



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN : SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

**PRODUZIONE DI SOUR BEERS:
COMPARAZIONE TRA BERLINER WEISSE**

**SOUR BEERS PRODUCTION: COMPARISON
BETWEEN BERLINER WEISSE AND LAMBIC**

TIPO TESI: compilativa

Studente:
Luigi Beccacece

Relatore:
PROF. DEBORAH PACETTI

Correlatore:
PROF. NATALE GIUSEPPE FREGA

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

Alla mia famiglia.
e a tutti coloro con cui ho
condiviso questo percorso.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
INTRODUZIONE	7
CAPITOLO 1 LA STORIA DELLA BIRRA	9
1.1 Mesopotamia ed Egitto	9
1.2 Periodo ellenistico: greci e romani	10
1.3 Celti e tedeschi	11
1.4 Il medioevo cristiano: i monasteri	12
1.5 L'avvento della professionalità	13
1.5.1 Lega anseatica (Hansa)	14
1.5.2 Aumento della produzione di birra in Olanda	15
1.5.3 Industrializzazione della birra in Inghilterra	16
1.6 La Baviera, l'ascesa della birra chiara	17
1.7 Dall'alchimia alla biochimica: l'avvento della scienza nella produzione brassicola ..	19
1.8 Europa, Stati Uniti e internazionalizzazione della birra; dalla storia contemporanea ai nostri giorni	21
CAPITOLO 2 PRODUZIONE : BIRRA CHIARA OTTENUTA DA BASSA FERMENTAZIONE ..	24
2.1 Macinazione del malto d'orzo	24
2.2 Ammostamento (mashing)	25
2.3 Filtrazione	27
2.4 Bollitura	28
2.4.1 Tenuta a caldo	29
2.4.2 Evaporazione	29
2.5 Fermentazione	30
2.5.1 Parametri fermentativi approfonditi	32
2.5.2 Tipi di fermentazione per la produzione di birra	34
CAPITOLO 3 BERLINER WEISSE : PRODUZIONE E CARATTERISTICHE	35
3.1 La storia e le caratteristiche	35

3.2 Fasi produttive preliminari alla fermentazione	37
3.2.1 Ammostamento, infusione e decozione	38
3.2.2 Filtrazione ed eventuale bollitura.....	40
3.3 Fermentazione primaria	41
3.3.1 Ammostamento acido (sour worting)	42
3.3.2 Coltura mista di <i>Saccharomyces cerevisiae</i> e batteri lattici mesofili	42
3.3.3 Fermentazione alcolica post o pre-acidificazione	43
3.3.4 Metodo Berliner Kindl	43
3.4 Fermentazione secondaria (condizionamento)	44
CAPITOLO 4 : LAMBIC : PRODUZIONE E CARATTERISTICHE	46
4.1 La storia e le caratteristiche	46
4.2 Fasi produttive preliminari alla fermentazione	48
4.2.1 Ammostamento e filtrazione	49
4.2.2 Bollitura e raffreddamento in vasca aperta	50
4.3 Fermentazione	53
4.3.1 Enterobacter e lieviti selvaggi	54
4.3.2 Fermentazione alcolica	55
4.3.3 Fase di acidificazione	56
4.3.4 Fase di maturazione	57
4.4 Consumo e aggiunta di frutta	58
4.4.1 Lambic puro	58
4.4.2 Taglio di lambic, l'avvento della gueze	59
4.4.3 Lambic con aggiunta di frutta	60
CONCLUSIONI	62
BIBLIOGRAFIA	64
SITOGRAFIA	67

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 2-1: Andamento dei consumi di birra in Italia per tipologia. Fonte: Assobirra. ... 24

Tabella 3-1: Principali parametri di berliner weisse, ove: 37

Tabella 4-1: Principali parametri di lambic 48

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Piano di san Gallo. La carta mostra lo schema di un monastero carolingio. Immagine tratta da www.revolvy.com	12
1-2: Carta del 1516 raffigurante il Reinheitsgebot, l'ordine di purezza bavarese. Immagine tratta da www.briubeer.com	18
Figura 2-1: Macina a rulli in funzione. Immagine presa da www.birramia.com	25
Figura 2-2: Schema di lauter tun. Immagine presa da "Handbook of brewng"	28
3-1: Etichetta della berliner weisse prodotta in passato dal birrificio Schulteiss che ha interrotto la produzione nel 2006. Immagine presa da www.ratebeer.com	36
3-2: Condizionamento di bottiglie di berliner weisse nel 1930. Immagine presa da VLB- Berlin	45
4-1: In alto: cellula di <i>Lactobacillus</i> (Gram+) in condizioni favorevoli di sviluppo In basso: cellula di <i>Lactobacillus</i> in presenza di isoumulone (iso-alfa-acido), il quale agisce come ionoforo nella membrana cellulare dissipando il gradiente. Immagine tratta da www.latticinellabirra.it	51

INTRODUZIONE

In questi ultimi anni è fortemente aumentato nel nostro paese il consumo della birra: nel 2018 tale incremento si è attestato al 3,2% rispetto all'anno precedente e nel 2019 il dato infrannuale sta registrando un ulteriore + 2% (dato Assobirra riferito all'agosto scorso).

Tutto ciò si è accompagnato ad un interesse sempre crescente per la produzione di birra artigianale, di pari passo ad un forte incremento dei suoi consumi.

Pertanto, sono nate in tutta Italia nuove realtà imprenditoriali, in gran parte giovanili (negli ultimi 10 anni il settore delle birre artigianali è cresciuto del 824%): nel 2018 i micro-birrifici erano 862, rappresentando il 3,1% della produzione di birra in Italia, ed il trend è tuttora in crescita (Il giornale della birra, 2019).

Tale capillarità di produzione permette di trovare sul mercato moltissimi tipi di birra, legati ognuno a diverse tecnologie di produzione o a ingredienti caratteristici, che delineano molteplici stili di bevanda difficilmente reperibili solo fino a qualche anno fa. Ogni micro-birrificio è alla continua ricerca di elementi tali da potersi differenziare dagli altri, proponendo tipologie di prodotti non convenzionali o addirittura completamente nuovi.

Venire a contatto con queste realtà produttive ha suscitato il mio interesse verso il settore brassicolo di cui ho iniziato ad approfondire la storia e le tecnologie di produzione, fino a decidere di svolgere il mio tirocinio accademico nel birrificio artigianale "MC-77" situato a Serrapetrona, in provincia di Macerata. Durante questo periodo ho iniziato anche a cimentarmi nella produzione casalinga della birra e sono rimasto particolarmente affascinato dal settore delle *sour beers* (le cosiddette birre acide). Tale denominazione viene comunemente data a diversi tipi di bevanda, accomunati tra loro dall'aver come carattere predominante un sapore acidulo e/o aspro; tra queste, le birre *lambic* e *berliner weisse* sono a mio avviso le più rappresentative. Entrambe vengono prodotte da secoli in maniera tradizionale e nascono come produzioni tipiche del territorio: la *berliner weisse* è di origine tedesca e, come suggerito dal nome, originaria di Berlino; il *lambic* è una produzione belga, legata alla zona di Bruxelles, e nel 2016 è stata iscritta al registro delle STG (specialità tradizionali garantite) dalla Commissione europea.

Con questa trattazione mi propongo di effettuare una comparazione tra i metodi produttivi di queste due birre, dal carattere acido nettamente distinto: berliner weisse presenta un'acidità lattica pura, mentre lambic ha un'acidità complessa formata da molteplici acidi organici.

Nel primo capitolo ho voluto delineare una breve storia della birra, a partire dal periodo babilonese fino ai nostri giorni, dalla quale possiamo rintracciare come questa bevanda accompagni da millenni la civiltà umana, con molteplici cambiamenti a seconda del progredire dell'esperienza di produzione.

Nel secondo capitolo, dopo un breve cenno sul tipo di birra maggiormente consumata in Italia, ottenuta da bassa fermentazione, ho ritenuto opportuno descrivere il processo produttivo di questa tipologia di bevanda, da considerarsi come modello produttivo basilare, in modo da far emergere - nei capitoli successivi - le peculiarità concernenti la produzione delle birre acide.

Nel terzo e quarto capitolo saranno trattati in dettaglio i processi produttivi della berliner weisse e di lambic, facendo riferimento alle procedure tradizionali e accennando ad alcune delle varianti produttive più attuali.

Nella conclusione cercherò di mettere in evidenza le differenze tra queste due bevande considerate delle eccellenze brassicole a livello mondiale.

Capitolo 1

LA STORIA DELLA BIRRA

“Un tempo le birre venivano prodotte tutte con la fermentazione spontanea, ma quei giorni sono ormai perduti nella nebbia della storia” citava Michael Jackson nel suo libro “The Great Beers of Belgium”. Infatti le prime fermentazioni non erano guidate dall’uomo, ma dal microbiota che veniva a contatto col mosto e riusciva a stabilirvisi. E’ probabile che queste antiche bevande a base d’orzo, frumento e farro venissero fermentate dai batteri lattici naturalmente presenti nel pericarpo dei cereali e dai lieviti selvaggi (non selezionati) presenti nell’aria. Questo tipo di fermentazione, inaffidabile, casuale e solitamente responsabile di sottoprodotti sgradevoli, nel corso degli anni è stata soppiantata dall’uso di colture pure. Solo in seguito ci si è resi conto che può essere piacevole il carattere impartito da una fermentazione mista spontanea, solo se quest’ultima però è eseguita in maniera corretta (J. Sparrow, 2005).

1.1 Mesopotamia ed Egitto

I primi documenti scritti che forniscono informazioni sulla birra ne sottolineano il ruolo chiave nelle società babilonese ed egiziana, infatti la maggior parte delle nostre scarse conoscenze sulla produzione di birra nelle prime culture mesopotamiche proviene da testi amministrativi e letterari, il più noto dei quali è “l’Inno a Ninkasi” (S. H. Katz et al, 1986). Questa poesia ci è pervenuta in copie dell’antico periodo babilonese (circa 1800 a.C.) e illustra in dettaglio il processo di produzione della birra, in particolare specifica gli ingredienti base della bevanda, in cui miele e vino vengono aggiunti al mosto prima della fermentazione. La birra e altre bevande alcoliche hanno svolto un ruolo vitale nelle prime società: l’estasi derivante dall’etanolo era considerata un esercizio spirituale indispensabile e uno stato di unificazione con gli dei. Sotto forma di libagioni, la birra veniva servita come offerta agli dei, in quanto ritenuta una componente essenziale della loro dieta divina come di quella dei loro adoratori. La birra era così importante da venire usata come elemento base delle medicine, come tributi e decime per cerimonie religiose, nonché parte integrante delle retribuzioni giornaliere di magistrati, servitori, sacerdoti o lavoratori. Non vi è dubbio che le

tecniche di fermentazione e gli ingredienti cambiarono radicalmente in un periodo che va dal quarto millennio a.C. (periodo tardo Uruk) fino al quinto secolo a.C. (Nuovo Impero babilonese). Mentre in origine erano stati prodotti da malto d'orzo e frumento solo 9 tipi di birra, in epoca babilonese venivano fabbricati fino a 70 tipi diversi di birra da farro, orzo e loro intermedi.

Vi è una migliore conoscenza della produzione di birra nella grande civiltà egizia, infatti sulle pareti delle tombe più importanti viene illustrato il processo di produzione della birra (P., E., McGovern et al, 1993). Questa era un alimento fondamentale e giocava un ruolo dominante nel culto e nella medicina dell'antico Egitto come in Mesopotamia. Infatti in "Ebers", papiro databile tra il 1530 a.C. e il 1290 a.C. che illustra seicento prescrizioni mediche per alleviare le sofferenze umane, molte ricette hanno come ingrediente principale la birra, perfino quella per lo svezzamento dei poppanti.

La prima prova della produzione di birra in Egitto risale al 3500 a.C. Gli scavi di due siti archeologici di Abydos e Hierakonpolis hanno portato alla luce vasche ampie e fisse, supportate da mattoni refrattari, che sono considerati i resti dei birrifici dell'epoca. Più tardi, ai tempi del Nuovo Regno (ma probabilmente anche in tempi anteriori), la produzione della birra avveniva in piccoli vasi di ceramica. La maggior parte degli antichi residui di birra egiziana conteneva orzo, mentre solo alcune birre erano ottenute interamente dal farro ed occasionalmente, entrambi i cereali venivano mescolati insieme. Nella maggior parte delle birre egiziane è stato presumibilmente utilizzato un tipo speciale di pasta acida come fonte di lievito e di batteri lattici.

1.2 Periodo ellenistico: greci e romani

I Greci sotto Alessandro Magno conquistarono l'Egitto nel 331 a.C. e vi stabilirono la dinastia tolemaica. I sovrani tolemaici introdussero il vino in Egitto, che presto sarebbe diventato la bevanda preferita delle classi sociali superiori. Al contrario del vino, la produzione e la vendita di birra erano strettamente regolate, tanto da divenire monopolio statale. Con il pretesto di combattere l'abuso pubblico di bevande alcoliche, fu imposta una tassa sulla birra, mai vista nei secoli precedenti. Una delle ragioni di ciò era che i Greci (e anche i Romani in seguito) erano bevitori di vino per ragioni culturali, per non dire ideologiche. I loro rivali commerciali nel Mediterraneo orientale dall'Egitto e dalla Mesopotamia erano consumatori di birra così come i Traci, gli Illiri, gli Sciti, i Frigi e i Galli, che ostacolarono la loro espansione territoriale. Questo pregiudizio contro la birra nella cultura greca nasce non solo dalla necessità di distinguersi come uomini di cultura e

conoscenza dai barbari incolti, ma anche da considerazioni filosofiche. Innanzitutto, avevano sviluppato la teoria dei quattro elementi in un concetto universale, attribuendo sensazioni a sostanze come freddo, caldo, secco o umido: mentre il vino era considerato una bevanda "calda" in linea con il principio maschile "caldo", si pensava che la birra fosse "fredda", in linea con l'essenza femminile (pertanto i bevitori di birra dovevano essere effeminati). In secondo luogo, la natura della fermentazione veniva considerata con sospetto, nonostante tutto ciò le loro legioni che erano presenti in regioni prive di colture vinicole necessitavano di bevande alcoliche, così iniziarono a consumare e produrre birra. Organizzarono la produzione con la loro tipica accuratezza; a testimonianza di ciò, resti di fabbriche di birra romane nelle fortezze di confine (Loesnich, Xanten e Regensburg) e in una villa nell'entroterra di Namur, dimostrano un alto livello di professionalità. Inoltre, le iscrizioni delle pietre tombali indicano che birrai e commercianti di birra erano organizzati in corporazioni distinte (ad esempio "ars cervesaria" o "gilda cervesa"). I diversi stili di birra conosciuti dai romani sono anche menzionati nei commenti sul diritto civico di Sabino nel primo secolo d.C. e Ulpiano nel terzo secolo d.C.

1.3 Celti e tedeschi

I Celti avevano sicuramente acquisito una grande esperienza nella produzione di birra; tuttavia, abbiamo solo la testimonianza di Plinio che commenta nella sua storia naturale (XXII, XXXXII): "dal grano producono bevande, chiamate Zythos in Egitto, Caelia e Cerea in Spagna, cervesia in Gallia e altri paesi ", questa distinta tradizione manifatturiera della birra che differiva significativamente da quella del mediterraneo.

Ancora meno si sa della tecnologia della birra delle tribù tedesche. Le prime tribù germaniche parlavano dialetti reciprocamente comprensibili e condividevano una cultura e una mitologia comuni, come indicato da Beowulf e dalla saga di Volsunga. Sappiamo che hanno bevuto birra in quantità considerevole da un rapporto di Tacito che scrisse (Germania, 23): "producono una bevanda dall'orzo o dal grano, che, se marcito (fermentato), assomiglia al vino". Prove archeologiche indicano che la germinazione dei cereali è stata un passo nella produzione germanica. Questi non furono essiccati, ma immediatamente ammostati e il mosto risultante veniva fermentato con lieviti dispersi nell'aria con aggiunte finali di piante e miele. La preferenza germanica per la birra incontrò la tecnologia romana inaugurando un nuovo capitolo nella produzione della birra, (I. S. Hornsey,2003).

1.4 Il medioevo cristiano: i monasteri

La chiesa acquisì una posizione predominante nei tempi turbolenti dell'era post-romana e riuscì a conservare parte delle immense conoscenze mediche, scientifiche e tecniche raccolte in epoca romana. Questo valeva anche per la produzione di birra. Il riconoscimento documentato della birra da parte della chiesa, tuttavia, arrivò solo nell'anno 816 al sinodo di Aquisgrana, dove fu deliberato un ordine standardizzato vincolante di vita monastica. Fu deciso che un monaco ricevesse ogni giorno un bicchiere (hemina, 0,273 l) di vino o, dove non era disponibile vino, il doppio (un sestario, 0,546 l) di "buona birra".

Nel X secolo i prosperosi monasteri del nord erano diventati centri di produzione della birra, a testimonianza di ciò uno schema di un monastero carolingio disegnato intorno all'830 e noto come il piano di San Gallo.

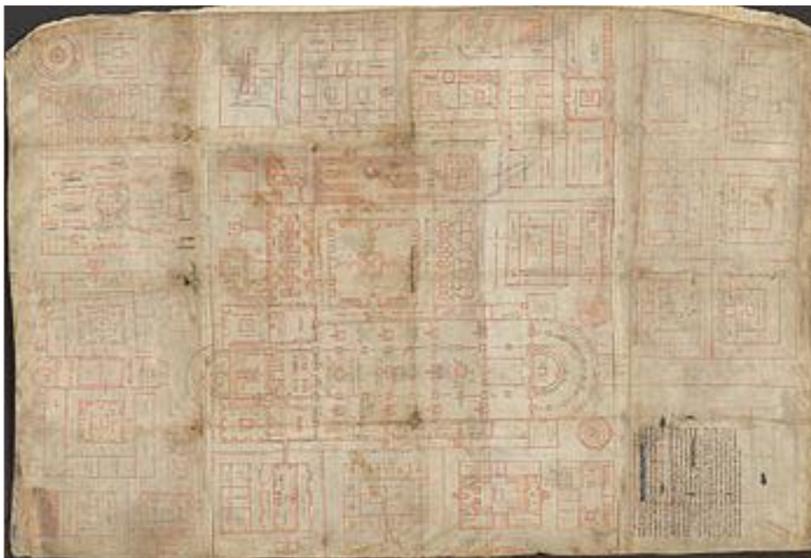


Figura 1-1: Piano di san Gallo. La carta mostra lo schema di un monastero carolingio. Immagine tratta da www.revolvy.com

Qui vengono designati tre diversi birrifici: uno per fornire birra agli ospiti di prestigio, uno per il consumo quotidiano dei monaci e un altro per concedere birra ai pellegrini e ai poveri. La fabbrica di produzione della birra consisteva in una sala centrale con un focolare e

una seconda sala per raffreddare e filtrare la birra. Sono stati i monasteri a fornire la prima prova dell'uso del luppolo nella preparazione della birra nel IX e X secolo. Ma grazie a prove archeobotaniche è stato confermato l'uso frequente di luppolo anche ad Haithabu, uno dei più importanti luoghi commerciali vichinghi sulla costa dello Schleswig. Inoltre, i resti di luppolo sono stati rilevati in gran numero nel relitto di una nave mercantile del IX secolo a Graveney, sulla costa inglese. Pertanto, si può presumere che il luppolo fosse in uso al di fuori dei monasteri e persino scambiato tra il continente e le isole britanniche.

Prima del XIII secolo la maggior parte delle poche città dell'Europa centrale erano di origine romana e sotto il dominio dei vescovi. Essi - e probabilmente altri possidenti di terreni - rinunciarono al loro privilegio di produrre birra costringendo i birrai municipali a comprare gli ingredienti essenziali dalla loro amministrazione. Almeno nel caso del vescovo di Magdeburgo, abbiamo prove scritte che aveva il privilegio di fornire il lievito per i birrai in tutta la sua diocesi. Il lievito veniva conservato impastandolo con la paglia, questo composto veniva detto "fermentum" o "Gruit". Inoltre, nei monasteri era comune aggiungere spezie o ingredienti a base di erbe come Myrica, Ficaria e Iris al lievito, probabilmente come battericida per proteggere le colture dalla contaminazione. Oltre alle loro proprietà battericide e fungicide, le erbe producevano anche effetti sul sapore e psicotropi. Come disse Lobelius più tardi nel 1551: queste piante (Myrica gale) vengono aggiunte in periodi di mancanza di luppolo alla birra nei paesi nordici e a volte solo per rendere felice il bevitore. Pertanto la preferenza medievale per il cibo speziato includeva anche le bevande e i condimenti furono considerati componenti essenziali della birra. In molte località il luppolo veniva usato come componente del Gruit prima che diventasse l'unico additivo per la birra a causa di necessità commerciali e economiche.

1.5 L'avvento della professionalità

Professionalismo significa non solo padroneggiare una tecnologia, ma anche sviluppare marchi e mercati. Sotto quest'ultimo aspetto, i produttori di birra medievali differivano dai loro predecessori nei tempi antichi. Nelle città, la presenza di birrai (brassatores) è registrata già nell'XI e XII secolo (Aquisgrana, Bamberg, Huy), molto probabilmente indicando uno specialista al servizio del Signore Supremo. Fu nelle città, quindi, che la birra prodotta a livello professionale iniziò a fiorire. Esse, fondate in epoca romana erano state gradualmente abbandonate durante il primo Medioevo tuttavia, quando il commercio e l'economia ripresero lentamente dopo le crociate, le città riacquistarono la loro funzione di incroci di rotte commerciali e centri amministrativi. Nel XII secolo, nuove parole iniziarono ad

apparire nei registri urbani, sia in latino che in lingue vernacolari, per designare i birrai di professione e la birra, indicando che la maggior parte delle città avevano acquisito libertà speciali, tra cui il privilegio della produzione di birra. Ciò includeva il diritto di concedere permessi e regolarne la produzione e la distribuzione, la divisione del lavoro e la specializzazione sono una delle caratteristiche più significative delle economie urbane. Gli artigiani si organizzarono rapidamente in corporazioni e la corporazione autonoma dei birrai era responsabile dell'ammissione alla produzione di birra, formazione, qualità dei prodotti e previdenza. I registri delle corporazioni dei birrai esistono già nel 1200 per Londra, nel 1230 per Ratisbona, 1267 per Ypern e 1280 per Monaco. Quando la tassazione degli alimenti, in particolare della birra, diventa una fonte importante di entrate per il tesoro della città, tale legislazione diventa ancora più sostanziale. Quelle "leggi sulla purezza" urbane non si occupavano solo di protezione dei consumatori (additivi per birra, stagionalità della produzione, attenuazione, tecnologia) ma anche di sicurezza dell'approvvigionamento (grano utilizzato, prezzi, obbligo di produzione), organizzazione della produzione di birra (corporazioni, formazione, licenza), attuazione delle normative (ispezioni) e commercio (vendita e tassazione di birre straniere). Non appena i birrai sono diventati professionisti organizzati, hanno cercato di sviluppare i loro mercati, le taverne erano originariamente parte dei locali del birrificio ma la produzione e il servizio della birra divennero presto occupazioni separate, sebbene collegate da molteplici interessi finanziari. Durante il XIV e il XV secolo le taverne si differenziarono ulteriormente, i vari tipi erano riconoscibili col proprio logo. Furono le città lungo le rive del Baltico e del Mare del Nord a perfezionare ulteriormente la tecnologia della birra.

1.5.1 *Lega anseatica (Hansa)*

Dopo la caduta dell'Impero romano diversi imperi marittimi sorsero successivamente sulle rive del Mare del Nord sulla base del commercio internazionale. Il primo fu quello dei Vichinghi / Normanni seguito dagli olandesi e infine dai britannici. Tutti avevano in comune il fatto che la birra era un prerequisito indispensabile per le loro imprese marittime e costituiva un prodotto commerciale che contribuiva molto alla loro ricchezza. La birra ovviamente doveva essere particolarmente nutriente e stabile per soddisfare le necessità dei viaggi in mare e furono le birre molto luppolate a soddisfare questi requisiti. La birra era stata registrata come un bene commerciale nel Nord già dalla metà dell'XI secolo, infatti la birra di Brema viene menzionata in Olanda nel 1252 e Groningen (Paesi Bassi) nel 1278. Presto, tuttavia, la vicina Amburgo raggiunse Brema come centro di produzione della birra, questo perché la birra di Amburgo veniva prodotta con grano e malto d'orzo al posto del

malto di avena comune. Ecco perché Amburgo fu presto conosciuta come "la fabbrica di birra della Lega anseatica". Una confederazione di Amburgo e Lubecca nel 1241 servì come punto di partenza per una lega molto più ampia di un massimo di 170 città. La Lega commerciava la sua famosa birra fortemente luppolata da Amburgo principalmente ai Paesi Bassi. Oltre alla sua grande rete commerciale per le esportazioni di birra, la Lega offriva un accesso sicuro alle materie prime, ad esempio il luppolo non fu più raccolto da piante spontanee nel XIII secolo, ma piantato in giardini di luppolo nelle città e nei dintorni. Ancora più significativo fu il commercio di malto della Lega: i produttori di birra dell' Hansa erano indipendenti dalla fornitura locale di grano e potevano permettersi di usare sempre ottimi cereali e produrre una birra di qualità costante, inoltre città come Stralsund si erano specializzate nel malto e ne esportavano grandi quantità. Il malto veniva solitamente essiccato all'aria, dando origine a birre "bianche" o "rosse", che costituivano la maggioranza. Pertanto, tenendo conto della variazione delle acque di produzione e delle varianti tecnologiche, una sorprendente varietà di stili di birra emerse nell'Europa centrale e settentrionale durante il quattordicesimo secolo. Anche la tecnologia di produzione cambiò, si iniziò con l'acqua di fermentazione, che veniva pompata e consegnata dai mulini ad acqua già nel 1291 a Lubecca. Dato che il luppolo doveva essere bollito per beneficiare del loro uso, i recipienti in ebollizione e la tecnologia di riscaldamento dovevano essere ottimizzati. Fino all'inizio del XIV secolo, nelle città erano prevalenti pentole di ferro per l'ammontamento e vasche di legno per la fermentazione con una capacità che non superava mai i 600 litri, oppure la preparazione e la fermentazione del mosto avvenivano nella stessa pentola. Presto, tuttavia, entrarono in uso bollitori di rame più grandi con capacità di diverse migliaia di litri comportando non solo un significativo aumento della quantità, ma anche una maggiore standardizzazione della produzione. L'espansione della Russia e la perdita dei privilegi a Londra hanno avviato la caduta della lega anseatica.

1.5.2 Aumento della produzione di birra in Olanda

Nel sedicesimo e diciassettesimo secolo gli olandesi comandarono la più grande flotta dei sette mari e stabilirono un impero commerciale che si estendeva da New York a Jakarta. L'ascesa dei Paesi Bassi a questa altezza fu accompagnata dalla formazione di un'industria della birra senza eguali ai suoi tempi. I Paesi Bassi erano stati una roccaforte della birra ottenuta da Gruit fino al quattordicesimo secolo, ma nel XIV secolo, Hansa aveva esportato la sua birra fortemente luppolata lungo le rive del Mare del Nord e l'Olanda ne era grande consumatrice. Mentre l'industria tessile è stata il principale fattore economico in Olanda e nelle Fiandre, lo spostamento della città di Lubecca a causa del redditizio commercio di

aringhe e sale con la Scandinavia è stato un punto di partenza per il commercio marittimo olandese alla fine del XIV secolo. In concomitanza, un'imponente industria della birra è emersa nelle città olandesi, producendo una birra con grosse quantità di luppolo. Questo prodotto ha prima sostituito le birre della Lega dai mercati nazionali e, di conseguenza, le ha soppiantate nei mercati della Scandinavia e della Francia settentrionale. L'industria della birra olandese era basata su un'economia urbana e modellata dalle peculiarità delle rispettive città. Durante il diciassettesimo e il diciottesimo secolo la produzione di birra nei Paesi Bassi è diminuita per l'avvento di nuove produzioni quali distillati come brandy, gin e genever. Nonostante ciò i produttori di birra olandesi avevano contribuito a significativi miglioramenti per alimentare l'efficienza della produzione e avevano diffuso la loro tecnologia di produzione della birra in altri continenti, ad esempio costruendo le prime fabbriche di birra a New York.

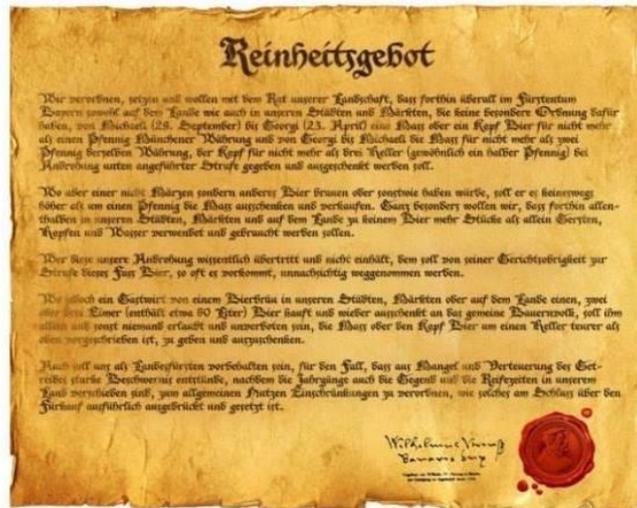
1.5.3 *Industrializzazione della birra in Inghilterra*

Sebbene i produttori di birra fossero ufficialmente riconosciuti come una corporazione nel 1493, le birre contenenti alte percentuali di luppolo furono viste con il massimo sospetto fino al XVI secolo. Nonostante ciò, la coltivazione del luppolo fu legalizzata da un atto del Parlamento nel 1554 e la birra luppolata lentamente si affermò in Inghilterra durante la prima metà del XVI secolo. Tanto che nel 1522 la licenza delle birrerie fu resa obbligatoria per legge, queste licenze costituirono un'importante entrata per lo stato e un secolo dopo, il bisogno disperato di denaro da parte dei governi successivi portò alla prima accisa in assoluto su birra, sidro e perry in Gran Bretagna all'inizio del 1643. I Tudor gettarono le basi per la potenza marittima britannica e la birra si rivelò presto un prerequisito fondamentale per incrementarla, indispensabile quanto lo era stata per i Vichinghi, per l'Hansa e per gli olandesi. Pertanto, la birra era un articolo standard della razione del mare già nel XIV secolo infatti Enrico VII fondò un birrificio navale a Portsmouth nel 1492 per rifornire le sue navi di birra e Enrico VIII concesse ai suoi marinai 10 pinte (5,7 l) di birra al giorno. La costruzione dell'impero marittimo britannico ebbe due importanti ramificazioni per la produzione brassicola: la necessità di soddisfare la shelf-life per una birra che conservasse la qualità durante i lunghi viaggi portò alla diffusione di tecniche di produzione britanniche in tutto il mondo e la necessità di una fornitura di birra in grandi quantità a domicilio ha contribuito all'industrializzazione della produzione. Pertanto, all'alba del diciottesimo secolo, un certo numero di potenti birrifici commerciali erano già concentrati nell'area di Londra e alla fine del secolo, la produzione di birra su larga scala era radicata stabilmente su tutto il paese. Tre fattori hanno innescato l'emergere della birra industriale: il primo dipendeva dalle

accise sulla birra, infatti le autorità avevano concesso ai grandi produttori di birra sgravi fiscali più elevati rispetto ai loro concorrenti più piccoli. Il secondo fattore era rappresentato dalla grande espansione del mercato Londinese, per il quale era quindi necessaria una produzione su vasta scala. Il terzo fattore era la creazione di un nuovo stile di birra di colore nero chiamato "porter". Realizzato con malti molto tostati che perciò assumevano colorazione marrone scuro e una grande quantità di luppolo, richiedeva una maturazione prolungata per diversi mesi per raggiungere il suo caratteristico sapore. Porter sembra essere stata la prima birra tecnicamente adatta alla produzione di massa per gli standard di controllo dell'epoca.

1.6 La Baviera, l'ascesa della birra chiara

La Baviera è uno stato di medie dimensioni che si estende tra il bordo delle Alpi e il Danubio. Dopo le guerre napoleoniche assorbì i paesi della Franconia fino alle montagne della Germania centrale e con loro una lunga tradizione di produzione di birra. Fino al XX secolo la Baviera era uno stato agrario, con solo pochi centri urbani e il vino aveva costituito la bevanda preferita dei suoi abitanti fino alla prima metà del XVI secolo, qui vi fu un consenso diffuso tra il XVI e l'inizio del XVII secolo sul fatto che le birre di migliore qualità provenissero dalle città Hansa seguite dalle birre di Sassonia, Turingia e Boemia. Nel sud, le birre delle parti settentrionali (Franconia, Alto Palatinato) erano considerate superiori a quelle della Baviera. Le ragioni sono molteplici: la concorrenza del vino a buon mercato, i volumi di produzione più piccoli, nonché l'uso di vasi e strumenti in legno che hanno facilitato le infezioni e quindi la perdita di qualità. Nel XVI secolo la situazione cambiò radicalmente e successivamente la Baviera divenne sinonimo di birra, questo si è verificato ad opera di diversi fattori tra i quali i cambiamenti climatici e l'intervento statale. Lo stato infatti riuscì a regolare la produzione della birra con l'emissione della famosa legge bavarese sulla purezza ("Reinheitsgebot"; letteralmente "ordine di purezza") nel 23 aprile 1516. Stabiliva standard fondamentali per la produzione di birra in un momento in cui i rapidi cambiamenti nella tecnologia e degli stili birrari alienavano allo stesso modo autorità e consumatori. La legge bavarese sulla purezza in primo luogo definiva in modo inequivocabile il termine "birra" stabilendone il prezzo e le misure amministrative generali. Le sue disposizioni più note sono le istruzioni relative alla qualità: l'uso esclusivo di malto d'orzo, acqua e luppolo, l'omissione di altre erbe e ingredienti inorganici (ad eccezione di basse quantità di sale, bacche di ginepro e cumino, come specificato più avanti nel 1553 e 1616) e la fermentazione.



1-2: Carta del 1516 raffigurante il Reinheitsgebot, l'ordine di purezza bavarese. Immagine tratta da www.briubeer.com

A Norimberga, una gilda speciale, la "Hefner", era responsabile del mantenimento di uno stock di lievito (essiccato) durante l'estate (periodo nel quale non era consentita la produzione di birra) e della fornitura di lievito sufficiente quando la produzione di birra veniva ripresa a settembre. A differenza di altre regioni tedesche, nelle quali la ridotta concorrenza non incentivava ad una standardizzazione di produzione e tantomeno ad un incremento della qualità, in Baviera è stata mantenuta un'eccellente accettazione della birra. La grande preoccupazione del pubblico e il rigoroso controllo governativo in tutte le questioni relative alla produzione brassicola e sul servizio della birra ne hanno incoraggiato un diffuso interesse. Dopo le guerre napoleoniche, la Baviera fu il primo stato tedesco a emanare una costituzione, a liberalizzare le normative commerciali e ad armonizzare pesi e misure, aprendo così la strada all'industrializzazione della birra ma. La straordinaria proprietà della birra chiara bavarese era la sua stabilità in quanto era destinata a durare per l'intera estate, quindi dopo la fermentazione principale venivano lasciati sufficienti nutrienti per consentire alle cellule residue di lievito di rimanere vitali e riprendere il metabolismo fermentativo alle basse temperature delle cantine di stoccaggio. Era quindi auspicabile un basso grado di attenuazione, e ciò è stato ottenuto da speciali lieviti a bassa fermentazione (*Saccharomyces pastorianus*), i quali hanno un basso optimum di temperatura. Questo tipo di fermentazione ovviamente portò ad un modello di sapore distinto, che differiva significativamente dalle altre birre dell'epoca. Fu l'avvento della refrigerazione con ammoniaca Linde nel 1875 che consentì definitivamente la produzione di birra a bassa

fermentazione su larga scala ovunque in ogni stagione. Il successo con la birra ottenuta da bassa fermentazione bavarese può essere attribuito in larga misura ai birrifici della Franconia che avevano precedentemente reso popolare questo tipo di birra in Sassonia e nei paesi prussiani. Nei paesi settentrionali adiacenti, le birre ad alta fermentazione hanno continuato a prevalere fino all'ultimo quarto del diciannovesimo secolo, che erano inferiori ai prodotti della Franconia per quanto riguarda il prezzo e la qualità. Durante questo periodo, tuttavia, il mercato ben consolidato della birra bavarese fu minacciato dalle grandi fabbriche di birra lager di recente costruzione in altri stati tedeschi. La fase finale, dall'ultimo decennio del diciannovesimo secolo fino alla prima guerra mondiale, è caratterizzata da un mercato saturo in cui si diffondono pubblicità e marketing estesi, nonché nuovi canali di vendita come la birra in bottiglia. Inoltre, sono entrati in voga nuovi stili di birra, in particolare Pilsner, una birra pallida e fortemente luppolata, realizzata da un birraio nel birrificio civico di Plzen (Pilsen), Josef Groll nel 1842, raggiunse rapidamente l'attenzione in tutta Europa. Tra il 1880 e il 1897, le esportazioni di Pilsner in Germania si moltiplicarono per 6 volte e nell'impero austriaco il birrificio civico di Plzen arrivò solo secondo al birrificio di Anton Dreher a Schwechat. Presto altri birrifici provarono a copiare la Pilsner ma, dato che l'acqua dolce di Plzen era un fattore decisivo nella produzione della birra Pilsner, inizialmente solo alcune fabbriche di birra con acqua dolce eccezionale a loro disposizione riuscirono a produrre birre in stile Pilsner. Ma nel 1899, quando le fabbriche di birra avevano generalmente riconosciuto il valore commerciale di un'etichettatura del "luogo di origine", un tribunale decise che "Pilsner" non designava una provenienza regionale, ma uno stile di birra distinto.

1.7 Dall'alchimia alla biochimica: l'avvento della scienza nella produzione brassicola

Il salto di qualità nella produzione di birra durante il diciottesimo e diciannovesimo secolo fu per la maggior parte il risultato dell'attuazione di principi scientifici che facilitarono lo sviluppo di attrezzature e tecnologie adeguate. Nel 1762, Michael Combrune pubblicò il suo saggio sulla produzione della birra sottolineando l'importanza dell'uso di un termometro nella preparazione del mosto e nella maltazione dei cereali. Inoltre, nel 1784, il trattato di John Richardson sullo studio del saccarometro, strumento per la misurazione del contenuto zuccherino nel mosto, incentivò la ricerca di mezzi per misurare l'"attenuazione" (cioè la diminuzione della densità del mosto e la concomitante formazione di etanolo) e quindi il contenuto alcolico con crescente precisione. Dopo notevoli progressi, fu Carl Josef Napoleon Balling di Praga a stabilire definitivamente un metodo affidabile per misurare e controllare la conversione di zuccheri di mosto in etanolo nel 1843. I francesi A. Lavoisier

(1789) e J. Gay-Lussac (1815) avevano stabilito la formula chimica dell'ossidazione del glucosio in CO₂ ed etanolo. Nel frattempo, furono pubblicati i primi studi enzimologici: l'amilasi (diastasi) fu scoperta nell'orzo dai francesi A. Payen e J. Perzoz nel 1833, invertasi nel lievito da P. Berthelot nel 1860, e le proteasi acide dal tedesco T. Schwann nel 1836. D'altra parte, i progressi nell'ottica hanno permesso nel 1837 in Italia a Giovanni Battista Amici di costruire un microscopio che aveva un'apertura numerica e una risoluzione non molto inferiore ai microscopi moderni. Questi miglioramenti hanno aperto la possibilità di rilevare e caratterizzare i microbi per la prima volta, e gettò le basi di una nuova scienza: la microbiologia. Presto, nel 1837, tre scienziati, C. Cagniard - Latour di Parigi, F. K che proviene da Halle e T. Schwann di Berlino, scoprirono indipendentemente che i lieviti sono organismi viventi. L'aspetto affascinante delle teorie dei microscopi era che il "catalizzatore" della fermentazione, il lievito, non solo era ben noto ai produttori di birra, ma ora poteva essere osservato direttamente al microscopio. Fu un altro francese, L. Pasteur, che successivamente gettò le basi della microbiologia scientifica e stabilì inequivocabilmente tra il 1855 e il 1875 il ruolo del lievito nella fermentazione alcolica, la natura fisiologica della fermentazione e le differenze tra metabolismo aerobico e anaerobico. L'immenso interesse suscitato nei microbi ha sensibilizzato gli scienziati alle differenze dei generi microbici e ha portato alla caratterizzazione di diversi lieviti. Nel 1876 Pasteur aveva già raccomandato di assicurarsi che il lievito di birra fosse privo di "malattie" eliminando i batteri, costituendo la teoria dei lieviti "puri".

Anche le scienze chimiche hanno avuto impatto sulla produzione di birra. Nel 1820, il professore Accum nel suo manoscritto non solo rivelò una lunga lista di additivi non salutari nella birra, ma nominò anche quelli per l'adulterazione della birra, portando la questione in tribunale. Il suo libro suscitò una protesta tra i produttori di generi alimentari a Londra che, dopo minacce ed insulti, dissuasero Accum dal portare avanti la questione. Anni dopo, Arthur Hill Hassall, John Postgate e Thomas Wakley ripresero il combattimento contro l'adulterazione alimentare: le loro analisi hanno rivelato che l'industrializzazione non ha affatto migliorato la qualità della birra: tra le altre sostanze velenose, la presenza di acido picrico, *Cocculus indicus* (mirtillo rosso), noce Levant (contenente la picrotossina alcaloide) e stricnina sono state rilevate nella birra. Inoltre, è stato dimostrato che la birra acquistata direttamente dalle industrie conteneva 4,53 - 7,15% di alcol, mentre la stessa birra acquistata da un commerciante variava dal 3,23 al 4,87% nel suo contenuto di etanolo, il che indicava che era stata diluita con acqua. In Germania, la situazione non era affatto migliore; il lavoro di G. Hopf (1846), H. Klencke (1858) e M. Bauer (1877) rilevarono la stricnina, l'acido

picico e l'oppio tra molte sostanze dannose nella birra. Nonostante questi risultati, le potenti lobby della birra hanno ritardato la legislazione di molti anni. Solo nel 1860 entrò in vigore l'"Adulteration of Foods Act" e nel 1885 fu approvato un disegno di legge che regolava il contenuto di additivi nella birra in Gran Bretagna. In Germania, una legge che regolava la sicurezza alimentare fu emanata nel 1879 e la Legge sulla purezza bavarese divenne la legge federale tedesca nel 1919. La conseguenza più duratura degli sviluppi sopra descritti fu l'emergere della birra come disciplina scientifica. Certamente, a metà del diciannovesimo secolo esisteva una vasta letteratura sulla produzione di birra, nonostante ciò queste erano pure descrizioni delle conoscenze individuali su come realizzare la birra. Il loro uso per gli altri era piuttosto limitato, poiché le pubblicazioni mancavano dei prerequisiti più importanti: attrezzature standardizzate e misurazioni oggettive. Solo dopo che i termometri e la saccarometria erano stati stabiliti nella produzione della birra, i pesi e le misure erano stati allineati e le attrezzature per la produzione della birra erano comparabili, si potevano concettualizzare le teorie scientifiche. La scienza della birra inizia con piccoli gruppi di apprendisti a cui vengono insegnate le basi della fisica e della chimica e la loro applicazione nella produzione di birra. Degli studiosi, solo circa un terzo provenivano dalla Baviera, la maggior parte proveniva da altri stati tedeschi o dall'estero. Nel 1865 fu istituito un curriculum sulla birra presso l'Università tecnica di Weihenstephan vicino a Monaco e nel 1888, iniziarono le lezioni di birra presso l'Università di Berlino. L'Institute of Brewing è stato istituito formalmente a Londra nel 1890. Negli Stati Uniti, John E. Siebel ha aperto il Zymotechnic Institute nel 1872 e Anton Schwarz ha fondato la Brewers 'Academy degli Stati Uniti nel 1880 a New York. L'istituzione di una scienza accademica della birra fu accompagnata dalla pubblicazione di riviste scientifiche e da una moltitudine di libri sulla tecnologia della birra.

1.8 Europa, Stati Uniti e internazionalizzazione della birra; dalla storia contemporanea ai nostri giorni

All'inizio del XX secolo la produzione e il consumo di birra si erano diffusi in tutto il mondo. Mentre a quel tempo il 79% della birra mondiale era ancora di origine europea, oggi la cifra corrispondente è valutata al 34%, poiché le Americhe e l'Asia hanno sviluppato i propri mercati di produzione della birra. La base di questo sviluppo fu posta alla fine del diciannovesimo secolo con la concentrazione di fabbriche di birra in Europa e l'emergere di una potente industria della birra negli Stati Uniti. La produzione di birra americana rispecchia la diversità culturale dei suoi immigrati e la varietà di materiali di produzione

disponibili tanto quanto l'ingegnosità dei suoi abitanti. La prima autentica testimonianza dell'esistenza di un birrifico pubblico risale al 1637, successivamente nacquero altri 2 grandi birrifici, uno a Pennsbury (1683) e l'altro a Baltimora (1744). Fu però a "New Amsterdam" (Manhattan) che iniziò la produzione brassicola. Ad ogni modo la birra fatta in casa prevalse e chi la produceva lo faceva con materiali e metodi adeguati. Dato che solo i ricchi produttori di birra nelle città potevano permettersi di acquistare malto dalla Gran Bretagna, i più poveri usavano melassa, mais o crusca per produrre birra, infatti a John Winthrop fu assegnato un premio per essere riuscito a preparare una birra accettabile dal mais. Gli anni seguenti videro una diminuzione del consumo di birra, come osserva Robert Proud nella sua storia della Pennsylvania, perché il consumo di tè, caffè e cioccolato si diffuse sempre di più e soppiantò la birra. Le bevande a base di grano domestico o altre materie prime native erano considerate di qualità inferiore anche prima che la Guerra d'Indipendenza interrompesse la fornitura di malto dalla Gran Bretagna. Nel 1840, un birraio di origine tedesca, John Wagner, produsse la prima birra chiara negli Stati Uniti in una piccola capanna vicino a casa sua, usando il lievito che aveva portato dalla Baviera. L'aumento dell'immigrazione e un conseguente cambiamento nella composizione etnica e l'industrializzazione nelle grandi città hanno avuto un impatto drammatico sul consumo e sulla produzione di birra. Nel 1881, John Ewald Siebel pubblicò un articolo sul Western Brewer che trattava l'uso di cereali non maltati nella produzione di birra e questo determinò lo sviluppo di birre specificamente adattate al gusto degli Stati Uniti e ha segnato l'inizio di una distinta tecnica di fermentazione americana. Questa birra era molto diversa dalle birre europee, questo perché veniva realizzata non solo da malto ma conteneva mais (granaglie, scaglie e farina), riso e sciroppi di mais, poiché l'orzo nativo (esastico) non produceva malti delle proprietà desiderate.

L'ammestramento, la fermentazione e lo stoccaggio sono stati perfezionati per produrre una birra chiara di circa il 3,8% di alcol in peso. La tipica tecnica di decotto europea è stata sostituita dalla maggior parte dei produttori di birra con il metodo americano di infusione. L'America era un paese relativamente scarsamente popolato, per raggiungere i consumatori al di fuori delle grandi città è stato necessario il trasporto a lungo termine. Perciò le fabbriche di birra americane all'alba del ventesimo secolo hanno sviluppato le tecnologie per produrre birre molto stabili, imballaggi adeguati e reti logistiche sofisticate, inoltre la tecnologia di refrigerazione non è stata solo ottimizzata per la produzione, ma anche per il trasporto (ferroviario). Fu introdotto l'uso del tappo in sughero (per le bottiglie) e per migliorare la stabilità elaborati sistemi di filtri, pastorizzazione e gestione della CO₂ (carbonazione artificiale) divennero indispensabili. Tutto questo si è tradotto in una produzione e

distribuzione della birra standardizzate e indipendenti dalle variazioni stagionali e climatiche. In sintesi, l'industrializzazione ha creato i prerequisiti per la produzione di birra in tutto il mondo, ovunque si fosse sviluppato un mercato. Di conseguenza non erano più la disponibilità di malto o cereali adatti o condizioni climatiche favorevoli a costituire la condizione preliminare per la produzione di birra, ma la domanda e il capitale. Guidati dalle colonie britanniche, le industrie della birra si svilupparono in molti paesi: nel 1853 iniziò la produzione della birra in Giappone. A Rio de Janeiro la prima fabbrica di birra operò nel 1836 e nel 1913 furono prodotte oltre 900.000 h di birra in Brasile. Le birre in stile Kulmbacher e Pilsner furono prodotte a quasi 4000 m sul livello del mare nelle Ande boliviane nel 1900, mentre le birre coloniali venivano prodotte contemporaneamente in Tasmania, (Hans Michael Eßlinger, 2009) .

Questo sviluppo è ancora in corso e apre un ampio spazio per le innovazioni, poiché le materie prime native e le preferenze regionali devono essere sempre più prese in considerazione.

E' incredibile come con l'avvento della scrittura, l'uomo abbia avvertito la necessità di trasmettere ai posteri le conoscenze concernenti la birra e, sebbene questa bevanda abbia avuto fin'ora una storia molto movimentata, continuerà ad essere indispensabile per l'umanità riscrivere la sua storia nei secoli a venire.

Capitolo 2

PRODUZIONE :

BIRRA CHIARA OTTENUTA DA BASSA FERMENTAZIONE

Secondo i dati di AssoBirra, associazione dei birrai e dei maltatori dal 1907, in Italia viene consumata soprattutto birra ottenuta da basse fermentazioni (lager), come da *tabella 1-1*. Andrò perciò ad esporre le fasi principali della produzione di suddette birre, facendo riferimento anche alla classificazione generale delle birre in base al tipo di fermentazione.

Tabella 2-1: Andamento dei consumi di birra in Italia per tipologia. Fonte: Assobirra.

Categorie	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Birra analcolica	1,1	1,62	2,58	2,63	2,03	1,86
Lager a media Gradazione	94,03	92,94	91,16	89,95	89,59	88,15
Birre speciali	4,87	5,44	6,26	7,42	8,38	9,99
Totale	100	100	100	100	100	100

2.1 Macinazione del malto d'orzo

La decomposizione meccanica del chicco di malto avviene con la macinazione. Quest'ultima è importante per estrarre gli amidi del chicco il più possibile dall'endosperma, d'altra parte però, i pericarpi formano una "torta" in fase di filtrazione, responsabile della filtrazione stessa. Con un'eccessiva macinatura, i pori della torta si intaserebbero molto rapidamente durante la filtrazione, riducendo anche la permeabilità a causa della ridotta porosità, il che si traduce in tempi di deflusso del mosto più lunghi e nella necessità di manipolare meccanicamente la torta. Con una macinatura troppo irrisoria invece, il risultato è una perdita di resa in quanto l'amido resta adsorbito sulla guaina dei grani venendo scartato con essi.

Il processo più utilizzato è quello in cui il malto essiccato viene macinato contrastando le coppie di rulli, a seconda che questi ruotino alla stessa velocità o a velocità diversa, viene

applicata pressione o pressione e taglio. L'efficacia del mulino (la quantità di malto che può essere macinata per unità di tempo) dipende dalla lunghezza del rullo, dal tempo di rotazione e dall'eventuale velocità differenziale dei rulli. A seconda del numero di passaggi necessari, i mulini hanno da una a tre coppie di rulli e sono quindi differenziati tra due, quattro, cinque e sei rulli. Poiché l'endosperma fragile può rompersi facilmente durante la macinazione a secco con i mulini a rulli, i grani spesso vengono inumiditi prima del processo di macinazione con assorbimento d'acqua 1-2% o macinata totalmente bagnata con assorbimento d'acqua 15-20%.



Figura 2-1: Macina a rulli in funzione. Immagine presa da www.birramia.com

2.2 Ammostamento (mashing)

La fase di ammostamento consiste essenzialmente nella solubilizzazione dei componenti del malto mediante processi fisici, chimici ed enzimatici. Le classi più importanti di sostanze idrolizzate sono gli amidi e le proteine, i primi andranno a fornire zuccheri fermentescibili mentre i polipeptidi influiranno sulla limpidezza della birra e sulla stabilità della schiuma. Inoltre i processi di degradazione proteolitica devono essere controllati in modo tale che sia disponibile un sufficiente azoto assimilabile (FAN) per una fermentazione ottimale.

Durante l'ammestamento il fosfato organico viene trasformato in fosfati primari dalle fosfatasi (fosforolisi), aumentando la capacità tampone del mosto, il che può influenzare la caduta del pH durante la fermentazione. I lipidi vengono decomposti per auto-ossidazione ed enzimaticamente in numerosi prodotti. I polifenoli sono sottoposti a processi di ossidazione e polimerizzazione, che comportano la riduzione di preziosi antiossidanti e di conseguenza una

riduzione della stabilità del gusto. Il processo deve essere adattato alla varietà di birra desiderata considerando le materie prime (malto e acqua prodotta) e le attrezzature disponibili per il birrificio. Il malto usato influenza significativamente il colore e l'aroma. La regolazione della velocità dell'agitatore è importante in vista dell'introduzione di ossigeno durante il mashing e l'omogeneizzazione del mosto durante il riscaldamento. La degradazione enzimatica durante il mashing può essere controllata dai parametri di temperatura, viscosità, valore pH e tempo. Nel corso del tempo sono stati sviluppati molti diversi processi di ammostamento, che in generale possono essere suddivisi nei metodi di infusione e decotto. Il metodo di ammostamento per decozione consiste nel separare una o più parti del mosto e portarle ad ebollizione, la bollitura dura per un tempo variabile in base allo stabilimento di produzione e successivamente queste parti di mosto vengono riunite al restante mosto non bollito. Questo tipo di ammostamento opera la disgregazione enzimatica dell'amido mediante una decomposizione fisico-termica con l'aiuto di quelle parti di mosto bollenti precedentemente separate. Questa parziale bollitura porta ad un aumentato stress termico, ad una maggiore precipitazione proteica e ad una bassa stabilità colloidale. È necessario tenere conto inoltre del fatto che durante il trasferimento della parte di mosto da bollire si verifica un'introduzione aggiuntiva di ossigeno, (R. Pattinson, 2011).

Il metodo di ammostamento per infusione oltre al risparmio energetico, che oggi è di grande importanza, offre dei vantaggi tecnologici. Inibendo l'attività della fosfatasi che possiede una temperatura ottimale tra 50 e 53 ° C si forma una capacità tampone più bassa che porta ad una caduta del pH più forte durante la fermentazione. Le conseguenze sono anche un colore più chiaro e una maggiore stabilità colloidale. Inoltre, l'attività proteolitica è ridotta e quindi le proteine molecolari elevate che hanno un'influenza positiva sulla schiuma non vengono ulteriormente scomposte. Ulteriori sostanze nel malto con un'influenza positiva sulla schiuma sono le glicoproteine. Queste vengono parzialmente idrolizzate durante la maltazione e a basse temperature di ammostamento. Un riposo a 70°C aiuta la solubilità di queste glicoproteine senza che siano ulteriormente scomposte, (Hans Michael Eßlinger, 2009).

La fase essenziale dell'ammostamento è la conversione dell'amido in zucchero fermentabile. L'amido, al 55–65% del peso secco, è il principale costituente dell'orzo ed è presente sotto forma di granuli di grandi (tipo A, 10-25 µm) e piccoli (tipo B, 1 - 5 µm) dimensioni. I grani di amido di grandi dimensioni rappresentano solo il 10% dei chicchi di amido totali, ma rappresentano il 90% della massa di amido. L'amido d'orzo è composto dal 20-30% di amilasi e dal 70–80% di amilopectina. La proprietà più importante dell'amido per

la produzione di birra è la gelatinizzazione - l'adsorbimento di acqua - il gonfiore indotto dai granuli di amido e la conseguente perdita irreversibile della struttura cristallina dell'amido. Si traduce nella solubilizzazione dei granuli e conseguente capacità di idrolisi da parte degli enzimi amilolitici (in particolare α e β -amilasi per la birra). La temperatura di gelatinizzazione (GT) per i grani amidacei di grandi dimensioni è 61–62 °C e per i grani piccoli è di 75-80 °C, (B. Sacher et al, 2016). Una gelatinizzazione rapida e un'elevata attività amilolitica garantiscono una rapida saccarificazione e di conseguenza un alto grado di conversione degli zuccheri in alcol (attenuazione), che però è sempre dipendente anche dal ceppo di lievito utilizzato in fermentazione.

L'enzima α -amilasi idrolizza le catene di amido in destrine, zuccheri non fermentescibili, creando estremità non riducenti ed è a partire da queste ultime che β -amilasi idrolizza il legame glicosidico α 1-4 rilasciando molecole di maltosio, fermentescibile previa scissione tramite maltasi, (A. W. MacGregor et al, 1999). β -amilasi ha optimum di temperatura minore di α ed è di conseguenza più termolabile, questo crea la necessità di applicare una soluzione tempo-temperatura adeguata perché α -amilasi fornisca estremità non riducenti, substrato per l'azione di β -amilasi, senza che la gran parte o la totalità di quest'ultimo sia denaturato. Perché questo avvenga in maniera idonea bisogna tener conto del parametro "viscosità", in quanto l'inattivazione di β -amilasi è rallentata in presenza di colloidali e soluti, che fungono da protettori (Brauwelt International, 2016).

2.3 Filtrazione

La soluzione tecnologica maggiormente adottata per la filtrazione è un contenitore d'acciaio con falso fondo forato, il "lauter tun" nel quale si andranno a disporre i pericarpi esausti (trebbie), che fungono essi stessi da filtro per particelle più piccole. Inoltre per far sì che il pannello di malto esausto sia uniforme è provvisto di bracci meccanici rastrellatori rotanti che dispongono i chicchi in maniera omogenea sopra la ghiera.

I lauter tun di uso comune hanno una capacità totale di 8 hl / 100 kg e possono arrivare ad una altezza massima di trebbie (granella esaurita) di 30–65 cm. La parte solida (pericarpi) viene quindi trasferita dal tino di ammostamento al lauter tun trascinando inevitabilmente una piccola quantità di mosto, le trebbie vengono fatte depositare, tramite le braccia meccaniche, omogeneamente sul fondo forato. La quantità di mosto passata con la fase solida viene pescata dal fondo e fatta ricircolare fino a raggiungimento della limpidezza desiderata, controllabile tramite una specula. A questo punto si procede con il trasferimento di tutto il mosto residuo nel tino di ammostamento, la velocità è proporzionale a quella di

filtraggio e quindi al trasferimento dal lauter tun al tino di bollitura e in ogni caso la torta filtrante deve rimanere parzialmente sommersa per tutto il processo.

Il mosto in uscita dal lauter tun dovrebbe essere il più chiaro possibile, in modo che nessuna particella che possa disgregarsi ulteriormente durante l'ebollizione del mosto e solo piccole quantità di acidi grassi a catena lunga, che distruggono la schiuma, possano entrare nel bollitore. Verso la fine del trasferimento, per massimizzare la resa, si opera con una azione di recupero che prende il nome di “sparge” e consiste nel far passare acqua calda (78-80°C) sopra al pannello filtrante permettendo la solubilizzazione degli zuccheri residui nei pericarpi, (F. Kühbeck et al, 2012).

Durante la fase di filtrazione è necessario limitare al minimo l'aerazione del mosto, quindi la sua ossidazione.

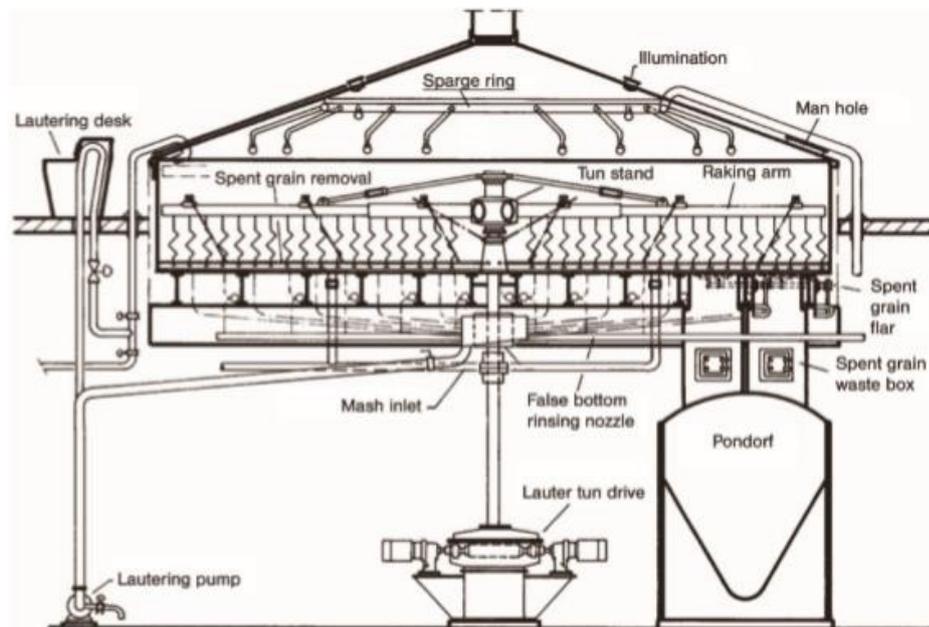


Figura 2-2: Schema di lauter tun. Immagine presa da "Handbook of brewing"

2.4 Bollitura

Le fasi necessarie dell'ebollizione del mosto possono essere approssimativamente divise in due processi: mantenimento a caldo ed evaporazione. E' in questa fase che viene addizionato il luppolo, solitamente in forma pellettizzata o in coni (infiorescenze essiccate).

2.4.1 *Tenuta a caldo*

Durante la tenuta a caldo, si verificano diverse reazioni chimiche come l'isomerizzazione degli α -acidi del luppolo, permettendo la percezione dell'amaro; lo sviluppo di sostanze aromatiche; lo sviluppo di processi di dissoluzione e formazione del colore, nonché l'inattivazione di enzimi e la sterilizzazione.

L'inattivazione degli enzimi del malto è necessaria affinché essi arrestino le reazioni che catalizzano, mantenendo inalterate le caratteristiche ottenute in fase di ammostamento. Inoltre, durante l'ebollizione di mosto, si verifica un abbassamento del pH che causa coagulazione e successiva precipitazione delle proteine insolubili e dei complessi tannico-proteici, chiarificando il mosto. Se la coagulazione proteica è troppo spinta, precipitano anche le proteine ad alto peso molecolare (10 e 40 kDa) positive per la stabilità della schiuma, mentre una coagulazione proteica insufficiente porta a birre torbide ed instabili. In ogni caso la denaturazione delle proteine dipende dalla temperatura, dalla durata di ebollizione e dal pH del mosto, valori idonei di quest'ultimo per tale scopo sono minori di 5,2. La concentrazione di azoto coagulabile (azoto proteico) nel mosto ha un effetto sulla stabilità colloidale, sulla schiuma e sul gusto. Alla fine del processo il precipitato proteico (hot trub) e i residui vegetali del luppolo vengono raccolti ed eliminati tramite una pratica denominata whirlpool. Questa consiste nel favorire un moto vorticoso che porta al convogliamento dei torbidi nel fondo del bollitore (o del serbatoio deputato a tale operazione, se presente nello stabilimento produttivo), (F. Kühbeck et al, 2012).

La bollitura attiva anche la reazione di Maillard, che a partire da amminoacidi e zuccheri genera prodotti primari e secondari che influiscono sul gusto e il colore della birra; quindi con la bollitura vengono rilasciate nel mosto una serie di componenti aromatiche, allo stesso tempo però molte altre di esse sono soggette a evaporazione.

2.4.2 *Evaporazione*

L'evaporazione è fondamentale per rimuovere le sostanze aromatiche indesiderate come il mircene dal luppolo (desiderato in alcune birre) e diverse sostanze carboniliche dello zolfo, in particolare il dimetilsolfato (DMS) che conferisce sapore erbaceo, (G. Coors et al, 2003). Anche le sostanze aromatiche del metabolismo lipidico sono soggette ad evaporazione durante l'ebollizione del mosto. Alcune di queste sostanze possono essere utilizzate come indicatore analitico dell'efficienza di evaporazione del processo di ebollizione. Un'elevata efficienza di evaporazione del sistema di ebollizione si traduce in una buona qualità poiché i marker analitici di base dell'ebollizione come DMS libero, numero di acido tiobarbiturico

(TBN) e azoto coagulabile, possono essere regolati in modo ideale. Di conseguenza, l'evaporazione totale può essere ridotta, in modo da ridurre la richiesta di calore e di tempo per il processo di ebollizione.

In questo processo il mosto viene sottoposto ad un carico di stress termico, questo ha effetto negativo sulla stabilità del gusto della birra, ma gestendo in modo ottimale il processo, può essere ridotto notevolmente il carico di calore cui il mosto viene sottoposto, (Hans Michael Eßlinger, 2009).

Nei classici sistemi di ebollizione del mosto, come in una caldaia interna o esterna, la tenuta a caldo e l'evaporazione avvengono contemporaneamente. Nei moderni sistemi di ebollizione invece, è possibile effettuare la tenuta a caldo e l'evaporazione contemporaneamente o in momenti separati, questo permette un'ampia flessibilità di gestione dei tempi e dell'apporto di energia. Questa soluzione tecnologica avviene tramite un preraffreddamento del mosto (prima del raffreddamento che precede l'inoculo dei lieviti) nel quale l'evaporazione continua ad avvenire a pressione atmosferica o sottovuoto; quest'ultima soluzione, solitamente effettuata con un evaporatore flash, è più efficiente in termini di riduzione di stress termico. Questa procedura porta ad uno sviluppo inferiore di DMS dalla sostanza precursore S-metilmetionina, oltre che, come già detto, ad una maggiore stabilità del gusto della birra. Quest'ultima viene convertita in DMS libero durante l'ebollizione del mosto e dovrebbe essere presente a concentrazioni inferiori a 100 μ g/l (soglia di percezione), (G. Coors et al, 2003).

Alla fine del processo si trasferisce il mosto dal bollitore al fermentatore, passando per uno scambiatore di calore che raffredda il mosto alla temperatura di inoculo dei lieviti.

2.5 Fermentazione

La fermentazione alcolica è un processo microbiologico condotto dai lieviti (funghi unicellulari), i quali metabolizzano gli zuccheri convertendoli in alcol e anidride carbonica. Oltre ad esse vengono prodotti anche metaboliti secondari di cui i più rappresentativi nella birra sono esteri e alcoli superiori ed hanno un notevole effetto sul profilo aromatico e sul gusto della birra. Nelle birre a bassa fermentazione questi metaboliti sono indesiderati in grosse concentrazioni, in quanto andrebbero a compromettere il sapore di cereale maltato, prerogativa essenziale di queste birre.

I lieviti per la produzione di birra sono del genere *Saccharomyces* e quindi anaerobi facoltativi, vengono commercializzati nel formato secco (cellule sottoposte a liofilizzazione) e nel formato liquido, maggiormente utilizzato. La fermentazione ha inizio con l'inoculo del

lievito nel mosto (15-20 milioni di cellule per ml), il quale deve essere ossigenato con aria sterile (valore ottimale: 8 - 10 mg di O₂ per litro) e deve trovarsi alla temperatura ottimale del ceppo utilizzato. Molti birrifici inoculano il lievito ottenuto dalla fermentazione della birra precedente (dopo aver controllato il numero di cellule vive) o semplicemente con la birra “giovane”, ovvero la via di mezzo tra mosto e birra, nella quale le cellule sono molto vitali. In ogni caso è necessario, durante l'inoculo, evitare shock termici per avere una maggiore vitalità all'inizio della fermentazione, creando così competizione a molti microrganismi alteranti potenzialmente presenti nel mosto.

Il lievito, appena immesso nel mosto, è in fase di adattamento (fase lag) e presenta inizialmente metabolismo respiratorio, consumando l'ossigeno presente nel mezzo. La presenza di quest'ultimo è indispensabile perché le cellule possano sintetizzare i lipidi di membrana a partire dall'acetil coenzima A, permettendo la loro propagazione. Altri fattori di crescita sono gli amminoacidi per la sintesi di proteine e anche sali minerali per la stabilizzazione dei sistemi enzimatici. Consumato l'ossigeno, inizia la fermentazione vera e propria, gli zuccheri vengono quindi metabolizzati per via anaerobica. In questo momento le cellule di lievito si sono stabilite nel mezzo, hanno prodotto gli enzimi di cui necessitano ed iniziano a riprodursi molto velocemente (fase log), consumando tutti gli zuccheri semplici e, quando questi si esauriscono, passando a fermentare zuccheri sempre più complessi. Ogni ceppo di lievito *Saccharomyces* presenta un livello di attenuazione caratteristico, ovvero la percentuale di zuccheri che essi riescono a metabolizzare. Perciò maggiore è l'attenuazione di un lievito, maggiore sarà la quantità di etanolo, a sfavore però del corpo della birra, che verrà impartito quasi esclusivamente dalle destrine (infermentescibili). Ad ogni modo, una volta consumata la gran parte degli zuccheri fermentescibili il lievito inizia a flocculare e precipitare, rallentando moltissimo l'attenuazione (fase stazionaria). Per favorire la precipitazione è necessario sottoporre la birra ad una temperatura prossima agli 0°C; il lievito depositato in fondo al fermentatore viene smaltito. La gran parte delle cellule perciò perde la vitalità e viene esportata dalla birra, ma il lievito rimasto nel mezzo sarà responsabile della rifermentazione in bottiglia (se prevista dallo stile) della birra nei mesi successivi, sempre che la tecnologia produttiva non preveda microfiltrazione e/o pastorizzazione.

La rifermentazione o fermentazione secondaria è desiderata per birre in cui il lievito gioca ruolo cruciale nel profilo aromatico con rilascio di metaboliti secondari. Lieviti presenti o meno, la birra è sottoposta, col passare del tempo, a maturazione o invecchiamento, nel quale avvengono molti processi chimici, modificando alcune

caratteristiche organolettiche della birra. Tale maturazione è perseguita nel caso di birre ad alto contenuto zuccherino residuo e ad alta gradazione alcolica, traducendosi in un aumento della morbidezza del gusto per via della polimerizzazione degli alcoli superiori con acidi, formando esteri o, con la loro ossidazione, convertendosi in aldeidi. Anche le destrine (non fermentate da *Saccharomyces*) sono sottoposte all'azione dell'ossigeno, i prodotti derivanti si legano alle proteine del malto preesistenti con perdita del profilo aromatico. Per il tipo di birre trattate in questo capitolo (basse fermentazioni), che trovano la loro peculiarità nel gusto di cereale, è quindi sconsigliabile applicare la maturazione (che causerebbe solo l'assottigliamento del profilo aromatico) ma è comunque necessaria una breve rifermentazione per convertire i dicetoni vicinali (ad esempio il diacetile) in composti più gradevoli. Una durata eccessiva tuttavia comporterebbe la sintesi da parte dei lieviti di un quantitativo di metaboliti secondari troppo elevato, rompendo l'equilibrio aromatico.

2.5.1 *Parametri fermentativi approfonditi*

Come già detto la fermentazione alcolica nella produzione di birra porta a formazione, a partire da zuccheri fermentescibili, di etanolo e anidride carbonica grazie all'attività degli enzimi dei lieviti. Questa via metabolica è esotermica e si chiama glicolisi. Il lievito idrolizza prima il saccarosio (zucchero di partenza), quindi assume il maltosio (zucchero di fermentazione principale) e successivamente il maltotriosio (zucchero secondario). I metaboliti secondari si formano lateralmente sul piano metabolico ed hanno soglie di percezione diverse, sia dal punto di vista olfattivo che gustativo. Possono essere divisi in sei gruppi: alcoli alifatici e aromatici superiori, alcoli multivalenti, esteri, composti carbonilici, composti contenenti zolfo e acidi organici. Determinano il profilo aromatico della birra, il loro contributo può essere positivo o negativo (off-flavours), le quantità prodotte sono influenzate in una certa misura dalla tecnologia di produzione.

Durante la fermentazione principale, il pH diminuisce di un'unità perché si formano acidi acidi volatili (acetico, formico) e non volatili (piruvico, malico, citrico, lattico) per deaminazione degli aminoacidi. Il pH finale della birra varia da 4,3 a 4,6. La quantità e la velocità della formazione di questi acidi sono determinate dalla capacità tampone del mosto, dalla quantità di azoto facilmente assimilabile, dal ceppo di lievito e dal metodo di fermentazione utilizzato.

Gli acidi grassi a catena corta si formano all'inizio del processo di fermentazione principale: acidi butirrico, isovalerico, esanoico, ottanoico e decanoico. Le loro quantità possono essere controllate dalla composizione del mosto, dall'aerazione e dalle condizioni generali di fermentazione. Durante la fermentazione a pressione, solitamente c'è un aumento

dei livelli di questi composti, che in grandi concentrazioni, causano il caratteristico odore di lievito (ad es. panetto pressato per la panificazione) e compromettono la ritenzione della schiuma. Gli alcoli alifatici superiori (1-propanolo, 2-metil-1-propanolo, 2-metile-1butanolo e 3-metil- 1-butanolo) e gli alcoli aromatici (in particolare 2-fenil-1-etanolo) rappresentano la più grande frazione dei composti responsabili dell'aroma della birra. Questi vengono prodotti in massa durante i primi 2-3 giorni della fermentazione, più avanti ci sarà solo un leggero aumento, inoltre in concentrazioni superiori a 100 mg/l, influiscono negativamente sul sapore della birra. I loro livelli possono essere controllati principalmente dalla temperatura di inoculo e da quella di fermentazione (specialmente nei primi 3 giorni). La formazione di alcoli superiori viene ridotta, soprattutto per birre a bassa fermentazione, dalle temperature di fermentazione più fredde e dall'applicazione della pressione non appena viene raggiunto un grado di attenuazione di circa il 50%, (A. D. Rodman et al, 2017).

A causa dei loro valori di soglia bassi, gli esteri influenzano fortemente le proprietà organolettiche della birra con interessanti note fruttate. Gli esteri sono i prodotti della catalisi enzimatica di acidi organici e alcoli (principalmente etanolo, ma anche alcoli superiori). La loro formazione è strettamente correlata alla propagazione del lievito e al metabolismo lipidico. Sono stati caratterizzati più di 50 esteri diversi nella birra, di cui sei di maggiore importanza per il profilo aromatico: etilacetato, isoamilacetato, isobutilacetato, β -fenilacetato, etilcaproato, etilcaprilato. La quantità di esteri prodotti diminuisce, come per gli alcoli superiori, a basse temperature di fermentazione, a basse percentuali di gravità iniziale (densità impartita dalla concentrazione di zuccheri prima della fermentazione), evitando movimento del mosto in fermentazione ma anche della birra durante la maturazione, (A. I. García et al, 1994). Alcoli superiori e esteri in concentrazioni definite sono necessari per il profilo aromatico di una birra di alta qualità e una volta formati, rimangono nella birra e non vengono rimossi nelle fasi successive della fermentazione.

I composti volatili dello zolfo non sono desiderabili nella birra a causa del loro forte odore e gusto vegetale anche a concentrazioni molto basse. Tra questi, i mercaptani, tioalcoli: composti in cui il gruppo OH dell'alcool è sostituito da un gruppo SH, compromettono fortemente il sapore della birra. Altro composto solforato è il dimetilsolfuro (DMS), non è influenzato dal lievito ma dipende dalla quantità preesistente nel mosto.

Inoltre si trovano nella birra anche glicerolo, un alcool multivalente che si forma durante la glicolisi, la cui concentrazione dipende dalla quantità di zuccheri fermentati (1300 - 2000 mg/l) ed è quindi proporzionale alla gravità iniziale del mosto.

L'acetaldeide si forma durante i primi 3 giorni e conferisce alla birra un sapore acerbo e sbilanciato ma svanisce nelle fasi successive della fermentazione, (Hans Michael Eßlinger, 2009).

2.5.2 Tipi di fermentazione per la produzione di birra

E' possibile effettuare una classificazione generale dei tipi di fermentazione della birra, ognuno dei quali presenta peculiari caratteristiche nel prodotto finito.

Bassa fermentazione: i lieviti deputati sono *Saccharomyces bayanus* o *S. pastorianus*, temperature ottimali di esercizio che vanno dai 7 ai 15°C, solitamente nei primi 3 giorni di fermentazione la temperatura viene mantenuta a 7-8°C per limitare al massimo lo sviluppo di metaboliti secondari e alzata a 12-13°C nei giorni successivi. Caratteristica di questi lieviti è di flocculare sul fondo del fermentatore.

Alta fermentazione: i lieviti deputati sono *Saccharomyces cerevisiae*, temperature ottimali di esercizio che vanno dai 16 ai 20°C, la temperatura viene mantenuta pressochè costante durante tutto il processo. Caratteristica di questi lieviti, dopo aver floccolato, è di “flottare” in superficie, questo non avviene in presenza di fermentatori cilindrici tronco-conici, nei quali le cellule si depositano sul fondo, consentendo facilità di spurgo.

Fermentazione mista non spontanea: i microrganismi deputati sono lieviti del genere *Saccharomyces* e batteri lattici per l'acidificazione (colture LAB).

Fermentazione mista spontanea: i microrganismi deputati sono molteplici e non selezionati, i risultati non sono standardizzabili o riproducibili. L'inoculo è costituito dall'esposizione all'aria, quindi dal microbiota presente nell'ambiente di produzione e dal materiale che viene a contatto con il mosto. La fermentazione continua a carico di varie specie microbiche in base alle condizioni create dal microrganismo precedente, (J. De Roos et L. De Vuyst, 2018) .

Capitolo 3

BERLINER WEISSE :

PRODUZIONE E CARATTERISTICHE

3.1 La storia e le caratteristiche

Le teorie sulla genesi di Berliner Weisse, definita “lo champagne del nord” dalle truppe di Napoleone quando occuparono Berlino nel 1809, sono molteplici: alcuni esperti affermano che la sua produzione era nota a Berlino già dal XVI secolo e nel dettaglio intorno all’anno 1552, altri tra cui lo scrittore e giornalista Roger Protz sostengono che nel XVII secolo gli ugonotti protestanti in fuga dalla persecuzione religiosa, durante il loro viaggio verso la Germania del nord, abbiano acquisito (in particolare nella zona delle Fiandre) conoscenze birrarie tali da creare questo stile, altri ancora affermano che in realtà Berliner weisse non è una produzione originaria di Berlino bensì di Amburgo, ove un mastro birraio di nome Cord Broihan, famoso per aver sperimentato nuovi tipi di birra, ha creato l’Halberstadter Broihan, che, modificata poi dai mastri birrai di Berlino, sarebbe stata la base per la creazione di Berliner weisse. Comunque siano andate le cose un decreto del 1680 che istituiva una tassa speciale sulla Weissbier di Berlino funge da suo “certificato di nascita”. Grazie alla popolarità guadagnata da questa bevanda di carattere acido nel 1879 erano 16 i birrifici a produrla a Berlino, nel 2006 chiude il penultimo stabilimento produttivo (Schulteiss) e ad oggi solo Berliner Kindl offre questo prodotto, (Stan Hieronymus, 2018).



3-1: Etichetta della berliner weisse prodotta in passato dal birrificio Schulteiss che ha interrotto la produzione nel 2006. Immagine presa da www.ratebeer.com

L'associazione BJCP (beer judge certification program) descrive la Berliner Weisse come segue: (BJCP, 2015)

“birra di frumento tedesca molto chiara, rinfrescante e a basso contenuto alcolico, con acidità lattica pulita ed elevata carbonazione.

Aroma: dominante un carattere intensamente acido (da moderato ad abbastanza elevato) con note moderatamente fruttate (spesso di limone o mele verdi). Il fruttato può aumentare con la maturazione e si può sviluppare un leggero carattere floreale. Nessun aroma di luppolo.

Aspetto: colore paglierino molto chiaro. La limpidezza varia da buona a lievemente torbida. Schiuma densa e generosa, bianca e con scarsa ritenzione. È sempre effervescente.

Gusto: domina una acidità lattica che può essere alquanto forte. In genere si notano gusti complementari di frumento, note di impasto di pane, pane o cereale. L'amaro di luppolo non è percepibile, ma è l'acidità a fornire l'equilibrio. Mai note acetiche. Si può tuttavia percepire un fruttato agrumato di limone o di mela verde. Finale molto secco. Nessun gusto di luppolo, ma può avere un misurato e bizzarro carattere Brettato.

In bocca: corpo leggero con carbonazione elevata. Nessuna sensazione di alcol. Fresca con succosa acidità. Commenti: in Germania è classificata come Schankbier, birra a bassa gradazione con gravità iniziale intorno ai 7-8° Plato. È spesso servita con uno spruzzo di sciroppo ('mit schuss') di lampone (himbeer), asperula odorosa (waldmeister) o liquore di cumino carvi (Kümmel) per bilanciare la decisa acidità. Alcuni l'hanno definita la birra assolutamente più rinfrescante al mondo.

Ingredienti: come è tradizione per tutte le birre di frumento tedesche, il malto di frumento è intorno al 50% e il resto è tipicamente malto Pilsner. La decisa acidità è impartita dalla fermentazione simbiotica di lievito ad alta fermentazione con vari ceppi di Lactobacillus; può essere migliorata miscelando birre di età differente durante

la fermentazione e con una prolungata maturazione a freddo. Non si rileva amaro da luppolo. È tradizionale l'ammestamento per decozione con luppolatura durante l'ammestamento stesso. Gli scienziati tedeschi sostengono che il Brettanomiceto è necessario per raggiungere il corretto profilo aromatico, ma questo carattere non è mai forte.”

Nel documento si fa riferimento alla produzione tradizionale in quanto alcune fasi del processo sono state adattate alla produzione odierna.

Tabella 3-1: Principali parametri di berliner weisse, ove:

***EBU: European bitterness unit (unità di amarezza europea), è il sistema europeo per la misura dell'amarezza in una birra basato su parti per milione (o milligrammi per litro) di alfa acidi.**

***EBC: European Brewer's convention, è una scala per la misura del colore delle birre.**

***Gradi plato: è un'unità di misura che indica i grammi di zuccheri presenti in un kilo di mosto (in Italia questo valore è spesso sostituito dai gradi saccarometrici i quali indicano i grammi di glucidi in un litro di mosto).**

Parametro	Valore
Alcool	2,5 - 3 % vol
Amarezza	< 10 EBU*
Quantità di CO ₂	6 - 7 g/l
Colore	3 - 5 unità EBC*
Quantità di acido lattico	2 - 4 g/l
pH	3,0 - 3,4
Gradi plato* pre-fermentazione	7-8
Gradi plato post-fermentazione	0,5-1,6

3.2 Fasi produttive preliminari alla fermentazione

La Berliner Weisse viene prodotta a partire da acqua, malto d'orzo e frumento in rapporto 1:1 o 3:1, luppolo, batteri lattici e lievito, inoltre possono essere aggiunte anche colture di Brettanomyces.

L'acqua utilizzata è di medio-alta durezza ovvero quella presente a Berlino, i malti sono una combinazione di orzo e frumento, nelle produzioni odierne la percentuale di quest'ultimo nel

mosto è minore, solitamente sotto al 50%, ma in passato si arrivava ad utilizzarne fino al 75%, (Eric Warner, 1992). Nella produzione tradizionale era comune evitare la bollitura di tutto il mosto che veniva invece eseguita solo su parte di esso. Questo metodo prende il nome di decozione, mentre il metodo di ammostamento più utilizzato ad oggi è quello per infusione.

3.2.1 *Ammostamento, infusione e decozione*

Nel metodo di ammostamento per infusione vengono immessi i malti (di orzo e frumento) all'interno del mash tun (tino di ammostamento) nel quale è stata preparata acqua calda. La temperatura di inizio ammostamento (mash in) può essere di 38°C per mezz'ora (β -glucan rest) o direttamente di 52-53°C per 30 minuti (protein rest), questa decisione viene effettuata dal responsabile di produzione in base al grado di modificazione del frumento maltato. Il grado di modificazione è impartito dalla malteria, la quale fa germinare i chicchi di frumento per poi tostarli. La germinazione attiva una serie di enzimi (tra cui le β -glucasi), ma se il grado di germogliazione è basso (si prende come riferimento la lunghezza dell'acrospira ovvero della radichetta) si otterranno malti di frumento con un elevato quantitativo di β -glucani, (Hans Michael Eßlinger, 2009). Questi sono componenti della parete cellulare e devono essere degradati per consentire una migliore gelatinizzazione (solubilizzazione) degli amidi, ma anche perché ad elevate concentrazioni porterebbero a problemi tecnologici. Essi possono essere presenti nel mosto in due forme, β -glucano molecolare, il quale aumenta la stabilità della schiuma ma al di sopra di concentrazioni di 350 mg/l porterebbe ad intorbidimento del mosto, e il β -glucano in gel, il quale in concentrazioni superiori a 10-15 mg/l causa problemi nella fase di microfiltrazione (se prevista), (B. Sacher et al, 2016) . Le proteine presenti nel malto sono anch'esse soggette a una parziale degradazione ad opera della germinazione, tuttavia durante l'ammostamento nella fase di protein rest un grado di scissione troppo alto porterebbe alla scomparsa (o quasi) di proteine ad alto peso molecolare e alla liberazione di una grande quantità di aminoacidi nel mosto, questo si traduce in una scarsa ritenzione della schiuma e in un maggiore rischio di infezione ad opera di microrganismi alteranti. Se invece il grado di scissione delle proteine è troppo basso porterebbe ad un livello di composti azotati assimilabili (FAN, azoto solubile) insufficienti perché *Saccharomyces* possa propagarsi adeguatamente, inoltre porterebbe alla formazione da parte degli stessi di alte concentrazioni di sottoprodotti di fermentazione indesiderati (es. diacetile), (Kühbeck F. et al., 2005).

Dopo la fase di protein rest si alza la temperatura fino a 65°C, questo step permette la saccarificazione ovvero l'idrolisi delle catene di amido in zuccheri fermentescibili come

maltosio e glucosio ma anche destrine e maltotriosio. Gli enzimi responsabili di tale conversione sono detti diastatici, α e β -amilasi sono attivati durante la maltazione e sono i più rappresentativi. L'attività di β -amilasi è massimizzata dai 60 ai 65°C e consiste nel rimuovere 2 molecole di maltosio alla volta dalla catena dell'amido, inoltre rimuove maltosio dalle estremità riducenti delle destrine. L'attività dell' α -amilasi è massimizzata dai 65 ai 70°C e consiste nel ridurre le lunghe catene di amido a destrine e maltotriosio (idrolizzate a zuccheri fermentescibili tramite β -amilasi). Alla temperatura di 65°C quindi è possibile far lavorare simultaneamente i 2 enzimi, questo step viene protratto, in base alle scelte del responsabile di produzione, fino a quando necessario: maggiore è il contenuto di zuccheri fermentescibili maggiore sarà il grado alcolico della birra viceversa maggiore sarà il contenuto di zuccheri più complessi e maggiore sarà invece il corpo della birra. E' possibile inoltre effettuare una sosta a 72°C, temperatura che rientra nel range di azione delle α -amilasi ma non delle β , impartendo un maggior tenore di destrine, alcune delle quali assimilabili da alcuni ceppi di *Lactobacillus* (B. Meyer et K. Marshall, 2012).

. Terminata questa fase si raggiunge la temperatura di 78°C e viene effettuato un riposo di 20 minuti circa affinché tutti gli enzimi vengano denaturati e non continuino il loro lavoro nella fase di filtrazione, questo step è conosciuto con il nome di mash-out.

L'ammestamento per decozione permette di ottenere birre con minori livelli di zuccheri fermentescibili (dal genere *Saccharomyces*) e una coagulazione proteica ridotta, spesso utilizzato per produrre birre analcoliche, (Dylan W. Pilarski et al. 2019). Questo particolare tipo di ammostamento prevede che una parte di mosto venga tolta dal mash tun per essere portata ad ebollizione, rimettendo insieme le due parti si otterrà innalzamento della temperatura, idoneo perché si possano realizzare tutti gli step della fase di ammostamento. Le temperature e i tempi di riposo sono i medesimi dell'ammestamento per infusione, la decozione può inoltre essere singola, doppia o tripla a seconda di quante volte viene tolta una parte di mosto e portata ad ebollizione, inoltre i tempi di cottura variano da 10 minuti ad un'ora, (R. Pattinson, 2011). La quantità di mosto da portare ad ebollizione viene stabilita in base all'innalzamento di temperatura desiderato, il calcolo da svolgere è il seguente: $(\text{incremento di temperatura del mosto desiderato } ^\circ\text{C} * \text{hl di mosto}) / (90 - \text{temperatura attuale del mosto})$ come indicato in (Wolfgang Kunze, 1961). Durante questa bollitura di parte del mosto vengono aggiunti i luppoli, solitamente in percentuali molto basse: 500g ogni 100kg di malto. Nel caso di ammostamento per infusione è più probabile che i luppoli vengano aggiunti durante la bollitura finale di tutto il mosto. Vista la laboriosità del processo, il rischio di vitalità di batteri lattici alteranti sui pericarpi e considerando che la bollitura

completa di tutto il mosto (per tempi modesti) non comporta cambiamenti apprezzabili in termini di gusto e di colore, ad oggi il metodo di ammostamento per infusione è da preferire a quello per decozione. Inoltre nell' "Institut für Gärungsgewerbe und Biotechnologie zu Berlin (IFGB)" situato a Berlino est, è stato dimostrato che bevitori esperti di questo stile non sapevano distinguere tra le weissbier in cui la totalità del mosto era stata sottoposta a una breve bollitura (15-20 minuti) e quelle ottenute per decozione, (R. Pattinson, 2011).

3.2.2 *Filtrazione ed eventuale bollitura*

In passato questa fase veniva eseguita facendo passare il mosto sopra ad un letto di paglia di segale precedentemente bollita. Ad oggi viene utilizzato principalmente il lauter-tun, nel quale vengono trasferiti mosto e trebbie (pericarpi di malto d'orzo e frumento) dal tino di ammostamento. Le trebbie si depositano sopra ad un falso fondo forato, ottenendo così un filtro costituito da malti esausti, ottimale per trattenere farine e, nel caso di ammostamento per decozione, anche luppoli esausti. La velocità con cui far passare il mosto sopra alle trebbie dipende dalla quantità di malto utilizzato per ogni litro di mosto e influenza il grado di torbidità. Per birre ottenute con ammostamento per decozione il mosto filtrato verrà trasferito direttamente nel fermentatore, mentre il mosto filtrato di birre ottenute con ammostamento per infusione verrà invece trasferito nel tino di bollitura. In ogni caso, per entrambi i metodi di ammostamento, dopo che tutto il mosto è stato filtrato viene eseguita una operazione di recupero di tutti gli zuccheri ancora presenti nei pericarpi, questo procedimento è noto con il nome di "sparge". Si provvede quindi a far passare acqua sopra al pannello di trebbie a temperatura di 78-80°C e non superiore per evitare l'estrazione di sostanze tanniche. Il getto d'acqua deve essere omogeneo e, per evitare canali preferenziali di scolo, dovrebbe essere ottenuto un effetto pioggia, inoltre la velocità di scolo viene regolata in modo da mantenere il livello dell'acqua costante (solitamente a coprire le trebbie) per assicurare un'estrazione superiore.

La bollitura, come già trattato, viene eseguita sulla totalità del mosto solo nel caso di birre ottenute da ammostamento per infusione. In ogni caso per Berliner weisse questa fase è ridotta allo stretto necessario, questo perché altrimenti andrebbe ad influire negativamente (per le caratteristiche dello stile) sul colore e sul sapore, (R. Pattinson, 2011). Durante la bollitura avviene la luppatura, solitamente per Berliner Weisse il luppolo non viene utilizzato per conferire amaro o aromi ma per la sua proprietà antibatterica. Alla fine di questo processo, si trasferisce il mosto nel fermentatore raffreddandolo tramite uno scambiatore di calore.

3.3 Fermentazione primaria

Le tecniche di fermentazione per Berliner weisse sono diverse, ciò che le accomuna è che è vietato, per l'abbassamento del pH, l'aggiunta di acido lattico (acidificazione artificiale). Si ha perciò, l'obbligo di eseguire una acidificazione biologica e in particolare con l'uso di microrganismi appartenenti alla famiglia delle lactobacillacee. Di norma i batteri lattici utilizzati per l'acidificazione sono del genere *Lactobacillus* (*delbruekii*, *brevis*, *lindneri*, *casei*, *plantarum*, *coryniformis*) ma possono essere utilizzati anche *Bacillus subtilis*, *Pediococcus viscosus* e *Pediococcus cerevisiae* (B. Meyer et K. Marshall, 2012). Il lievito utilizzato in fermentazione primaria è *Saccharomyces cerevisiae* (alta fermentazione), solitamente per Berliner weisse vengono usati ceppi neutri, cioè bassi produttori di alcoli superiori ed esteri che altrimenti andrebbero ad alterare il caratteristico sapore di impasto di pane. Per la fermentazione secondaria (maturazione) è possibile aggiungere nuovamente batteri lattici, lieviti del genere *Saccharomyces* (*cerevisiae*) o *Brettanomyces*. Quest'ultimo, identificato nella Berliner weisse dagli scienziati tedeschi nella seconda metà del ventesimo secolo, era presente nella birra di frumento di Berlino probabilmente perché "infettava" le colture miste di *Saccharomyces* e batteri lattici (che venivano inoculati volontariamente per la fermentazione) e perché veniva veicolato nel mosto tramite le attrezzature del birrifico, (S. Hieronymus, 2018).

Al momento del raffreddamento del mosto, dopo la bollitura, si può decidere o meno di ossigenare il mosto. La maggior parte dei batteri lattici utilizzati per la produzione di birra, nonostante siano anaerobi, tollerano la presenza dell'ossigeno ma alcuni ceppi eterofermentanti, in presenza di esso, producono quantità percettibili di acido acetico (indesiderato per il profilo aromatico di Berliner weisse); altri invece, ad esempio *lactobacillus brevis*, dimostrano una crescita migliore in presenza di ossigeno, (J. R. Stamer et B. O. Stoyla, 1967). Il genere *Saccharomyces*, una volta inoculato nel mosto, necessita di ossigeno per la produzione di alcuni acidi grassi e steroli di membrana. Questi ultimi non verranno prodotti in fermentazione alcolica e quando la cellula si moltiplica deve ripartirli tra le cellule neoformate. Questo indica che la cellula madre deve disporre degli steroli e dei fosfolipidi per permettere la moltiplicazione fino al termine della fermentazione. I lieviti commercializzati nel formato liquido devono necessariamente essere inoculati in un mosto ossigenato. Vale il contrario per i lieviti nel formato secco (liofilizzati), i quali sono stati disidratati nel momento in cui la cellula si è prodotta tutti gli steroli di cui necessita; ossigenare il mosto in questo caso significherebbe solo esporlo ad ossidazione.

3.3.1 *Ammostamento acido (sour worting)*

Il sour worting o sour kettling prevede che la fermentazione sia condotta dai batteri lattici e dai *Saccharomyces cerevisiae* in due momenti separati, questa tecnica viene utilizzata solo nel caso di ammostamento per infusione. La procedura consiste nell'inoculo dei batteri lattici subito dopo la filtrazione e prima della bollitura. Appena il mosto filtrato esce dal lauter tun viene raffreddato tramite scambiatore di calore ad una temperatura compresa tra 25 e 40°C (a seconda che i ceppi utilizzati siano mesofili o termofili) e trasferito in una caldaia sterilizzata. Si procede quindi con l'inoculo di batteri lattici selezionati e si lasciano fermentare da 12 fino a 72 ore in base alla velocità di acidificazione dei batteri e soprattutto in base al pH desiderato. Si ricorda che la luppolatura avviene nel processo di bollitura, in questo metodo perciò l'acidificazione dei batteri lattici avviene in un mosto non luppolato. Questo offre un vantaggio per il birraio che utilizza specie batteriolattiche sensibili agli α e β -acidi presenti nel luppolo, i quali porterebbero al rallentamento della crescita o a completa inibizione delle cellule. Al termine dell'acidificazione si porta quindi il mosto ad ebollizione distruggendo tutti i batteri lattici (non sporigeni), si procede con la luppolatura, tenendo presente che l'abbassamento del pH determinerà una minore solubilizzazione degli iso- α -acidi. L'analisi ponderale dell'acido lattico ha evidenziato che il suo contenuto nella birra finita non è mai superiore allo 0,4%; questo dato è molto importante ai fini tecnologici, essendo 0,5% il limite oltre al quale l'acido lattico diviene tossico per il *Saccharomyces cerevisiae* (Kundiyan et al., 2010). Alla fine della bollitura si procede con il wirlphool, con il raffreddamento del mosto alla temperatura di 18-24°C e con l'inoculo dei *Saccharomyces cerevisiae*.

3.3.2 *Coltura mista di Saccharomyces cerevisiae e batteri lattici mesofili*

In passato la Berliner weisse veniva prodotta senza l'inoculo diretto di batteri lattici: questi venivano a contatto con il mosto dal malto (che veniva essiccato all'aria) e dagli ambienti di produzione. Lo scarso utilizzo di luppolo (quindi la bassa percentuale di iso- α -acidi) e la mancata bollitura del mosto (la decozione è il metodo tradizionale) favoriva la loro crescita nel mosto. I produttori di birra dell'epoca si limitavano a inoculare lievito che quindi si riproduceva simultaneamente ai batteri lattici. La raccolta di questi microrganismi (probabilmente anche di *Brettanomyces*) a fine fermentazione costituiva quello che gli abitanti dell'epoca chiamavano fermento pece, molto appiccicoso e simile, per l'appunto, alla pece. Questo veniva recuperato ed inoculato nella produzione successiva, almeno fino a quando la birra risultante diveniva troppo acida e c'era la necessità di acquistare nuovo

lievito. Il fermento pece non più utilizzabile per birrificare non veniva scartato: i calzolari dell'epoca lo usavano come colla, (S. Hieronymus, 2018).

Nelle produzioni odierne (che rispettano la fermentazione tradizionale) avviene l'inoculo simultaneo di una coltura mista di *Saccharomyces cerevisiae* e di batteri lattici mesofili solitamente in rapporto 1:5. Le temperature di norma vengono mantenute il più basse possibile (solitamente dai 17.5 ai 20°C) così da limitare la produzione di acido lattico, che andrebbe ad inibire lo sviluppo di *Saccharomyces cerevisiae*. Ad ogni modo, se il processo non viene interrotto prima, la produzione di acido lattico continua fino ad inibire i batteri lattici stessi. Sebbene la concentrazione di zuccheri nel mosto è relativamente bassa e vengono utilizzate temperature di fermentazione adatte per i lieviti, solitamente sono necessari circa 2-3 giorni affinché il mosto si attenui nella misura desiderata a causa dell'effetto inibente dell'acido lattico sul lievito, (R. Pattinson, 2011).

3.3.3 *Fermentazione alcolica post o pre-acidificazione*

Dopo la fase di bollitura, appena trasferito il mosto nel fermentatore, si procede con l'inoculo dei batteri lattici. I *Saccharomyces cerevisiae* possono essere addizionati verso il termine dell'acidificazione o alla fine di essa. Ad ogni modo questo metodo viene utilizzato solo nel caso di batteri lattici che non producono grosse quantità di acido lattico, che altrimenti non permetterebbe la fermentazione di *Saccharomyces*; infatti solitamente sono necessari circa 4 giorni affinché si raggiunga l'attenuazione desiderata a causa dell'effetto inibente dell'acido lattico sul lievito.

Si può, ovviando il problema dell'ossigenazione, inoculare *Saccharomyces cerevisiae* appena trasferito il mosto nel fermentatore e, conclusa la fermentazione alcolica, inoculare i batteri lattici. Questo metodo viene solitamente utilizzato per ceppi di batteri lattici che operano una lenta acidificazione che si può protrarre anche per dei mesi. Questo permette di poter acidificare la birra anche durante la maturazione in fusti o in bottiglia.

3.3.4 *Metodo Berliner Kindl*

Berliner Kindl, l'ultimo birrificio industriale di Berlino che produce Berliner weisse, dopo aver filtrato il mosto, lo separa in due parti. Una parte viene semplicemente raffreddata e inoculata con batteri lattici, mentre la seconda parte viene bollita, luppolata, ossigenata e inoculata con *Saccharomyces cerevisiae*. Successivamente queste parti vengono miscelate e sottoposte ad una ulteriore pausa fermentativa, (S. Hieronymus, 2018). Questo procedimento garantisce la soluzione a molteplici problemi: per prima cosa può essere ossigenato il mosto inoculato con *Saccharomyces*, inoltre questi lieviti, almeno nei primi giorni di

fermentazione, non subiscono inibizione ad opera dell'acido lattico e infine i batteri lattici e i *Saccharomyces* possono fermentare al loro optimum di temperatura, almeno per i primi giorni, permettendo il controllo ottimale dei metaboliti prodotti da parte di entrambe le specie microbiche.

3.4 Fermentazione secondaria (condizionamento)

Come già accennato, dopo la fermentazione primaria, se previsto, avviene il condizionamento. La produzione tradizionale prevedeva che fosse inoculata una parte del mosto in fermentazione, denominata "krausen". Questa contiene *Saccharomyces cerevisiae* ma anche batteri lattici e *Brettanomyces*, che tendono a flottare verso l'alto durante la fermentazione. Ad oggi è possibile inoculare nella birra da condizionare, come già detto, colture pure di *Saccharomyces*, batteri lattici o *Brettanomyces* ma nonostante ciò qualcuno preferisce utilizzare il krausen per rispettare la tradizione. In base al tipo di microrganismo impiegato per il condizionamento, al ceppo specifico e alla data nella quale si vuole mettere in commercio la birra, la temperatura per questo processo varia dai 15 ai 25°C. Lo stesso vale anche invecchiamenti di maggior durata solo in un primo momento, più avanti si procede con il "condizionamento a freddo" a temperature tra gli 8 e i 10°C, (E. Warner, 1992). E' possibile, durante l'imbottigliamento, aggiungere sciroppi per contrastare la decisa acidità, non è raro vedere birre di colorazione verde, rossa o blu a Berlino. Per ottenere risultati apprezzabili è necessario che il processo si protragga per mesi o anni ma spesso l'industria birraria si limita a qualche settimana o elimina il processo. E' il caso di Berliner Kindl, che effettua una pastorizzazione flash della birra e la imbottiglia a 2.75 volumi di CO₂, rendendo la birra pronta per il consumo.



3-2: Condizionamento di bottiglie di berliner weisse nel 1930. Immagine presa da VLB-Berlin

Capitolo 4: LAMBIC : PRODUZIONE E CARATTERISTICHE

4.1 La storia e le caratteristiche

Il lambic è lo stile birrario più antico ancora esistente, infatti le prime prove scritte che trattano di questa birra risalgono all'incirca al 1320. Questa particolare produzione è legata al Belgio ed in particolare ai birrifici tradizionali situati nella valle vicino al fiume Senne e nel Pajottenland, intorno a Bruxelles. La particolarità dello stile Lambic, che ne decreta la sostanziale differenza rispetto ad altri stili, sta nel fatto che esso prevede che sia effettuata una fermentazione spontanea, quindi senza l'inoculo di colture microbiche selezionate. Mentre nel resto della nazione i birrifici acquisivano sempre più consapevolezza dell'importanza dell'utilizzo di colture pure di lievito per fermentare il mosto di birra, i brassatori di Bruxelles e dintorni rimasero fedeli ai metodi tradizionali, tra questi, era presente la fermentazione mista spontanea.

Intorno al sedicesimo secolo erano molte le fattorie nei dintorni del centro cittadino di Bruxelles e la gran parte era dotata di un birrificio, infatti il consumo di birra era una parte fondamentale della vita in campagna: i contadini coltivavano frumento e orzo per nutrire gli animali e per la produzione brassicola. La birra veniva prodotta per essere consumata dalla famiglia e dai braccianti e per essere scambiata con le merci che la fattoria non produceva. In estate il contadino doveva lavorare i campi e perciò sospendeva l'attività brassicola, solo più avanti si comprese che le alte temperature favoriscono la crescita incontrollata di microrganismi e oggi, come allora, la produzione avviene tra l'autunno e la primavera.

La teoria più accreditata sulla genesi del nome vede come protagonista Lambeek, città tra il Brabante e l'Hainaut. Qui fino agli inizi del 1800 non si pagavano tasse e i birrifici (all'epoca quarantatre per i seicento abitanti della città) generalmente producevano gin oltre alla birra, quindi avevano a disposizione alambicchi per la distillazione. Ai francesi la città di Lambeek era nota per la produzione di questo particolare stile di birra e per l'alambicco (alambic in francese), è quindi probabile che il nome sia stato coniato a partire da questo termine. Una legge olandese del 1822, mantenuta dal Belgio dopo l'indipendenza, imponeva

una tassa proporzionale al volume del tino di ammostamento. I birrifici utilizzavano perciò, tini della minor dimensione possibile, questo si traduceva nell'ammostare frumento non maltato (grezzo) e malto d'orzo con una quantità minima di acqua producendo un mosto molto torbido, pratica denominata "turbid mash" e utilizzata ancora oggi nella produzione di lambic, (J. Sparrow, 2015).

L'associazione BJCP (beer judge certification program) descrive la lambic come segue: (BJCP, 2015)

“birra belga di frumento abbastanza acida, eccentrica, talvolta moderatamente maleodorante, l'acidità sostituisce l'amaro del luppolo nell'equilibrio generale. Per tradizione è fermentata spontaneamente nella zona di Bruxelles ed è servita non carbonata. L'acidità rinfrescante la rende una piacevolissima bevanda.

Aroma: nelle birre giovani è spesso dominante un aroma decisamente acido, che può diventare più mitigato con l'età poiché si diluisce con aromi che ricordano un profilo terroso, caprino, di fieno, di pollaio, di cavallo e sella di cavallo. È considerato desiderabile un debole aroma fruttato-agrumato mentre sono considerati difetti aromi enterici, affumicati, di sigaro o formaggio. Le versioni più mature sono comunemente fruttate con aromi di mela o addirittura miele. Nessun aroma di luppolo.

Aspetto: colore da giallo pallido a dorato intenso, l'età tende a scurire la birra. La limpidezza varia dal torbido al nitido. Le versioni più giovani sono spesso torbide mentre le più vecchie sono in genere limpide. Schiuma bianca solitamente con scarsa ritenzione.

Gusto: le birre giovani sono spesso sensibilmente acido-lattiche ma la maturazione porta questo aspetto a essere più in equilibrio col malto, il frumento e le note di pollaio. I gusti fruttati sono più semplici nei lambic giovani e più complessi in quelli più maturi e ricordano le mele o altri frutti chiari, il rabarbaro o il miele. Occasionalmente si può percepire un gusto agrumato (spesso di pompelmo), il che è desiderabile. I gusti del malto e del frumento sono tipicamente bassi e hanno delle note di pane-cereale. Non sono desiderabili gusti enterici, affumicati o di sigaro. L'amaro da luppolo è basso o nullo e in genere non percepibile, l'acidità fornisce l'equilibrio. Tipicamente ha un finale secco senza gusti di luppolo.

In bocca: corpo da leggero a medio-leggero. Nonostante la bassa gravità finale la notevole quantità di gusti che riempiono il palato impedisce alla birra di sembrare acqua. Come regola pratica, il lambic diventa più secco con l'invecchiamento e quindi la secchezza è un indicatore ragionevole e affidabile della sua età. Ha una asprezza medio-alta che fa arricciare le labbra senza però essere fortemente astringente. Le versioni tradizionali sono praticamente piatte, mentre le versioni in bottiglia possono prendere una leggera carbonazione con l'età.

Commenti: i lambic piatti vengono da una singola cotta e non sono miscelati. Essendo non miscelati, questi lambic piatti sono spesso un prodotto col vero carattere casalingo della birreria e sono più variabili rispetto alla Gueuze. In genere sono serviti giovani (6 mesi) e alla spina come bevanda facile da bere, economica e senza carbonazione. Le versioni più giovani tendono ad essere acide in modo unidimensionale perché il vero carattere Brettato spesso ci impiega un anno e oltre a svilupparsi. Il carattere

enterico è spesso indicativo di un lambic troppo giovane. I birrai belgi considerano un errore per un lambic avere carattere acetico o da sidro. Poiché i lieviti selvaggi e i batteri fermentano tutti gli zuccheri presenti nella birra, l'imbottigliamento avviene a fermentazione completata.

Ingredienti: frumento non maltato (30-40%), malto Pilsner e luppoli vecchi (surannes di 3 anni). I luppoli invecchiati sono usati più come conservanti che per l'amaro, il che rende difficile stimare il reale livello di amaro. Per tradizione queste birre sono fermentate spontaneamente con lieviti naturali presenti nell'aria e con batteri presenti nelle botti di quercia. Le botti usate sono neutre, con nessuna nota di quercia, quindi non bisogna aspettarsi note tendenti al legno di quercia ma piuttosto un gusto neutro. Le versioni fatte in casa o artigianali sono di solito realizzate con culture pure di lieviti che comunemente contengono *Saccharomyces*, *Brettanomyces*, *Pediococcus* e *Lactobacillus*, nel tentativo di ricreare gli effetti microbici dominanti nella zona di Bruxelles e nelle campagne della valle del Senne. Talvolta si usano le culture ricoltivate dalle bottiglie, ma non è facile capire quali organismi sono ancora attivi.”

Tabella 4-1: Principali parametri di lambic

Parametro	Valore
Alcool	5 - 6 % vol
Amarezza	< 20 EBU
Quantità di CO ₂	Solitamente assente
Colore	< 25 EBC
pH	3,0 - 3,5
Gradi plato pre-fermentazione	12-14
Gradi plato post-fermentazione	0,1-2,5

4.2 Fasi produttive preliminari alla fermentazione

Nei lambic gli ingredienti sono acqua, malto d'orzo e frumento non maltato (in rapporto 70:30 o 60:40), luppolo secco invecchiato e non è previsto inoculo di lieviti selezionati. Sono tradizionalmente prodotte tra l'inizio di ottobre e la fine di aprile, questo perché le alte temperature estive favorirebbero la crescita di termobatteri; piccole concentrazioni di questi ultimi sono piuttosto normali ma percentuali più elevate possono risultare dannose per i lambic producendo un'acidità tagliente e sottoprodotti di fermentazione non gradevoli.

4.2.1 Ammostamento e filtrazione

La tecnica di ammostamento di lambic è denominata “turbid mash” ed è mirata a produrre un mosto che verrà quasi completamente fermentato, infatti la gravità finale (contenuto di zuccheri a fine fermentazione) è prossima a uno (solitamente da 1,001 a 1,010).

La produzione prevede che vengano preparati all'incirca 4,2 ettoltri di acqua per ogni quintale di grani. Dopo aver aggiunto i cereali all'interno del tino di ammostamento, si procede con il loro inumidimento utilizzando circa il 20% dell'acqua totale. La temperatura del composto deve essere di 45°C circa (come per berliner weisse le temperature e i tempi di sosta dipendono dallo stabilimento produttivo) e la durata della sosta è di 15 minuti (β -glucan rest). A questo punto si aggiunge un ulteriore 20% di acqua bollente ($\approx 100^\circ\text{C}$) per portare il mosto a 52°C (protein rest). Passati altri 15 minuti si procede con la rimozione di un terzo del mosto che viene trasferito in una caldaia, riscaldato fino a 88°C e mantenuto a tale temperatura per la quasi totalità del processo. Si aggiunge quindi un 30% di acqua bollente al mosto rimasto nel tino di ammostamento per innalzare la temperatura a 65°C (saccarificazione) per 45 minuti. Passato questo tempo, si toglie metà del mosto e si trasferisce nella caldaia ove è presente anche il mosto precedentemente tolto e si riscalda il tutto a 88°C. Poi si aggiunge l'ultimo 30% d'acqua bollente nel tino d'ammontamento in modo che si raggiungano i 72°C che devono essere mantenuti costanti per 20 minuti. Al termine si tolgono circa i due terzi del mosto dal tino di ammostamento, che vengono filtrati tramite lauter tun oppure tramite speciali tini d'ammontamento provvisti del falso fondo forato e vengono poi trasferiti nel bollitore, dove inizia il riscaldamento. A questo punto si trasferisce il mosto a 88°C presente nella caldaia nel tino di ammostamento, comportando l'innalzamento della temperatura a 78°C (mash out), si mantiene per 20 minuti. Infine si filtra tutto il mosto residuo nel tino d'ammontamento e per eseguire lo sparge (risciacquo delle trebbie) si fa passare acqua a 88-90°C sopra alla granella esaurita fino a quando la densità non scende sotto i 2 °P (gradi plato), (J. Sparrow, 2015).

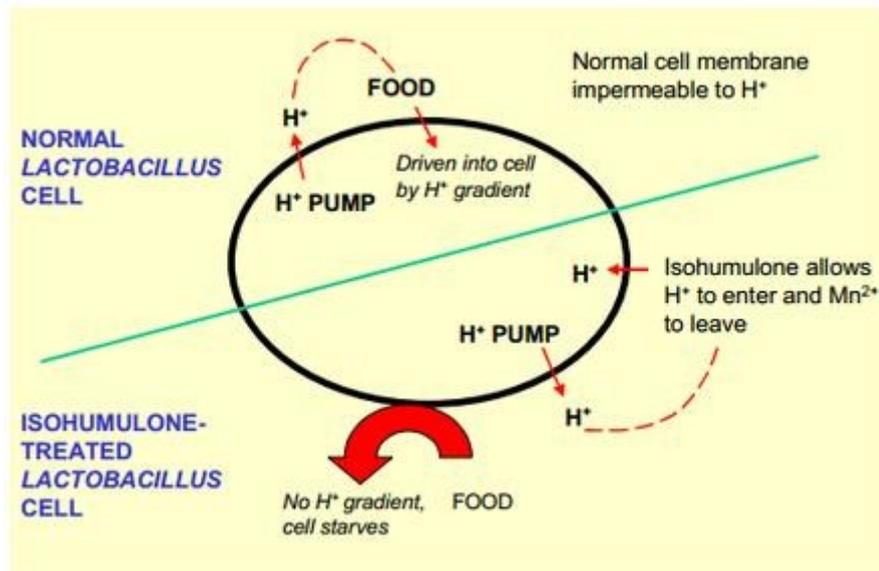
Quindi si soddisfano tutti i tempi di riposo enzimatici ma solo su parte del mosto, infatti gli amidi del frumento presenti nel mosto rimosso dal tino di ammostamento e scaldato a 88°C in caldaia, non sono stati idrolizzati. Inoltre l'utilizzo di frumento grezzo comporta uno scarso apporto al mosto di enzimi endogeni (che si attivano con la maltazione), il risultato è un mosto torbido e lattiginoso a causa degli amidi e delle destrine. Oltre ciò, il turbid mash permette di coagulare una parte delle proteine durante l'ammontamento e, le lunghe bolliture caratteristiche di questo stile, ne permettono un'ulteriore sostanziosa precipitazione. Questo

è molto importante per limitare i microrganismi dominanti durante la prima fase di fermentazione e incoraggiare quelli che saranno più attivi in un secondo momento, (Jonas De Roos et Luc De Vuyst, 2018).

Da notare come la temperatura dell'acqua di sparge è superiore rispetto a quella utilizzata per altre birre (vedi cap. 2.3), infatti temperature sopra gli 80°C tendono a solubilizzare i tannini presenti sui pericarpi. Per lambic la presenza di queste sostanze tanniche non comporta un problema in quanto precipiteranno durante la lunga fermentazione, l'adozione di tali temperature di sparge (prossime ai 90°C) dunque, ha lo scopo di permettere un maggior recupero di destrine e amidi residui nella granello esaurita. Bollitura e raffreddamento in vasca aperta.

4.2.2 Bollitura e raffreddamento in vasca aperta

Dopo la filtrazione avviene la bollitura del mosto. In passato il birraio, dopo aver dedicato l'intera giornata al laborioso ammostamento, faceva bollire il mosto e si coricava. Le bolliture potevano durare fino a trenta ore in quanto l'efficienza delle caldaie era molto bassa, ad oggi la durata delle bolliture è di norma di cinque o sei ore (per la produzione di lager la media è di due ore). Queste lunghe e vigorose bolliture servono ad evaporare la grande quantità d'acqua utilizzata per il turbid mash e lo sparge, riducendo il volume e in modo da raggiungere la densità iniziale desiderata (gradi plato pre-fermentazione). Come per tutte le birre la bollitura serve a far coagulare le proteine (hot trub), per lambic i lunghi tempi permettono inoltre di far coagulare le sostanze proteiche in eccesso derivate dal frumento grezzo (ma anche dal metodo d'ammostamento) e di far precipitare una parte dei tannini disciolti in fase di sparge. Durante la bollitura si effettua la luppolatura. Gli α e β -acidi del luppolo sono noti antibatterici, in particolare agiscono come ionofori, che compromettono la forza motrice protonica delle cellule dissipando il gradiente di pH transmembrana. Questo effetto avviene per i batteri Gram positivi ma l'effetto è dipendente dal ceppo, (B. C. Schurr et al, 2014).



*4-1: In alto: cellula di Lactobacillus (Gram+) in condizioni favorevoli di sviluppo
In basso: cellula di Lactobacillus in presenza di isoumulone (iso-alfa-acido), il quale agisce come ionoforo nella membrana cellulare dissipando il gradiente. Immagine tratta da www.latticinellabirra.it*

Il luppolo conferisce inoltre amaro e aromi, entrambi non desiderati nel profilo sensoriale di lambic. Per ovviare a questo problema i produttori di questo stile invecchiano i luppoli, solitamente addizionati in coni (infiorescenze essiccate), per 3 anni (6-7 anni nel caso di luppoli in pellet). A conferire la percezione di amaro sono gli iso- α -acidi (α -acidi isomerizzati tramite la bollitura) i quali sono anche responsabili dell'effetto antibatterico. Anche i β -acidi conferiscono caratteri amaricanti (molto meno marcati degli iso- α -acidi) e antibatterici ma, vista la loro scarsa solubilità e il basso grado di isomerizzazione, solitamente vengono estratti in minima parte durante la birrificazione. Con l'invecchiamento gli α -acidi si degradano ad acidi umulinici, i quali possiedono un potere amaricante marcatamente minore mantenendo comunque l'effetto antibatterico, (J. De Roos et L. De Vuyst, 2018). Inoltre i prodotti dell'ossidazione dei β -acidi, gli uluponi, sono più solubili di essi, garantendone alte quantità nel mosto, con effetto antibatterico ma con l'apporto di poche IBU (international bitterness unit). L'invecchiamento del luppolo è quindi essenziale per mantenere la stabilità microbiologica della birra senza alterare il profilo aromatico con forti sensazioni amare, le quali sono in contrasto con la decisa acidità. Il passare del tempo però determina anche la perdita di una parte dei polifenoli contenuti nel luppolo e l'ossidazione delle resine aromatiche. Queste ultime presentano odori e sapori sgradevoli,

talvolta riconducibili a formaggio, le lunghe bolliture provvedono alla quasi completa evaporazione di queste componenti aromatiche.

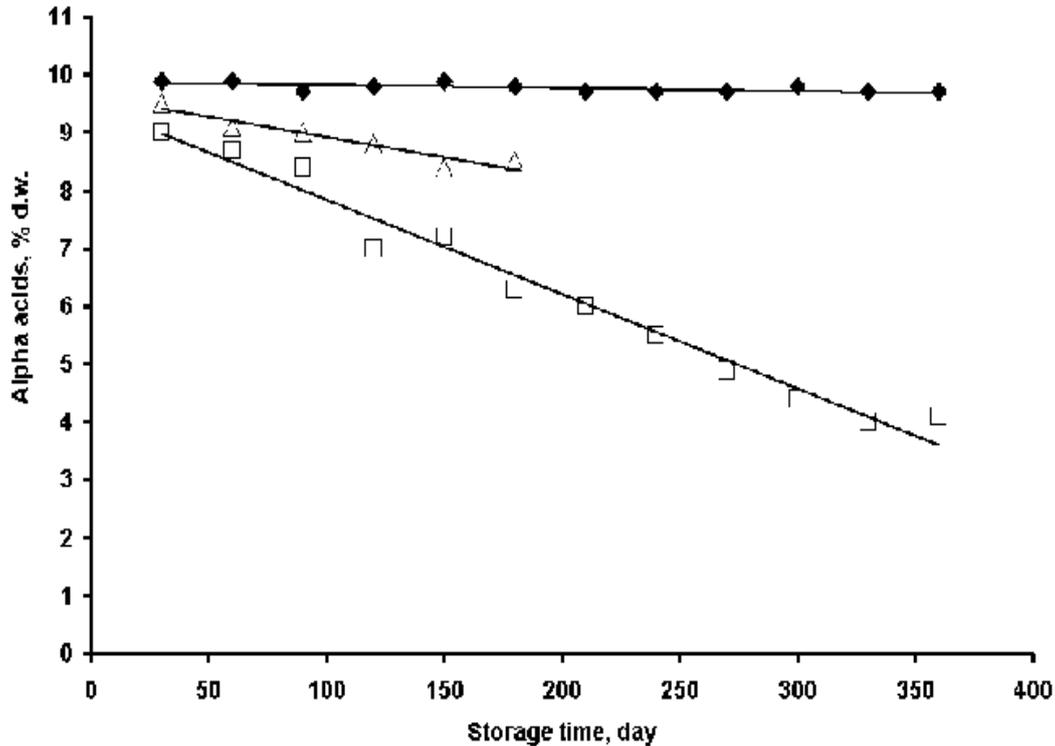


Figura 4-1: Perdita di alfa-acidi in luppoli pellettizzati in relazione al tempo. ◆: pacchetti chiusi (atmosfera di N₂) a 4-7 °C; □: pacchetti aperti (esposti all'ossigeno) a 21 °C; △: pacchetti aperti a 4-7 °C. Immagine tratta da "Acta Alimentaria, 2009, 38(1), pp. 141-147.

L'effetto antibatterico dei luppoli viene utilizzato per inibire ceppi batterici indesiderati i cui sottoprodotti, ad alte concentrazioni, impatterebbero negativamente sul profilo aromatico.

Appena terminata la bollitura si procede con il raffreddamento del mosto. Questo processo avviene tradizionalmente con il trasferimento del mosto in una vasca aperta, solitamente in rame, bassa e larga per massimizzare la superficie esposta all'aria. Queste vasche sono disposte nella parte più alta del fabbricato, nel sottotetto, le infiltrazioni d'aria provenienti da quest'ultimo sono cariche di microrganismi presenti sulle travi e sul soffitto del birrificio. Inoltre è pratica comune che la vasca si trovi in prossimità di una finestra che volge verso l'esterno, questa viene aperta per permettere all'aria esterna di entrare in contatto col mosto. Molti birrifici inoltre, utilizzano ventilatori per incoraggiare la circolazione dell'aria. Il raffreddamento del mosto avviene in tempi variabili e in relazione alla temperatura esterna, solitamente scende fino a 20°C ma in giornate calde potrebbe rimanere

sopra questa soglia. Il processo si protrae solitamente per una notte e la mattina successiva il birraio pompa il mosto in un serbatoio adibito ad omogeneizzare il liquido, successivamente trasferito nelle botti (Fermentobirra, 2019).

Ad oggi non tutti i birrifici eseguono questo tradizionale metodo di raffreddamento per questioni di prevedibilità e standardizzazione del prodotto e per evitare i sottoprodotti dei termobatteri. Infatti lo stabilimento produttivo di “Brasserie De Keersmaeker” di Pajottenland utilizza uno scambiatore di calore per raffreddare il mosto a 35°C e pompa aria (non sterile) nei fermentatori d'acciaio troncoconici.



Figura 4-2: Immissione del mosto caldo in una vasca aperta di raffreddamento. Da notare la finestra adiacente ad essa, che deve rimanere aperta fino alla fine del processo.

4.3 Fermentazione

La fase di raffreddamento corrisponde alla fase di inoculo. Al contrario di tutte le altre produzioni, questo particolare stile non prevede che l'inoculo venga effettuato dal responsabile di produzione, bensì dall'aria esterna e interna del birrificio. Oltre ai microrganismi presenti su quest'ultima, il mosto, anche nelle fasi successive, è condizionato da tutti quelli che entrano in contatto e riescono a stabilirsi in essa, quindi le botti (se utilizzate) svolgono un ruolo cruciale. Questo tipo di fermentazione è denominata spontanea. Lambic perciò, oltre ad essere legato al luogo di produzione e al mese (o addirittura al giorno) nel quale viene prodotto, è legato anche al singolo stabilimento produttivo, in

particolare alla stanza nel quale viene effettuato il raffreddamento (quindi alla microflora in essa presente) e alla singola botte. Karel Goddeau, responsabile di produzione del birrifico De Cam Geuzestekerij a Gooik (Pajottenland) afferma: “la gente pensa sempre che il mistero stia nell’aria, ma è più nell’edificio che nell’aria. L’Unione Europea dice che dobbiamo ripulire (imbiancare) i muri, ma la loro natura porosa è molto importante in quanto ci vivono i batteri”. Appare chiaro che le normative di igiene applicate nel settore brassicolo svaniscono di fronte a questa tecnica produttiva ma questo non significa che i birrai non siano meticolosi o igienici.

Ogni organismo ha bisogno di condizioni particolari per crescere e sopravvivere. Durante la fermentazione composizione e pH del mosto sono soggetti a delle variazioni, queste decretano la possibilità di sopravvivenza di lieviti e batteri. La fermentazione del lambic è caratterizzata da quattro fasi, ognuna delle quali è contraddistinta per i gruppi di microrganismi maggiormente presenti nel mosto. Distinguiamo quindi le seguenti fasi: la fase di enterobacter e lieviti selvaggi, la fase di fermentazione alcolica (*Saccharomyces* spp.), la fase di acidificazione (batteri lattici e acetici), la fase di maturazione (*Brettanomyces* spp.) (H. Verachtert et D. Iserentant, 1995).

4.3.1 *Enterobacter e lieviti selvaggi*

Questa fase è associata alla bassa produzione di acidi organici ed etanolo, il mosto subisce un’attenuazione del 15% circa e un abbassamento del pH di una unità, termina dopo 30-40 giorni. Gli enterobatteri sono batteri Gram negativi, anaerobi facoltativi, le specie maggiormente ritrovate nelle birre lambic sono *Enterobacter cloacae* e *Klebsiella erogene*. Il metabolismo fermentativo porta alla produzione di etanolo, ma anche alla sintesi di diversi acidi organici, in particolare acido lattico, acido acetico, acido succinico, acido formico (ulteriormente convertito in anidride carbonica e idrogeno gassoso da alcune specie), (H. Martens et al, 1991). Sono inoltre produttori di alcuni acidi grassi a catena lunga e contribuiscono quindi alla formazione iniziale dell'esclusivo profilo aromatico della birra. Si è ipotizzato che tali acidi grassi fungano da fattori di crescita (membrana cellulare) per i *Saccharomyces* che opereranno la fermentazione alcolica nella fase successiva, contribuendo a questa successione microbica (M. Spaepen et al., 1978). Gli enterobatteri contribuiscono inoltre alla formazione delle ammine biogene, come in altri alimenti e bevande fermentate, ecco perché alcuni produttori tendono ad evitare questa prima fase acidificando artificialmente il mosto (aggiunta di acido lattico) e impedendone quindi la crescita. All’incirca dopo un mese di fermentazione gli enterobatteri scompaiono dal mosto a causa

dell'aumento delle concentrazioni di etanolo, della diminuzione dei valori di pH e dell'esaurimento dei monosaccaridi.

I lieviti selvaggi ritrovati in questa fase sono per la maggior parte ossidativi e cicloesimide resistenti e incapaci di fermentare il maltosio, i più rappresentativi appartengono alla specie *Hanseniaspora uvarum* (precedentemente *Kloeckera apiculata*) nei primi giorni e lasciano spazio al genere *Kazachstania* (J. De Roos et al, 2018). Si presume che in questa fase i lieviti ossidativi competano con le specie *Saccharomyces*, ritardandone il metabolismo e influenzando le proprietà organolettiche (vale lo stesso per la produzione di vino). Inoltre le specie *Saccharomyces*, in co-coltura con lieviti appartenenti ad altri generi, ha dimostrato una sovraespressione di geni correlati al metabolismo del glucosio e dell'azoto, indicando un flusso crescente del loro consumo e rendendoli meno disponibili per le altre specie. La co-coltura di *Saccharomyces cerevisiae* e *Hanseniaspora uvarum* comporta una sovraespressione dei geni deputati alla riproduzione da parte della prima specie, indicando una moltiplicazione accelerata (J. De Roos et L. De Vuyst, 2018). All'incirca dopo un mese di fermentazione i lieviti selvaggi scompaiono dal mosto a causa della competizione creata dalle specie *Saccharomyces* che causano aumento della concentrazioni di etanolo e rapido consumo degli zuccheri disponibili.

4.3.2 *Fermentazione alcolica*

Questa fase è caratterizzata dallo sviluppo consistente di etanolo ed anidride carbonica, vengono inoltre prodotti esteri, alcoli superiori e acidi grassi da parte di lieviti del genere *Saccharomyces*, in particolare ceppi delle specie *cerevisiae* e *pastorianus*. Questi vengono identificati nel mosto già dopo una settimana di fermentazione e vi rimangono fino al secondo (*Saccharomyces cerevisiae*) e terzo mese (*Saccharomyces pastorianus*), (F. Spitaels et al, 2014).

Il passaggio da *Hanseniaspora uvarum* a *Saccharomyces cerevisiae* è ben descritto durante le fermentazioni spontanee del vino ed è molto probabilmente causato dalla produzione di alcuni metaboliti da parte di *Saccharomyces cerevisiae*, come etanolo inibitorio e peptidi antimicrobici; per le specie del genere *Kazachstania* questo effetto è minore e permangono più a lungo nel mosto. I lieviti *Saccharomyces* sono responsabili di una alta attenuazione del mosto, solitamente fermentano il 60% degli zuccheri.

I composti maggiormente prodotti in questa fase, dopo l'etanolo e l'anidride carbonica, sono l'alcool isoamilico (alcole superiore), l'acetato di isoamile (estere), acido caprinico e caprico (acidi grassi saturi, rispettivamente C8 e C10). Tramite i composti sopra citati (e altri in concentrazioni minori) i *Saccharomyces* contribuiscono alla formazione del caratteristico

profilo aromatico. Questa fase si prolunga in caso di basse temperature ma di solito si protrae per tre o quattro mesi.

L'esaurimento del maltosio e del maltotriosio determinano la rapida scomparsa di queste specie *Saccharomyces* dando inizio alla fase di acidificazione, (J. De Roos et L. De Vuyst, 2018).

4.3.3 Fase di acidificazione

A partire dal quarto mese di fermentazione si riscontra un forte incremento di acido lattico e lattato d'etile concomitante ad un lieve incremento di acido acetico e acetato di etile. In questa fase il mosto subisce un abbassamento del pH (in genere sotto a pH 4) e un'ulteriore attenuazione, solitamente arrivando a 3 gradi Plato. Avviene inoltre un cambio delle specie di lieviti dominanti che passa da *Saccharomyces* a *Brettanomyces*. Questa fase può protrarsi dai tre ai sette mesi e vede come microbiota principale generi appartenenti alla famiglia delle *Lactobacillaceae* e delle *Acetobacteraceae*. Questi microrganismi erano già presenti nel mosto nelle fasi successive, iniziano però in questa fase ad essere il microbiota dominante. I batteri dell'acido lattico, essendo Gram positivi, sono inibiti dal luppolo, tuttavia alcuni ceppi resistenti riescono a svilupparsi nel mosto; la specie maggiormente trovata nel lambic è il *Pediococcus damnosus*, omofermentante, grande produttore di acido lattico e diacetile (quest'ultimo viene degradato durante la fermentazione delle specie microbiche successive). Questo microrganismo è responsabile della sintesi di esopolisaccaridi, acidi e proteine, formando una patina sulla superficie del mosto descritta come fili elastici viscosi (*Pediococcus damnosus* viene anche denominato *Bacillus viscosus bruxellensis*). In alcuni lambic sono stati identificate anche specie del genere *Lactobacillus*, il loro sviluppo solitamente avviene più tardi rispetto a *Pediococcus* per la sensibilità di questo genere microbico ai composti del luppolo, (J. Sparrow, 2015).

I batteri acetici sono gram negativi, produttori di acido acetico e hanno metabolismo respiratorio. Questi vengono riscontrati nel mosto di lambic, si ipotizza che la loro crescita avvenga grazie all'ossigeno che si infiltra dalle doghe di legno della botte infatti si ritrovano nell'interfaccia mosto-aria, (F. Spitaels et al, 2014). Le specie più ritrovate sono *Acetobacter lambici*, *Gluconobacter cerevisiae* e *Acetobacter pasteurianus*. Essi sono produttori di acido acetico a partire dall'etanolo, di acetoino a partire dall'acido lattico e grazie alle esterasi intracellulari condensano l'acido acetico e l'etanolo in acetato di etile.

Dopo la fermentazione alcolica, mono-di e trisaccaridi sono quasi esauriti nel mezzo, si riscontra nella fase di acidificazione una scomposizione simultanea e continua di maltooligosaccaridi che fungono perciò da substrato fermentativo per i batteri lattici. Si è

ipotizzato che la scomposizione delle destrine è a carico dei *Brettanomyces* che dopo la lisi cellulare hanno liberato nel mezzo gli enzimi deputati a tale opera (α -glucosidasi) oppure le idrolisi acide hanno agito sui maltooligosaccaridi dato il lungo tempo di fermentazione (F. Spitaels et al, 2014). Inoltre dopo la fase di fermentazione alcolica i lieviti del genere *Saccharomyces* depositati sul fondo delle botti non vengono eliminati, andando incontro all'autolisi. Quest'ultima è importante in quanto rilascia nel mosto delle componenti riutilizzabili dai microrganismi attivi in fase di acidificazione/maturazione. I batteri lattici resteranno inattivi nel mezzo durante l'inverno e riprenderanno la produzione di acido lattico durante l'estate successiva, se il lambic non verrà consumato giovane.

4.3.4 Fase di maturazione

Questa fase solitamente si sovrappone con la fase di acidificazione, i lieviti deputati sono del genere *Brettanomyces* e la loro funzione può protrarsi anche per sedici mesi. Sono inoltre stati ritrovati in maturazione *Pichia membranifaciens* e batteri dell'acido lattico. Questo viene spiegato dal fatto che *Brettanomyces* è solito formare una pellicola sull'interfaccia aria-mosto che isola il mosto dall'ossigeno. I batteri dell'acido acetico sono quindi disattivati (metabolismo respiratorio) mentre i batteri lattici protraggono il loro metabolismo, seppur rallentato, fino a quando le temperature lo permettono, riprendendo la piena attività nell'estate successiva. *Brettanomyces* inoltre, tramite le sue esterasi, permette la scissione delle componenti prodotte da *Pediococcus damnosus* che formano lo strato viscoso sulla superficie del mosto, determinandone la scomparsa. Le specie più ritrovate (e caratterizzanti) sono *Brettanomyces bruxellensis* e *Brettanomyces lambicus*, hanno un effetto fondamentale sul profilo aromatico delle birre lambic.

I metaboliti prodotti sono etil acetato, etil lattato e fenetil acetato, insieme all'idrolisi dell'isoamil acetato (Spaepen e Verachtert, 1982). Sono anche in grado di produrre 4-etilguaiacol e 4-etilfenolo, noto come aroma di Brett nella birra lambic, se sono presenti basse concentrazioni carboidrati residui durante il processo di maturazione (Chatonnet et al., 1995). Durante la fase di maturazione, le concentrazioni di acetoino (prodotte dai batteri dell'acido acetico) sono diminuite, probabilmente a causa del loro uso come un accettore di elettroni esterno alternativo da specie di *Brettanomyces* per riconciliare il loro squilibrio redox causato dall'incapacità di reossidare $\text{NADH} + \text{H}^+$ attraverso la via glicerolica sotto la limitazione dell'ossigeno (Steensels et al., 2015). Alcune specie di *Brettanomyces* inoltre riescono ad "ammorbidire" la decisa acidità tramite la formazione di lattato di etile a partire da acido lattico ed etanolo. Inoltre alcune specie di *Brettanomyces* sono provviste di β -glucosidasi, che permette loro di scindere il cellobiosio. Questa prerogativa permette a questi

lieviti di sopravvivere nella botte (da cui è originato il cellobiosio per idrolisi acida della cellulosa) per diversi mesi. L'attività della β -glicosidasi inoltre permette di scindere composti derivanti dalla frutta e dal luppolo (es. linalolo). Questi composti da legati non sono percettibili all'olfatto e al gusto, ma grazie all'idrolisi guidata dell'enzima sopra citato divengono componente del profilo aromatico della birra, (J. De Roos et L. De Vuyst, 2018). In genere *Brettanomyces* cessa l'attività metabolica quando il pH scende sotto i 3,5. Inoltre le specie di *Brettanomyces* non sono state rilevate sui campionamenti dell'aria esterna e interna agli ambienti di produzione, questo sta a suggerire che *Brettanomyces* deriva principalmente dalla botte nella quale la birra viene fermentata. Il legno è un materiale poroso e permette ai microrganismi di infiltrarsi, il produttore di lambic, dopo ogni uso, pulisce e raschia la botte internamente. Sebbene questa procedura permetta di eliminare la maggioranza delle cellule microbiche non è possibile una vera e propria disinfezione. Nonostante passino mesi prima che *Brettanomyces* riesca a prendere il sopravvento sulle altre comunità microbiche, esso è presente nella birra già nei primi mesi di fermentazione ma la scarsa attività non determina cambiamenti significativi (i metaboliti sono prodotti in concentrazioni non percepibili), (J. Sparrow, 2015).

4.4 Consumo e aggiunta di frutta

Il consumo di lambic può avvenire dopo uno, due o tre anni di permanenza in botte, bevuto tal quale o miscelato con altre annate e rifermentato in bottiglia. E' inoltre possibile l'aggiunta di frutta per aromatizzare la birra.

4.4.1 *Lambic puro*

E' possibile trovare in commercio lambic giovane (*Jeune/Jonge*) o lambic vecchio (*Vieux/Oude*). Il primo sta ad indicare solitamente un lambic fermentato da sei mesi a un anno, si presenta di colore giallo dorato, con assenza di schiuma, poco o non carbonato e spesso torbido (si chiarifica con l'invecchiamento). Il corpo è abbastanza dolce, si avverte una lieve percezione amara e acidità tagliente. Non è possibile effettuare l'imbottigliamento a causa della concentrazione di lieviti e di zuccheri residui in grado di far partire una fermentazione secondaria molto vigorosa tale da rompere anche le bottiglie di champagne, che resistono a pressioni elevate.

Il lambic vecchio è tale se è stato prodotto almeno due o tre anni prima, il colore va dal giallo scuro all'ambrato, la schiuma è assente così come la carbonazione (la botte disperde nell'ambiente l'anidride carbonica prodotta). L'acidità è meno spiccata che nel lambic

giovane mentre la complessità aromatica è molto maggiore. Inoltre non si percepisce alcuna nota di amaro e rimane particolarmente secca in quanto la quasi totalità degli zuccheri è stata consumata. E' dunque possibile l'imbottigliamento di tali birre, solitamente previa miscelazione del contenuto di tutte le botti della stessa cotta così da ottenere un prodotto più omogeneo, come accade per il vino. La carbonazione rimane comunque del tutto assente in quanto non avviene una rifermentazione in bottiglia, (J. Sparrow, 2015). Un esempio di Oude lambic è la "Grand Cru Bruocsella" prodotta dal birrifico Cantillon, fermentata per tre anni in botti di rovere.

4.4.2 *Taglio di lambic, l'avvento della gueze*

La miscelazione di diverse annate di lambic è denominata "blending" ed è paragonabile al taglio che si opera nell'industria vinicola. Il blend di lambic di diverse annate e la successiva rifermentazione determinano uno stile birrario denominato gueze, che legalmente è definito come il taglio di birre lambic la cui componente più datata è maturata per almeno tre anni in botte. Il taglio è effettuato per fornire al mosto di due (se utilizzato) e tre anni le componenti zuccherine e la biomassa di lieviti necessarie affinché avvenga una fermentazione secondaria in bottiglia. Inoltre il blend è guidato dal palato esperto del responsabile di produzione, che decide la percentuale da miscelare della birra di ogni annata anche in base alle caratteristiche organolettiche, per ottenere un prodotto in cui tutti i composti aromatici acquisiscono la massima sintonia (J. Sparrow, 2015).

Questa fermentazione secondaria viene denominata "rifermentazione in bottiglia" ed è considerata la quinta fase di fermentazione nella produzione di gueze. Al momento dell'imbottigliamento sono presenti nel mosto molti lieviti caratteristici per la formazione di film come *Candida*, *Torulopsis*, *Hansenula*, *Pichia* e *Cryptococcus* (ossidativi). Hanno origine dallo spesso film formato durante la lunga fermentazione di lambic e si moltiplicano fino ad esaurimento dell'ossigeno entrato in contatto con la birra durante l'imbottigliamento (di solito non si rilevano dopo i 10 mesi). Si sono quindi successivamente sviluppati i lieviti del genere *Brettanomyces* che sono aumentati da circa 10^2 a 10^5 cfu (unità formanti colonia) per ml e i batteri produttori di acido lattico (in particolare del genere *Pediococcus*) da circa 10^2 a 10^6 cfu per ml. La proliferazione di queste specie permette la formazione di altri acidi ed esteri fino ad esaurimento degli zuccheri. Dopo 14 mesi in bottiglia sono stati rilevati principalmente batteri lattici. A sei mesi dal blend vengono prodotti 6-7 grammi per litro di anidride carbonica, (H. Verachtert et al, 1995).

La gueze si presenta di colore dorato, limpida (sono presenti sedimenti da non versare nel bicchiere), con una abbondante schiuma abbastanza persistente, una spiccata

carbonazione e un carattere secco. Tradizionalmente la gueze viene prodotta con metodo champenoise, lo stesso utilizzato per la produzione di champagne. Questo metodo prevede che le bottiglie siano messe in orizzontale e ruotate periodicamente (remuage) ma nella gueze non vengono eliminati i sedimenti, cosa che invece avviene per lo champagne. Le gueze raggiungono alte pressioni per la produzione di anidride carbonica, ecco perché vengono utilizzate le bottiglie molto spesse dello champagne e tappi di sughero protetti da gabbiette metalliche o da tappi a corona. La gradazione alcolica è variabile ed, essendo l'etanolo un conservante, è proporzionale all'invecchiamento in bottiglia previsto dal birraio o dal blender, che, analogamente al vino, può durare anche decine di anni (J. Sparrow, 2015).

4.4.3 *Lambic con aggiunta di frutta*

La frutta può essere aggiunta al mosto in epoche diverse, solitamente i birrai aspettano un anno o due prima di aggiungerla. L'aggiunta viene tradizionalmente eseguita nella botte di fermentazione ma molti birrifici utilizzano fermentatori d'acciaio per comodità e per sottoporre il mosto alla minor ossidazione possibile. Alcuni birrai eseguono l'aggiunta di frutta su birre di due anni e vi miscelano fino al quaranta per cento di lambic di un anno per apportare quantità superiori di lieviti attivi nel mezzo anche se sulla buccia sono già presenti lieviti.

La frutta non viene aggiunta per conferire dolcezza (fanno eccezione alcuni birrifici industriali produttori di lambic che dopo l'aggiunta pastorizzano la birra) ma per apportare caratteri aromatici. Gli zuccheri presenti nella frutta vengono fermentati quasi completamente dai lieviti selvaggi e in misura minore dai batteri lattici, rilasciando acido lattico e sostanze aromatiche caratteristiche del tipo di frutto utilizzato. Altra componente apportata dalla frutta sono gli acidi organici naturalmente presenti; il birraio deve tenere in considerazione l'equilibrio tra la quantità di zuccheri e l'acidità del frutto poiché questi saranno impattanti sull'aroma della birra ottenuta. Nel caso si utilizzi frutta fresca è quindi fondamentale selezionarla in base alla varietà, all'epoca di raccolta e alla freschezza.

In tempi antichi nelle fattorie nei dintorni di Bruxelles non era raro trovare campi di ciliegi, ecco perché questo tipo di frutta è stato il primo ad essere utilizzato, permettendo di ottenere la krielk. Col passare del tempo sono stati addizionati altri frutti come i lamponi (inizi del '900), da cui la framboise lambic, uva (verso la metà del ventesimo secolo), da cui la druivenbier, ribes nero e pesche (dagli anni '80) e negli ultimi anni anche albicocche e fragole (dal 2000 circa). Si lasciano fermentare dai tre ai sei mesi, bisogna tenere conto del contenuto di acido malico (se presente), che porterà ad una rifermentazione malolattica. La frutta inoltre apporta polifenoli e tannini in quantità variabili in base alla tipologia utilizzata.

Alla fine della fermentazione gli zuccheri residui apportati dalla frutta sono sull'ordine del 5%, spesso anche inferiori. Infine prima dell'imbottigliamento è possibile l'aggiunta di mosto di lambic giovane (un anno) per apportare zuccheri, questi fungono da substrato per i lieviti selvaggi (e i batteri lattici) che, operando la rifermentazione in bottiglia, rendono possibile la carbonazione.

CONCLUSIONI

Al termine di questo lavoro, dopo aver approfondito in dettaglio le tecniche produttive delle birre acide berliner weisse e lambic, vorrei ora mettere in evidenza quali siano le sostanziali disuguaglianze fra le due.

La differenza maggiore è avvertibile a livello sensoriale; infatti, se ad un palato non abituato, entrambe le birre possono sembrare simili, in quanto spicca immediatamente la loro forte acidità, ad un più attento esame si possono distinguere varie sfumature che certamente derivano dal modo in cui vengono generati gli acidi organici. Oltre a ciò, i caratteri sensoriali impartiti da molteplici ceppi microbici (oltre 2000) nel lambic, contribuiscono alla formazione di un profilo aromatico più complesso. Tale differenza deriva dalle difformità dei processi produttivi impiegati, li elencherò riferendomi solo ai metodi produttivi tradizionali (molti birrifici adoperano soluzioni tecnologiche che semplificano il processo sia in termini economici che logistici).

Già dal metodo d'ammestamento notiamo come berliner weisse sia ottenuta tramite decozione: togliendo parti di mosto, portandole ad ebollizione e luppolandole per poi riunirle ottenendo l'innalzamento di temperatura previsto per l'intervallo enzimatico successivo. Utilizzando questo metodo non si effettua la bollitura completa del mosto che dopo la filtrazione viene trasferito direttamente nel fermentatore.

Lambic è ottenuto invece con il turbid mash, metodo d'ammestamento che prevede di togliere parti di mosto e portarle a 88°C. Rimangono a tale temperatura fino a quando vengono addizionate al resto del mosto nel tino d'ammestamento per soddisfare l'ultima sosta (75°C), che denatura tutti gli enzimi, rendendoli inattivi. Il mosto viene quindi filtrato, bollito per 5-6 ore e luppolato. Entrambi i metodi mirano ad ottenere un mosto ricco di destrine ma con procedimenti differenti.

La bassa quantità di luppolo nella produzione di berliner weisse è tale in quanto i batteri gram positivi, quindi anche batteri lattici inoculati volontariamente, sono sensibili agli iso-alfa-acidi (prodotti per isomerizzazione in bollitura) derivanti da esso. Viene quindi aggiunto luppolo solo per evitare contaminazioni da parte di batteri non inoculati dal responsabile di produzione. Per lambic ne viene aggiunto molto e invecchiato per evitare che si sviluppino

batteri indesiderati nella fermentazione spontanea, che prenderebbero il sopravvento nei primi giorni di fermentazione, dominando coi loro sottoprodotti il profilo aromatico.

Si deduce che le difformità dei metodi produttivi sopra citati sono mirate ad ottenere un mosto che offra le migliori condizioni per i microrganismi deputati alla fermentazione: è proprio a questo punto che risulta evidente la differenza sostanziale fra le due produzioni.

Berliner weisse è una fermentazione mista non spontanea, poiché viene effettuata tramite inoculo di colture pure di lieviti del genere *Saccharomyces* e colture starter di batteri lattici (LAB), mentre lambic è una fermentazione mista spontanea in quanto viene inoculato con i microrganismi presenti nell'aria e con il microbiota che viene a contatto col mosto e riesce a stabilirvisi. Inoltre berliner weisse viene solitamente fermentata in tank d'acciaio, quindi in condizioni di asetticità e con tempi brevi di fermentazione primaria. Lambic, invece, viene fermentato in botte; quest'ultima offre le condizioni ideali per i microrganismi presenti nel mosto (l'ossigeno che passa dalle doghe della botte permette la crescita di microrganismi con metabolismo ossidativo) e con impiego di tempi molto più lunghi (minimo sei mesi).

La maturazione di entrambe le birre riscontra delle similitudini in quanto il basso pH permette, per lambic solo in particolari annate, una shelf-life di durata simile ai vini da invecchiamento, che può protrarsi anche per decine d'anni, comportando cambiamenti a livello organolettico a carico delle specie microbiche responsabili del condizionamento (se non pastorizzate o microfiltrate).

Mi è sembrato interessante mettere a confronto queste due birre in quanto entrambe frutto di produzioni antiche e legate a zone geografiche ben precise e quindi patrimonio storico dei paesi di provenienza. Anche i procedimenti produttivi sono il risultato di avvenimenti storici sociali e politici nelle zone di produzione, nonché delle attrezzature e delle abitudini locali.

Inoltre è interessante sottolineare come l'utilizzo di materie prime simili, malto d'orzo e malto di frumento per berliner weisse e malto d'orzo e frumento grezzo per lambic, abbia portato a stili di birre differenti, nonostante siano accomunate dall'acidità come nota dominante.

Con la speranza che questa tesi susciti, in chi la legge, un maggiore interesse verso la birra, riporto una simpatica massima scritta secoli fa da un grande letterato tedesco:

“Conoscere i luoghi, vicini o lontani, non vale la pena, non è che teoria;
saper dove meglio si spini la birra, è pratica vera, è geografia”.

(Johann Wolfgang Goethe)

BIBLIOGRAFIA

- Michel, R., H. & McGovern, P., E., 1993. The first wine and beer. *Analytical chemistry*, 65(8), pp. 412-413.
- Katz, S., H. & Voigt, M., M., 1986. Bread and Beer: the early use of cereals in the human diet, 28(2), p. 29.
- Hornsey, I., S., 2003. Galatia and the celts. *Beer and Brewing*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, pp. 139-140.
- Eßlinger, H., M., 2009. A Comprehensive History of Beer Brewing; Wort Production; Fermentation, Maturation and Storage. *Handbook of Brewing*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, pp. 9-33, 165-174, 182, 186-187, 201-202, 207-217.
- Sacher, B., Becker, T. & Narziß, L., 2016. Some reflection on mashing. *BRAUWELT International*, 5(2), pp. 309-311.
- MacGregor, A., W., Bazin, S., L., Macri, L., J. & Babb, J., C., 1999. Modelling the Contribution of Alpha-Amylase, Beta-Amylase and Limit Dextrinase to Starch Degradation During Mashing. *Journal of Cereals Science*, 29(2), pp. 161-169.
- Kühbeck, F., Krottenthaler, M. & Back, W., 2012. Influence of Lauter Turbidity on Wort Composition, Fermentation Performance and Beer Quality — A Review. *Journal of The Institute of Brewing*, 112(3), pp. 215-221.
- Coors, G. Krottenthaler, M. & Back, W., 2003. Wort pre-cooling and its influence on casting. *BRAUWELT International*, 21(1), pp. 40-42
- Rodman, A., D. & Gerogiorgis, D., I., 2017. Dynamic optimization of beer fermentation: Sensitivity analysis of attainable performance vs. product flavour constraints. *Computers & Chemical Engineering*, 106(26), pp. 582-595
- García, A., I., García, L., A. & Díaz, M., 1994. *Enzyme and Microbial Technology*, 16(1), pp. 66-71.
- Hieronimus, H., 2018. Le birre che il Reinheitsgebot non incontrò mai. *Le tue birre di frumento*. Milano: Edizioni Lswr, pp. 135-136, 139-140.
- Warner, E., 1992. Sensory Profile of German Wheat Beers. *German Wheat Beer*. Boulder, USA: Brewers Publications, pp. 33-37.

- Pattinson, R., 2011. Old German Beer Styles. *Decoction!*. Amsterdam: Kilderkin, pp. 182-208.
- Kühbeck, F., Krottenthaler, M., Mitzscherling, M., Becker, T., Dickel, T., Back, W. & Delgado, A., 2005. Effects of Mashing Parameters on Mash β -Glucan, FAN and Soluble Extract Levels. *Journal of The Institute of Brewing*, 111(3), pp. 316-327.
- Pilarski, D., W. & Gerogiorgis, D., I., 2019. Progress and modelling of cold contact fermentation for alcohol-free beer production: a review. *Journal of Food Engineering*, 109804.
- Kunze, W., 1998. Herstellen der Würze. *Technologie für Brauer und Mälzer*. Berlin: Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei, p. 198.
- Meyer, B. & Marshall, K., 2012. *Berliner weisse*. Berlin: Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei.
- Stamer, J., R. & Stoyla, B., O., 1967. Growth Response of *Lactobacillus brevis* to Aeration and Organic Catalysts. *Applied Microbiology*, 15(5), pp. 1025-1030.
- Kundiya, D., K., Huhnke, R., Claypool, P., L., Bellmer, D., D. & Wilkins, M., R., 2010. Influence of temperature, pH and yeast on in-field production of ethanol from unsterilized sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*, 34(10), pp. 1481-1486.
- Sparrow, J., 2015. Gli stili classici, La storia, Metodi di produzione, Il tocco finale. *Le birre del Belgio III*. Milano: Edizioni Lswr, pp. 17-23, 27-34, 202-210, 216-219.
- De Roos, J. & De Vuyst, L., 2018. Microbial acidification, alcoholization, and aroma production during spontaneous lambic beer production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1), pp. 25-38.
- Schurr, B., C., Hahne, H., Kuster, B., Behr, J. & Vogel, R., F., 2014. Molecular mechanisms behind the antimicrobial activity of hop iso- α -acids in *Lactobacillus brevis*. *Journal of Food Microbiology*, 46, pp. 553-563.
- Verachtert, H. & Iserentant, D., 1995. The production of gueuze and related refreshing acid beers. *Cerevisia – Belgian Journal of Brewing and Biotechnology*, 20(1), pp. 37-41.
- Martens, H., Dawoud, E. & Verachtert, H., 1991. Wort enterobacteria and other microbial populations involved during the first month of lambic fermentation. *Journal of The Institute of Brewing*, 97(6), pp. 435-439.
- De Roos, J., Vandamme, P. & De Vuyst, L., 2018. Wort Substrate Consumption and Metabolite Production During Lambic Beer Fermentation and Maturation Explain the Successive Growth of Specific Bacterial and Yeast Species. *Frontiers in Microbiology*, 9, art. 2763.

- Spaepen, M., Van Oevelen, D. & Verachtert, H., 1978. Fatty acids and esters produced during the spontaneous fermentation of lambic and gueuze. *Journal of The Institute of Brewing*, 84(5), pp. 278-282.
- Spitaels, F., Wieme, A., D., Janssens, M., Aerts, M., Daniel, H., M., Van Landschoot, A., De Vuyst, L. & Vandamme, P., 2014. The Microbial Diversity of Traditional Spontaneously Fermented Lambic Beer. *PLoS One*, 9(4).
- Spaepen, M. & Verachtert, H., 1982. Esterase activity in the genus of *Brettanomyces*. *Journal of The Institute of Brewing*, 88(1), pp. 11-17.
- Steensels, J., Daenen, L., Malcorps, P., Derdelinckx, G., Verachtert, H. & Verstrepen, K., J., 2015. *Brettanomyces* yeasts – From spoilage organisms to valuable contributors to industrial fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 206(4), pp. 24-38.
- Chatonnet, P., Dubourdieu, D. & Boidron, J., N., 1995. The Influence of *Brettanomyces* / *Dekkera* sp. Yeasts and Acid Lactic Bacteria on the Ethylphenol Content on Red Wines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 46(4), pp.463-468.

SITOGRAFIA

- https://www.assobirra.it/wp-content/uploads/2019/05/AnnualReport_2018_PagineSingole.pdf
- <https://www.giornaledellabirra.it/mercato/consumi-e-produzione-in-crescita-per-la-birra-nel-2018-lo-dice-assobirra/>
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1574459775298&uri=CELEX:32017R2216>
- <https://www.revolvy.com/page/Plan-of-Saint-Gall>
- <http://www.briubeer.com/il-blog/qualcuno-ha-per-caso-detto-editto-della-purezza/>
- <https://www.beverfood.com/documenti/mercato-birre-italia-record-storico-per-produzione-consumi-ed-esportazioni-wd116345/>
- <https://www.birramia.it/doc/macinare-il-malto-correttamente/>
- <https://www.ratebeer.com/beer/schultheiss-berliner-weisse-original/5216/>
- http://www.craftbrewersconference.com/wp-content/uploads/2012_Meyer_Berliner-Weisse.pdf
- <https://www.latticinellabirra.it/lacto-school/sensibilit%C3%A0-al-luppolo/>
- https://www.researchgate.net/publication/250007283_Hop_pellets_type_90_Influence_of_manufacture_and_storage_on_losses_of_a-acids
- <https://www.fermentobirra.com/stili-birrari/lambic-caratteristiche-storia-e-produzione/>