



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Biomedicina Comparata e Alimentazione

Corso di laurea in
Sicurezza Igienico-sanitaria degli Alimenti

Alimenti fermentati: aspetti tecnologici e sensoriali

Relatore

Prof.ssa Lisa Maccatrozzo

Laureando:

Alessandro Ballarin

Matricola n.1222820

Anno accademico 2022-2023

Indice

Indice	1
Riassunto	2
Introduzione	3
Capitolo 1_ La fermentazione	4
1.0_ Cenni storici	4
1.1_ Cos'è la fermentazione anaerobica	5
1.2_ La fermentazione da differenti punti di vista	7
Capitolo 2_ I microrganismi negli alimenti	8
2.0_ Cellula microbica e substrato alimentare	8
2.1_ Enzimi e batteri lattici	9
2.2_ Destino metabolico dell'acido piruvico	11
Capitolo 3_ Alimenti fermentati	13
3.0_ Perché produrre alimenti fermentati	13
3.1_ La flora nella fermentazione lattica	14
3.1.1_ note sullo yogurt.....	14
3.1.2_ note sui formaggi	15
3.3_ Benefici degli alimenti fermentati.....	20
Conclusioni	22
Bibliografia e sitografia	24

Riassunto

I recenti studi scientifici confermano ciò che le tradizioni popolari hanno da sempre trasmesso e cioè che gli alimenti fermentati sono in grado di diminuire i rischi per la salute. I responsabili del processo fermentativo sono alcuni microorganismi edibili ed il loro ruolo è decisivo a tal punto che:

- per alcuni esistono addirittura dei limiti di legge (es.: yogurt)
- per altri le unità formanti colonia sono motivo di plus pubblicitario (es.: integratori alimentari utili alla stabilizzazione della flora intestinale)

infine, per tutti, il mancato raggiungimento di una concentrazione minima ne impedisce la corretta produzione.

Il motivo è che possiedono le facoltà di svolgere almeno una duplice azione: la prima probiotica, la seconda biogena (Sahoo et al., 2023).

Nel primo caso la flora microbica che ha colonizzato l'alimento è viva e quindi capace di influenzare l'attività di altri generi microbici continuando a variare le caratteristiche della matrice alimentare.

Nel secondo caso il meccanismo d'azione è garantito dalla produzione di metaboliti secondari in grado di rilasciare sostanze tossiche, enzimi (batteriocine) per specifici patogeni.

L'andamento metabolico delle possibili fermentazioni non dipende solo dal tipo di microorganismo ma, anche, da fattori esogeni quali ad esempio: substrato, ambiente, temperatura.

È quindi fondamentale lavorare con attrezzature adeguate e determinati standards di igiene dettati sia dalle buone norme di fabbricazione che dai requisiti cogenti. Risulta quindi fondamentale preparare l'alimento garantendo le condizioni ideali al fine di permettere una corretta fermentazione.

Poiché la società odierna sta aumentando la propria consapevolezza sull'importanza di una sana alimentazione la ricerca è sempre più improntata nell'identificazione di componenti alimentari biologicamente attivi, diretti a garantire l'omeostasi complessiva dell'organismo.

Attraverso una consapevolezza crescente e adeguati controlli su produzione, materie prime, imballaggi, stoccaggi, trasporti le aziende hanno la responsabilità di assicurare che il mercato alimentare garantisca sicurezza e qualità.

La biotecnologia ha il compito di studiare l'interazione fra agente biologico e ambiente al fine di ottimizzare i processi produttivi siano essi indirizzati verso gli alimenti piuttosto che verso altri scopi (es.: produzione di farmaci).

Introduzione

Gli alimenti fermentati nascono dall'osservazione di un complesso fenomeno chimico-fisico che appartiene alla conoscenza empirica della storia dell'umanità sin dai tempi più antichi. Nonostante l'assenza di cognizioni scientifiche dirette alla spiegazione del fenomeno, l'essere umano si era accorto che rispetto alla materia prima di partenza, il prodotto fermentato aveva una conservabilità maggiore. Questo fattore decisamente funzionale ha spinto l'uomo ad adottare un approccio pragmatico portandolo a sviluppare tecniche di lavorazione che venivano tramandate oralmente e migliorate nel tempo. Dalla fine del 1700 però è subentrata anche una cultura scientifica del processo. Da allora si è cominciato a comprendere il vero valore degli alimenti fermentati, che non si riduceva più solamente al metodo di conservazione, ma veniva esteso anche alle loro qualità organolettiche e nutrizionali. Questa informazione ha portato gli scienziati a un interesse crescente spingendoli ad approfondire le ricerche su questa tipologia di processo, permettendo loro di scoprire che il prodotto della fermentazione poteva conferire benefici dipendenti dalla natura della flora microbica residente nell'alimento. Saranno poi successivi approfondimenti a dimostrare che le fermentazioni potevano essere, per l'uomo, vantaggiose o svantaggiose. Tra i processi biochimici vantaggiosi si ricordano ad esempio quelli alcolico, lattico etc, mentre tra quelli svantaggiosi si menziona ad esempio la putrefazione etc.

Partendo da una cultura popolare che da prima ha selezionato alimenti fermentati "utili", i vari Stati europei successivamente con "legislazioni verticali", in un secondo momento "trasversali" e la Comunità Europea da ultima, hanno definito gli standards di riferimento (es. d.lgs 155/97 poi Reg. CE 852/04).

Lo scopo di questo elaborato è quello di evidenziare il ruolo del microorganismo e dell'ambiente, analizzando quindi come le leggi della biochimica siano in grado di pilotarne il metabolismo e successivamente consegnare all'industria alimentare le necessarie tecnologie per trasformare un lavoro di ricerca in una produzione industriale.

Capitolo 1_La fermentazione

1.0_Cenni storici

Relativamente all'etimologia della parola "fermentazione", quest'ultima deriva dal latino "fervere" (ribollire) in riferimento all'osservazione della presenza di bolle d'aria e gas, come l'anidride carbonica, nel processo di fermentazione alcolica (Marzona, 1996). Quando si parla della storia della fermentazione, però, risulta utile sottolineare la differenza che intercorre fra la sua consapevolezza empirica e quella scientifica. Sembra che la prima sia nata proprio casualmente nel momento in cui gli antichi esseri umani hanno iniziato a raccogliere latte in conseguenza dell'addomesticamento di vacche, ovini e caprini per conservarlo; dunque, circa 10000 anni fa (Hutkins, 2006). In assenza di testimonianze scritte le diverse ipotesi giunte ai nostri giorni derivano da fonti verbali incerte ma, è plausibile che per conservare il latte, specialmente in vista di lunghi viaggi, venisse utilizzato l'otre ricavato da pelle o stomaco di animali e grazie alle condizioni di elevate temperature che si formavano al loro interno combinate alla presenza di batteri si creava, dopo qualche giorno, un latte decisamente diverso da quello di partenza, più cremoso e dal sapore acidulo, dando, probabilmente, origine allo yogurt, uno dei più antichi alimenti fermentati (Higman, 2011). A questa categoria vanno aggiunte anche le bevande fermentate che hanno riscosso sin da subito un notevole successo. L'acqua, infatti, era considerata inadatta al consumo umano già dalle prime società storiche come quelle egizie, babilonesi e romane. Persino la Bibbia è quasi priva di riferimenti sull'acqua da intendersi come bevanda e infatti erano il vino o la birra a rappresentare i massimi dissetanti nella quotidianità della vita (Vallee, 1994). Una considerazione molto lontana da quella che abbiamo oggi descritta attraverso l'assioma "acqua sinonimo di vita". Grazie ad un gruppo di archeologi biomolecolari appartenenti al gruppo di ricerca del Museum of Archaeology and Anthropology dell'università della Pennsylvania (Hutkins, 2006) attraverso l'estrazione di residui molecolari ancora presenti nelle antiche giare e vasi di argilla trovati nei siti archeologici, abbiamo ad oggi la testimonianza archeologica dell'effettivo utilizzo dei processi fermentativi per la produzione:

- del vino datati:
 - 7.000 a.C. nell'attuale Cina
- del pane:
 - 12000 a.C. nell'attuale Giordania
- della birra:

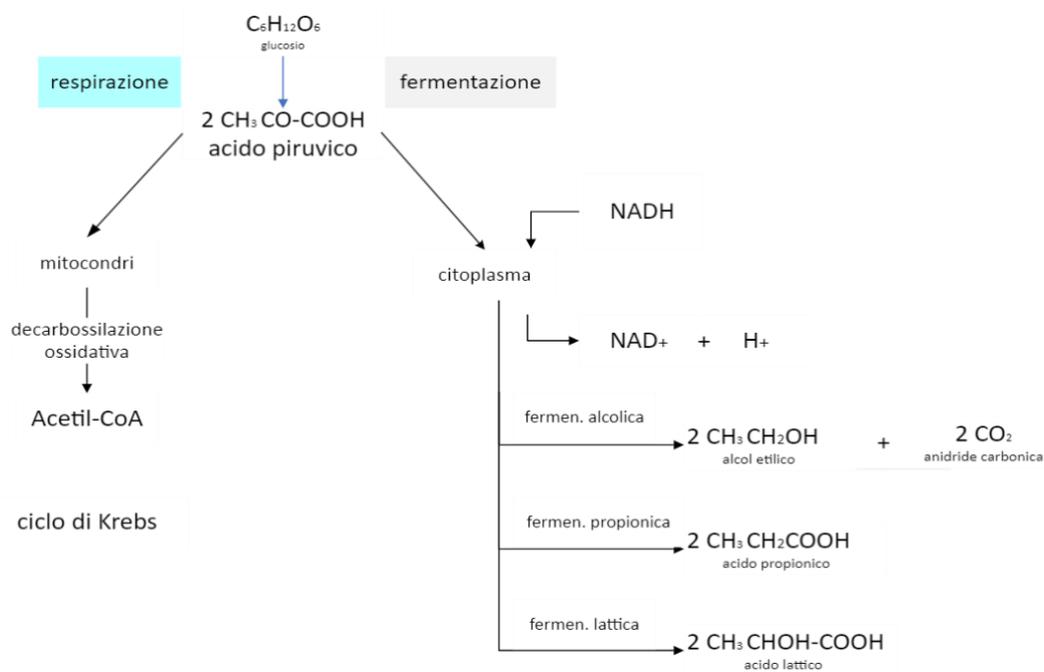
- 5000 a.C. in Mesopotamia
- dello yogurt:
 - 6000 a.C. in Turchia
- del formaggio:
 - 7000 a.C. in Asia

Tutti procedimenti rimasti però per molto tempo conosciuti solo a livello empirico tant'è vero che li si credevano causati da spiriti, sovente attribuiti al divino come testimoniato dal fatto che gli Egiziani pregavano Osiride per la produzione di birra ed i Greci consideravano Bacco il Dio del vino (Hutkins, 2006). D'altro canto, risulta impossibile definire il momento preciso in cui l'uomo ha acquisito l'effettiva consapevolezza del fondamentale ruolo dei microrganismi negli alimenti, veri protagonisti del processo metabolico della fermentazione. L'inconsapevolezza scientifica vigeva, quindi, durante la preparazione dei prodotti casalinghi. Tuttavia, le tecniche migliori caratterizzanti la loro produzione venivano tramandate alle generazioni successive generando così un'arte orale i cui custodi prendevano il nome di artigiani. La più antica prova scritta che certifica il consumo di prodotti fermentati ci è data da una bevanda alcolica: il vino. La notizia è attestata proprio dalla Bibbia con riferimento a Noè (Hutkins, 2006) che nel libro della genesi recita: *“avendo bevuto il vino, si ubriacò e giacque scoperto all'interno della sua tenda”*. Ma per gettare le prime basi scientifiche bisognerà aspettare la fine del settecento quando, con gli studi di A.Lavoisier e J.Gay-Lussac la fermentazione alcolica venne assimilata alla decomposizione del glucosio secondo la reazione chimica $C_6H_{12}O_6$ [glucosio] \rightarrow $2C_2H_5OH$ [etanolo] + $2CO_2$ [anidride carbonica] ampliando così gli studi su quella disciplina che risponde al termine attuale di “Biotecnologie” (Marzona, 1996).

1.1_Cos'è la fermentazione anaerobica

Il processo di fermentazione anaerobica nasce come via metabolica alternativa alla normale respirazione cellulare (Ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa) che avviene in un ambiente contenente ossigeno. Per fare chiarezza, consideriamo la glicolisi che, assieme alla fermentazione, appartiene al metabolismo del glucosio (catabolismo cellulare). Lo scopo di questa via metabolica, che avviene all'interno del citoplasma cellulare, è quello di intrappolare il glucosio all'interno della cellula e formare un composto che potrà essere facilmente scisso per trarne energia indispensabile per la sopravvivenza della cellula. Il suo metabolismo è di due tipi: aerobico per tutti quegli organismi

che utilizzano ossigeno, oppure anaerobico per quegli organismi che non lo utilizzano. In entrambi i casi, si parte da una molecola di glucosio ($C_6H_{12}O_6$) a sei atomi di carbonio che, attraverso tre fondamentali tappe, viene scissa in due molecole di acido piruvico. Questo è un passaggio decisivo perché proprio da questa tappa, se la cellula si trova in presenza di ossigeno, procede con la respirazione cellulare (Ciclo di Krebs e fosforilazione ossidativa) anche detta ciclo dell'acido citrico; altrimenti se l'ambiente ne è privo, il destino dell'acido piruvico subisce una modifica che prende il nome di fermentazione. In questo caso l'acido piruvico "consuma", o per meglio dire, ossida, una molecola di NADH (ridotto) a NAD^+ (ossidato) la glicolisi procederà con ulteriore riduzione di $NAD^+ \rightarrow NADH$. Infine, dal destino dell'acido piruvico dipenderanno le vie metaboliche successive che, ad esempio, potranno tradursi: fermentazione alcolica, propionica, lattica ed altre. Il piruvato potrà altrimenti, via mitocondriale, tramite decarbossilazione ossidativa trasformarsi in Acetil coenzima-A (Acetil-CoA), che, a sua volta, entrerà nel ciclo di Krebs. (vedi **Schema 1**)

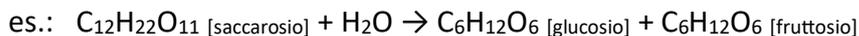


Schema 1

Si deduce che il processo fermentativo oltre al microorganismo interessato necessita di molteplici attori che concorrono alla trasformazione degli zuccheri in metaboliti diversi. Se si desidera un determinato tipo/resa di prodotto fermentato sarà necessario pilotare il microorganismo responsabile della fermentazione desiderata.

1.2_La fermentazione da differenti punti di vista

Da un punto di vista chimico la fermentazione è caratterizzata da reazioni di ossido-riduzione (redox); quello che avviene, è il catabolismo di uno zucchero fermentescibile, sovente il glucosio (C₆H₁₂O₆). Oltre al glucosio, esistono altri zuccheri fermentescibili ovvero digeribili dai microrganismi (xilosio, fruttosio, saccarosio, maltosio, maltotriosio etc.). Quindi, è possibile definire la fermentazione anaerobica come fenomeno ossido-riduttivo o di dismutazione (particolare tipo di reazione di ossido-riduzione nella quale un'unica sostanza in parte si ossida in parte si riduce) capace di trasformare una molecola complessa in molecole più semplici.



Da un punto di vista fisico, invece, la fermentazione è quel fenomeno naturale che porta ad una diminuzione dell'energia interna a favore di un aumento dell'entropia secondo la legge di Gibbs:

$$dH - TdS \leq 0$$

dove:

H: entalpia (definita come la somma dell'energia interna e del prodotto della pressione per il volume del sistema considerato.)

T: temperatura

S: entropia (funzione di stato che misura il grado di equilibrio raggiunto da un sistema in un dato momento)

d: derivata (la derivata esprime la variazione di una grandezza rispetto a un'altra).

Da un punto di vista biochimico la fermentazione è quel processo che trasforma l'energia "chimica in energia vitale". I microrganismi anaerobici (batteri, lieviti, funghi) per procurarsi l'energia vitale ai fini riproduttivi ricorrono a reazioni quali ad esempio:



Comprendere questi meccanismi permette di osservare con maggior chiarezza il fenomeno e identificare le giuste leve per pilotarlo. *"... tutti i processi legati al cibo, dal raccolto alla digestione,*

sono modi per provocare o prevenire cambiamenti biochimici. Conseguentemente da l'opportunità di conoscere quali leve utilizzare per ottimizzarlo..." (Yada et al., 2012).

Capitolo 2_I microrganismi negli alimenti

2.0_Cellula microbica e substrato alimentare

Da quanto considerato finora, si evince che i soggetti responsabili del processo fermentativo sono microrganismi dove si designa una categoria molto ampia e molto varia di organismi viventi che hanno in comune le dimensioni estremamente piccole, inferiori a 10 μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{mm}$)(Marzona, 1996). Quelli di interesse tecnologico per le industrie alimentari però, devono essere in grado di intervenire sulle matrici alimentari apportando modifiche che possono, ad esempio:

- trasformare un prodotto in un altro (es.: latte \rightarrow yogurt)
- generare prodotti utili (es.: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Le industrie alimentari per indurre la fermentazione desiderata utilizzano gli starter, inoculi standard capaci di dare risultati prevedibili ma, soprattutto sicuri. Essi sono costituiti da cellule microbiche desiderate e scelte che vengono inoculate in massa. Più nel dettaglio, ad esempio nello yogurt, per poter garantire risultati soddisfacenti, la matrice alimentare deve contenere un numero di agenti biologici superiore a 10^6 UFC/g: unità formanti colonia che stima il numero di cellule microbiche presenti per ogni gramo di campione (Kwofie et al., 2020). Relativamente al tipo di prodotto che si vuole ottenere gli standard possono essere diversi: batteri lattici, lieviti, muffe, piuttosto che una combinazione fra loro. Esempi concreti sono dati da alimenti fermentati come i formaggi o i salami in cui i batteri lattici figurano come flora dominante. Troveremo solo lieviti nella maggior parte delle bevande alcoliche se non una combinazione di batteri lattici e lieviti come avviene per la produzione del pane. L'interazione fra microrganismi, substrato alimentare e ambiente è la chiave per poter pilotare le fermentazioni di interesse tecnologico-industriale. Prendendo in considerazione i tre fattori appena citati relativamente ai microorganismi è necessario stabilirne: tipologia e concentrazione; circa il substrato la tipologia; infine, per quanto riguarda l'ambiente deve essere preparato in maniera opportuna tenendo conto dei seguenti parametri: umidità, temperatura, $[\text{O}_2]$, presenza di zuccheri fermentescibili,

I microorganismi giocano un duplice ruolo:

1. essere in grado di utilizzare gli zuccheri fermentescibili in ambiente anaerobico

2. creare, a seguito del punto 1, un ambiente acido (abbassando il pH) che risulta protettivo nei confronti di specie batteriche non desiderate

La varietà di specie microbiche, in grado di soddisfare i punti sopracitati con la possibilità di intervenire direttamente nella trasformazione fermentativa, è limitata. Sotto il profilo tassonomico, i batteri di interesse industriale sono attualmente classificati in tre grandi Phyla: Protobacteria, Firmicutes ed Actinobacteria. All'interno dei Firmicutes si trovano i batteri lattici, tra cui *Leuconostoc spp.*, *Lactobacillus spp.* e *Streptococcus spp.* (Quinto et al., 2014). spesso predominanti negli alimenti fermentati. Ma anche i lieviti ed i funghi concorrono positivamente ad incrementare la qualità finale del prodotto finito. Il ruolo dei funghi filamentosi nelle materie prime e nelle bevande alcoliche prevede la produzione di enzimi con la degradazione di fattori anti-nutritivi e i generi maggiormente impiegati sono *Actinomyces*, *Amylomyces*, *Aspegillus*, *Monascus*, *Mucor*, *Neurospora*, *Parcilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus* ed *Ustilago* (Tamang et al., 2017). Quest'ultimi ricoprono un importante ruolo soprattutto nelle produzioni dei formaggi erborinati; del genere *Penicillium* specie come *roqueforti*, penetrano all'interno del formaggio con le loro ife (filamenti cilindrici unicellulari o pluricellulari che agglomerati fra loro formano il micelio, ovvero il corpo vegetativo dei funghi). Le muffe vengono quindi inoculate, nel caso di prodotti lattiero-caseari, direttamente nella cagliata sotto forma di spore mentre i lieviti trovano maggior impiego nelle produzioni di bevande alcoliche. Quelli di maggior interesse tecnologico-industriale appartengono alla famiglia dei *Saccharomyces*, in particolare il *S. cerevisiae* coinvolto nella panificazione e nella fermentazione dell'alcol nel vino (Ray & Didier, 2014).

2.1_Enzimi e batteri lattici

A ricoprire un ruolo di centrale importanza nel definire consistenza e sapore negli alimenti fermentati sono i batteri lattici, noti anche come LAB (Lactose Acid Bacteria), batteri Gram-positivi dalla morfologia coccoide come *Enterococcus spp.*, *Lactococcus spp.*, *Streptococcus spp.* e *Leuconostoc spp.* o bastoncellare (**Figura 1**) ed in quest'ultimo caso i più utilizzati dalle industrie alimentari appartengono al genere *Lactobacillus spp.* (Ray & Didier, 2014). Questa grande famiglia di procarioti è fortemente acidofila ed acido-tollerante. Essa è dotata di un metabolismo in grado di generare a partire da una molecola glucidica (come il lattosio):

- solo acido lattico qualora il microrganismo sia omo fermentante (es.: *Streptococcus spp.* e *Pediococcus spp.*)

- acido lattico più altre sostanze come etanolo o biossido di carbonio piuttosto che acidi organici (come acido acetico, acido formico, acido propionico, acido butirrico etc.) nel caso di etero fermentanti (es.: *Leuconostoc spp.* e *Lactococcus spp.*).

Ad ogni modo, la caratteristica che accomuna questo genere di batteri è la produzione di acido lattico a partire da glucidi. Ai fini tecnologici, viene sfruttata proprio questa loro capacità metabolica soprattutto nella produzione di prodotti lattiero-caseario e i generi che possiedono un metabolismo omo fermentante rappresentano quelli di maggior impiego in questo settore (Johnson, 2014). Questi sono i motivi per i quali questa grande famiglia di batteri gode di reputazione pro-tecnologica. Sono asporigeni, immobili, virtualmente non patogeni e molto esigenti da un punto di vista nutrizionale. Il loro metabolismo prevede la sintesi di enzimi aventi lo scopo di scindere le proteine, i glucidi e i grassi ovvero quei macronutrienti che compongono ciascun alimento. Quest'ultima è una peculiarità molto importante in quanto la flora che si svilupperà sarà quella tipica dell'alimento che è strettamente legata alle frazioni: proteiche, glucidiche e lipidiche. Nel dettaglio i primi nutrienti che gli enzimi microbici vanno a degradare sono gli amminoacidi liberi, molto più semplici da idrolizzare rispetto a peptidi, peptoni e proteine, strutturalmente complessi caratterizzati da un'azione decisamente più lenta in termini metabolici. Le proteasi vengono rilasciate tardivamente con azioni secondarie. In secondo luogo, verranno degradati gli zuccheri semplici come monosaccaridi e disaccaridi (es.: lattosio composto da due monomeri: D-galattosio e D-glucosio) per poi scindere molecole più complesse come il glicogeno piuttosto che l'amido o la cellulosa. Infine verranno rilasciate le lipasi microbiche, enzimi con la capacità di degradare i lipidi in glicerolo e in acidi grassi. L'acido grasso a basso peso molecolare è volatile (es.: acido acetico (CH_3COOH), acido butirrico ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$), acido capronico ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$)), motivo per cui caratterizza il prodotto in termini di aroma. Viceversa se l'acido grasso presenta una lunga catena allora andrà incontro al fenomeno di irrancidimento ossidativo o chetonico caratterizzato nel primo caso dalla produzione di perossidi, idroperossidi, e aldeidi, ovvero molecole responsabili dei sentori anche sgradevoli negli alimenti, nel secondo caso da chetoni, β -chetoacidi o metilchetoni. I microrganismi dotati di metabolismo omo fermentante sono i più utilizzati per le trasformazioni del latte in prodotti lattiero-caseari perché offrono una resistenza al calore maggiore rispetto a quelli etero fermentanti. Essi sono più efficienti perché la cinetica fermentativa è più veloce, sono anche più efficaci in quanto il metabolita è rappresentato principalmente dall'acido lattico. Tuttavia, se da un lato i batteri dal metabolismo etero fermentante acidificano meno, da un altro sono in grado di produrre molti

più aromi e occhiature scelte come nel caso del genere *Leuconostoc spp.* che usa gli zuccheri per sintetizzare biofilm (comunità di cellule batteriche incluse in una matrice polimerica autoprodotta e adesa ad una superficie inerte) ed esopolisaccaridi (Kindstedt, 2014). Questa capacità viene utilizzata per produrre alimenti che dovranno possedere una determinata consistenza come può essere il caso dello yogurt greco o di alcuni latti fermentati. Anche numerose specie del genere *Lactobacillus* possiedono metabolismo etero fermentante come *Lb.sakei*, *Lb.brevis*, *Lb.planctarum*, utilizzati per la produzione del sakè, o di verdure fermentate come i crauti. Ecco quindi ritornare l'attenzione sull' ambiente dove gli aspetti tecnologici e il loro monitoraggio sono le leve fondamentali che, consentono di restituire prodotti finiti con una qualità tecnologica, organolettica, reologica e nutrizionale, desiderata dal consumatore finale.

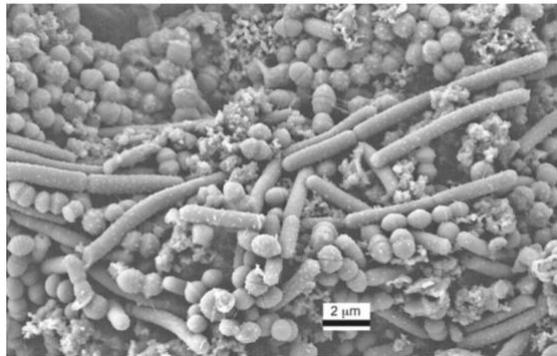


Figura 1

Figura 1: Micrografia elettronica di *Lactobacillus helveticus* (bastoncellari) e *Streptococcus thermophilus* (cocchi).

Fonte: William McManus e Donald Mc Mahon, Western Dairy Center, Utah State University. (Pagine 73-94)

2.2_Destino metabolico dell'acido piruvico

La sequenza delle diverse reazioni che portano dal glucosio all'acido piruvico ($C_3H_4O_3$) è piuttosto simile nella maggior parte delle cellule, siano esse eucariote che procariote, ciò che cambia, invece, è proprio il destino metabolico dell'acido piruvico, che rappresenta la molecola cardine responsabile delle successive trasformazioni organolettiche. Un ambiente caratterizzato dall'assenza di ossigeno e dalla presenza di un compartimento più o meno ricco di carboidrati, piuttosto che di proteine o zuccheri tipici di ciascun alimento, selezionerà il tipo di microrganismo che andrà a metabolizzare gli zuccheri generando acido piruvico ($C_3H_4O_3$) o ad esempio acido propionico ($C_3H_6O_2$) questa deriva cambia organoletticamente le proprietà. Qualora diversamente vi sia la presenza di microrganismi del genere *Clostridium spp.* che sono alteranti, ubiquitari, sporigeni e per questi motivi

potenzialmente patogeni è possibile incorrere da prima nel rischio di un'adulterazione alimentare che conseguentemente può condurre a una tossinfezione (M_{alattia} T_{rasmissibile} dagli A_{limenti}). Va pur sempre considerato che il processo di fermentazione è un'alterazione (modificazione più o meno profonda dell'alimento o del prodotto originale causata da fenomeni degenerativi per cattiva o prolungata conservazione) tanto quanto il fenomeno putrefattivo e quello di irrancidimento; l'abilità dell'essere umano sta nell'aver modificato un'alterazione in qualcosa di positivo a suo vantaggio. La differenza che contraddistingue la fermentazione risiede nell'intraprendere una via metabolica piuttosto di un'altra, di conseguenza, anche nei loro prodotti finali. La putrefazione, caratterizzata da decarbossilazione da desolforazione, vede la produzione di amine biogene, idrogeno solforato (odore di uova marce) e ammoniaca, l'irrancidimento è contraddistinto dal fenomeno della β -ossidazione la quale produce aldeidi e chetoni, mentre la fermentazione si qualifica per la produzione di acidi, alcoli e biossido di carbonio. In sintesi, il processo metabolico non si arresta mai all'acido piruvico ma, la molecola troverà sempre una via metabolica da percorrere in quanto la molecola di NAD⁺, trovandosi naturalmente in condizioni di scarsità all'interno del citoplasma cellulare, deve necessariamente essere sintetizzata per garantire la sopravvivenza della cellula stessa. Il suo corretto funzionamento è garantito proprio dalla trasformazione della molecola di acido piruvico e la conseguente via metabolica, da quel momento prenderà il nome di fermentazione (Stanbury et al., 2017). Si contano innumerevoli e differenti vie metaboliche che l'acido piruvico potrà intraprendere alle quali corrisponderanno altrettante tipologie di metaboliti. Tra queste le due più comuni sono:

1. Fermentazione alcolica (produzione di etanolo)
2. Fermentazione lattica (produzione di acido lattico)

Chiariti quindi gli aspetti caratterizzanti la fermentazione ed osservati i principali rapporti chiave da monitorare per poterla gestire, si procede ora ad analizzare le motivazioni che portano a produrre alimenti fermentati.

Capitolo 3_Alimenti fermentati

3.0_Perché produrre alimenti fermentati

Gli alimenti fermentati vengono consumati in tutto il mondo e se ne stimano più di 5000 varietà, bevande alcoliche incluse. Non è facile trovare quindi un denominatore comune per tutti ma, è possibile comunque, classificarli in nove distinti gruppi in base alle origini del substrato utilizzato se vegetale o animale. Nel primo caso si distinguono 1) cereali, 2) verdure/germogli di bambù, 3) legumi, 4) radici/tuberi; mentre nel secondo caso rientrano 5) prodotti lattiero-caseari, 6) carne 7) prodotti ittici 8) prodotti fermentati vari ed infine 9) bevande alcoliche (Tamang et al., 2017). Vista la vastità di gamma dei prodotti fermentati è utile considerare come prerequisito l'aspetto economico che per le industrie deve essere proficuo, diversamente non ci sarebbe interesse nell'investire tempo e risorse destinate alla ricerca, sviluppo e produzione. Poiché i substrati da offrire ai microrganismi ai quali si affidano le fermentazioni sono rappresentati dalle materie prime, quest'ultime sono tendenzialmente caratterizzate da costi poco elevati (latte, uva, grano, etc.). I prodotti finiti, invece, possiedono margini di profitto piuttosto elevati come è testimoniato dalla vendita di alcuni vini venduti a più di 20.000 \$ o bottiglie di aceto particolari vendute a più di 1.000 \$ al litro (Sahoo et al., 2023). Appurato quindi l'interesse economico delle industrie è possibile giustificare il crescente aumento della diversificazione all'interno del medesimo comparto alimentare e la conseguente ricerca di sapori e aromi nuovi, particolari, innovativi e di tendenza. Recentemente, però, una quantità crescente di prodotti fermentati non tradizionali sta iniziando a destare un aumento di interesse. Il fenomeno è dipendente dal contesto storico attuale contraddistinto dalla sempre più crescente multi-cultura che stanno portando naturalmente ad un intreccio della cultura culinaria. È proprio grazie a questo fattore che si possono trovare alimenti come il Kimchi (dalla Corea) piuttosto che il miso (dal Giappone) o ancora il Kefir (dall'Europa orientale) nella cucina occidentale (Sahoo et al., 2023). Il Kimchi è un piatto piccante e salato tipico coreano a base di verdure fermentate: cavolo, zenzero, aglio, sale, peperoni. Il miso è prodotto della fermentazione di legumi e cereali (miscele di soia, miglio, riso, orzo) molto consumato in Giappone, tipico del Caucaso invece è il Kefir, alimento fermentato da batteri lattici, acetici e lieviti che, generando una fermentazione acido-alcolica, danno origine a questa bevanda dalla consistenza cremosa e dal sapore leggermente alcolico, acido ed aspro (Sahoo et al., 2023). Ogni prodotto è caratterizzato da una flora residente. Vista la complessità dell'intero processo metabolico e produttivo che caratterizza ogni prodotto, verranno considerati gli aspetti tecnologici e sensoriali più nel dettaglio nei successivi capitoli.

3.1_ La flora nella fermentazione lattica

L'industria lattiero-casearia controlla il processo di fermentazione che avviene a partire dal latte, e nello specifico dal lattosio in esso contenuto, in presenza di due enzimi:

1. Permeasi: enzima che permette l'ingresso del lattosio all'interno della cellula microbica,
2. β -Galattosidasi: enzima che scinde il lattosio.

La flora lattica, utilizzata come starter, metabolizza il lattosio.

3.1.1_ note sullo yogurt

Lo yogurt è un latte fermentato ma non tutti i latti fermentati sono yogurt. In Italia si riserva tale denominazione solo al latte fermentato dalla protocollazione (condizione in cui due specie, anche di regni diversi, traggono vantaggi interagendo fra loro; non essenziale alla vita) di due microrganismi specifici: *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* sottospecie *bulgaricus* (Abdullah Thaidi et al., 2021).

Qualora la fermentazione avvenga ad opera di microrganismi diversi si parlerà più genericamente di latti fermentati ovvero prodotti ottenuti dalla coagulazione del latte senza sottrazione di siero, per azione esclusiva di microrganismi che devono mantenersi vivi e vitali fino al momento del consumo.

In sintesi, in termini tecnologici, è necessario:

- standardizzare il latte attraverso la pastorizzazione (72°C per 15 secondi)
- omogeneizzare il latte al fine di sospendere finemente il grasso nella sua matrice acquosa
- concentrare il latte (operazione facoltativa)
- introdurre lo starter

a questo punto si evidenziano due possibilità:

yogurt a coagulo rotto: la fermentazione avviene in serbatoi, ad ottenimento del coagulo lo stesso viene "rotto" mediante l'utilizzo di "ventole" e quindi imbottigliato

yogurt a coagulo intero: la fermentazione avviene direttamente in barattolo che è stato riempito di una miscela di latte + fermenti lattici

3.1.2_ note sui formaggi

Analogo discorso è applicabile anche per prodotti come i formaggi in cui è possibile selezionare uno starter costituito da una microflora piuttosto di un'altra.

In sintesi, in termini tecnologici, è necessario:

- standardizzare il latte attraverso la pastorizzazione (72°C per 15 secondi), o il trattamento più blando di termizzazione (60°C per 20 minuti) oppure è possibile non effettuare alcun intervento termico ed è il caso dei prodotti a latte crudo. Nelle prime due situazioni le cellule microbiche che resisteranno saranno solamente microorganismi termodurici in grado di sopravvivere, non crescere, alle temperature di pastorizzazione, mentre nel terzo caso la diversità di specie sarà molto più elevata, includendo potenzialmente anche quelle enteropatogene.
- portare il latte alla temperatura di processo (30°÷45°C);
- eseguire l'inoculo con idonea flora batterica

a questo punto il prodotto finale determinerà la strada da seguire. È chiaro che possedere le competenze necessarie per fare uso delle tecnologie alimentari diventano bagagli formativi decisivi per tutti coloro che desiderano lavorare prodotti lattiero caseari. La selezione quindi delle cellule microbiche volute attraverso le temperature di lavorazione ne garantiscono un ambiente favorevole alla sopravvivenza. Di conseguenza ne emerge:

1. L'importanza della qualità della materia prima tanto da portare la Comunità Europea ad implementare il Regolamento (C.E.) 853/2004 secondo il quale il latte, per poter essere accettato da un'azienda alimentare al momento del ricevimento, deve presentare un tenore in germi minore o uguale a 100.000 UFC/mL contemporaneamente ad un tenore di cellule somatiche minore o uguale a 400.000 cellule/mL.
2. L'importanza da parte degli operatori del settore alimentare (OSA) di lavorare nel costante rispetto delle cogenti norme igienico-sanitarie (Regolamento (C.E.) 852/2004) e dei suoi criteri microbiologici sia in termini di sicurezza alimentare che di igiene di processo imposti dal Regolamento (C.E.) 2073/2005.

Rilevante è il rispetto dei due fattori sopracitati in quanto da essi dipendono le trasformazioni utili o dannose del prodotto.

Ad esempio, relativamente al formaggio, favorire la presenza di batteri propionici, come *Propionibacterium spp.* dal metabolismo etero fermentante, permette di sfruttare la produzione di CO₂ per creare prodotti con occhiature tipiche come nel caso del formaggio svizzero Emmental ma, anche dalle particolari caratteristiche organolettiche grazie alla produzione di diversi metaboliti quali acetato e propionato che conferiranno il tipico sapore dolce e leggermente piccante alla massa. Il microrganismo *Propionibacterium freudenreichii*, infatti, è il diretto responsabile e non solo del formaggio Emmental (Kindstedt, 2014) ma, anche dei formaggi olandesi come Leerdammer e Maasdam caratterizzati anch'essi da occhiature positive e dal sapore dolciastro ed aromatico che con il prolungarsi della stagionatura aumenteranno di intensità. Prendendo in esame un formaggio stagionato quello che accade durante il periodo di maturazione è il verificarsi di alterazioni chimico fisiche nella matrice alimentare stessa: le proteasi batteriche dotate di azione tardiva saranno perfette per il periodo di maturazione e le conseguenti proteolisi subite concorreranno alla formazione dell'aroma. La glicolisi sarà invece responsabile solo in piccola parte della formazione della tessitura nel caso di formaggi occhiati perché la consistenza dipende soprattutto dall'umidità del prodotto mentre le lipolisi apporteranno modifiche gradite del sapore. Difettosità come il gonfiore precoce sono causate da lieviti o microrganismi appartenenti alla famiglia delle Enterobacteriaceae: batteri Gram- di cui la maggior parte risiede nell'intestino dei mammiferi e comprende molti dei patogeni più noti come *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Klebsiella spp.*, *Shigella spp.* La causa è da ricercare nell'inquinamento nella mungitura piuttosto che nelle lavorazioni quali: attrezzature, igiene del personale etc. Il gonfiore tardivo, invece, è un'altra difettosità dei formaggi che origina nel primo tratto della filiera agroalimentare perché vede come agente eziologico microbi come *Clostridium butyricum* o *Clostridium tyrobutyricum*, ubiquitari tipici degli insilati. In questo caso la prevenzione è definita da tecnologie quali scrematura, affioramento o bactofugazione del latte, attraverso un'alimentazione priva di insilati in sinergia all'aggiunta di lisozima: enzima tipico dei tessuti animali dotato di attività antimicrobiche in quanto capace di idrolizzare i legami β -(1-4) fra l'acido N-acetil muramico e N-acetil-glucosammina, i due costituenti principali della parete cellulare dei batteri Gram +. La soluzione risiede in una idonea pulizia e sanificazione dei macchinari e degli ambienti nonché da corretta igiene del personale e dei luoghi di lavoro. Ne consegue che idonee procedure, registrazioni, formazione e controlli risultano essere necessari ai fini dell'ottenimento di un prodotto che risponda ai requisiti legislativi. Possedere quindi competenze inerenti alle tecnologie alimentari consentono un approccio cautelativo essenziale alla

sicurezza igienico-sanitaria degli alimenti e permettono la realizzazione del prodotto fermentato finito con le caratteristiche favorevoli richieste dal consumatore finale.

3.2_La flora nella fermentazione alcolica

La fermentazione alcolica produce etanolo (C_2H_6O) ed è una delle tecnologie più anticamente conosciuta in ambito industriale. Tutt'ora di notevole importanza poiché grazie alla molecola di etanolo vengono prodotte le bevande fermentate. Inoltre la fermentazione alcolica è alla base della lievitazione anche se, osservando quello che avviene esattamente durante la sua produzione, l'etanolo durante la panificazione evapora in cottura in conseguenza alle alte temperature, a differenza dell'anidride carbonica che è la diretta responsabile della lievitazione (Giorilli & Lauri, 1999). Nel momento in cui l'etanolo interessa come bevanda (vino, birra), il processo fermentativo non è finalizzato alla produzione di alcol puro, piuttosto all'ottenimento di una soluzione idroalcolica complessa. In essa rivestono molta importanza la presenza e la concentrazione di alcuni prodotti quali esteri, flavoni, alcoli superiori che determinano il gusto e l'aroma della bevanda e di conseguenza anche il suo pregio ed il suo valore economico (Marzona, 1996). Il numero di bevande alcoliche è indubbiamente incalcolabile ma, è possibile fare una prima distinzione netta sulla base di quelle che sono: bevande alcoliche fermentate come nel caso di vino, birra, sakè e sidro, bevande alcoliche distillate come grappa, cognac, vodka, whiskey, rum e brandy caratterizzate da un titolo alcolimetrico non inferiore ai 15% vol. ed infine, bevande alcoliche liquorose come amari, digestivi, liquori secchi e dolci che prevedono un tenore di alcol compreso fra i 20 ed i 50 punti percentuali volumetrici (Jackson, 2009). Sulla base di questa classificazione funzionale è possibile dichiarare che le bevande fermentate sono completamente differenti da quelle distillate e liquorose, le quali possiedono una percentuale alcolica eccessivamente elevata a consentire il processo fermentativo da parte dei lieviti e, infatti, rientrano convenzionalmente nella classe delle bevande spiritose (non fermentate). Concentrando l'interesse meramente alle bevande fermentate si prende ad esempio il vino ed il suo processo di vinificazione la cui materia prima è rappresentata dall'acino d'uva. I ceppi di microrganismi protagonisti sono lieviti del genere *Saccharomyces cerevisiae* (Jackson, 2009), fermento autoctono in quanto naturalmente presente sulla superficie dell'acino d'uva, anche se in basse concentrazioni ma, si può trovare anche *Saccharomyces bayanus* come inoculo. Di batteri troviamo quelli lattici, genere *Pediococcus spp.* e *Lactobacillus spp.* come omo fermentanti mentre genere *Leuconostoc spp.* e *Oenococcus spp.* come etero fermentanti (Jackson, 2009). Affidando i processi metabolici a questi microrganismi essi producono una fermentazione alcolica, in primo

luogo, a cui seguirà una fermentazione malolattica; processo per cui l'acido malico, naturalmente contenuto negli acini d'uva, viene degradato ad acido lattico con conseguente diminuzione dell'acidità totale, la quale, per ottenere una fermentazione efficace, dovrebbe rientrare fra valori di pH 3,25-3,50 (Bamforth & Cook, 2019). Ad ogni modo, anche se nella letteratura scientifica si parla di fermentazione malolattica, urge evidenziare un ragionamento importante: analizzando ciò che accade durante la trasformazione dell'acido malico ($C_4H_6O_5$) in acido lattico ($C_3H_6O_3$) è possibile notare come unica differenza nella struttura chimica della molecola la perdita di un atomo di carbonio e due di ossigeno ergo di anidride carbonica (CO_2). Per questi motivi sarebbe più corretto parlare di decarbossilazione (perdita di una molecola di CO_2), più che di fermentazione (via metabolica complessa). Da quest'ultima affermazione è possibile considerare i lieviti come i veri responsabili del metabolismo fermentativo e della trasformazione del mosto in vino, mentre i batteri lattici vengono utilizzati per incidere sugli aspetti sensoriali attraverso la trasformazione o meglio, decarbossilazione, dell'acido malico caratterizzato da un sapore aspro ad acido lattico dal sapore più gentile (Jackson, 2009). Tale esito è dovuto al fatto che l'acido lattico è un acido debole per natura e lo è ancora di più rispetto all'acido malico e per questi motivi il vino finale viene percepito dal consumatore con un sapore più delicato ed amabile (Jackson, 2009). Per garantire i risultati appena citati, è necessario preparare la materia prima in modo tale da ottenere dalla sua spremitura il mosto di vino il cui substrato, composto da mono ed oligosaccaridi, verrà metabolizzato da lieviti e batteri, i quali produrranno anidride carbonica ed etanolo (Marzona, 1996). Il primo passaggio è dunque la pigiatura dell'uva; momento in cui le bucce vengono separate dalla polpa contenente gli zuccheri. L'operazione unitaria successiva, che ha luogo all'interno dei tini (contenitori di dimensioni medio-grandi utilizzato per la fermentazione del mosto d'uva), va sotto il nome di follatura e rappresenta il momento in cui si esercita una pressione sul cappello formatosi sulla parte superiore della massa e costituito dal residuo solido della lavorazione dell'uva (vinacce) in modo di farle reimmergere nel mosto ripetutamente e costantemente (Jackson, 2009). Questa operazione ha scopo di permettere l'estrazione dalle bucce di sostanze polifenoliche (famiglia di molecole organiche naturali che comprendono flavonoidi, tannini e lignine e costituite da più gruppi fenolici ripetuti ed organizzati in maniera più o meno complessa dotate di attività antiossidante) ed antociani (coloranti idrosolubili appartenenti alla famiglia dei flavonoidi riconosciuti dalla codifica europea degli additivi alimentari con la sigla E163) per poterle ritrovare poi nel vino. Facendo infine riposare il mosto, il cappello formatosi in superficie ha funzione di impedire all'ossigeno di penetrare, garantendo così l'ambiente anaerobio che permette alla fermentazione alcolica di attivarsi producendo un crescente tenore di

etanolo all'interno dell'intera massa. Da notare che durante la follatura l'ossigeno va a contatto col mosto ma ciò è necessario; altrimenti una fermentazione troppo spinta porterebbe ad un conseguente aumento della concentrazione di alcol ma, se eccessivamente elevato, fungerebbe da inibitore e dagli effetti tossici nei confronti degli stessi lieviti e proprio per evitare tale problematica si fa uso di basse concentrazioni di anidride solforosa (SO₂). Essa per la sua attività antisettica-selettiva uccide i microrganismi indesiderati senza avere ripercussioni negative sui lieviti (Jackson, 2009). Motivo per cui spesso nelle etichette dei vini compare la scritta: "contiene solfiti". Ad ogni modo, studiando l'interazione fra microrganismo ed ambiente circostante durante ogni singola operazione unitaria, è possibile incidere, non poco, sul gusto che dovrà possedere il prodotto finale. La scelta della flora batterica sarà per questi motivi determinante per gli aspetti sensoriali finali del

vino come testimoniato dallo studio riportato in **Figura 2** in cui l'impiego di specie diverse di lieviti porta a risultati sensoriali finali differenti fra loro.

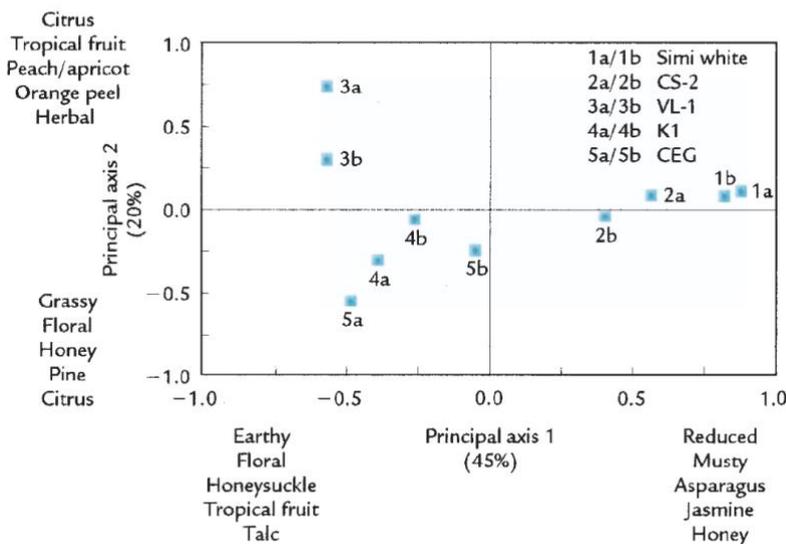


Figura2

Figura 2: Fonte: Wine testing: A professional handbook, pagina 408.

Nello studio specifico sopra riportato in figura si nota come cambia il profilo aromatico di uno stesso vino Riesling (dopo 20 mesi) fermentato con diversi ceppi di lievito: 1a, 1b e lieviti Simi white: 2a, 2b, CS-2; 3a, 2b, VL-1; 4a, 4b, K1; 5a, 5b, CEG.

Da quanto emerso finora, i lieviti all'interno del processo di vinificazione risultano gli attori principali della fermentazione alcolica e dunque della trasformazione degli zuccheri in etanolo il che conferirà l'insieme delle sensazioni olfattive che andranno a caratterizzare il prodotto finito. L'etanolo prodotto è in grado di ricoprire diverse attività come aumentare la dolcezza degli zuccheri e allo stesso tempo diminuire la percezione di acidità, può aumentare l'intensità percepita dei composti fenolici amari ed infine diminuire l'astringenza finale, dunque di ruvidità e secchezza alla bocca indotta dai tannini (Tamang et al., 2017). Ad avere il ruolo determinante nel gusto finale che avrà la soluzione idroalcolica e ad incidere conseguentemente sul valore economico finale saranno i gruppi dei fenoli che si dividono, a loro volta, in flavonoidi dunque composti organici di sintesi vegetale composti da due gruppi fenolici (-OH) uniti ad un anello piranico ed abbondanti nei vini rossi e non flavonoidi come composti organici dotati di almeno un gruppo fenolico (-OH), molecole che derivano dalle bucce e dai semi dell'uva (Jackson, 2009). A testimonianza di ciò, i flavonoidi si presentano nella maggior parte dei casi in forma polimerizzata ed allora prendono il nome di tannini conferendo al prodotto finito le caratteristiche sensoriali individuali ma definendone anche corpo e colore (Jackson, 2009). Il lavoro di ricerca dei biotecnologi alimentari basato sullo studio del metabolismo dei microrganismi diventa per cui decisivo per poter ottenere le molecole sensoriali desiderate all'interno del prodotto fermentato finito in questo settore.

3.3_ Benefici degli alimenti fermentati

Merito degli enzimi microbici, agli alimenti fermentati vengono riconosciuti diversi benefici relativi alla salute umana per via del favorevole impatto che hanno sull'intestino come, ad esempio, l'attività antimicrobica definita proprio da proteine naturali che prendono il nome di batteriocine (Btc): peptidi bioattivi dotati di attività antimicrobica come la Niacina (**Figura 3**), molecola prodotta dal genere *Lactococcus* subsp. *lactis* e *cremoris*. Questa batteriocina risulta composta da 34 amminoacidi (Bamforth & Cook, 2019) e possiede la facoltà di inibire la biosintesi della parete della

cellula batterica con formazione di pori di membrana che portano alla conseguente alterazione dell'equilibrio osmotico e del potenziale di membrana della cellula. Molto attivo nei confronti di alcuni agenti patogeni come *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus* ma non risulta tossica per i mammiferi perché la proteina viene distrutta dal tratto gastroenterico (Bamforth & Cook, 2019). Per i motivi appena descritti viene prelevata ed aggiunta come antibiotico naturale durante la preparazione degli alimenti trovando impiego tecnologico nelle industrie come additivo alimentare e quando presente, segnalato in etichetta con la sigla E234 come da codifica europea. Ne consegue che oltre ad offrire sicurezza nell'alimento ne permette anche il prolungamento della vita commerciale migliorandone così le caratteristiche di conservazione, che si ricorda essere primo vero scopo della fermentazione.

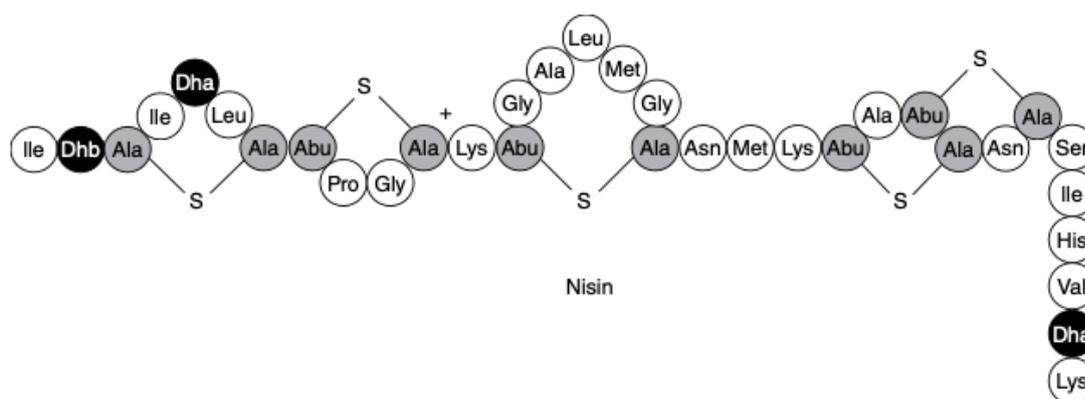


Figura3

Figura 3: Nisina. Fonte: (The Science Underpinning Food Fermentations. In Food, Fermentation, and Micro-organisms.2019. Pag.22.)

Agli alimenti fermentati si riconosce poi l'identità di "alimenti funzionali" in quanto capaci di apportare beneficio al consumatore grazie agli effetti addizionali dovuti alla presenza dei loro componenti che interagiscono con una o più funzioni fisiologiche dell'organismo e quindi svolgendo un ruolo di biomodulazione. A titolo dimostrativo, il cioccolato che deriva dalla fermentazione delle fave di cacao, contiene al suo interno molecole di epicatechina, un flavonoide ad alto potere antiossidante e contemporaneamente protettivo del sistema cardiovascolare ma, solo se fondente perché il latte inattiva la molecola. D'altro canto, anche i prodotti lattiero-caseari e soprattutto i lattici fermentati, contengono molecole in grado di ridurre il rischio di malattie. Lo yogurt veicola le vitamine del gruppo B, minerali importanti come il calcio, fermenti lattici e probiotici ovvero microrganismi per lo più lattobacilli e bifidobatteri (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum*) in grado di conferire benefici all'ospite se somministrati in adeguate quantità e capaci di influenzare l'attività di altri generi microbici (alterazione microbiota) variando le condizioni ambientali (alterazione microbiota). In questo caso, è sufficiente considerare

anche solo la materia prima latte per confermare l'attività svolta da biopeptidi: sono rappresentati da piccole sequenze amminoacidiche che si trovano all'interno di un'unica proteina ma in forma inattiva e che, nel momento in cui subiscono le proteasi batteriche presenti nel latte si liberano nell'organismo nella loro forma attiva (Novelli et al., 2004) esplicano i loro effetti benefici. Infine, i cibi derivanti dalle fermentazioni apportano miglioramenti ai processi digestivi. Nel momento in cui i macronutrienti presenti nella materia prima vengono anche solo parzialmente demoliti l'alimento fermentato risulterà parzialmente digerito e tutto ciò si traduce in una migliore digeribilità per il consumatore finale. Infatti, vi sono enzimi (microbici) chiamati fitasi che hanno il compito di degradare composti come i fitati, quest'ultimi decisamente indesiderati tanto da essere considerati fattori anti-nutrizionali poiché hanno facoltà di inibire l'assorbimento di micronutrienti importanti come il calcio ed il ferro, e che si trovano nella normale composizione di alcuni semi, legumi e cereali integrali (Dimidi et al., 2019). La degradazione dei fitati porta quindi ad una maggior biodisponibilità dei minerali, i quali verranno assorbiti più facilmente. Anche l'aspetto organolettico si vede migliorato come nelle olive che possedendo numerosi composti fenolici amari, le rendono difficili da ingerire ma, una volta sottoposte a fermentazione, risultano appetibili al palato. Ecco che gli alimenti fermentati gestiti dalle industrie alimentari risultano prodotti sicuri, benefici per l'organismo e più digeribili guadagnandosi la popolarità globale di cui godono tutt'ora.

Conclusioni

Quello che emerge da queste pagine è l'importanza dei ceppi microbici utili alle industrie alimentari e non, ai quali vengono affidate le fermentazioni attraverso il riconoscimento del loro importante ruolo protecnologico e probiotico.

La popolarità su scala mondiale dei cibi fermentati ne conferisce molteplici vantaggi:

- per il produttore:
 - che vede crescere il valore economico del prodotto finito,
 - ottenere un prodotto con maggior tempo di conservabilità rispetto la materia prima
- per il consumatore:
 - miglioramento della digeribilità del prodotto
 - introduzione di batteri utili nel sistema digestivo con conseguente riequilibrio della flora batterica e quindi del sistema immunitario

- produzione autonoma di vitamine, a esempio quelle del gruppo B e la K
- conservabilità del prodotto per tempi lunghi
- esaltazione del gusto dell'alimento, conferendone complessità.

Risulta importante ribadire che la microflora residente non deriva esclusivamente dalla materia prima o da inoculi ma, viene influenzata anche dalle attrezzature, dall'igiene del personale e dall'ambiente di lavorazione (Novelli et al., 2004). Per questo è necessario rispettare la corretta applicazione delle pratiche di lavorazione (GMP) e di igiene (GHP) aziendale. La sinergia poi con studi, approfondimenti e sperimentazioni in ambito biotecnologico favorisce lo sviluppo di nuovi prodotti e/o nuovi metodi di lavorazione necessari vista la particolare complessità del sistema.

Visto che Il rischio aumenta particolarmente in due circostanze:

- nei prodotti che non vengono trattati termicamente come il latte crudo dove a sopravvivere saranno batteri mesofili (in grado di crescere in un intervallo di temperatura moderato fra i 20 e 45°C), categoria alla quale appartengono innumerevoli agenti patogeni come *Staphiloccocus aureus*, *Mycobacterium spp.* e *Listeria monocytogenes*,
- nei prodotti domestici che potranno essere più saporiti, ma non più sicuri.

È cogente per le aziende del comparto alimentare la definizione del flow chart operativo, la conseguente analisi dei rischi (ad esempio tramite l'FMEA o più semplicemente applicando la formula $R = P * M$), l'identificazione (ad esempio tramite l'applicazione dell'albero decisionale) di eventuali punti critici (CCP), dei prerequisiti operativi (PRP_{op}) o dei prerequisiti (PRP) come richiesto dall' art. 5 del Reg. C.E. 852/2004.

Ogni ceppo possiede le proprie caratteristiche metaboliche che risponderanno in funzione dell'ambiente circostante. Da questo presupposto la sfida della scienza consiste nello studio dell'ecologia microbica al fine di promuovere gli alimenti fermentati senza perdere i sapori caratteristici e la qualità organolettico-nutrizionale.

In un'ottica sostenibile della produzione degli alimenti fermentati su scala globale risulta auspicabile adottare un approccio olistico fra scienziati, tecnici e industrie alimentari.

È quindi chiara l'univocità dell'alimento fermentato che, come tale, va studiato e gestito.

Bibliografia e sitografia

- Abdullah Thaidi, N. I., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2021). Fermented Milk: The Most Famous Probiotic, Prebiotic, and Synbiotic Food Carrier. In *Probiotics and Prebiotics in Foods* (pp. 135–151). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819662-5.00012-4>
- Bamforth, C. W., & Cook, D. J. (2019). *Food, Fermentation, and Micro-organisms* (1^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119557456>
- Dimidi, E., Cox, S., Rossi, M., & Whelan, K. (2019). Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients*, 11(8), 1806. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>
- Giorilli, P., & Lauri, S. (1999). *Il pane: Un'arte, una tecnologia*. F. Lucisano Editore : Zanichelli.
- Higman, B. W. (2011). *How Food Made History* (1^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781444344677>
- Hutkins, R. W. (A. c. Di). (2006). *Microbiology and Technology of Fermented Foods* (1^a ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470277515>
- Jackson, R. S. (2009). *Wine tasting: A professional handbook* (2nd ed). Academic Press.
- Johnson, M. E. (2014). Mesophilic and Thermophilic Cultures Used in Traditional Cheesemaking. In C. W. Donnelly (A. c. Di), *Cheese and Microbes* (pp. 73–94). ASM Press. <https://doi.org/10.1128/9781555818593.ch4>
- Kindstedt, P. S. (2014). The Basics of Cheesemaking. In C. W. Donnelly (A. c. Di), *Cheese and Microbes* (pp. 17–38). ASM Press. <https://doi.org/10.1128/9781555818593.ch2>
- Kwofie, M. K., Bukari, N., & Adeboye, O. (2020). Probiotics Potential of Yeast and Lactic Acid Bacteria Fermented Foods and the Impact of Processing: A Review of Indigenous and Continental Food Products. *Advances in Microbiology*, 10(09), 492–507. <https://doi.org/10.4236/aim.2020.109037>
- Marzona, M. (1996). *Chimica delle fermentazioni e microbiologia industriale: Introduzione alla biotecnologia* (2. ed). Piccin.
- Novelli E., Segato S., Balzan S. (2004). *La produzione e trasformazione del latte nel comprensorio montano vicentino*. Formazione Studi Universitari di Vicenza.
- Quinto, E. J., Jiménez, P., Caro, I., Tejero, J., Mateo, J., & Girbés, T. (2014). Probiotic Lactic Acid Bacteria: A Review. *Food and Nutrition Sciences*, 05(18), 1765–1775. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.518190>
- Ray, R. C., & Didier, M. (A. c. Di). (2014). *Microorganisms and Fermentation of Traditional Foods* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17307>
- Sahoo, M., Aradwad, P., Sanwal, N., Sahu, J. K., Kumar, V., & Naik, S. N. (2023). Fermented Foods in Health and Disease Prevention. In N. Chhikara, A. Panghal, & G. Chaudhary (A. c. Di), *Microbes in the Food Industry* (1^a ed., pp. 39–85). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119776406.ch2>
- Stanbury, P. F., Hall, S. J., & Whitaker, A. (2017). *Principles of fermentation technology* (Third edition). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00186-7>
- Tamang, J. P., Holzapfel, W. H., Shin, D. H., & Felis, G. E. (2017). Editorial: Microbiology of Ethnic Fermented Foods and Alcoholic Beverages of the World. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01377>
- Vallee, B. L. (1994). Alcohol in human history. In B. Jansson, H. Jörnvall, U. Rydberg, L. Terenius, & B. L. Vallee (A. c. Di), *Toward a Molecular Basis of Alcohol Use and Abuse* (pp. 1–8). Birkhäuser Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7330-7_1
- Yada, R. Y., Bryksa, B., & Nip, W. (2012). An Introduction to Food Biochemistry. In B. K. Simpson (A. c. Di), *Food Biochemistry and Food Processing* (1^a ed., pp. 1–25). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118308035.ch1>