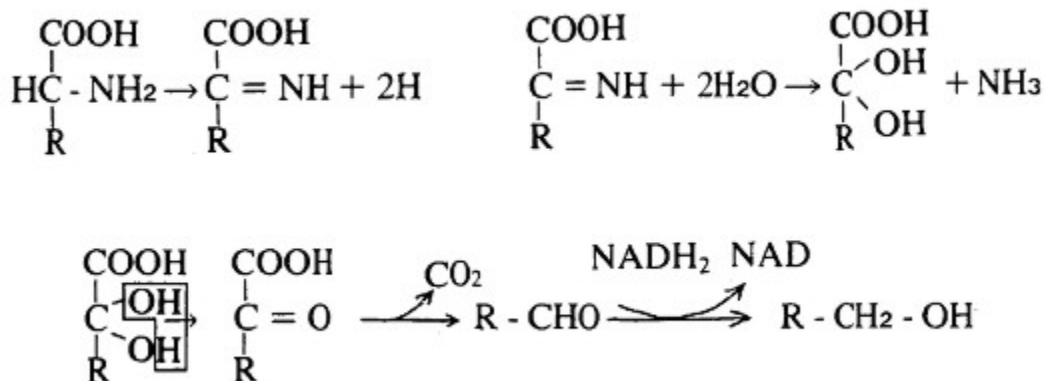
1. Assimilazione diretta degli amminoacidi dal substrato (quando la loro miscela è in proporzioni non ottimali per la nutrizione azotata del lievito).
2. Liberazione di ammoniaca attraverso un meccanismo di ossidoriduzione:



3. Desaminazione e decarbossilazione degli aminoacidi con formazione di alcoli superiori.

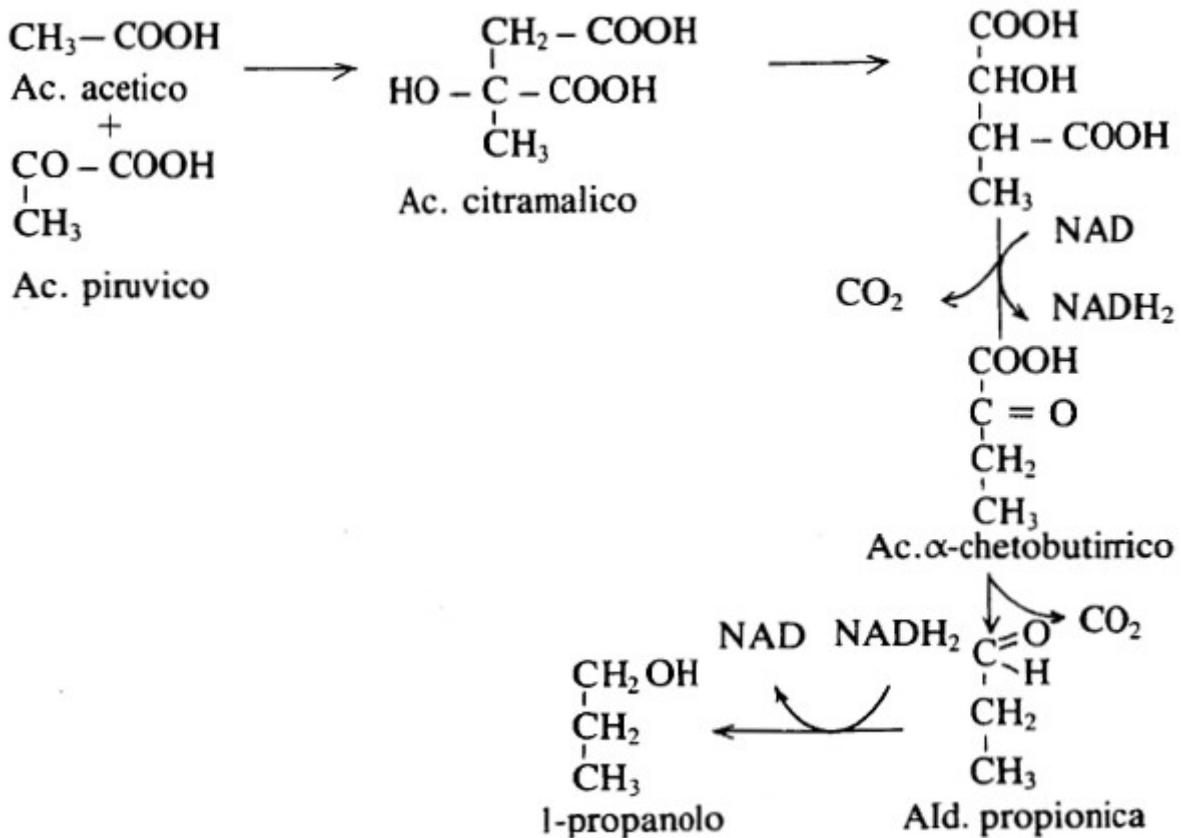
Infatti si nota che quando al lievito viene offerta come sorgente di azoto un amminoacido, la produzione di alcoli superiori aumenta. I principali alcoli superiori prodotti, sono sempre gli stessi anche cambiando la fonte di azoto, ovvero: alcol 1-propanolo (da 20 a 40 mg/l), alcol isobutilico (80 mg/l), alcol isoamilico inattivo (175mg/l) e alcol isoamilico attivo. (100 mg/l)

Il lievito sintetizza solo i quattro chetoacidi precursori corrispondenti ossia: α -chetobutirrico, α -chetoisivalerianico, α -chetoisocaproico e α -cheto- β -metil valerianico.



Al chetoacido, che sarà poi decarbossilato e ridotto, con formazione dell'alcool si arriva attraverso una reazione di transaminazione che coinvolge un altro chetoacido sul quale viene trasferito l'amminogruppo.

I chetoacidi che portano alla formazione degli alcoli superiori, si possono ottenere, oltre che per desamminazione degli amminoacidi, anche dall'acido piruvico formatosi durante la glicolisi.



La contemporanea presenza di entrambi i meccanismi, è la spiegazione per cui non c'è una diretta corrispondenza fra il tenore in amminoacidi nel mosto e alcoli superiori riscontrati nei vini.

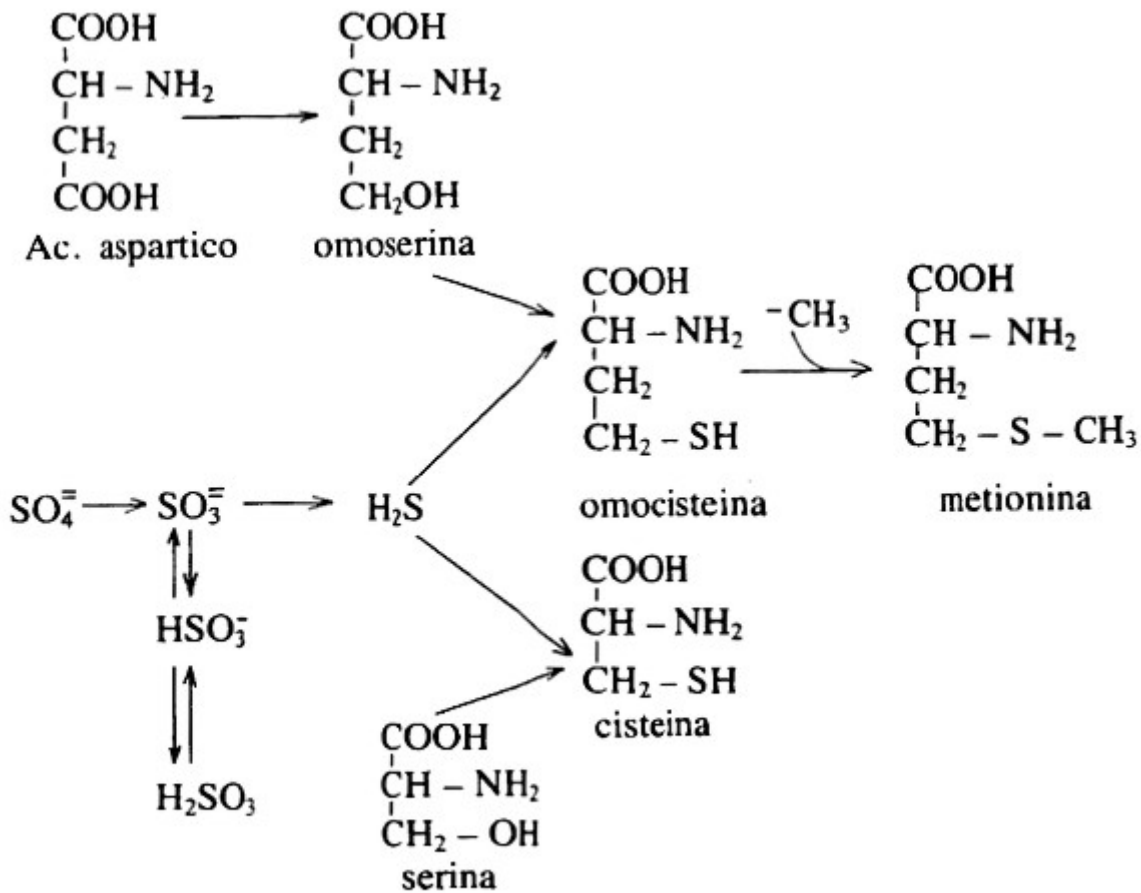
RIDUZIONE DEI SOLFATI E SINTESI DEGLI AMMINOACIDI SOLFORATI

Il lievito è in grado di formare H₂S per riduzione dei solfati, e, in alcuni casi, di formare ioni solfito SO₃²⁻, che nel vino si trovano sotto forma di ioni bisolfito HSO₃⁻.

Alcuni lieviti possono poi produrre anidride solforosa fino a 200 mg/l ("lieviti produttori di SO₂")

Poiché si è notato che il substrato influenza la produzione di anidride solforosa, nel senso che, su determinati substrati, gli stessi tipi di lievito, producono più SO₂, si può pensare che ciò avvenga in seguito all'esigenza di sintetizzare gli amminoacidi necessari, e che quindi il lievito riduca i solfati ad idrogenosolfato con passaggio intermedio attraverso l'anidride solforosa combinata a sostanze aldeidiche o chetoniche.

Riportiamo ora un esempio in cui vi è la formazione dei due principali amminoacidi solforati a partire dai loro precursori e dell'H₂S proveniente dalla riduzione dei solfati:



Biosintesi degli amminoacidi solforati

Va ricordato che i lieviti produttori di anidride solforosa, non producono idrogeno solforato e viceversa.

Bisogna tener conto che, la produzione di H₂S durante la fermentazione, non va confusa con la sua produzione, e quella di mercaptani, nei vini lasciati a lungo sulle fecce dopo la fermentazione. Si ha allora, infatti, la produzione di qualche mg/l di composti solforati, che nel caso dei mercaptani sono difficilmente eliminabili, e conferiscono al vino un odore disgustoso.

Tale fenomeno è legato alla riduzione dello ione bisolfito ed alla decomposizione di amminoacidi solforati ad opera di lieviti vivi, ma che non svolgono più attività fermentativa.

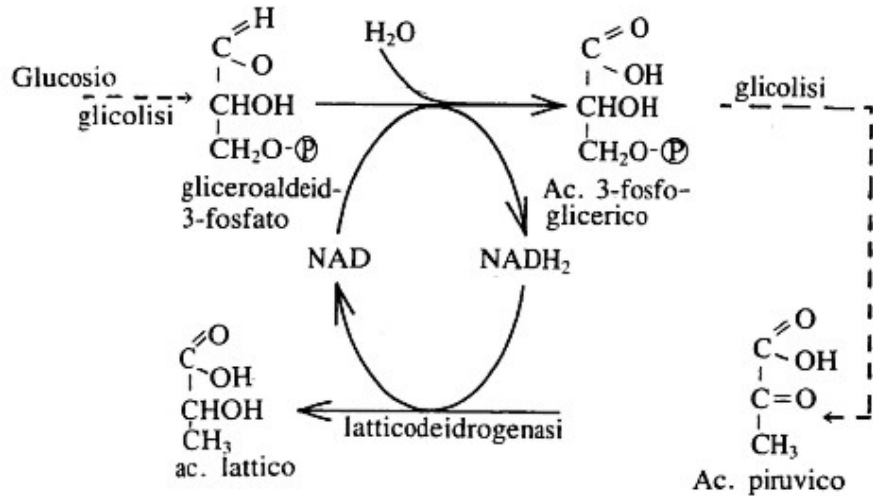
DEGRADAZIONE DEGLI ZUCCHERI AD OPERA DI BATTERI LATTICI

I batteri lattici,quelli cioè capaci di trasformare gli zuccheri in acido lattico, possono essere omo- e eterofermentativi.

I batteri omolattici hanno la capacità di trasformare il glucosio e il fruttosio in acido lattico con produzione nulla o minima di altri prodotti secondari, secondo la reazione:



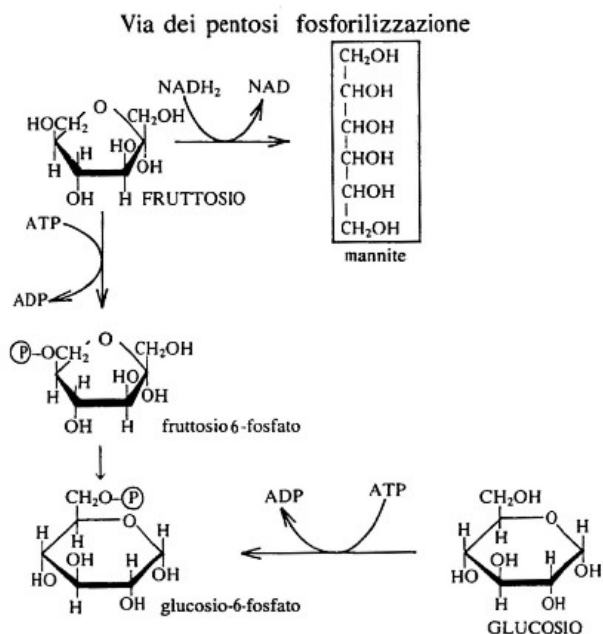
Il meccanismo di questa trasformazione è quello della glicolisi con successivo intervento sull'acido piruvico della latticodeidrogenasi che porta alla formazione, in proporzioni differenti, di entrambi gli isomeri, l'acido L(+)-lattico e l'acido D(-)-lattico.

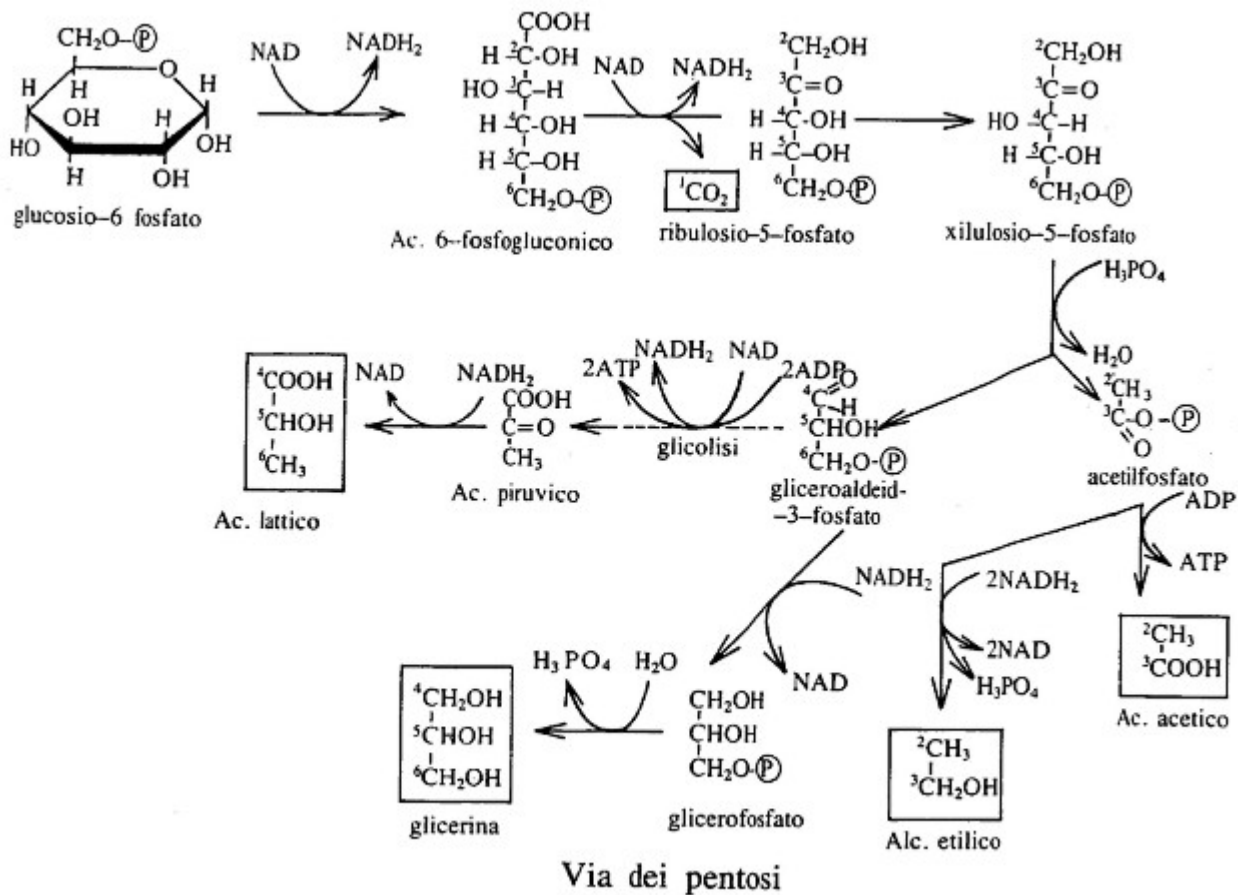


Schema della fermentazione omolattica

Dal punto di vista energetico nella fermentazione omolattica si ha la produzione di due molecole di ATP per ogni molecola di zucchero metabolizzata, come nelle glicolisi.

Molto più complessa si presenta la degradazione degli esosi da parte dei **batteri eterolattici**, responsabili del cosiddetto spunto lattico, cioè di quella alterazione che fa riscontrare accanto all'acido lattico, la presenza di acido acetico e di mannite. Questo tipo di alterazione si può determinare quando, per un'eccessivo aumento della temperatura, si verifica un arresto della fermentazione alcolica e l'avvio della fermentazione eterolattica dove gli zuccheri anziché seguire la glicolisi seguono la via dei pentosi.





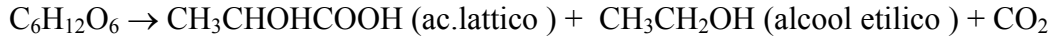
In questa fermentazione il punto di partenza è costituito dal fruttosio-6-fosfato, formatosi dalla fosforilazione del fruttosio, che si isomerizza in glucosio-6-fosfato, che viene a sua volta ossidato ad acido 6-fosfogluconico. Quest'ultimo, subisce un'ulteriore decarbossilazione ossidativa trasformandosi in un pentoso, il ribosio-5-fosfato che si isomerizza a xilosio-5-fosfato. Si ha quindi la rottura della molecola con formazione di un composto con 2C, l'acetilfosfato, e uno con 3C, la gliceraldeide-3-fosfato. La gliceraldeide-3-fosfato, riprende la strada dalla glicolisi ed arriva ad acido piruvico che viene successivamente ridotto ad acido lattico.

Si ha anche un meccanismo secondario che consente la riduzione a glicerina dell'aldeide 3-fosfoglicerica ad opera del NADH₂ proveniente dalla glicolisi. Di conseguenza l'acido piruvico non può ridursi ad acido lattico ma evolve verso tutti i prodotti secondari.

L'acetilfosfato, l'altro elemento originatosi dalla rottura della molecola dei pentosi, viene ridotto ad alcol etilico e così si ha la riossidazione di due molecole di NADH₂.

Globalmente nel corso di questa degradazione si ha la formazione di 3 NADH₂: una per l'ossidazione di glucosio ad acido gluconico, una per la decarbossilazione dell'acido gluconico a ribosio e un'altra per l'ossidazione dell'aldeide 3-fosfoglicerica al corrispondente acido. Queste tre molecole di NADH₂ vengono riossidate riducendo l'ac. piruvico a lattico (1 molecola) e riducendo l'acetonfosfato ad alcool etilico (2 molecole).

La reazione globale della fermentazione eterolattica risulta essere:



Per riossidare il NADH₂ la cellula batterica può disporre di un accettore di idrogeno esogeno, cioè presente nel substrato. In questo caso l'acetilfosfato viene idrolizzato ad acido acetico recuperando una molecola di ATP che può essere utilizzata dalla cellula.

La formazione di acido acetico in quantità rilevante dimostra un utilizzo preferenziale dell'accettore esogeno (A), per cui il bilancio diventa :



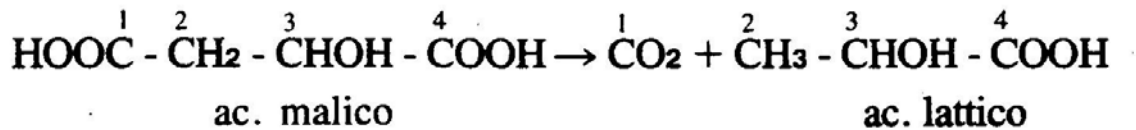
L'intervento dell'accettore esogeno spiega la formazione di polialcooli a 5C come l'arabitolio che proviene dalla riduzione di un pentoso, mentre il fruttosio viene ridotto a mannite.

Dal punto di vista energetico la fermentazione eterolattica, con produzione di ac.lattico ed alcool etilico, permette di recuperare un solo ATP ; se invece si produce ac.acetico si recuperano 2 ATP.

Come la fermentazione alcolica è comunque un meccanismo poco efficiente per produrre energia.

LA FERMENTAZIONE MALOLATTICA

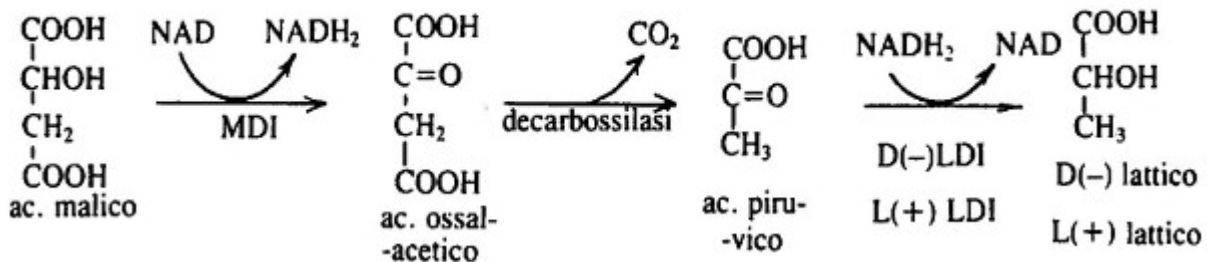
La trasformazione dell'acido malico in acido lattico può essere globalmente descritto dalla seguente reazione:



Diversi enzimi sono capaci di trasformare l'acido malico, in modo particolare la malicodeidrogenasi e l'enzima malico.

L'enzima malico, porta alla formazione di acido piruvico, mentre per passare all'acido lattico occorre l'intervento della latticodeidrogenasi.

Malicodeidrogenasi

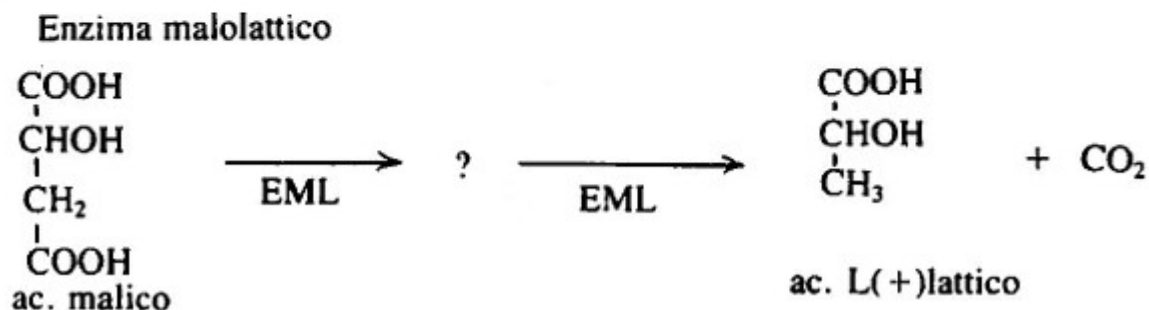
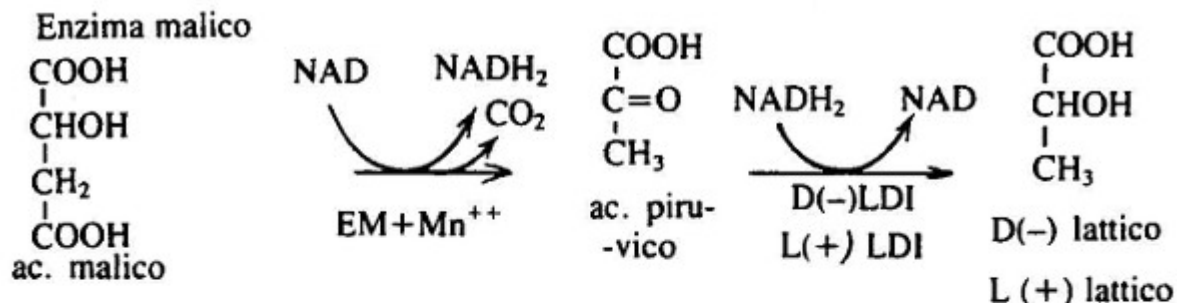


Alcuni studiosi hanno verificato che i batteri lattici del vino posseggono entrambe le latticodeidrogenasi, sia la destro (-) che la levo (+); che durante la fermentazione degli zuccheri sono in grado di ridurre l'acido piruvico contemporaneamente in D(-) lattico e L(+) lattico. Nella fermentazione malolattica si ha però l'esclusiva formazione di acido L(+) lattico: questo dato sperimentale dimostra

che, o non si ha il passaggio attraverso l'acido piruvico, o che le lattodeidrogenasi non vengono coinvolte nella fermentazione malolattica.

Tra le malicodeidrogenasi esisterebbe invece un enzima che trasforma direttamente l'acido malico in acido L(+)-lattico.

Tale enzima ha un'ottima attività in ambiente acido e la sua produzione non è inibita da grandi quantità di glucosio.



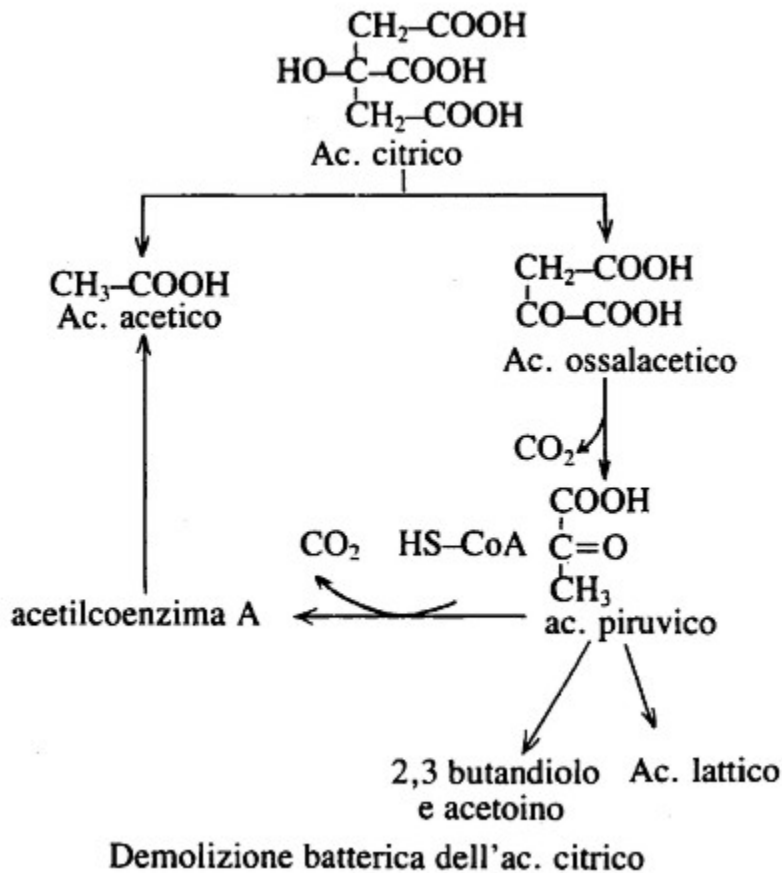
Dal punto di vista energetico la fermentazione malolattica non libera energia in quanto si ha il distacco sotto forma di CO₂ di un atomo di carbonio già al suo massimo grado di ossidazione. Si dice quindi che la trasformazione è endoenergetica, ovvero non emette energia per la cellula, la quale deve procurarsi l'energia necessaria dagli zuccheri presenti nel mezzo: non si tratta quindi di una vera e propria fermentazione.

Al fenomeno della fermentazione malolattica possono essere interessate piccole quantità di sostanze azotate e anche in particolare la mesoinositolo (esa-idrossicicloesano) che può riscontrarsi in quantità di 0,5g/l e sembra diminuire in seguito alla fermentazione malolattica.

E' importante ricordare che fattore principale dello sviluppo dei batteri responsabili della degradazione dell'acido malico, è il pH: al di sotto di pH 3.2, la fermentazione malolattica risulta difficile.

DECOMPOSIZIONE BATTERICA DELL'ACIDO CITRICO

Durante la fermentazione malolattica, può talvolta avvenire l'attacco dell'acido citrico che si trasforma in acido acetico responsabile dell'aumento dell'acidità volatile che si osserva durante la demolizione dell'acido malico.

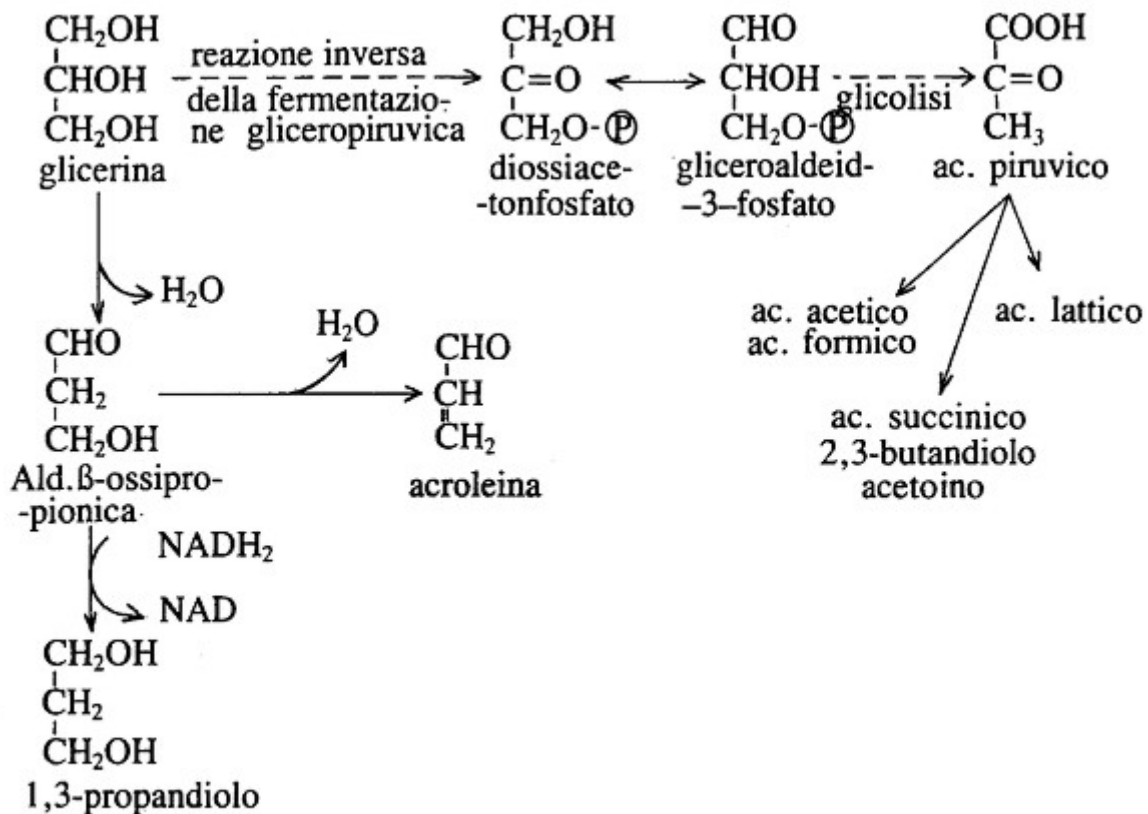


Secondo il meccanismo proposto l'acido citrico si decompone in due molecole, una di acido acetico e l'altra di acido ossalacetico. Quest'ultimo passa poi ad acido piruvico il quale può successivamente passare a 2,3-butandiolo, acetoino e acido lattico.

L'acido piruvico inoltre, attraverso l'intermedio acetilcoenzima A, può fornire altro acido acetico con produzione di CO_2 ed acido formico.

DEGRADAZIONE BATTERICA DELLA GLICERINA

Raramente i batteri attaccano la glicerina, e nel caso in cui ciò avvenga i vini assumono un sapore amaro dovuto a dei prodotti della reazione che avviene fra polifenoli e acroleina che deriva appunto dalla glicerina. Durante la decomposizione della glicerina si possono inoltre formare alcune molecole di 1,3-propandiolo, la cui presenza non sembra però essere dimostrata nei vini alterati.



Demolizione batterica della glicerina

DEMOLIZIONE BATTERICA DELL'ACIDO TARTARICO

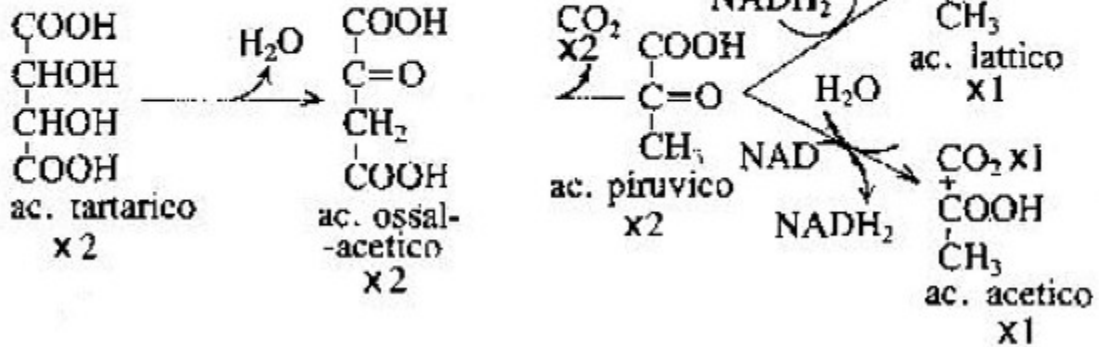
Questo tipo di demolizione avviene nel corso dell'alterazione detta "del girato", alterazione molto grave ed un tempo molto frequente riguardante i vini con valori elevati di pH. Oggi, grazie al miglioramento delle tecniche di conservazione, questo tipo di alterazione tende a scomparire.

Si conoscono due meccanismi che portano a questo tipo di alterazione che sembra dovuto ad un numero limitato di batteri.

Il primo meccanismo, dovuto all'azione del *Lactobacillus plantarum* porta alla trasformazione dell'acido tartarico in acido lattico ed acetico:

Decomposizione batterica dell'acido tartarico (*Lactobacillus plantarum*)

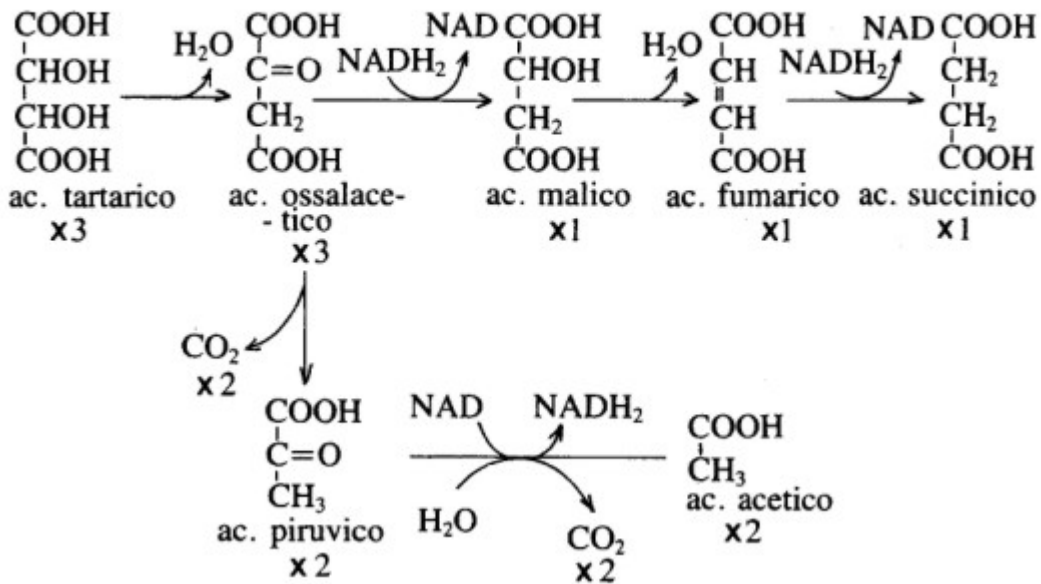
Meccanismo I



Il secondo meccanismo è invece dovuto all'azione del *Lactobacillus brevis* che trasforma l'acido tartarico in acido acetico e succinico:

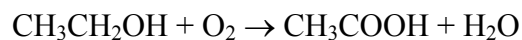
Decomposizione batterica dell'acido tartarico (*Lactobacillus brevis*)

Meccanismo II



LA FERMENTAZIONE ACETICA DELL'ALCOOL

In presenza di ossigeno, ovvero in aerobiosi, i batteri attaccano l'alcol producendo acido acetico

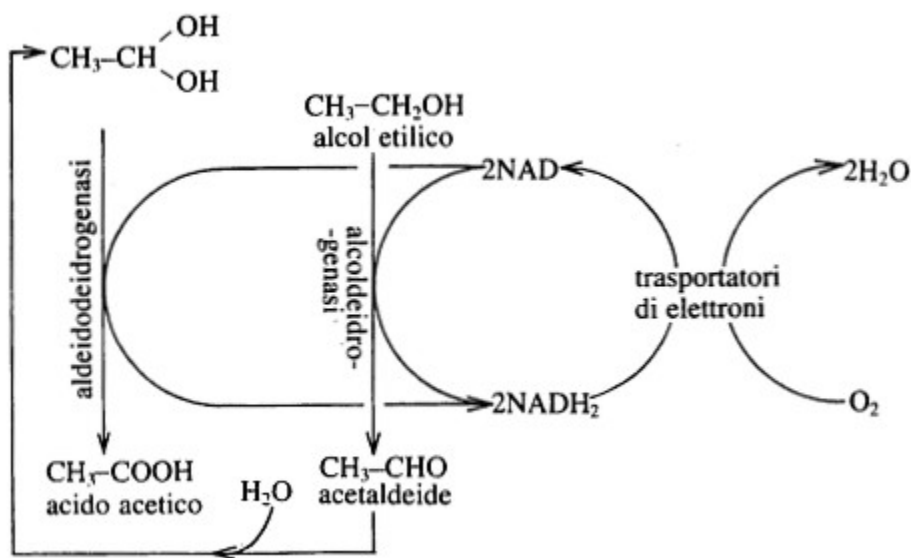


Durante questa trasformazione si ha il passaggio intermedio attraverso l'acetaldeide con l'intervento di

due deidrogenasi collegate al NAD: un'alcoldeidrogenasi e un'aldeidodeidrogenasi

Il NADH_2 formatosi viene riossidato a spese dell'ossigeno grazie ad una serie di trasportatori di elettroni propri delle membrane batteriche e che costituiscono la catena respiratoria che determina anche un immagazzinamento di energia sotto forma di ATP.

Dei due complessi enzimatici che adottano questo meccanismo uno è solubile, e si trova nell'estratto acquoso dopo disagregazione delle cellule batteriche, l'altro rimane fissato alla membrana citoplasmatica della cellula.



Successivamente, alcuni batteri acetici hanno la possibilità di realizzare una ulteriore ossidazione dell'acido acetico in acqua e CO_2 ; questo tipo di batteri non è però molto comune e questa eventuale ossidazione viene utilizzata come criterio di classificazione.

I batteri acetici, oltre all'ossidazione dell'alcol, nelle prime fasi della fermentazione acetica provocano anche l'esterificazione dell'acido acetico e dell'alcol, con conseguente formazione di acetato di etile, principale responsabile del carattere organolettico di spunto acetico quando supera i 200 mg/l

OSSIDAZIONE DEGLI ZUCCHERI DA PARTE DEI BATTERI ACETICI

I batteri acetici sono in grado di ossidare gli zuccheri formando dei gruppi chetonici. Queste sostanze sono state riscontrate in tutti i vini, ma in modo particolare in quelli derivanti da vendemmie con uve ammuffite, dove si è verificata l'apertura degli acini con conseguente possibilità di sviluppo notevole di batteri acetici.

Questi derivati chetonici contribuiscono alla combinazione dell'anidride solforosa.

L'ossidazione batterica degli zuccheri, può essere così riassunta:

Ossidazione batterica

degli zuccheri

