



Università degli Studi di Udine
Facoltà di Agraria



Università degli Studi di Trento
Facoltà di Ingegneria



Fondazione Edmund Mach
San Michele all'Adige



Hochschule Geisenheim
University

Corso di Laurea Triennale in
Viticultura ed Enologia

TESI DI LAUREA

**Digitalizzazione del fenomeno del perlage per
la valutazione oggettiva della schiuma e
dell'effervescenza dei vini spumanti**

Relatori: Prof. Emilio Celotti

Dr. Roberto Larcher

Laureando: Maurizio Zadra

Matricola: 109429

ANNO ACCADEMICO 2011 - 2012

Il lavoro per la stesura di questa tesi di laurea è iniziato nel novembre del 2012 a Geisenheim (Germania) e si è concluso nel marzo del 2013 a Pressano (Italia).

Durante questo periodo molte sono le persone che, più o meno direttamente, hanno contribuito alla buona riuscita del progetto, permettendomi così di ultimare il mio percorso di laurea triennale.

Voglio innanzitutto ringraziare coloro i quali hanno partecipato attivamente allo sviluppo del progetto. Partirei da dove tutto è cominciato, Geisenheim, ringraziando i professori ing. Mark Strobl e dr. Maximilian Freund, senza i quali la parte di sperimentazione enologica non avrebbe potuto avere luogo. Ringrazio anche tutti i ricercatori della cantina sperimentale della Hochschule che hanno partecipato al progetto, provvedendo all'approvvigionamento dei materiali e dispensando consigli utili. La stesura della tesi è poi avvenuta in Trentino, Italia. Tengo quindi ad esprimere tutta la mia riconoscenza nei confronti del professore relatore di San Michele all'Adige, dr. Roberto Larcher, il quale, dall'alto della sua esperienza, ha saputo guidarmi con estrema puntualità e precisione durante la fase di scrittura di questo lavoro. Un sentito ringraziamento va inoltre a Samuele Martelli per il sostegno informatico e la preziosa assistenza offertimi.

Meritano un caldo abbraccio tutte le persone che, con il loro sostegno psicologico, mi hanno aiutato a sopportare il carico di lavoro e lo stress derivati da tutti gli imprevisti e le pressanti scadenze incontrati. I miei più sentiti ringraziamenti vanno a Fede e David, confermatasi ottimi amici, leali confidenti e splendide persone. Loro, assieme a mio fratello Michele e agli amici Micol, Luca, Lisa, Dani e Chiara mi hanno tenuto compagnia nei momenti più critici e hanno condiviso con me forti emozioni sulle piste da sci. Fondamentali a livello di sfogo fisico sono stati gli allenamenti di kick boxing, durante i quali Moira ha provveduto a fortificarmi nel corpo e nello spirito. A lei e a tutti i miei compagni di fatica va un affettuoso saluto. Ringrazio inoltre tutti coloro che, a Geisenheim o in Italia, mi hanno offerto il loro sostegno e la loro considerazione.

Si sa che il meglio arriva sempre alla fine, motivo per cui cito ora le due persone che più contano nella mia vita: Paola e Alessandro, i miei genitori. Entrambi sono per me fonte di grande ispirazione e i loro preziosi insegnamenti, assieme all'approvazione e alla fiducia che hanno sempre dimostrato nei miei confronti, mi hanno reso la persona che sono.

INDICE

PREMESSA	5
INTRODUZIONE	6
1 VINI IN SOVRAPPRESSIONE DI CO₂: DEFINIZIONI	6
2 TECNICHE DI PRODUZIONE DEI VINI IN SOVRAPPRESSIONE DI CO₂	8
2.1 Scelta della sovrappressione	9
2.2 Méthode rurale	10
2.3 Produzione di un vino base spumante	11
2.4 Il tirage	13
2.5 Metodo classico	14
2.6 Metodo charmat	19
2.7 Metodo del travaso	22
2.8 Vini prodotti con aggiunta di CO ₂ esogena	23
2.8.1 Sistemi di carbonicazione	23
2.8.2 Sistemi basati sull'impiego di un serbatoio	24
2.8.3 Sistemi ad ugelli	25
2.8.4 Sistemi a nebulizzazione	26
2.8.5 Sistemi a piastre	26
2.8.6 Pompe di saturazione	27
2.8.7 Cavicatori	28
3 VINI SPUMANTI: L'EFFERESCENZA E LA SCHIUMA	30
3.1 Cosa sono l'effervescenza e la schiuma	30
3.2 Lo sviluppo dell'effervescenza	31
3.3 L'instabilità della schiuma	33
3.4 Fattori influenzanti la qualità dell'effervescenza e della schiuma	34
3.4.1 Influenza delle scelte di produzione	35
3.4.2 Influenza della composizione chimica del vino	36
3.5 La valutazione della schiuma	38
3.5.1 La tecnologia Mosalux	38
3.5.2 L'analisi di fotografie	40
3.5.3 Valutazione visiva mediante analisi sensoriale	42
3.5.4 Correlazione tra dati misurati ed analisi sensoriale	42

4 LA FISICA DEI GAS	43
4.1 Principi fisici e leggi riguardanti i gas	43
4.2 Concetto di diffusione	45
4.3 Velocità di diffusione nel vino	47
4.4 Solubilità e saturazione nel vino	47
4.5 CO ₂ , N ₂ , O ₂ e Ar	49
4.5.1 Anidride carbonica: CO ₂	49
4.5.2 Azoto: N ₂	50
4.5.3 Ossigeno O ₂	50
4.5.4 Argon: Ar	51
OBIETTIVI	52
MATERIALI E METODI	53
5 MATERIALI	54
5.1 Materiali impiegati per la preparazione dei campioni	54
5.2 Materiali impiegati durante le analisi	58
6 METODI	62
6.1 Produzione dei campioni	62
6.2 Analisi chimico - fisiche	67
6.3 Digitalizzazione delle fotografie	70
RISULTATI E DISCUSSIONE	76
7 OSSIGENO PREIMBOTTIGLIAMENTO	76
8 ANALISI SENSORIALE	76
9 OSSIGENO IN BOTTIGLIA NEGLI SPUMANTI	78
10 ANIDRIDE CARBONICA IN BOTTIGLIA NEGLI SPUMANTI	79
11 ANALISI FOTOGRAFICA	80
11.1 Elaborazione dei video	80
11.2 Elaborazione delle fotografie	83

CONCLUSIONI	89
BIBLIOGRAFIA	91
Allegato 1	99
Allegato 2	100
Allegato 3	101
Allegato 4	102
Allegato 5	103

PREMESSA

Schiuma ed effervescenza sono le componenti che più distinguono all'aspetto i vini frizzanti da quelli tranquilli. Esse ricoprono un ruolo fondamentale nella caratterizzazione della bevanda, in quanto sono i primi attributi che i consumatori percepiscono quando degustano il prodotto. Una effervescenza briosa rappresenta quindi un requisito fondamentale per un vino spumante, il quale deve continuare a produrre bolle per un lungo lasso di tempo.

Molti consumatori ritengono che un perlage elegante sia caratterizzato da bolle di piccolo diametro, le quali, una volta raggiunta la superficie del vino, devono formare una corona di schiuma ampia e longeva. Ciò avviene nonostante non ci siano prove scientifiche certe che correlino la finezza dell'effervescenza con qualità della schiuma (Liger-Belair G. et al., 2001).

L'importanza della schiumosità dei vini non si ferma però al solo impatto visivo, in quanto Liger-Belair et al. (Liger-Belair et al. 2001) hanno dimostrato l'influenza che essa ha sulla percezione sensoriale generale. Grazie all'effetto di strappaggio da parte delle bolle di gas nei confronti delle molecole aromatiche, i profumi contenuti nel vino vengono liberati e condotti fino ai recettori dell'olfatto, migliorando così la percezione organolettica complessiva della bevanda.

Per questi motivi negli ultimi anni sono stati condotti molti studi allo scopo di definire dei metodi oggettivi di valutazione delle caratteristiche della schiuma, nonché di scoprire quali fattori contribuiscano, positivamente o negativamente, alla sua formazione. Di conseguenza sono state sviluppate differenti tecniche e tecnologie per la standardizzazione delle valutazioni.

Questo lavoro propone un approccio innovativo allo studio visivo delle caratteristiche dell'effervescenza e della schiuma. Combinando tecniche fotografiche e risorse informatiche, verrà esaminata la possibilità di digitalizzare il fenomeno del perlage, in modo da permetterne uno studio dettagliato e ben standardizzabile. Lo scopo è quello di sviluppare una tecnologia in grado di fornire una valutazione dettagliata e integralmente oggettiva dell'effervescenza e della schiuma dei vini spumanti, al fine di distinguere e classificare vini frizzanti di differente qualità.

INTRODUZIONE

1 VINI IN SOVRAPPRESSIONE DI CO₂: DEFINIZIONI

Un vino frizzante o spumante è un vino visibilmente sovrasaturo di anidride carbonica (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010). L'entità di questa sovrappressione, assieme ad altre caratteristiche fondamentali, determina la classificazione di questi prodotti in vini frizzanti, vini spumanti e vini spumanti di qualità.

Il regolamento CE n 479/2008 riporta le seguenti definizioni circa tutte le categorie di vini in sovrappressione di CO₂ che si possano trovare sul mercato:

1. vino spumante: è il prodotto ottenuto dalla prima o dalla seconda fermentazione alcolica di uve fresche, di mosto di uve o di vino. E' caratterizzato alla stappatura del recipiente da uno sviluppo di anidride carbonica proveniente esclusivamente dalla fermentazione e, se conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi, presenta una sovrappressione non inferiore a 3 bar dovuta all'anidride carbonica in soluzione. Il titolo alcolometrico totale delle partite (cuvées) destinate alla sua elaborazione non è inferiore a 8,5 %vol;
2. vino spumante di qualità: è il prodotto ottenuto dalla prima o dalla seconda fermentazione alcolica di uve fresche, di mosto di uve o di vino. E' caratterizzato alla stappatura del recipiente da uno sviluppo di anidride carbonica proveniente esclusivamente dalla fermentazione e, se conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi, presenta una sovrappressione non inferiore a 3,5 bar dovuta all'anidride carbonica in soluzione. Il titolo alcolometrico totale delle partite (cuvées) destinate alla sua elaborazione non è inferiore a 9 %vol;
3. vino spumante di qualità del tipo aromatico: è il vino spumante di qualità ottenuto, durante la costituzione della partita, soltanto utilizzando mosti di uve o mosti di uve parzialmente fermentati che derivano da varietà di uve da vino specifiche e figuranti in un elenco da redigere secondo la procedura di cui all'articolo 113, paragrafo 2. Conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi presenta una sovrappressione non inferiore a 3 bar dovuta all'anidride

- carbonica in soluzione, presenta un titolo alcolometrico totale non inferiore a 10 % vol e un titolo alcolometrico effettivo non inferiore a 6 % vol;
4. vino spumante gassificato: è il prodotto ottenuto da vino senza una denominazione di origine protetta o una indicazione geografica protetta, caratterizzato alla stappatura del recipiente da uno sviluppo di anidride carbonica proveniente, in tutto o in parte, dall'aggiunta di tale gas. Se conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi, presenta una sovrappressione non inferiore a 3 bar dovuta all'anidride carbonica in soluzione;
 5. Vino frizzante: è il prodotto ottenuto da vino, che presenta un titolo alcolometrico totale non inferiore a 9 % vol e un titolo alcolometrico effettivo non inferiore a 7 % vol. Se conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi, presenta una sovrappressione, dovuta all'anidride carbonica endogena in soluzione, non inferiore a 1 bar e non superiore a 2,5 bar. Dev'essere venduto in recipienti di 60 litri o meno;
 6. vino frizzante gassificato: è il prodotto ottenuto da vino, avente un titolo alcolometrico totale non inferiore a 9 % vol e un titolo alcolometrico effettivo non inferiore a 7 % vol. Se conservato alla temperatura di 20°C in recipienti chiusi, presenta una sovrappressione dovuta all'anidride carbonica in soluzione, totalmente o parzialmente aggiunta, non inferiore a 1 bar e non superiore a 2,5 bar. Dev'essere venduto in recipienti di 60 litri o meno.

Come riportato nel regolamento europeo CE 1493/1999 l'origine dell'anidride carbonica presente nel vino può avere origine endogena o esogena. Ciò consente, come è possibile verificare nelle definizioni sopra riportate, di classificare i vini spumanti in due grandi gruppi:

- vini spumanti naturali, la cui CO₂ deriva esclusivamente dalla prima (Asti spumante, vino frizzante, Vihno Verde) o dalla seconda (Champagne, Sekt, Talento, Cava) fermentazione alcolica;
- vini carbonicati artificialmente (gassificati).

Nel momento dell'entrata in vigore del predetto regolamento è nata quindi la necessità di certificare, con un metodo ufficiale standardizzato e ripetibile, la provenienza della CO₂ responsabile dell'effervescenza dei vini spumanti. Si è reso necessario poter

distinguere le molecole di anidride carbonica derivate esclusivamente dalla prima o dalla seconda fermentazione alcolica da quelle di altra origine, aggiunte artificialmente al vino. In quest'ultimo caso il regolamento prevede infatti che l'aggiunta venga dichiarata in etichetta tramite la dicitura "vino gassificato". A tale scopo l'organizzazione internazionale della vite e del vino (OIV), nell'annuncio intitolato "Determination of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic relationship of CO_2 in sparkling wines. Method based on the use of isotopic relation mass spectrometry (SMRI)" (2005) ha approvato un metodo di indagine basato sulla determinazione del rapporto isotopico $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ delle molecole di CO_2 contenute nei vini frizzanti e spumanti, attuato utilizzando uno spettrometro di massa (Isotopic Relation Mass Spectrometry: IRMS).

2 TECNICHE DI PRODUZIONE DEI VINI IN SOVRAPPRESSIONE DI CO_2

Per la produzione di vini frizzanti e spumanti sono presenti varie tecniche che si differenziano tra loro per la tempistica della presa di spuma (durante la prima o la seconda fermentazione alcolica), il volume del contenitore in cui ha luogo la presa di spuma e la tecnica di imbottigliamento.

La tecnica che prevede la presa di spuma già durante la prima fermentazione alcolica viene definita *Méthode Rurale* ed è quella utilizzata per la produzione del Moscato d'Asti. Tutte le altre tecniche prevedono una prima fermentazione per la produzione di un vino base tranquillo e una successiva rifermentazione in un contenitore chiuso al fine di ottenere la sovrappressione di CO_2 . Tale processo può avvenire: direttamente nella bottiglia in cui verrà poi venduto il vino (tecnica definita metodo classico o champenoise e caratteristica dei vini Champagne, Sekt, Talento); in bottiglie che verranno poi travasate in un serbatoio per l'omogeneizzazione (metodo del trasferimento); oppure in un serbatoio coibentato resistente alla pressione (metodo charmat o Martinotti, impiegato per la produzione del Prosecco).

La figura X spiega schematicamente i passaggi fondamentali di queste ultime tre tecniche, le quali verranno in seguito descritte nel dettaglio.

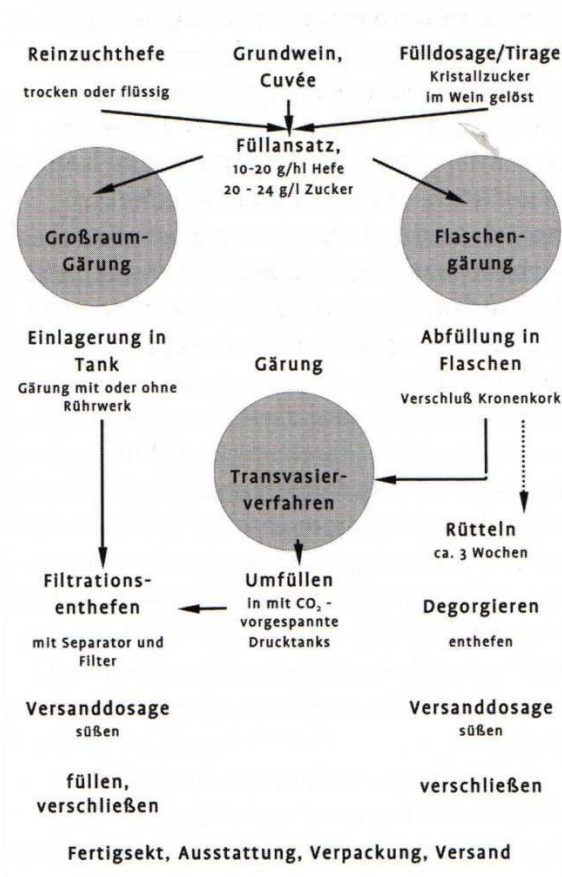


Figura 1: Schema delle tecniche di produzione di vini in sovrappressione di CO₂ a partire da un vino base tranquillo. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 127).

2.1 Scelta della sovrappressione

Ad una pressione assoluta di 1 bar di CO₂ e 20°C di temperatura ogni litro di bevanda è in grado di solubilizzare circa 1,6g di CO₂. Ciò significa che per ottenere una bevanda visibilmente frizzante, cioè in sovrappressione di CO₂ bisogna apportare più di 1,6 g/l di gas (Südzucker-Handbuch, 1998, p23).

Quando si decide la quantità di gas da aggiungere alla bevanda bisogna considerare che durante le fasi di stappatura del contenitore e di servizio della bevanda si ha una consistente perdita di CO₂. L'obiettivo produttivo deve quindi essere quello di ottenere una bevanda ancora vivacemente frizzante al momento del consumo.

Il volume della bottiglia è determinante: più esso è contenuto e maggiore è il volume relativo percentuale costituito dallo spazio di testa, cioè quello non riempito di liquido.

Ciò si traduce in una maggiore perdita di CO₂ registrata nella fase di servizio. Perché la bevanda arrivi al momento del consumo nel bicchiere alla stessa pressione, essa deve avere una pressione di partenza tanto maggiore quanto minore è il volume del contenitore in cui viene conservata (Südzucker-Handbuch, 1998, p23). Un'altra variabile da considerare è la porosità del materiale impiegato per la conservazione della bevanda: se esso non è perfettamente impermeabile si ha una progressiva perdita di CO₂ durante il periodo di stoccaggio. Ciò avviene per esempio nel caso delle bevande conservate in bottiglie di PET, materiale poroso che causa una sensibile perdita di pressione nell'arco di qualche mese dall'imbottigliamento. (Südzucker-Handbuch, 1998, p24).

2.2 Méthode rurale

Il prodotto più conosciuto derivante da tale metodo è l'Asti spumante, un vino DOCG vinificato a partire da uve di varietà Moscato Bianco. L'esperienza enologica ha insegnato che, se fatti fermentare troppo vigorosamente, i mosti derivati da uve di questa varietà tendono a dare vini amari. Al fine di rallentare la fermentazione alcolica viene attuata un'importante chiarifica dei mosti che punta all'impoverimento del contenuto di azoto prontamente assimilabile disponibile per i lieviti (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 518). La fermentazione alcolica viene innescata a 18-20°C e la temperatura viene subito diminuita e mantenuta tra 8-10°C. Il disciplinare di produzione del Moscato d'Asti (D.M. 29/11/1993 – GU 287 del 07/12/1993 con modifiche del D.M. 14/08/1995 – GU 228 del 29/09/1995) non permette l'arricchimento dei mosti, se non con mosto concentrato derivante da uve di varietà Moscato Bianco prodotte in Piemonte.

Una volta innescata, la fermentazione può essere condotta in autoclave o in bottiglia e, una volta raggiunta la sovrappressione desiderata, viene arrestata mediante un repentino abbassamento della temperatura fino a 0°C. Il vino viene poi chiarificato, stabilizzato, filtrato sterile per minimizzare il rischio di fermentazioni in bottiglia non volute ed imbottigliato.

Per disciplinare la fase di presa di spuma (compreso l'affinamento post-fermentativo a contatto con le fecce fini) non può essere inferiore ad un mese. Il vino finito deve inoltre

rispettare alcuni parametri qualitativi: deve avere un titolo alcolometrico volumico totale minimo di 12% vol e un titolo alcolometrico volumico svolto di 7-9,5% vol, acidità totale minima del 5 per mille ed estratto secco netto minimo del 17 per mille.

2.3 Produzione di vino base spumante

L'obiettivo qualitativo da raggiungere quando si produce un vino base spumante è molto differente rispetto a quello di un normale vino tranquillo; ciò influenza le scelte enologiche da prendere durante il processo produttivo, dalla vendemmia alle stabilizzazioni.

Nella seguente tabella sono riportati i requisiti analitici e sensoriali che un vino base dovrebbe avere per essere adatto a venir sottoposto alla spumantizzazione.

Attributo sensoriale	Valori ottimali	
Limpidezza	Limpido, meglio brillante (meno di 1,0 unità EBC)	
Colore	Giallo tenue - verdognolo	
Odore	Tenue, da neutrale a fruttato in base alla varietà, assolutamente franco, senza odori estranei	
Gusto	Pulito, fresco - grintoso, snello, non ruvido (tannini), non amaro, non apatico (solfati), non metallico	
Attributo analitico	Unità di misura	Valori ottimali
Alcol totale	% vol	9,0 - 10,5
Alcol reale	% vol	9,0 - 10,5
Acidità titolabile	g/l	7,0 - 9,0 (in base alla varietà)
pH		3,0 - 3,2
Zuccheri riducenti	g/l	meno di 2,0
Acetaldeide	mg/l	meno di 40
Polifenoli totali	mg/l	meno di 200 (in base alla varietà)
di cui flavonoidi	mg/l	meno di 40
Test del colore a pH 7		giallo da chiaro a medio
Solforosa totale	mg/l	meno di 80
Solforosa libera	mg/l	10 - 20
Solfati	mg/l di K ₂ SO ₄	meno di 400
Fabbisogno di ferrocianuro di potassio	g/hl	meno di 3
Acidità volatile	g/l di acido acetico	meno do 0,5

Tabella 1: Caratteristiche necessarie per un vino base spumante di buona qualità. Fonte: (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 51).

Dall'interpretazione della tabella emerge che il vino base deve essere fondamentalmente stabile nei confronti di tutte le precipitazioni e ben filtrato, esente da errori gustativi, dotato di una spiccata acidità titolabile e povero in polifenoli.

Al fine di ottenere valori di acidità titolabile soddisfacenti, che conferiscano un'adeguata freschezza al vino spumante che verrà in seguito prodotto, la maturazione tecnologica delle uve anticipa notevolmente la maturazione aromatica. Le uve vengono quindi raccolte più precocemente rispetto a quelle utilizzate per la vinificazione dei vini tranquilli convenzionali (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 505). Ciò comporta un maggiore rischio di estrazione dalle bucce di composti amari, aromi vegetali e composti fenolici indesiderati (composti dal gusto amaro e ruvido e sostanze colorate). Le uve devono quindi rimanere le più integre possibili fino al momento della pressatura. La raccolta deve essere compiuta manualmente in contenitori di piccola capienza, durante questa fase i grappoli devono essere ben cerniti per eliminare le uve difettose, alterate o attaccate dalla muffa. Il trasporto in cantina deve essere delicato e le uve devono essere pressate intere. La pressatura deve essere condotta a basse pressioni e il mosto in uscita va frazionato in base alla qualità del prodotto uscente. Nel corso di questo processo, infatti, l'acidità totale del mosto fuoriuscente va diminuendo, così come i tenori in acido tartarico e malico, e l'intensità e la finezza aromatica. Il pH aumenta, così come il contenuto in elementi minerali e quello in composti fenolici (soprattutto sostanze tintorie), mentre il grado zuccherino rimane tendenzialmente costante (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, pp 506, 507).

Il mosto deve essere adeguatamente illimpidito prima dell'inoculo dei lieviti selezionati e la fermentazione, condotta a temperatura controllata, deve avere un decorso regolare e portare il vino completamente a secco. Dipendentemente dalla varietà e dalla qualità del vino ottenuto è possibile svolgere una fermentazione malolattica completa oppure frazionata, eseguita cioè solamente su alcune frazioni di vino che andranno poi tagliate con le rimanenti non colonizzate dai batteri lattici. Seguono un'adeguata solfitazione, i tagli per la creazione delle cuvée, tutte le stabilizzazioni necessarie e le dovute filtrazioni.

2.4 Il tirage

Il tirage è l'operazione necessaria da svolgere per permettere la presa di spuma dei vini spumanti. (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 92). Esso consiste in un aumento del tenore zuccherino del vino base al fine di permettere una seconda fermentazione, dalla quale si libererà la CO₂ necessaria all'effervescenza.

Quanto maggiore è la quantità di zucchero consumato dai lieviti durante la seconda fermentazione alcolica tanto maggiore sarà la quantità di CO₂ prodotta, e quindi tanto più forte la sovrappressione che si formerà nel contenitore. Per stabilire la giusta dose di zucchero da aggiungere bisogna prima di tutto supporre che esso venga totalmente fermentato (regolamento CE n 479/2008), in quanto la dolcificazione di un vino spumante può avvenire solo a ciclo ultimato, mediante l'aggiunta della *liqueur d'expédition*. Bisogna poi decidere la sovrappressione desiderata nel vino finito a 20°C e tramite tabelle si può verificare la giusta dose di zucchero da impiegare.

Pressione desiderata (bars)		Saccarosio (g · L ⁻¹)	Glucosio + Fruttosio (g · L ⁻¹)
a 10 °C	a 20 °C		
4,0	5,4	16,0	17,0
4,5	6,1	18,0	19,1
5,0	6,8	20,0	21,2
5,5	7,5	22,0	23,3
6,0	8,2	24,0	25,0
6,5	8,8	26,0	27,6

Tabella 2: Tenore zuccherino della *liqueur de tirage* in funzione della pressione desiderata. Fonte: Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 509.

Secondo la tabella riportata sopra per ottenere 5 bar di sovrappressione a 10°C è necessario avere una concentrazione zuccherina iniziale di 20 g/l di saccarosio (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 509). Ciò significa che 4 g/l di zucchero producono circa 1 bar di pressione. Nel pianificare l'aggiunta è indispensabile considerare che per legge il tenore alcolico del vino base non può essere aumentato più di 1,5% vol (regolamento CE n 479/2008). Lo zuccheraggio può venir effettuato mediante l'aggiunta di saccarosio, mosto di uva, mosto di uva concentrato, mosto di uva concentrato e rettificato o mosto di uva parzialmente fermentato (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 92).

Un'altra componente da aggiungere al vino base è il lievito che dovrà effettuare la rifermentazione. Il lievito in questione deve avere un'elevata resistenza all'alcol, alla solforosa, alle sostanze polifenoliche e alla pressione, deve saper fermentare bene anche alle basse temperature e avere un'elevata velocità di autolisi una volta che ha terminato la fermentazione. Per questo la scelta ricade solitamente su ceppi di *Saccharomyces bayanus* (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 106).

Oltre a zucchero e lieviti è necessario aggiungere al vino tutti quei coadiuvanti che favoriscono la fermentazione e le lavorazioni del prodotto, come per esempio sostanze nutritive per i lieviti, nonché i composti che facilitano la pulitura della bottiglia durante la fase di *remuage* dei vini prodotti secondo il metodo classico (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, pp 121, 122, 123). Tali composti, studiati per favorire la velocità di sedimentazione e la compattezza del deposito, esistono in diverse formulazioni, e sono utilizzati in concentrazioni differenti a seconda che il *remuage* venga effettuato manualmente o meccanicamente. Nel primo caso si utilizza perlopiù bentonite bagnata, mentre nel secondo è massima la frazione di arginati.

2.5 Metodo classico

Il vino base, dopo il tirage, viene imbottigliato nelle stesse bottiglie in cui verrà successivamente confezionato e venduto. Esse sono sigillate con un tappo a corona munito di *bidule*, un opercolo in plastica che favorisce la tenuta del tappo e la ritenzione dei lieviti dopo la fase di *remuage*. Le bottiglie vengono poi stoccate in posizione orizzontale.

E' bene che la fermentazione sia attivata a temperatura di 15-18°C per essere certi che essa parta in ogni bottiglia, dopodichè essa può scendere progressivamente fino a 11-12°C e rimanere costante su questi valori per tutta la durata del processo. In questa situazione lo zucchero aggiunto impiega un mese o più per essere consumato (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, pp 509, 510).

La posizione orizzontale delle bottiglie massimizza la superficie di contatto tra il vino e i lieviti, i quali si stratificano sulla pancia del contenitore.

A distanza di 2-3 mesi dalla fine della rifermentazione alcolica la maggior parte delle cellule sono morte e dopo 10-12 mesi si può ritenere che nessuna cellula sia ancora in

vita (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 308). Dopo la morte il lievito va incontro al fenomeno di autolisi e rilascia molti composti che modificano la composizione chimica del vino. Perlopiù si tratta di alfa-amminoacidi (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 510), ma anche di polisaccaridi e mannoproteine (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 311). Il periodo di affinamento può durare da pochi mesi a qualche anno e durante questa fase le bottiglie vengono regolarmente movimentate e agitate per rimettere in sospensione i lieviti, al fine di favorire la cessione dei predetti composti.

Al termine del periodo di affinamento le bottiglie affrontano il cosiddetto *remuage*. Si tratta di una serie di movimenti rotatori effettuati sulla bottiglia nel corso di una fase più o meno lunga durante la quale la sua posizione viene fatta passare da quella orizzontale di partenza a quella finale verticale con il tappo rivolto verso il basso. Lo scopo della rotazione è quello di convogliare tutte le fecce ed i residui presenti sul vetro verso la *bidule* (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, pp 319, 320) e quest'operazione può essere svolta manualmente o meccanicamente (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 511).

Per compiere il *remuage* manuale le bottiglie vengono inizialmente agitate e posizionate orizzontalmente su supporti in legno chiamati *pupitres*. Dopo il posizionamento sulle *pupitres* si lascia riposare il vino per 7-10 giorni in modo che tutte le particelle in sospensione risedimentino, dopodiché le bottiglie vengono quotidianamente ruotate di alcuni gradi in senso orario o antiorario e contemporaneamente e progressivamente portate in posizione verticale. Queste rotazioni seguono uno schema preciso, che è descritto nella figura 3.



Figura 2: Pupitres situate in uno spumantificio con installate le bottiglie di spumante durante la fase di *remuage*. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 320.

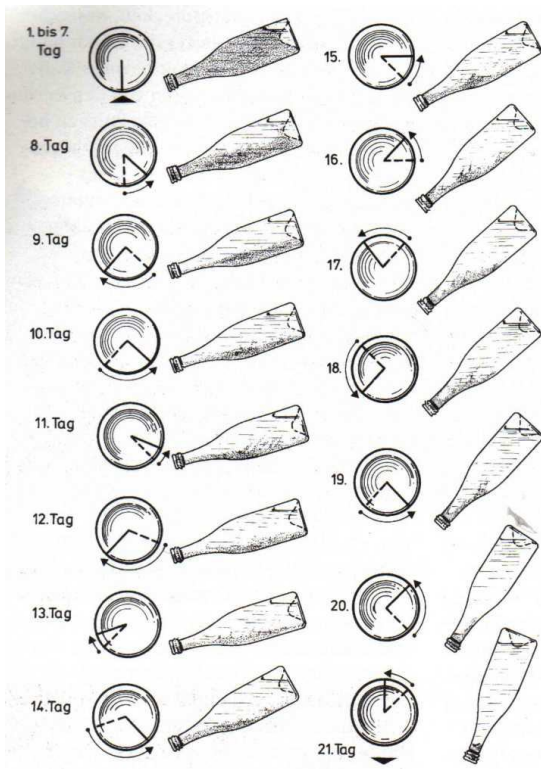


Figura 3: Schema di rotazione ed inclinazione delle bottiglie durante le tre settimane di *remuage*. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 322.

Nel caso del *remuage* meccanico le bottiglie vengono invece disposte orizzontalmente in appositi cestoni metallici o legnosi, i quali vengono poi installati su un piedistallo girevole chiamato *gyropalette*. Esso attua dei movimenti programmati, ruotando e inclinando sempre più il cestone, in modo da modificare progressivamente la posizione delle bottiglie da orizzontale a verticale (sempre col tappo rivolto verso il basso). Il *remuage* meccanico ha una durata molto inferiore di quello manuale (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 326).

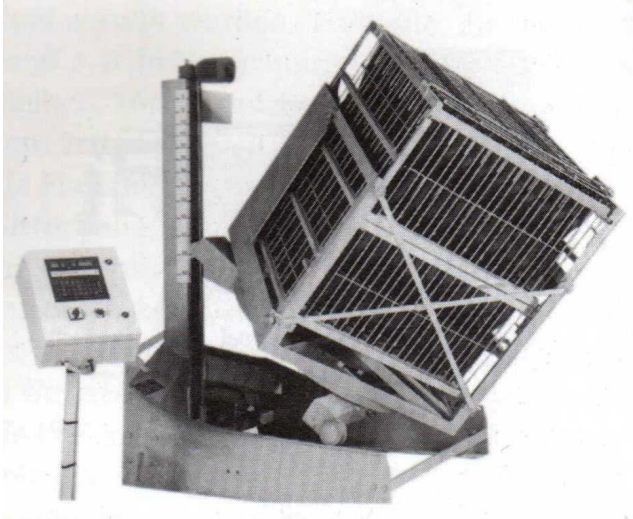


Figura 4: Giropalette automatico della ditta OENO CONCEPT. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 328.

Una volta terminato il remuage si passa alla fase di sboccatura o *dégorgement*. Quest'operazione consiste nella stappatura delle bottiglie e nell'espulsione del residuo di lievito attuata per azione della sovrappressione presente all'interno dei contenitori. In tempi passati quest'operazione veniva effettuata *à la volée*, ovvero togliendo manualmente il tappo con un movimento repentino, evitando massicce perdite di CO₂. Al giorno d'oggi si effettua invece la sboccatura *à la glace* (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 511). Il collo della bottiglia viene parzialmente immerso in una soluzione refrigerante avente una temperatura compresa tra -25 e -35°C (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 336). In questo modo il vino presente nella zona della bibule si congela, intrappolando il deposito di lievito ed evitando così che esso possa tornare in sospensione all'interno del vino.

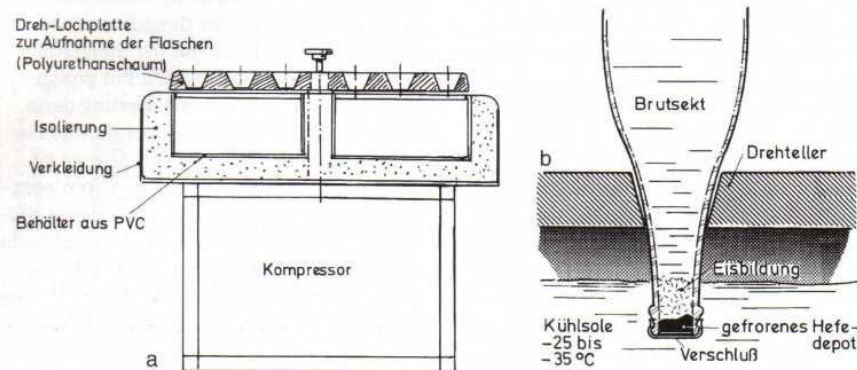


Abb. 133. a = Gefrier-Tauchbottich mit Drehlochscheibe zur Aufnahme der Flaschen. Der Behälter zur Aufnahme der Kältssole ist isoliert, um die Kälteabstrahlung zu vermindern. Die Sole wird durch die Verdampfung eines Kältemittels gekühlt, das durch den Kompressor wieder verdichtet wird.
b = Sektflasche während des Einfrierens des Hefedepots in einer Flaschenhals-Einfrieranlage. Eintauchtiefe in die Sole bis 6 cm.
c = Gesamtansicht eines Gefrier-Tauchbottichs.

Figura 5: (a) Macchina per il congelamento del residuo di lievito presente nel collo della bottiglia. La superficie consiste in una giostra rotante forata in cui vengono inserite le bottiglie col tappo rivolto verso il basso. La parte nera è il serbatoio coibentato in cui è contenuto il liquido refrigerante (avente una temperatura di esercizio compresa tra -25 e -35°C) che attua il congelamento del vino. (b) Bottiglia di spumante durante la fase di congelamento. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 336.

La stappatura viene effettuata da una macchina apposita, la quale provvede poi al prelievo di parte del vino presente nella bottiglia, all'inserimento di un prefinito volume di *liqueur d'expédition* e al reinserimento del vino prelevato per portare la bottiglia a volume (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 341).

La *liqueur d'expédition* è una soluzione zuccherina che viene aggiunta allo spumante per conferirgli le caratteristiche necessarie al raggiungimento dell'obiettivo enologico preposto. Si tratta infatti, questa, dell'ultima occasione che l'enologo ha per modificare la composizione chimico-fisica e le caratteristiche organolettiche del vino. La legge stabilisce quali sostanze possono rientrare nella composizione della *liqueur d'expédition* (regolamento CE n 479/2008) e con le quali ogni azienda crea la propria ricetta segreta.

In base alla concentrazione zuccherina dello spumante dopo l'aggiunta della *liqueur d'expédition* i vini sono classificati secondo quanto riportato in Tabella X.

Dicitura	Contenuto di zucchero (g/l)
Brut nature, naturherb, (solo se con la liqueur d'expédition non viene aggiunto zucchero)	0 - 3
Extra brut, extra herb	0 - 6
Brut, herb	meno di 12
Extra dry, extra trocken, extra secco	12 - 17
Sec, trocken, secco, asciutto, dry, tør, xeros	17 - 32
Demi-sec, halbtrocken, abboccatao medium-dry, halvtør, semi secco, meio secco	32 - 50
Doux, mild, dolce, sweet, sød, dulce, doce	50 e oltre

Tabella 3: Classificazione dei vini spumanti in base alla loro concentrazione di zucchero residuo. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 31.

Le successive operazioni di tappatura col tappo definitivo, gabbiettatura ed etichettatura possono essere effettuate meccanicamente grazie ad impianti automatici (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 511).

2.6 Metodo charmat

Il metodo charmat o metodo Martinotti punta al contenimento dei costi di spumantizzazione ed è adatto alla produzione di vini di qualità tendenzialmente inferiore rispetto a quelli prodotti col metodo classico, nonché alla spumantizzazione di vini che non necessitano di un intimo contatto coi lieviti al fine di acquisire aromi terziari (ad esempio vini da varietà aromatiche) (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, pp 517, 518).

Questa tecnica prevede che il vino, una volta effettuato il tirage, affronti la fase di rifermentazione in un serbatoio coibentato e resistente alla sovrappressione detto autoclave.

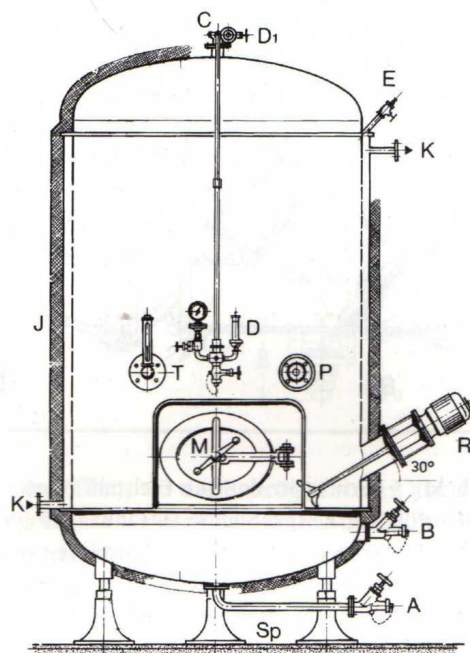


Figura 6: Illustrazione di un autoclave completo degli accessori necessari. Resistente a 8 bar di sovrappressione, coibentato e provvisto di tasche per il controllo termico mediante liquido di refrigerazione. (A) Valvola di scarico totale. (B) Valvola di scarico parziale. (C e D) Sistema di sicurezza comprendente il manometro e le valvole di sfogo della pressione. (E) Tubo di sfiato del liquido refrigerante. (J) Isolamento costituito da sostanze plastiche estruse. (K) Entrata ed uscita del liquido refrigerante. (M) Portello 350*450 mm. (P) Spinavino. (R) Agitatore assiale ad elica. (Sp) Piedi d'appoggio. (T) Termometro. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 149.

Una volta innescata la seconda fermentazione alcolica il serbatoio viene sigillato al fine di intrappolare la CO₂ prodotta dai lieviti e dare così origine all'effervescenza. Durante la presa di spuma la temperatura è mantenuta costante tra 20-25°C e quando viene raggiunta la sovrappressione prestabilita si attua un arresto della fermentazione tramite l'abbattimento della temperatura e una leggera solfitazione.

Segue poi una fase di affinamento sulle fecce fini che può avere durata e intensità variabili a seconda dell'obiettivo enologico. La superficie di contatto tra vino e lievito in un serbatoio è molto minore rispetto a quella presente in una bottiglia coricata (metodo classico), e va diminuendo al crescere del rapporto altezza/raggio dei serbatoi impiegati (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 144). Esistono però degli agitatori (figura 6), provvisti di un rotore su cui sono installate delle eliche che provvedono alla miscelazione del prodotto e alla messa in sospensione dei lieviti. In questo modo si

aumenta il contatto tra fecce fine e vino e si velocizza il processo di estrazione dei composti derivanti dall'autolisi dei lieviti (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 518).

Una volta terminato il processo di affinamento il vino spumante viene stabilizzato, filtrato, aggiunto della *liqueur d'expédition* e preparato per l'imbottigliamento.

Ogni operazione meccanica che prevede la movimentazione del vino e il suo passaggio attraverso dei macchinari deve essere svolta in condizioni isobariche, al fine di evitare perdite di CO₂. Per la messa in pressione degli impianti è bene impiegare anidride carbonica esogena, in quanto azoto e argon non sono dei validi surrogati (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, pp 133, 134).

Allo scopo di evitare perdite di pressione, l'imbottigliamento viene effettuato con riempitivi isobariche le quali prevedono una fase di messa in pressione della bottiglia precedentemente alla fase di riempimento vera e propria. Per minimizzare lo shock derivato dalla caduta di pressione che si ha al momento del rilascio della bottiglia, questa fase viene attuata in maniera lenta e progressiva, in modo da evitare la formazione di schiuma.

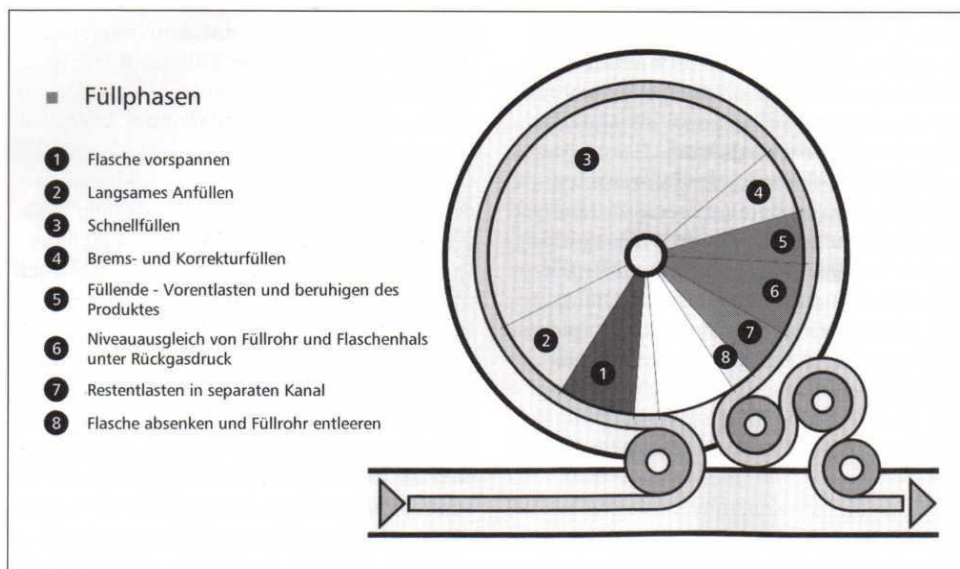


Figura 7: Schema delle diverse fasi di riempimento effettuate dall'impianto di riempimento isobarico Innofill DRF della ditta KHS. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 250.

Come nel caso del metodo classico, seguono le operazioni di tappatura, gabbiettatura, etichettatura e confezionamento.

2.7 Metodo del travaso

Questa tecnica combina i vantaggi del metodo classico (elevata superficie di contatto lievito-vino) con quelli del metodo charmat (possibilità di trattamento del vino prima dell'imbottigliamento definitivo): si possono infatti effettuare sia un lungo affinamento in bottiglia con conseguente estrazione dei composti derivanti dall'autolisi dei lieviti, ch  tutte quelle operazioni che nel metodo classico sono rese impossibili a causa dal frazionamento della cuvée in singole bottiglie.

La tecnica del travaso  , nelle prime fasi, omologa al metodo classico. Dopo il periodo di affinamento in posizione orizzontale le bottiglie non subiscono per  il remuage, bensì la sboccatura e il vino viene trasferito in condizioni isobariche all'interno di un autoclave (**figura...Bach p 149**) (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 129).

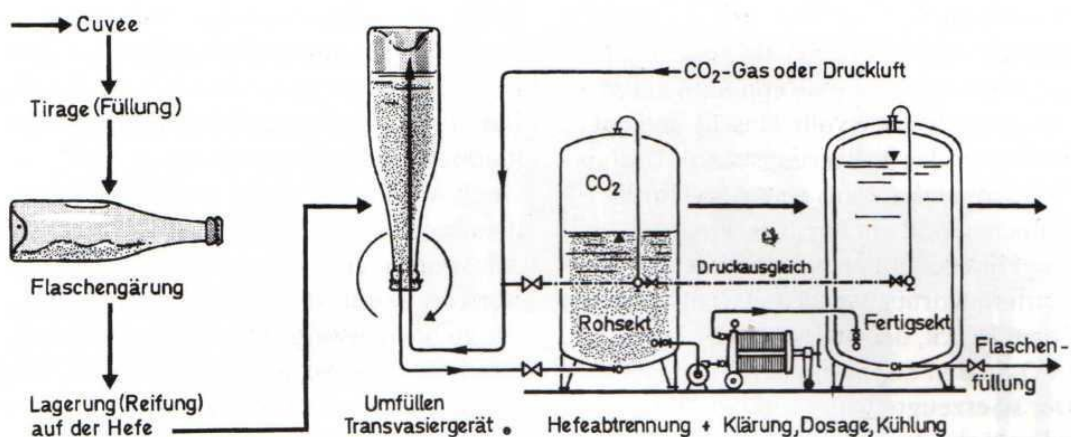


Figura 8: Schema delle operazioni effettuate tra la fine dell'affinamento in bottiglia e l'imbottigliamento finale nel metodo del travaso. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 137.

La massa di vino viene omogeneizzata e raffreddata; si effettuano poi le dovute stabilizzazioni e la filtrazione (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 137). Quest'operazione permette di evitare la pratica del remuage, molto onerosa sia in termini di manodopera che di spazio.

Dopo l'aggiunta della *liqueur d'expédition* il vino viene imbottigliato e confezionato utilizzando macchinari analoghi a quelli impiegati nel metodo charmat.

2.8 Vini prodotti con aggiunta di CO₂ esogena

Per carbonicazione si intende la dissoluzione fisica di anidride carbonica all'interno di una bevanda. Il libro "Alkoholfreie Getränke: Rohstoffe, Produktion, lebensmittelrechtliche Bestimmungen" (Schumann, 2002) specifica che i fattori che influenzano il processo di carbonicazione sono: temperatura, pressione, coefficiente di assorbimento del gas, superficie di contatto e tempo di contatto.

Come già discusso in precedenza, al diminuire della temperatura la solubilità dei gas nel liquido aumenta, e un aumento della pressione determina un aumento della quantità di gas assorbito dalla bevanda. Il coefficiente di assorbimento è una caratteristica del liquido, la quale esprime la sua capacità di adsorbire i gas. A parità di volume di liquido, maggiore è la superficie di contatto tra la bevanda da saturare e il gas, minore è lo spessore del liquido entro il quale la CO₂ deve diffondere (dentro al quale si forma un gradiente di concentrazione del gas: massima verso la superficie di contatto e minima nella parte distale del contenitore) e quindi maggiore è la quantità di CO₂ che viene solubilizzata nell'unità di tempo (Schumann, 2002). Se si utilizzano tecniche che prevedono la formazione di grosse turbolenze all'interno del liquido lo strato ove è presente tale gradiente di concentrazione si assottiglia di molto, aumentando così la velocità di assorbimento. A parità di volume di gas insufflato, minori sono le dimensioni delle bolle formate e maggiore è la superficie di contatto tra il gas e il liquido, quindi maggiore è la velocità di saturazione.

2.8.1 Sistemi di carbonicazione

Le tecnologie a disposizione del produttore per effettuare l'aggiunta di un'esatta dose di gas sono le seguenti:

- sistemi basati sull'impiego di un serbatoio;
- sistemi ad ugelli;
- sistemi a nebulizzazione;
- sistemi a piastre;
- pompe di saturazione;
- cavitatori.

Nella scelta del sistema da impiegare giocano un ruolo fondamentale la facilità di pulizia, la qualità del prodotto ottenuto e il rendimento della macchina (varia molto da sistema a sistema ed è normalmente del 70-90%) (Schumann, 2002). Maggiore è il rendimento di un impianto di carbonicazione e minore è la pressione di saturazione necessaria per sovrasaturare la bevanda con una determinata quantità di gas. Una minore pressione di esercizio si traduce nei seguenti vantaggi durante la fase di imbottigliamento mediante riempitrice isobarica:

- aumento della velocità di imbottigliamento: diminuiscono il tempo di messa in pressione della bottiglia precedente la fase di riempimento e il tempo di rilascio del contenitore (caduta di pressione);
- maggiore stabilità della bevanda al momento del rilascio della bottiglia (minor produzione di schiuma);
- minore usura delle componenti meccaniche della riempitrice.

2.8.2 Sistemi basati sull'impiego di un serbatoio

Questi sistemi di carbonicazione prevedono l'utilizzo di un'ampia superficie di contatto tra liquido e gas e si dividono in impianti integralmente statici e impianti con corpi rotanti.

Alla prima categoria appartengono i sistemi più antichi e di semplice costruzione. Al fine di impedire alla bevanda di assorbire i gas già presenti nel sistema prima dell'inizio del processo (ovvero l'aria), bisogna attuare una presaturazione che ne preveda la sostituzione con la CO₂ di processo. Si procede con la carbonicazione vera e propria, durante la quale la temperatura viene mantenuta costante e il gas di processo viene introdotto nello spazio di testa del serbatoio. Si attende finché la pressione parziale del gas nel liquido eguaglia quella del gas nello spazio di testa e, nel caso in cui esse non corrispondano alla pressione prescelta, si procede con una nuova iniezione di CO₂.

I sistemi con corpi rotanti prevedono invece l'iniezione del gas dal fondo del contenitore in cui è contenuto il liquido da saturare. Come già accennato in precedenza, minori sono le dimensioni delle bolle formate e maggiore è la superficie di scambio tra gas e liquido. Le bolle sono quindi frammentate e, siccome durante la loro risalita verso la superficie del liquido esse tenderebbero a ricondensarsi tra loro, questa operazione

viene svolta da più miscelatori consecutivi installati nel contenitore. Lo stesso principio viene applicato anche ai sistemi dinamici, nei quali le tubazioni sono fornite di statori che garantiscono lo sminuzzamento delle bolle.

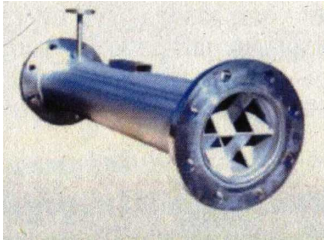


Figura 9: Esempio di statore applicato ad una tubazione al fine di garantire la rottura delle bolle in elementi più piccoli. Fonte: Appunti di lezione, professor ing. Mark Strobl, Geisenheim.

Una volta raggiunto lo spazio di testa del serbatoio il gas viene prelevato e reiniettato sul fondo del contenitore. Il rendimento di questo sistema diminuisce drasticamente se il flusso del gas non è costante, quindi è necessario garantire un'insufflazione omogenea e il ricircolo continuo del gas non ancora disciolto.

2.8.3 Sistemi a ugelli

Questi sistemi sono tanto antichi quanto quelli che prevedono l'impiego di un serbatoio, ma vengono tuttora utilizzati soprattutto per la carbonicizzazione della birra (R. Kalinowski, Brauindustrie 12, 2001, p 15) . Essi si basano sullo stesso principio dei sistemi con serbatoio a corpi rotanti, solo che in questo caso la formazione di bollicine sottili è garantita da degli ugelli posti sul fondo del contenitore.



Figura 10: Esempi di ugelli impiegati nella carbonicizzazione delle bevande. Fonte: Appunti di lezione, professor ing. Mark Strobl, Geisenheim.

Al fine di aumentare ulteriormente il rendimento degli impianti di carbonicazione sono stati messi a punto anche sistemi cosiddetti a nebulizzazione, a piastre e quelli che prevedono l'impiego di una pompa di saturazione (Schumann, 2002).

2.8.4 Sistemi a nebulizzazione

Gli impianti a nebulizzazione vengono utilizzati per la carbonicazione di bevande pronte e sono formati da due serbatoi di saturazione che permettono di lavorare in due fasi. Ogni serbatoio è dotato, al proprio interno, di una tubazione di acciaio forata. Il contenitore viene saturato con il gas di esercizio e portato ad una pressione stabilita, mentre la bevanda viene pompata all'interno della tubazione d'acciaio forata. La presenza dei fori causa la nebulizzazione del liquido, il quale assorbe grandi quantità di gas.

Il principio su cui si basa questa tecnologia è simile a quello dei sistemi ad ugelli, solamente che è applicato in maniera opposta: minori sono le dimensioni delle goccioline di liquido prodotte e maggiore è la superficie di contatto tra liquido e gas, quindi minore è il tempo di contatto necessario al raggiungimento dell'equilibrio tra le pressioni parziali.

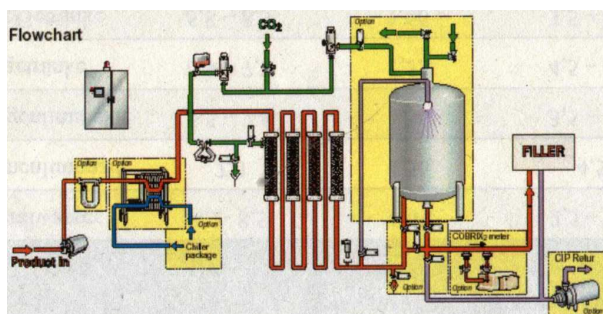


Figura 11: Schema di un sistema di carbonicazione per nebulizzazione. Fonte: Appunti di lezione, professor ing. Mark Strobl, Geisenheim.

2.8.5 Sistemi a piastre

Si tratta di una tecnologia coperta da brevetto che è impiegata perlopiù per la saturazione di bevande finite. Le piastre, inserite all'interno di un serbatoio, sono poste

una affianco all'altra e sono conformate in maniera da causare forti turbolenze nel flusso che scorre sulla loro superficie. All'interno del sistema di piastre viene fatto scorrere il liquido e contemporaneamente viene iniettato il gas di processo. Quest'iniezione può essere svolta in più fasi all'interno del pacco di piastre, in modo che il liquido, lungo il suo percorso, assorba dosi crescenti di CO₂. In questo caso l'efficacia è massima. Un altro vantaggio di questa tecnologia sta nel fatto che è polifunzionale: lo stesso sistema di piastre può essere impiegato per altre operazioni, come la pastorizzazione e il raffreddamento delle bevande pronte, prima che esse vengano carbonicate.

2.8.6 Pompe di saturazione

Questo sistema prevede l'utilizzo di una pompa volumetrica a pistoncini seguita da una stazione di carbonicazione a ugelli, da un sistema di riduzione della pressione con asporto del gas non solubilizzato e un contenitore di accumulo per il prodotto finito.

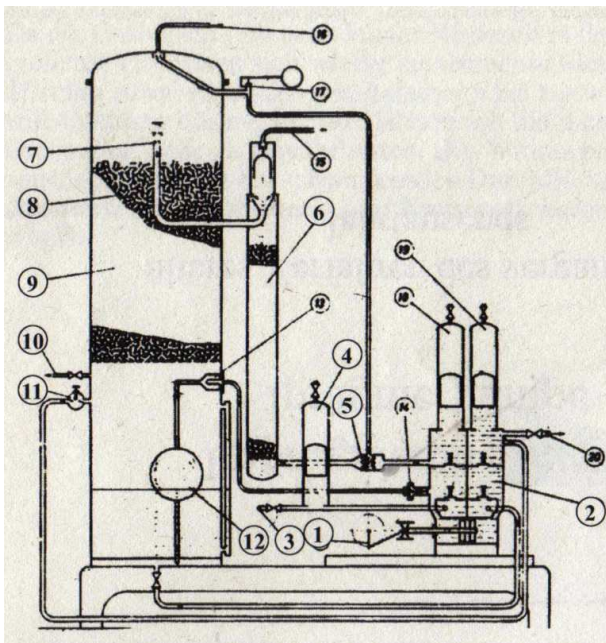


Figura 12: Schema di un impianto di carbonicazione con pompa di saturazione. (1) Trasmissione in bagno d'olio. (2) Alloggio della pompa di saturazione munito di valvole. (3) Entrata del liquido. (4) Campana di compensazione posta sul lato di aspirazione. (5) Iniettore. (6) Separatore di fase liquido-gas. (7) Irroriatore. (8) Elementi di porcellana. (9) Serbatoio di raccolta. (10) entrata della CO₂. (11) Valvola di sicurezza per la sovrappressione. (12) Galleggiante. Fonte: Appunti di lezione, professor ing. Mark Strobl, Geisenheim.

La pompa è solitamente munita di campane di compensazione della pressione, al fine di minimizzare il fenomeno della pulsazione della mandata tipico delle pompe

volumetriche (De Vita, P. & De Vita, G., 2007). Essa preleva il liquido da un serbatoio munito di galleggiante, il quale ha il compito di interrompere il flusso nel caso in cui il livello scenda sotto una soglia fissata, evitando così che la pompa aspiri dell'aria. La bevanda viene convogliata nel canale di mandata, dove degli iniettori provvedono ad insufflare CO₂ ad una determinata pressione.. Il liquido passa poi nel separatore di fase regolabile: esso serve a separare il gas non ancora disciolto dal liquido. Nel caso in cui l'impianto venga utilizzato per effettuare una presaturazione, avente lo scopo di sostituire l'aria di cui è saturo il prodotto con la CO₂ di processo, il separatore viene fatto lavorare al massimo, mentre durante la saturazione vera e propria la sua azione è minima. Segue una camera riempita di pezzi di porcellana cavi, i quali creano forti turbolenze all'interno del flusso, massimizzando così il contatto tra liquido e gas. La bevanda raggiunge infine il serbatoio di accumulo del prodotto finito, il quale è munito di valvole di sicurezza per il rilascio dell'eventuale eccessiva pressione.

E' possibile installare una tubazione per il ricircolo del liquido, in modo da sottoporlo a più fasi di carbonicazione successive.

2.8.7 Cavitatori

La cavitazione prevede la produzione di zone a bassissima pressione all'interno di un liquido, operata attraverso il repentino abbassamento di pressione dello stesso. La bassissima pressione formatasi in queste microzone causa la formazione di bolle, le quali poco dopo implodono quando la pressione risale tanto bruscamente quanto era precedentemente crollata.

La bevanda tranquilla viene inserita ad alta pressione nel cavitatore e il gas viene iniettato tramite dei microjet. Grazie all'impiego di ultrasuoni vengono prodotte all'interno della bevanda repentine oscillazioni di pressione, le quali causano la formazione delle predette aree a bassa pressione. L'implosione di queste aree causa forti onde d'urto, le quali rompono le bolle del gas insufflato, sminuzzandole e disperdendole all'interno del liquido. In questo modo aumenta la superficie di contatto tra liquido e gas e aumenta così la velocità di assorbimento.



Figura 13: Esempio di impianto di cavitazione. Fonte: Appunti di lezione, professor ing. Mark Strobl, Geisenheim.

I cavitatori possono essere impiegati per molte operazioni, come la solubilizzazione di gas e Sali all'interno di un liquido, l'omogeneizzazione dei prodotti, la degassificazione di bevande.

3 VINI SPUMANTI: LA SCHIUMA E L'EFFERVESCENZA

3.1 Schiuma ed effervescenza

La caratteristica che distingue i vini spumanti dai vini tranquilli è l'effervescenza (dal latino *effervescere*: bollire) dovuta alla presenza di bolle di CO₂ che risalgono attraverso il mezzo liquido. L'effervescenza può essere definita come il progressivo rilascio delle molecole di CO₂ disciolte nel mezzo liquido responsabili della formazione delle bolle, le quali vengono prodotte appena la bottiglia di vino viene stappata.

Una volta che le bolle raggiungono l'interfaccia tra liquido e atmosfera danno origine alla schiuma.

La schiuma è un sistema a due fasi (bolla e gas atmosferico) separate da un sottile strato di liquido chiamato fase lamellare. La formazione della schiuma dipende dall'interazione tra un complesso sistema di fattori che comprende: gas, liquidi e solidi (sostanze tensioattive.)

Il numero, le dimensioni e la distribuzione delle bolle determinano la tessitura della schiuma (Wilde PJ & Clark DC, 1996). Essa è intrinsecamente instabile, in quanto la tensione superficiale della bolla contrasta le forze necessarie al suo mantenimento, conducendola così al collasso.

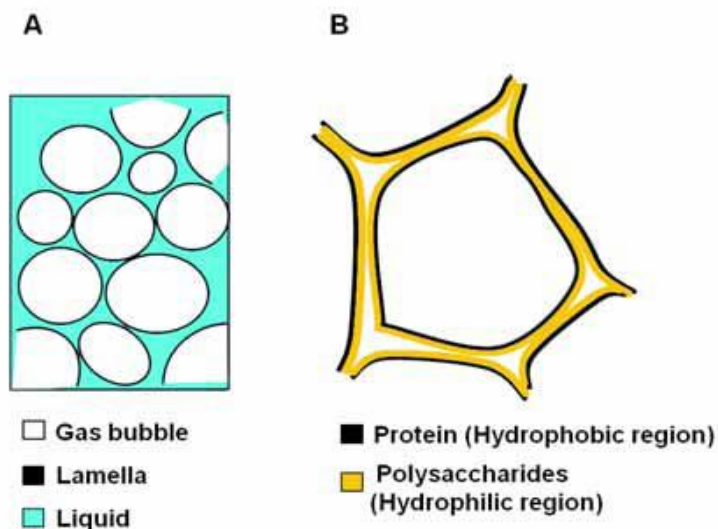


Figura. 14: (A) Struttura della schiuma. (B) Struttura della bolla: distribuzione delle glicoproteine. I polisaccaridi idrofilici sono orientati verso il liquido, mentre le proteine idrofobe verso l'interno della bolla.

Fonte: Blasco et al., Int Microbiol vol.14, 2011, p 63.

3.2 Lo sviluppo dell'effervescenza

Quando viene aperta una bottiglia di spumante, la CO_2 viene rapidamente rilasciata a causa della differenza di pressione tra l'interno del contenitore e l'atmosfera. Essa viene ceduta grazie a due meccanismi: per diffusione attraverso l'interfaccia tra liquido e atmosfera e grazie alla formazione di bolle. Nell'ultimo caso le molecole di CO_2 vengono imprigionate in bolle che salgono verso la superficie del liquido resistendo, per un limitato lasso di tempo, alla differenza di pressione presente tra l'interno e l'esterno della bolla.

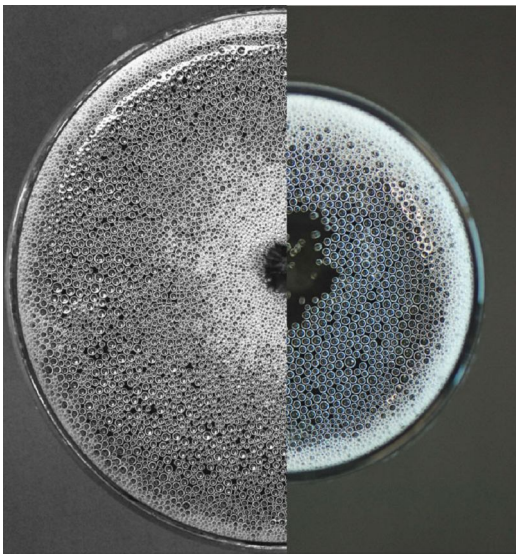


Figura 15: Distribuzione delle bolle di schiuma sulla superficie dei un vino Champagne a 30 secondi dalla stappatura della bottiglia e servito in un bicchiere a coppa (sinistra) e in un flute (destra). Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 54.

Dal momento dell'apertura della bottiglia sono distinguibili, per quanto riguarda la liberazione dell'effervescenza e quindi la formazione della schiuma, due fasi temporali: dapprima decompressione dell'anidride carbonica che era imprigionata nella bottiglia in condizione di sovrasaturazione da origine ad una schiuma abbondante. Queste bolle collassano però in pochi secondi, lasciando spazio alla seconda fase, quella caratterizzata da una traccia circolare di bolle detta corona lungo il perimetro del bicchiere. (Evans E & Bamforth CW 2009).

Processo di formazione delle bolle

Per la creazione di un'interfaccia liquido-CO₂ è necessaria una quantità considerevole di energia, che viene ridotta grazie ai fenomeni di nucleazione. Secondo Ribéreau-Gayon, P. et al (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, pp 514, 515) nel vino si possono avere due tipi di nucleazione: la nucleazione indotta omogenea e la nucleazione indotta eterogenea. Nel primo caso si parla di bolle madri che si formano direttamente a partire dal gas disciolto, previa agitazione della bottiglia (ad esempio durante la fase di trasporto). Le bolle madri si dividono per formare delle bolle figlie, parte delle quali vengono stabilizzate dal contatto con le proteine e le sostanze tensioattive e galleggiano in superficie. Quando la bottiglia viene aperta la caduta di pressione fa esplodere queste bolle superficiali, che creano delle altre bolle figlie, le quali esplodono a loro volta, dando così origine ad un fenomeno a catena detto *gerbage* (zampillo).

Nel caso della nucleazione eterogenea indotta, che tra i due fenomeni è quello più comune, le bolle visibili si originano a partire da microbolle di CO₂ che crescono in punti di ruvidità chiamati siti di nucleazione (Liger-Belair G. et al. 2002). Tali siti consistono in particelle di forma irregolare presenti in sospensione nel vino, oppure in regioni di particolare ruvidità (graffi, crepe o incrostazioni) presenti sul vetro del bicchiere o della bottiglia. Il numero e il raggio di curvatura delle microcavità sono parametri fondamentali che influenzano il numero, la frequenza e la dimensione delle bolle formate, tanto quanto la composizione del vino stesso (viscosità e composizione chimica). Come risultato della decompressione dovuta all'apertura della bottiglia le microbolle create cominciano a crescere di diametro, rimanendo attaccate alla superficie di base finché non raggiungono una dimensione definita raggio critico. A quel punto si staccano e cominciano a salire in superficie. Durante l'ascensione la loro dimensione continua ad aumentare. Tale aumento di dimensioni è dovuto al fatto che la pressione parziale della CO₂ del vino è superiore a quella dell'anidride carbonica presente nelle bolle (Ucke C. & Schlichting HJ, 1997).



Figura 16: Catena di bolle formate in successione da un unico punto di ruvidità. E' evidente come la loro dimensione aumenti durante l'ascesa. Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 47.

3.3 L'instabilità della schiuma

Come già detto in precedenza la schiuma è una formazione intrinsecamente instabile. Le modalità con cui le bolle collassano è definito nel vino attraverso tre parametri (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 515):

1. *sproporzionalità*. Il gas di una bolla passa verso un'altra bolla più grande che cresce ulteriormente. Questo fattore conduce ad una spuma irregolare e grossolana, di cattiva qualità visiva;
2. *drenaggio*. Rappresenta la quantità di liquido che defluisce dalla spuma in funzione del tempo. Conduce ad una riduzione di volume della spuma, con deformazione delle bolle. La spuma tende a diventare secca (la schiuma della birra ne è un buon esempio);

3. *fusione*. La rottura della pellicola che separa due bolle conduce alla costituzione di una bolla unica di grandi dimensioni. La conseguenza è la formazione di una spuma grossolana che sparisce rapidamente.

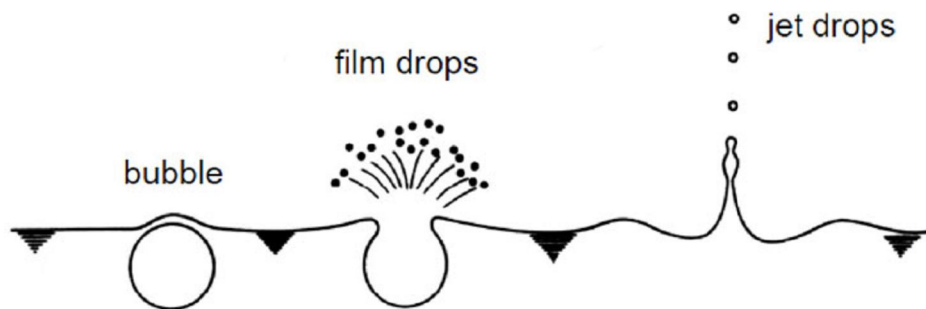


Figura 17: Esplosione di una bolla. Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 70.

3.4 Fattori influenzanti la qualità dell'effervescenza e della schiuma

Negli ultimi anni sono state condotte molte ricerche al fine di stabilire gli aspetti chimico-fisici influenzanti l'effervescenza dei vini spumanti e di indagare, capire e meglio illustrare tutti i parametri implicati nel fenomeno di formazione delle bolle.

Una parte consistente della conoscenza derivata dagli studi in questo campo nell'ultima decade è stata generata da Liger-Belair e collaboratori. Recentemente è stata redatta una review della maggior parte degli studi effettuati su Champagne e vini spumanti (Liger-Belair, Polidori, & Jeandet, 2008). Inoltre alcune recenti ricerche si sono poste l'obiettivo di conoscere l'effetto della CO₂ su alcune caratteristiche dei vini spumanti, quali l'aroma, il flavour (Marchal, Rondot, Thuillier, Arnould, & Jeandet, 2008a; Guichard, Roudnitzky, Valentin, & Brun, 2008) e il colore (Marchal, Rondot, Thuillier, Arnould, & Jeandet, 2008b).

Secondo Viaux et al. (1994) la qualità della schiuma è determinata dall'equilibrio tra le concentrazioni in cui sono presenti svariati composti organici. Questo concetto emerge anche dai lavori di Brissonnet and Maujean (1991) e Andre´s-Lacueva et al. (1996a), nei quali si riporta che la qualità della schiuma non è dovuta alla presenza o l'assenza di specifici composti, bensì all'equilibrio di concentrazione di un elevato numero di molecole organiche di varia struttura.

Dalla messa a punto della tecnica Mosalux (Maujean et al. 1990), che consente di misurare oggettivamente alcuni parametri qualitativi della schiuma, sono stati condotti molti studi per accertare l'influenza dei fattori tecnologici (tecniche enologiche e composizione chimica dei vini) sulla qualità della schiuma.

3.4.1 Influenza delle scelte di produzione

Col termine “scelte di produzione” si intende l'insieme delle decisioni agronomiche ed enologiche che determinano la produzione dapprima dell'uva e successivamente del vino.

La prima scelta che un produttore deve fare quando decide l'obiettivo enologico da raggiungere è quella della varietà da coltivare per la produzione del vino da spumantizzare. Sono presenti svariati lavori che illustrano come ogni varietà di uva possa dare un diverso contributo alle caratteristiche della schiuma del vino spumante da essa ottenuto (Pueyo, Martin-Alvarez, & Polo, 1995; Andres-Lacueva et al., 1996; Andres-Lacueva et al., 1997 ; Lopez-Barajas et al. 1998; Girbau-Sola et al., 2002a; Girbau-Sola et al. 2002b).

La seconda importante scelta agronomica riguarda la quantità di uva prodotta per unità di superficie o per pianta. Malgrado ciò che si possa pensare la schiuma non pare però essere influenzata dalla resa di uva per ettaro (Pozo-Bayon, Polo, Martin-Alvarez, & Pueyo, 2004).

Gli studi di Gallart et al. (Gallart M. et al., 2004) hanno confermato l'influenza non solo della varietà e dell'annata di vendemmia sia sui parametri misurati tramite Mosalux, sia su quelli individuati tramite analisi sensoriale, ma anche quella dell'epoca di vendemmia. E' emerso infatti che i campioni vinificati a partire dalle uve vendemmiate più tardivamente producono una schiuma di qualità inferiore agli altri, soprattutto per quanto riguarda la completezza e l'estensione della corona, l'impressione generale ed i valori HS e TS (misurati tramite Mosalux).

Non è da sottovalutare l'effetto della sanità delle uve, in particolare degli attacchi di Botrytis cinerea (Cilindre, Castro, Clement, Jeandet, & Marchal, 2007; Marchal et al., 2001), la quale, grazie ai propri enzimi proteolitici, cambia sensibilmente il contenuto in proteine ed alfa-amminoacidi del mezzo (Marchal et al., 2006).

La tecnica enologica per la produzione di vini spumanti gioca un ruolo centrale sulla formazione della schiuma: ogni intervento effettuato sul vino base, come ad esempio le chiarifiche, le stabilizzazioni e le filtrazioni, hanno effetti diretti sul contenuto di molecole influenzanti le caratteristiche della schiuma dei vini (Marchal R. et al., 2002; Dambrouck T. et al., 2005; Vanrell et al., 2007). Variando le concentrazioni di tali molecole si modificano i predetti equilibri tra sostanze chimiche e si hanno effetti sensibili sulla qualità della schiuma (Viaux et al., 1994).

Altre scelte enologiche che influenzano la composizione chimica del vino sono quelle attuate nella fase di presa di spuma.

Il ceppo di lievito utilizzato per la rifermentazione ha sicuramente effetti decisivi sulle caratteristiche dell'effervescenza, in quanto ogni ceppo è caratterizzato da una diversa tendenza all'autolisi, con conseguente diverso rilascio di macromolecole parietali (Nunez, Carrascosa, Gonzalez, Polo, & Martinez-Rodriguez, 2005).

Circa l'influenza che la durata della fase di affinamento del vino dopo la fine della rifermentazione alcolica ha sulla schiuma, sono stati espressi pareri contrastanti. Dai risultati dalle ricerche di Andres-Lacueva et al. (1996) si evince una correlazione negativa tra HM e HS misurate durante un periodo di affinamento tra 3 e 9 mesi di vini spumanti metodo classico: il valore HM diminuisce, mentre TS aumenta. Ciò significa che nel corso del tempo la quantità di schiuma prodotta diminuisce, mentre aumenta la sua persistenza. Secondo gli studi di Gallart et al. (Gallart M. et al., 2004) non sono state invece trovate differenze significative tra tali valori durante il periodo di affinamento tra 12 e 48 mesi.

3.4.2 Influenza della composizione chimica del vino

L'influenza della composizione chimica dei vini sulle caratteristiche della schiuma è stata studiata da molti autori.

I composti azotati, soprattutto alfa-amminoacidi, e i polisaccaridi sono stati positivamente correlati con la formazione e la stabilità della schiuma (Andres-Lacueva et al. 1996; Andres-Lacueva et al. 1997; Lopez-Barajas et al. 1998; Moreno-Arribas et al. 2000). L'influenza delle proteine su questi parametri è invece ancora da accertare, dal momento che alcuni autori hanno trovato correlazioni positive (Pueyo et al., 1995)

ed altri negative (Andres-Lacueva et al. 1996). Secondo il Trattato di Enologia I (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, pp 515, 516) la caratteristica che distingue il tipo d'influenza che ogni proteina ha sull'effervescenza e sulla schiuma è la solubilità. Ogni proteina ha una determinata struttura chimica, che le conferisce uno specifico pH isoelettrico. Grazie a questa caratteristica specifica ogni proteina presenta sulla sua superficie, a un determinato valore di pH, più o meno cariche positive o negative. Il vino è formato perlopiù da acqua e alcol, due sostanze polari; per questo motivo nel vino le molecole sono tanto più solubili quanto maggiore è la loro carica elettrica. Sembra che le proteine attive sull'effervescenza abbiano pH isoelettrici simili a quelli del vino (2,5-3,9), caratteristica che conferisce loro, in quell'intervallo di pH, una bassa carica elettrica. Ciò ne aumenta il carattere idrofobo penalizzandone la solubilità.

Ribéreau-Gayon, P. et al (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 516) proseguono spiegando che grazie alle proprie caratteristiche idrofobe, una proteina può essere adsorbita sulla superficie delle bolle, diminuendo così la tensione superficiale e stabilizzando la bolla stessa. La capacità delle proteine di "farsi adsorbire" non è però dovuta solamente alla loro carica elettrica, ma anche al loro peso molecolare: più la proteina è piccola e più viene adsorbita facilmente dall'interfaccia. Le glicoproteine hanno un effetto sulla schiuma ancora più accentuato perché la frazione ossidico-idrofila accresce la viscosità della pellicola liquida tra le bolle e riduce il fenomeno di drenaggio della fase liquida della schiuma.

La teoria esposta nel Trattato di Enologia I (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007) trova conferma in alcune pubblicazioni, dove si afferma che ogni molecola debba essere valutata secondo la propria struttura chimica: ci sono proteine che favoriscono la formazione delle bolle ma non riescono a stabilizzare la schiuma, mentre altre che hanno scarso effetto sulla formazione delle bolle, hanno invece ottime capacità stabilizzanti nei confronti della schiuma (Ferreira IM et al. 2005; Wilde PJ & Clark DC, 1996).

L'influenza del contenuto lipidico del vino sulle caratteristiche della schiuma è tuttora da chiarire. Dussaud et al. (1994) hanno stabilito che l'aggiunta di un miscuglio di lipidi di diversa natura al vino non modifica le caratteristiche del perlage, mentre Pueyo et al. (1995) hanno verificato che i contenuti totali di acido linolenico e acido palmitico influenzano positivamente la stabilità e l'altezza della schiuma nei vini Cava. Uno

studio più recente (Gallart et al., 2002) ha confermato che non vi è alcuna relazione tra il contenuto in acidi grassi e i parametri misurati con la tecnologia Mosalux, mentre è stata trovata una correlazione positiva tra il tenore in esteri etilici degli acidi grassi ed il parametro HM.

Anche alcuni acidi non volatili, come il tartarico e il malico, hanno influenze positive sulla formazione della schiuma (Girbau-Sola et al. 2002b; Lopez-Barajas et al. 1998), mentre l'etanolo, l'acidità volatile e l'anidride solforosa totale danno un contributo negativo a questo parametro (Girbau-Sola et al. 2002b).

3.5 La valutazione della schiuma

Come già affermato, non è raro che i consumatori di spumante giudichino un vino più per l'aspetto visivo che per quello organolettico, quindi è evidente che le caratteristiche della schiuma influenzano profondamente la preferenza di un consumatore per uno specifico vino spumante.

Al fine di correlare le caratteristiche della schiuma con le proprietà chimico-fisiche di un vino sono state messe a punto, negli ultimi anni, tecniche e tecnologie per la valutazione oggettiva della spuma. Le valutazioni oggettive eseguite secondo un metodo standardizzato e ripetibile permettono di mettere differenti vini a confronto. Tra i metodi più impiegati ci sono quelli che prevedono l'analisi della CO₂ uscente dalla bottiglia, quelli basati sull'iniezione di un gas all'interno dei campioni di vino e quelli che prevedono l'analisi di fotografie fatte ai vini adeguatamente preparati.

3.5.1 La tecnologia Mosalux

Formazione e stabilità sono considerati i parametri principali per descrivere la schiuma (Maujean et al. 1990). Maujean et al. (1990) ha ideato una strumentazione automatica per la misura delle proprietà schiumogene dei vini chiamata Mosalux. Questa parola ha una doppia origine: dal greco *mosa* che significa schiuma e dal latino *lux* che significa luce. Infatti questo metodo prevede l'utilizzo di un fascio di luce infrarossa che viene interrotto dalla schiuma prodotta dal campione di vino, dopo l'insufflazione di CO₂.

La predetta procedura di Mosalux (Maujean et al., 1990) è la più utilizzata per l'analisi della schiumosità dei vini in cantina e viene utilizzata su scala industriale seguendo il processo descritto da Poinssaut (1991). La strumentazione necessaria è stata recentemente rivisitata da Martinez-Rodriguez & Pueyo (2009).

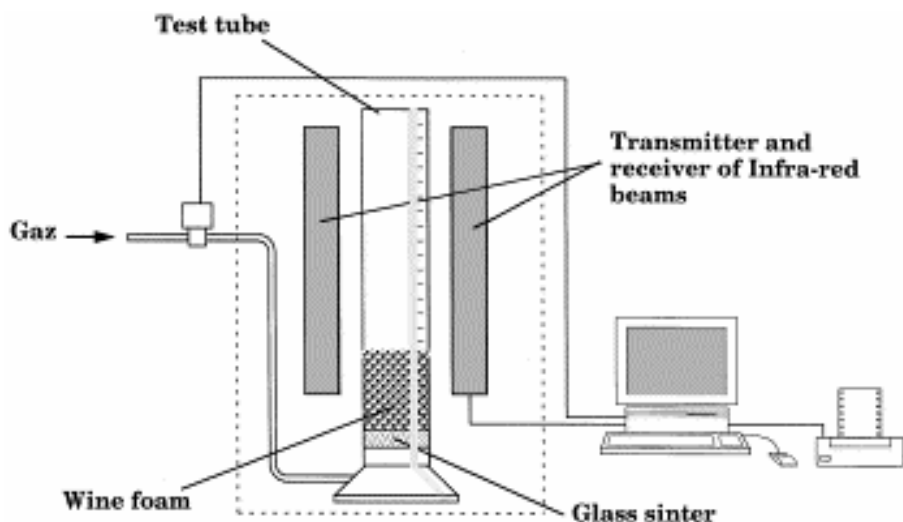


Figura 18: Schema della tecnologia Mosalux. Fonte: Senéa J., Robillard B., Vignes-Adler M., 1999

La procedura è la seguente: un cilindro di vetro viene collegato sul fondo ad un iniettore di CO₂ e viene riempito con 100 ml del vino spumante da analizzare, preventivamente filtrato e degassato. Si procede iniettando 7 l/h di CO₂ alla pressione costante di 100 kPa dal fondo del cilindro e, tramite delle celle fotoelettriche, si misurano tre parametri: HM, HS, TS.

Questi tre parametri sono misurati quattro volte per ogni bottiglia di vino campione e i valori risultanti devono avere una varianza del coefficiente medio <8% per essere considerati attendibili. Di seguito viene fornita una descrizione dei predetti tre parametri:

1. HM (altezza della schiuma), l'altezza massima espressa in millimetri raggiunta dalla schiuma dopo l'iniezione di CO₂. Essa rappresenta la schiumabilità, ovvero la capacità di un vino di dare origine alla schiuma;
2. HS, detta anche coefficiente di Bikerman (Σ), esprime la stabilità dell'altezza della schiuma durante l'iniezione di CO₂, cioè la stabilità della corona o, più in generale, la capacità del vino di produrre una corona stabile;

3. TS (tempo di stabilità della schiuma) è il lasso di tempo espresso in secondi dopo il quale tutte le bolle sono collassate. Esso rappresenta la stabilità della schiuma dal momento in cui l'effervescenza comincia a diminuire.

Un'altra variante di questo sistema utilizza un emettitore-sensore di ultrasuoni e una guida delle lunghezze d'onda per misurare gli stessi parametri della schiuma (Moreno-Arribas et al., 2000). Verifica i riferimenti!

E' stata stabilita una buona relazione tra le proprietà della schiuma ottenute con la tecnologia Mosalux e le valutazioni sensoriali effettuate sui vini, sia nel caso dell'utilizzo della strumentazione dotata di celle fotoelettriche (Gallart et al., 2004), sia nel caso dell'utilizzo degli ultrasuoni (Martinez-Rodriguez & Polo, 2003).

3.5.2 Analisi fotografica

Il metodo dell'analisi di fotografie può essere utilizzato per valutare lo spessore della corona di schiuma prodotta nel bicchiere utilizzando un sistema di visione artificiale (Machet, Robillard, & Duteurtre, 1993; Robillard et al., 1993). Questa tecnologia ha il vantaggio di valutare in tempo reale la qualità della schiuma in condizioni reali (nel bicchiere) semplicemente utilizzando una videocamera.

Essa non è però in grado di valutare l'effervescenza, per la cui stima è ad oggi necessario immortalare il fenomeno fotografandolo ed analizzando in seguito le immagini acquisite. Per lo sviluppo delle fotografie sono disponibili vari programmi, ma il più versatile e il più utilizzato nel campo della ricerca è MATLAB.

MATLAB (abbreviazione di Matrix Laboratory) è un ambiente per il calcolo numerico e l'analisi statistica creato e sviluppato dalla MathWorks. Esso consente di manipolare matrici, visualizzare funzioni e dati, implementare algoritmi, creare interfacce utente, e interfacciarsi con altri programmi. Per via della sua estrema duttilità questo programma può essere utilizzato in un'ampia gamma di applicazioni, tra cui l'elaborazione di segnali e i sistemi di telecomunicazione, l'elaborazione di immagini e video, i sistemi di controllo, test and measurement, la finanza computazionale e la biologia computazionale.

Per la sua versatilità si è deciso di utilizzare MATLAB nello sviluppo di questo lavoro.

Esempi di elaborazione di immagini si possono osservare nel recente lavoro di Liger Blair G., (2012), in cui sono stati indagati differenti aspetti caratterizzanti i vini spumanti. Per esempio è stata impiegata la fotografia ad alta velocità di scatto al fine di immortalare il momento della stappatura.

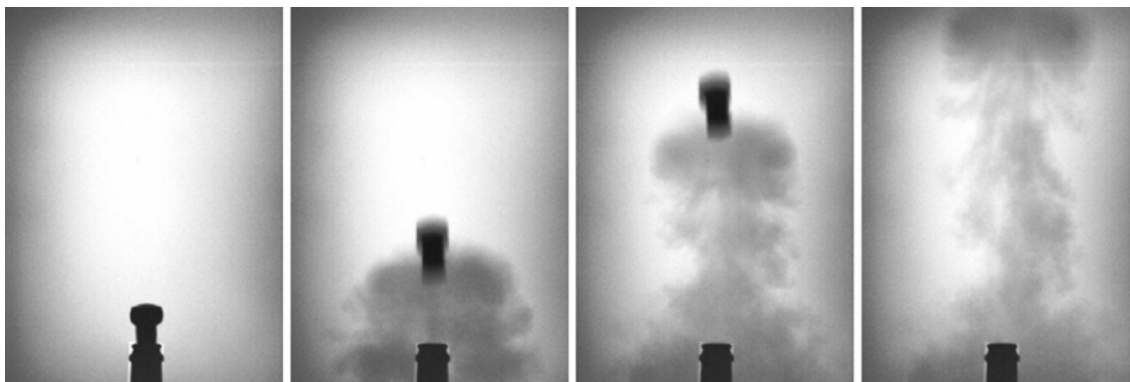
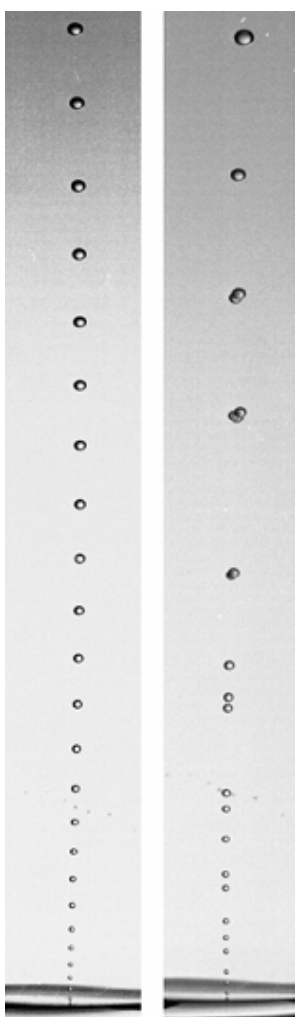


Figura 19: Espulsione del tappo di una bottiglia di vino spumante immortalata grazie alla fotografia ad alta velocità di scatto. Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 14.



Con la stessa tecnica ad alta risoluzione è stato inoltre possibile documentare lo sviluppo di catene di bolle nell'andare del tempo. In questo modo sono state monitorate sia le dimensioni delle bolle che la persistenza del perlage nel tempo.

Un altro fenomeno che è stato indagato all'interno dello stesso lavoro è quello della schiuma. Oltre al monitoraggio del numero e delle dimensioni delle bolle è stato effettuato uno studio del loro comportamento dal momento in cui esse emergono sul pelo libero del liquido a quando esplodono producendo dei zampilli di vino che vengono proiettati verso l'esterno del bicchiere.

In conclusione lo studio di Liger Blair G., (2012) suggerisce che la digitalizzazione di fotografie possa essere utilizzata come tecnologia per il monitoraggio della qualità della schiuma e dell'effervescenza dei vini spumanti.

Figura 20: Catene di bolle sviluppate da un punto di ruvidità posto sul fondo del bicchiere. Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 42.

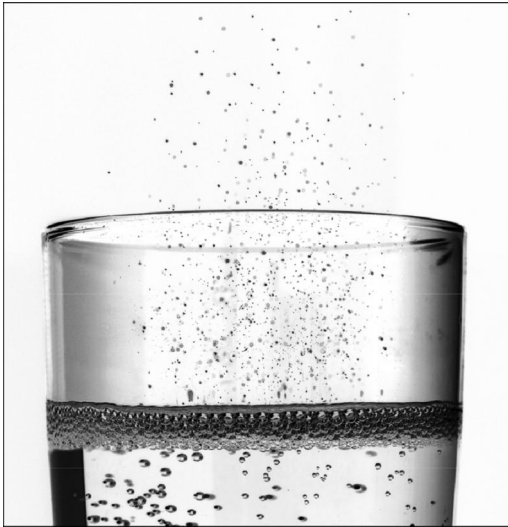


Figura 21: Zampilli prodotti dal collasso delle bolle presenti sulla superficie del liquido. Fonte: Liger Blair G., 2012, p. 74.

3.5.3 Valutazione visiva mediante analisi sensoriale

L'analisi descrittiva della qualità della schiuma e dell'effervescenza è stata definita nel protocollo di Obiols et al. (Obiols J.M. et al. 1998) e da Martinez-Rodriguez & Polo (Martinez-Rodriguez A. & Polo M. C. 2003). Gli attributi e i descrittori fissati per tale analisi possono essere riassunti come segue: formazione iniziale di schiuma (abbondante, normale, povera), corona (totale, parziale, assente), area occupata dalla schiuma (totale, parziale, assente), dimensione delle bolle (piccola, media, grande), velocità dell'effervescenza (veloce, media, lenta). La schiuma e l'effervescenza sono considerati al meglio quando la formazione iniziale di schiuma è abbondante, una corona totale si sviluppa nel bicchiere e copre per la totalità la superficie del vino, le bolle sono piccole e l'effervescenza è veloce.

3.5.4 Correlazione tra dati misurati e analisi sensoriale

I risultati degli studi di Gallart et al. (Gallart M. et al., 2004) evidenziano come vini spumanti aventi valori di HM e TS maggiori facciano riscontrare una schiuma migliore nel bicchiere, soprattutto circa la completezza e la diffusione della corona. Anche la dimensione delle bolle ha un effetto sulla schiuma, in quanto le bolle più piccole

risultano più longeve una volta raggiunta la superficie, contribuendo così per un lasso di tempo maggiore alla formazione della corona. All'interno dello stesso lavoro è stata anche valutata la velocità dell'effervescenza, la quale risultò essere però scarsamente correlabile con i dati ottenuti mediante la tecnologia Mosalux. Lo stesso articolo riporta inoltre che durante l'analisi sensoriale furono riscontrate solo lievi differenze di velocità tra i vari campioni e si ritenne quindi che tale parametro non incidesse sulla qualità della schiuma.

4 LA FISICA DEI GAS

I primi principi della fisica moderna sono stati scritti dal filosofo greco Aristotele oltre 2000 anni fa. La fisica si occupa, partendo dall'osservazione di fenomeni naturali, di determinare dei principi che li possano illustrare e spiegare in maniera oggettiva.

Alcuni di questi principi hanno un'importanza fondamentale per la comprensione dei fenomeni descritti in questo elaborato, e verranno di seguito esposti al fine di favorire la comprensione della tesi.

4.1 principi fisici e leggi riguardanti i gas

Nel libro "Sekt, Schaumwein, Perlwein" (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 393) sono state riassunte le principali leggi dei gas utili dal punto di vista enologico:

- 1660 Boyle-Mariotte scopre che il prodotto della pressione (p) per il volume (v) del gas confinato in un sistema isolato è costante. $P * V = \text{costante}$;
- 1802 Gay-Lussac scopre il coefficiente di espansione termica: il volume di un gas posto a 273,15 K aumenta di $1/273,15$ all'aumentare di un K di temperatura. Se è invece il volume ad essere tenuto costante, la pressione del gas aumenterà dello stesso coefficiente;
- 1803 Henry definisce la proporzionalità della solubilità dei gas in un liquido al variare della propria pressione parziale;
- 1805 Dalton stabilisce che la pressione totale di una miscela di gas è uguale alla somma delle pressioni parziali dei singoli gas;

- 1807 Henry & Dalton scoprono che, in un miscuglio di gas, la solubilità di ogni singolo componente è proporzionale alla sua pressione parziale;
- 1811 Avogadro definisce che per i cosiddetti gas ideali, 1 mol di gas a 0°C e 1013,25 mbar di pressione contiene $6,0221367 \cdot 10^{23}$ molecole e occupa un volume di 22,414 L.

Dopo aver presentato questi principi fondamentali bisogna però capire quali sono le loro applicazioni in ambito enologico.

Le leggi valide per i gas ideali sono ritenute valide anche per i gas reali posti alle condizioni di temperatura e pressione standard: 273,15 K e 1 atm. Tali principi trascurano però due grandezze che influiscono invece sul comportamento dei gas reali posti in condizioni differenti da quelle ora citate. Si tratta nella fattispecie delle forze di coesione tra le molecole e del volume delle particelle stesse (Hering et al, 2004).

J. D. Van der Waals (1837 – 1923) ha quindi corretto l'equazione dei gas ideali in modo che fosse applicabile anche ai gas reali in condizioni diverse da quelle standard. L'equazione che ne deriva tiene conto delle forze di attrazione e repulsione tra le molecole, nonché del volume da loro occupato (Hering et al, 2004).

Equazione dei gas ideali:

$$P * V = n * R * T$$

Equazione di Van der Waals:

$$(P + a / V^2) * (V - b) = n * R * T$$

Dove:

P = pressione assoluta;

V = volume;

n = numero di moli;

R = costante universale dei gas;

T = temperatura;

a = costante caratteristica di ogni gas che esprime l'intensità delle interazioni tra le molecole di quel gas;

b = covolume, cioè volume occupato da una mole di molecole di quel gas.

4.2 Concetto di diffusione

La diffusione è il trasporto di molecole attraverso il movimento termico (Harten, 2005). L'osservazione del comportamento delle molecole di un gas o un liquido mostra che il loro movimento è assolutamente casuale, sia per quanto riguarda il moto complessivo, che per ciò che riguarda la velocità vettoriale delle singole particelle (moti browniani). Per chiarire questa affermazione nella figura 1 è mostrato il movimento browniano di una molecola di azoto, il cui pronostico è stato effettuato mediante un modello stocastico. Il movimento delle molecole è tanto più irruento quanto più piccole sono le particelle e più alta è la temperatura (Scobel et al, 2002): un'alta temperatura corrisponde ad un elevato contenuto di energia.

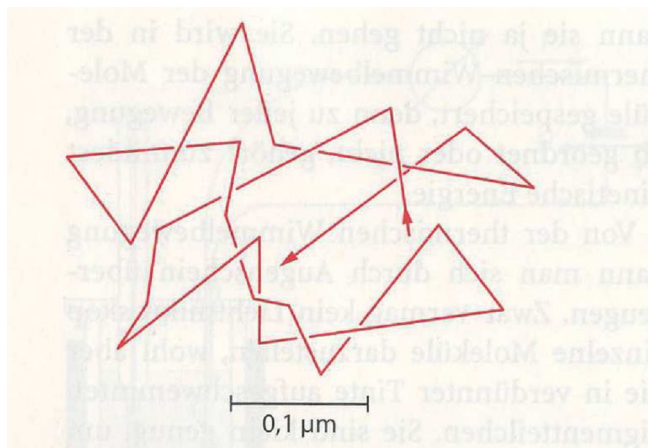


Figura 22: movimento browniano. Fonte: Harten, 2005, p 160.

Il movimento casuale causa un rimescolamento continuo delle particelle di gas all'interno del volume di controllo. Nel caso in cui in tale volume siano presenti molecole di gas diverso, si esse tendono quindi a distribuirsi in maniera omogenea. (Harten, 2005). Ciò è valido tanto per i gas quanto per i liquidi e le sostanze disciolte al loro interno. Una volta in soluzione, quindi, le molecole tendono a distribuirsi omogeneamente all'interno del volume di controllo e la velocità con cui lo fanno dipende da molti fattori. La diffusione termina quando le differenze di concentrazione di quella sostanza all'interno del volume di controllo sono azzerate.

Diminuendo lo spazio che le molecole hanno a disposizione per il loro movimento si registra una diminuzione del loro coefficiente di diffusione, il quale esprime la capacità

di un fluido di diffondersi all'interno di un altro. Questo valore è massimo per i gas, più basso per i liquidi e pari a zero per i solidi (Harten, 2005).

Per verificare la velocità di diffusione si utilizza il concetto di distribuzione della velocità di Maxwell. Questa distribuzione è illustrabile con un diagramma riportante la grandezza e la frequenza delle velocità misurate sulle singole molecole. All'aumentare della temperatura vi è un aumento della distribuzione della velocità, quindi sia la velocità reale delle particelle, sia la loro velocità di diffusione all'interno del volume di controllo aumentano.

La previsione dei movimenti delle singole molecole è molto complicato, in quanto essi sono influenzati da molti parametri, nonché dai continui urti con le molecole vicine.

In passato ci si aspettava di osservare i fenomeni di diffusione solamente nei gas e nei liquidi, ma più recentemente si è scoperto che alle alte temperature essi si possono verificare anche nei solidi. In ogni solido cristallino sono infatti presenti delle lacune vuote che possono essere riempite da altri atomi, permettendo così al fenomeno della diffusione di verificarsi (Dransfeld et al. 1998). La diffusione attraverso le bottiglie di plastica e i tappi di sughero ne è un esempio; la velocità di diffusione dipende perlopiù dalle caratteristiche del materiale.

Matematicamente il fenomeno della diffusione viene descritto attraverso le leggi di Fick, le quali sono state definite da Adolf Fick e in seguito dimostrate teoricamente da Albert Einstein.

Prima legge di Fick

$$J = -D * A * (c_1 - c_2) / x$$

Seconda legge di Fick

$$\delta c / \delta t = -\delta c / \delta x$$

Dove:

J = flusso della specie diffondente ($\text{mol} * \text{m}^2 / \text{s}$);

D = coefficiente di diffusione (m^2 / s);

A = area interessata dalla diffusione (m^2);

c = concentrazione (mol / m^3);

t = tempo (s);

x = distanza (m).

4.3 Velocità di diffusione nel vino

Il vino è poco studiato dal punto di vista della diffusione di sostanze al proprio interno, quindi in letteratura non si trovano dati riguardanti i coefficienti di diffusione dei gas al suo interno. Solitamente, quando si effettuano ricerche riguardanti tali coefficienti, si indagano le caratteristiche di specifici materiali e sostanze. Essendo il vino formato da un complesso sistema di molecole presenti in concentrazioni non sempre uguali e talvolta non stabili nel tempo, risulta un mezzo liquido difficile da standardizzare.

Per capire come si comporta il vino come mezzo di diffusione è quindi necessario verificare come si comportano le sue componenti singolarmente. Le molecole formanti il prodotto vino sono raggruppabili in alcuni insiemi principali: acqua, alcoli, carboidrati, acidi organici, composti azotati, sostanze minerali, polifenoli, aldeidi, acetali, enzimi, vitamine e gas in soluzione (Würdig & Woller, 1989). Ovviamente non tutte le molecole presenti nel vino sono riconducibili a uno di questi gruppi, in quanto sono stati citati solamente i principali.

Per calcolare il coefficiente di diffusione di un gas nel vino si potrebbe fare la media pesata dei coefficienti di diffusione dello stesso gas all'interno di soluzioni standard. Esse dovrebbero contenere i gruppi di composti sopra citati in concentrazioni omologhe a quelle del vino. Attuando questa estrema semplificazione molti parametri verrebbero però tralasciati ed è ancora da dimostrare che il dato così ottenuto, frutto di calcoli ed approssimazioni, possa rappresentare il reale coefficiente di diffusione del gas all'interno del vino (c'è un riferimento?).

4.4 Solubilità e saturazione nel vino

Il termine solubilità di un gas in un liquido indica il massimo volume di gas espresso in litri in grado, a temperatura e pressione determinate, di essere disciolto in un litro di liquido; l'atmosfera presente a contatto col liquido deve essere composta interamente dal gas da disciogliere e dal vapore proveniente dal liquido. In questa situazione il gas

solubilizzato è posto in equilibrio dinamico col gas presente nell'atmosfera sovrastante (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 394). Il processo di diffusione del gas all'interno del liquido è definito assorbimento.

Col termine soluzione si indica un miscuglio di due o più sostanze in cui le dette componenti sono perfettamente mescolate tra loro a livello molecolare (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 391).

Quando il volume di gas disciolto ad una determinata temperatura raggiunge il valore della solubilità, la soluzione si definisce satura. La condizione di saturazione dipende dalla pressione parziale del gas, dalla temperatura, dalle caratteristiche del mezzo liquido e da quelle della sostanza da sciogliere. In base a questi parametri è possibile che la soluzione si trovi in una condizione di non saturazione, saturazione o sovrasaturazione.

La solubilità di un gas in un liquido aumenta all'aumentare della pressione parziale del gas (legge di Henry), al diminuire della temperatura (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, pp 394, 395), nonché all'aumentare del coefficiente di diffusione di quel gas nel mezzo liquido impiegato.

Ciò che è scritto nel libro *Sekt, Perlwein, Schaumwein* (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 396) aiuta a stimare la solubilità di un gas nel vino. La solubilità della CO₂ è maggiore nell'etanolo puro che nell'acqua, ma la solubilità nelle soluzioni idroalcoliche in concentrazione simile a quella dei vini è inferiore a quella fatta registrare nell'acqua: tra 0% vol e 30% vol il dato della solubilità cala, mentre tra 30% vol e 100% vol torna ad aumentare.

Anche l'estratto secco sembra influire sul coefficiente di assorbimento dei gas nel vino, in particolare la concentrazione zuccherina residua. L'influenza che ha questo dato sul coefficiente di assorbimento è trascurabile solamente se ha variazioni molto contenute, mentre variazioni nell'ordine delle decine di g/l causano variazioni percepibili. Si può infatti affermare che all'aumentare dell'estratto secco, ed in particolare del contenuto zuccherino residuo, la capacità del vino di assorbire gas diminuisce (Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 397).

Zuckergehalt g/l	Alkohol %vol				
	10	11	12	13	14
0	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72
10	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
20	0,74	0,73	0,72	0,71	0,71
30	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70
40	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
50	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67
60	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64
80	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63
90	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62
100	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61
110	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60

Tabella 4: Solubilità della CO₂ nel vino (espressa come l CO₂ / l vino) al variare del grado alcolico e del contenuto zuccherino. Fonte: Bach, H.P., Troost, G. & Rhein, O.H., 2010, p 397.

4.5 I gas tecnici in cantina: CO₂, N₂, O₂ e Ar

Ossigeno, anidride carbonica e azoto sono, assieme all'argon, i principali componenti dell'aria che respiriamo e influenzano in maniera determinante il processo di vinificazione. La loro presenza promuove o inibisce, accelera o rallenta il decorso di importanti processi chimici, promuove la formazione o la distruzione di legami tra molecole, influenza profondamente lo sviluppo di microrganismi.

A pressione atmosferica e temperatura ambiente essi si trovano nello stato gassoso; ciò li rende molto mobili e il loro utilizzo mirato nelle diverse fasi enologiche permette di raggiungere l'obiettivo produttivo che l'enologo si è preposto.

4.5.1 Anidride carbonica: CO₂

L'anidride carbonica è la molecola contenente carbonio più stabile dal punto di vista energetico, nonché quella su cui si basa il ciclo naturale del carbonio (Eisenbrand et al, 2006). Essa viene utilizzata dalle piante per produrre molecole organiche ad alto contenuto energetico ed è poi liberata durante i processi di respirazione o fermentazione. Per questo motivo, dopo la fermentazione alcolica, i vini contengono circa 1 – 3 g/l di CO₂ e possono arrivare al momento dell'imbottigliamento con 0,3 g/l

di CO₂ ancora disciolta. Una considerevole quantità di anidride carbonica è liberata anche durante la fermentazione malolattica condotta dai batteri lattici (Würdig & Woller, 1989).

Il contenuto di CO₂ nel vino influenza profondamente lo sviluppo dei microrganismi, in quanto contribuisce a mantenere un ambiente molto riducente. Per tale motivo i lieviti smettono di moltiplicarsi quando il contenuto di CO₂ è di circa 15 g/l, che, alla temperatura di 15°C, corrispondono a circa 7,2 bar. Quando il contenuto di anidride carbonica raggiunge i 30 g/l la fermentazione alcolica si arresta (Dittrich, 1993). La concentrazione di CO₂ non ha solo effetti microbiologici, ma anche organolettici. Essa aumenta infatti la sensazione di freschezza dei vini.

4.5.2 Azoto: N₂

L'azoto gassoso è costituito da una molecola biatomica molto stabile, che costituisce il 78% della frazione volumica dell'aria atmosferica. La stabilità di questo gas è dovuta alla presenza di tre legami covalenti tra gli atomi di azoto.

L'N₂ può essere presente nei mosti e nei vini a causa di aggiunte artificiali o per via del contatto con l'aria, la quale si solubilizza nel mezzo liquido. La stabilità della molecola permette di descrivere l'azoto come un gas inerte, il quale può essere impiegato nel processo enologico al fine di limitare il contatto delle bevande con l'ossigeno, per esempio per saturare lo spazio di testa dei serbatoi. Può anche essere impiegato come sostanza refrigerante.

Gli atomi di azoto sono anche presenti in molte molecole organiche fondamentali per la nutrizione e lo sviluppo dei microrganismi. Alcuni esempi sono gli aminoacidi, le proteine, gli enzimi e gli acidi nucleici (Dittrich, 1977).

4.5.3 Ossigeno: O₂

L'ossigeno è una molecola estremamente reattiva che sta alla base di molti processi chimici e biologici. Esso compone l'aria atmosferica per il 21% V/V. Nei mosti e nei vini l'ossigeno è responsabile dell'ossidazione chimica ed enzimatica di molti composti, dello sviluppo dei microrganismi aerobi, nonché di alcuni metabolismi degli organismi anaerobi facoltativi.

Nei mosti il consumo di ossigeno è essenzialmente dovuto all'ossidazione enzimatica dei composti fenolici mediata da due enzimi: la tirosinasi, presente sull'uva sana, e la laccasi, imputabile alla presenza di Botritis cinerea (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 459). A ciò si deve il fenomeno d'imbrunimento dei mosti.

Nei vini si hanno fenomeni di ossidazione chimica, più lenta di quella enzimatica. L'ossigeno è considerato un blando agente ossidante, ma una volta solubilizzato nel vino è in grado di ossidare delle sostanze dette autossidabili (Fe^{3+} , Cu^{2+}) che formano perossidi instabili, i quali hanno un potere ossidante molto superiore rispetto a quello dell' O_2 (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 415).

L'ossigeno è uno dei reagenti fondamentali nelle reazioni di respirazione dei composti organici, quindi è strettamente legato al metabolismo degli organismi aerobi. Ciononostante anche gli organismi anaerobi facoltativi necessitano, per uno sviluppo ottimale, di una certa quantità di ossigeno. E' il caso dei lieviti che svolgono la fermentazione alcolica, i quali necessitano di ossigeno sia durante la fase di moltiplicazione, per la formazione degli steroli costituenti le membrane cellulari, sia nella fase stazionaria, durante la quale gli steroli sono un fattore di sopravvivenza (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 475).

4.5.4 Argon: Ar

L'argon, un gas nobile avente numero atomico 18, è un elemento chimico estremamente stabile e, poiché non sono ancora noti dei veri composti contenenti questo atomo, viene considerato un gas inerte. E' presente nell'aria atmosferica, di cui è uno dei maggiori componenti (0,94% in volume). Sia nella sua forma liquida che in quella gassosa è inodore e insapore e in acqua è due volte e mezzo più solubile dell'azoto. In quanto molecola molto stabile trova molte applicazioni in diversi settori, che spaziano dalla lavorazione dei metalli alla criochirurgia (in cui si utilizza argon liquido per distruggere le cellule cancerose), dalla datazione delle falde acquifere all'ingegneria civile (dove viene utilizzato come isolante). In ambito enologico viene sempre più impiegato come gas inerte, sebbene un ampio utilizzo risulti ancora ostacolato dagli elevati costi di approvvigionamento.

OBIETTIVI

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di verificare l'applicabilità alla produzione spumantistica delle nuove tecniche di digitalizzazione fotografica per uno studio accurato dei fenomeni di formazione e sviluppo del perlage.

Lo studio procederà innanzitutto alla produzione, su scala di impianto pilota, di vini spumanti gassificati attraverso l'impiego di gas diversi o loro miscele, con la finalità di ottenere dei campioni ben differenziati circa la loro struttura del perlage, sui quali poter testare l'affidabilità e la precisione della tecnica di analisi visiva proposta.

La sperimentazione richiederà innanzitutto di valutare i campioni così preparati secondo i criteri dell'analisi sensoriale "tradizionale" consentendo di definire un ordine di preferenza nella degustazione.

I campioni saranno quindi sottoposti a minuziosa valutazione visiva mediante l'analisi fotografica digitalizzata, individuando e quantificando in tal modo le grandezze più rappresentative dei fenomeni di formazione ed evoluzione del perlage.

Si tenteranno di correlare, infine, i risultati dell'analisi visiva digitale con quelli sensoriali, cercando di stabilire se questo nuovo approccio fotografico possa rappresentare un ausilio oggettivo e poco oneroso nella valutazione della schiumosità dei vini spumanti.

MATERIALI E METODI

La sperimentazione è stata sviluppata secondo le seguenti fasi:

1. Preparazione dei campioni

Presso la cantina di microvinificazione di Geisenheim sono stati preparati cinque diversi vini spumanti con due preparazioni ripetute per ogni prova, per un totale di dieci campioni. Le cinque varianti sono state prodotte mediante gassificazione statica di un vino base tranquillo impiegando gas diversi: nella fattispecie sono stati iniettati CO₂, N₂ e/o Foodpack 6 (50% CO₂, 50% N₂) al fine di ottenere le seguenti sovrappressioni:

<u>Nome prova</u>	<u>Sovrappressione</u>	<u>Pressione parziale</u>
1.1 - 1.2	3 bar	3 bar CO ₂
2.1 - 2.2	5 bar	5 bar CO ₂
3.1 - 3.2	5 bar	3 bar CO ₂ + 2 bar N ₂
4.1 - 4.2	5 bar	3 bar CO ₂ + 2 bar Foodpack 6
5.1 - 5.2	5 bar	5 bar N ₂

Tabella 5: Nome e caratteristiche dei campioni analizzati.

I cinque campioni saranno chiamati: 3 bar CO₂, 5 bar CO₂, 3 bar CO₂ + 2 bar N₂, 3 bar CO₂ + 2 bar Foodpack 6 e 5 bar N₂.

2. Analisi dei prodotti

Durante il processo e sul prodotto finito sono state effettuate delle analisi al fine di verificare la pressione totale, la temperatura e il contenuto di O₂ (mg/l) e CO₂ (g/l), nonché un'analisi sensoriale per verificare la qualità gustativa dei campioni imbottigliati. Fondamentale è stata l'analisi fotografica dei campioni che, versati a turno in un bicchiere prescelto, sono stati filmati e fotografati ad intervalli di tempo prestabiliti.

3. Elaborazione dei dati

Sviluppo dei dati acquisiti con le analisi chimico-fisiche e con la degustazione.

Elaborazione dei video con il programma Advanced X Video Converter al fine di estrapolare dei fermi immagini nitidi e focalizzati su cui poter effettuare la misura dell'altezza massima della schiuma nel bicchiere.

Digitalizzazione delle fotografie mediante il software MATLAB al fine di misurare il numero e la dimensione delle bolle presenti in tre regioni specifiche del bicchiere.

5 MATERIALI

5.1 Materiali impiegati per la preparazione dei campioni

1. Vino base spumante consistente in una cuvée tra vini di differenti varietà, prodotti per scopi sperimentali nella cantina della facoltà di Geisenheim. L'analisi dei principali parametri chimico-fisici del vino hanno portato i seguenti risultati:

Parametro	Dato	Unità di misura
Alcol svolto	11,6	% vol
Alcol totale	12,1	% vol
Estratto totale	30,1	g/l
Estratto secco	21,7	g/l
Estratto ridotto	8	g/l
Zuccheri residui pre inversione	9,4	g/l
Zuccheri residui post inversione	9,4	g/l
Zuccheri fermentescibili	8,4	g/l
pH	3,1	
Acidità titolabile	7,2	g/l H ₂ T
Acidità volatile	0	g/l H ₂ T
Solforosa libera	15	mg/l
Solforosa totale	115	mg/l
Densità relativa	0,9964	
Indice di rifrazione	42,2	

Tabella 6: Analisi chimico-fisica del vino base utilizzato per la produzione dei campioni da analizzare.

Al momento delle analisi il vino base era stabile nei confronti delle precipitazioni sia proteiche che tartariche, quindi pronto per essere impiegato in questo lavoro di ricerca.

2. 10 kegs della ditta Schäfer da 50 l. Sono stati impiegati kegs di due modelli: Plus Kegs DIN 6647-1 (altezza 600 mm, diametro esterno 395 mm, peso 12,3 kg) e Plus Kegs Euro-Form (altezza 532 mm, diametro esterno 425 mm, peso 12,3 kg). Caratteristiche: capacità 50 l, sovrappressione di esercizio 3 bar, massima sovrappressione testata 8 bar, materiale di costruzione Wst. Nr. 1.4301, AISI 304, materiale di isolamento poliuretano.



3. 10 manicotti adattatori per la spinatura del prodotto e l'insufflazione dei gas.
4. Tubi in PVC resistenti alla sovrappressione.
5. CO₂ alimentare della ditta Aligal 2, purezza $\geq 99,9\%$, e inodore, non esplosivo, densità (15°C, 1 bar) 1,85 kg/m³, densità relativa (aria = 1) 1,53, rispettante i canoni di legge previsti per l'utilizzo alimentare.
6. N₂ alimentare della ditta Praxair, purezza $\geq 99,9\%$, e inodore, non esplosivo, densità (0°C, 1 bar) 1,25 kg/m³, rispettante i canoni di legge previsti per l'utilizzo alimentare.
7. Foodpack 6 della ditta Praxair, composto da 50% V/V di N₂ compresso e 50% V/V di CO₂ liquefatta, incolore e inodore, non esplosivo, non ossidante, densità (15°C, 1 bar) 1,51 kg/m³, densità relativa (aria = 1) 1,25, pressione a 20°C 114 bar, rispettante i canoni di legge previsti per l'utilizzo alimentare.
8. Serbatoio della ditta Rieger da 1000 l, mantello refrigerante da 15 l, pressione di esercizio di 5 bar, materiale di costruzione acciaio V2A.

9. Barometro della ditta Barby + Kühner, tipo 300/340 Art 3006, capacità 0-10 bar, classe di precisione 2,5, materiale di costruzione ottone nichelato, raccordo G 1/4 B.



10. Riduttore di pressione con separatore dell'acqua della ditta Güde, 1/4" Nr. 41082.
11. Riduttori di pressione per bombole della ditta GCE Rhöna, modello 0780623, completi di manometro, portata (sovrappressione massima nella bombola) 200 bar, pressione in uscita 0-10 bar, flusso massimo in uscita 30 l/min, temperatura di esercizio compresa tra - 20°C e + 60°C, dimensioni 170 x 210 x 50 mm, utilizzabile per gas non infiammabili.



12. Bilancia elettronica a piattaforma della ditta Volker Prüfer, modello KERN EOS 300K200NXL, dimensioni 900 x 550 x 60 mm, peso 25 Kg, portata 300 Kg, sensibilità +/- 0,2 Kg.



13. Bottiglie per la birra da 0,5 l in vetro marrone aventi le seguenti dimensioni:
altezza 260 mm, diametro 67,5 mm, collo per tappo a corona 26 mm.
14. Tappi a corona da 26 mm.
15. Tappatrice manuale da tavolo della ditta Canelli Tech, modello 3248 per tappi a corona di diametro 26-29 mm.



16. Riempitrice isobarica della ditta KHS, modello Rolatronik provvisto di due stazioni di riempimento di riempimento.



5.2 Materiali impiegati durante le analisi

1. Misuratore del contenuto di CO₂/O₂. Ditta costruttrice: Pentair Haffmans. Modello: c-DGM, utilizzando la versione del software V 2.04.



Questo sistema è predisposto per supportare quattro differenti programmi di misura, ovvero: misura combinata di O₂ e CO₂, misura della CO₂, Misura dell'O₂, misura dell'O₂ in continuo.

Nel menu dello strumento si possono selezionare dieci bevande: al variare delle caratteristiche dei prodotti vengono infatti adottate differenti formule per il calcolo della CO₂, nonché differenti tempi di misura. La pressione totale massima che possono avere le bevande analizzate è di 10 bar.

Al termine della misura l'apparecchio mostra i dati raccolti, dei quali si può impostare l'unità di misura. Le opzioni disponibili sono:

- CO₂ : g/l, kPa; kg/cm²
- pressione: bar, kg/cm², kPa
- temperatura: °C, °F
- O₂: ppb; ppm; mg/l, µg/l.

Se si imposta l'opzione di misura combinata O₂/CO₂, l'apparecchio effettua il seguente processo di lavoro: misura dell'O₂, referto del contenuto di O₂, elettrolisi, pausa per la stabilizzazione della pressione parziale della CO₂ e della temperatura, misura, referto di pressione totale, temperatura e contenuto di CO₂.

Misurazione dell'ossigeno:

In questo apparecchio sono presenti due sensori per la misura dell'ossigeno: il sensore LHO è molto preciso nella misura delle basse concentrazioni di gas, mentre agli altri tenori entra in funzione il sensore WLO. Essi effettuano una misura ottica: uno strato di ossigeno è irraggiato con una radiazione blu, la quale

eccita gli elettroni delle molecole di ossigeno. Quando l'energia assorbita viene rilasciata gli elettroni emettono una fluorescenza rossa, che viene misurata dai sensori. Maggiore è la concentrazione di ossigeno e più intensa è la radiazione rossa.

Misurazione dell'anidride carbonica:

La misura della CO₂ si basa sul principio di Henry: all'aumentare della pressione parziale del gas, aumenta la sua concentrazione nel liquido. Grazie all'elettrolisi lo strumento libera la CO₂ presente nel mezzo, dopodichè ne misura la pressione parziale. Minore è la conducibilità del fluido da analizzare e maggiore deve essere il tempo di elettrolisi. La concentrazione della CO₂ viene calcolata tramite la formula:

$$CO_2[\text{Gewichts}\%] = A \times (p[\text{bar}] + p_{\text{atm}}[\text{bar}]) \times e^{\left(C + \frac{D}{T[^\circ\text{C}] + 273,15} \right)} + E$$

A = fattore di conversione

p = pressione parziale

p_{atm} = pressione atmosferica

C = fattore dipendente dal prodotto

D = fattore dipendente dal prodotto

T = Temperatura del liquido in °C

E = fattore per l'unità di CO₂ p20 (kg/cm²), solo per il Giappone

2. Dispositivo per il prelievo del vino in pressione dalla bottiglia della ditta Haffmans, modello ISD inpack 2000 sampling device. Lo strumento è provvisto di una tubazione per il prelievo dello spumante e la sua conduzione verso l'apparecchio c-DMG (tubo in PVC superiore) e una per il mantenimento della contropressione all'interno della bottiglia (tubo in PVC inferiore).



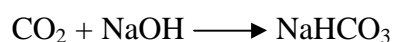
3. Analizzatore di CO₂ 965D



Questo strumento misura la conduttività termica del gas rilasciato dal campione opportunamente trattato con una soluzione acida fornita in dotazione.

I campioni vanno portati ad una temperatura prossima a 0°C, dopodichè i contenitori vanno

stappati ed aggiunti di una soluzione di NaOH 40% P/V in ragione di 18 ml NaOH / 500 ml bevanda. Ciò permette di fissare la CO₂ presente in soluzione tramite la reazione:



50 µl di campione così preparato vanno inseriti nella camera di reazione, la quale viene sigillata da un coperchio scorrevole. A questo punto entra in funzione lo strumento, il quale aggiunge al campione un reagente acido fornito in dotazione, formato da acido lattico ed una soluzione di altre sostanze. Esso accelera la

liberazione della CO₂ disciolta previa diminuzione della sua solubilità nel mezzo. Un agitatore provvede alla miscelazione del campione col reagente acido.



La reazione dura circa 30 secondi, dopodichè un sensore misura la conducibilità termica del gas liberato, dalla quale viene calcolata la concentrazione della CO₂.

Prima dell'analisi del campione successivo si deve attendere un tempo indicato dalla macchina, durante la quale essa svolge un ciclo di pulitura automatica.

Prima dell'uso, lo strumento va tarato con delle soluzioni standard fornite in dotazione.

Lo strumento ha una portata di 0-12 g/l CO₂.

4. Pipetta automatica monocanale della ditta VWR con sistema di scarico, modello numero 613-5262, precisione +/- 0,5%.



5. Puntali in plastica per la pipetta automatica.
6. Vetreria di laboratorio: beute, becker.
7. Fotocamera Casio, modello EXILIM EX-FH20 ad alta velocità di scatto (40 foto al secondo), risoluzione 9,1 megapixel, zoom ottico 20x, video in HD.



8. Fotocamera Panasonic, modello Lumix DMC-TZ6, risoluzione 10,1 megapixel, zoom ottico 12x.



9. Bicchieri in vetro per la degustazione degli spumanti, larghezza massima 55 mm, altezza 79 mm.
10. software Advanced X Video Converter, versione 5.0.1.1;
11. software MATLAB, sviluppato dalla ditta MathWorks.

6 METODI

6.1 Produzione dei campioni

Il vino base tranquillo soddisfaceva già i parametri di stabilità proteica e tartarica richiesti, quindi è stato possibile impiegarlo direttamente per la ricerca. Esso è stato nel serbatoio di acciaio inox da 1000 l di capacità ad una temperatura di 8°C.

Preparazione dei serbatoi

Come prima cosa due kegs sono stati svuotati dall'aria, la quale è stata sostituita dall'azoto di processo, e riempiti con 25 kg di vino tranquillo ciascuno: essi sono serviti alla produzione dei campioni 5.1 e 5.2 (5 bar N₂). Il resto del vino è stato sottoposto a gassificazione mediante iniezione di CO₂ nello spazio di testa, fino al raggiungimento della sovrappressione di 3 bar. La CO₂ è stata prelevata dall'impianto della cantina sperimentale, al quale sono stati collegati il riduttore di pressione Güde e un tubo in PVC: il riduttore di pressione è stato impostato a 3 bar e l'impianto è stato mantenuto in

pressione fino al raggiungimento dell'equilibrio tra le pressioni parziali della CO₂ nel liquido e nello spazio di testa (tre giorni).

Gassificazione

Una volta sigillato il serbatoio e verificato che la sovrappressione si mantenesse costante a 3 bar, i kegs sono stati preparati per accogliere lo spumante. L'aria presente al loro interno è stata sostituita con la CO₂ di processo ed è stata creata una sovrappressione di 3 bar all'interno dei contenitori. Uno alla volta i contenitori sono stati collegati alla valvola bassa del serbatoio di acciaio inox, nel quale, grazie all'allacciamento all'impianto della CO₂ tramite manometro, è stata creata una sovrappressione di poco superiore a 3 bar (3,4 bar). Questa differenza di pressione tra il serbatoio ed il keg è stata sufficiente per spingere il liquido dal primo verso il secondo. Mentre il vino entrava nel keg, si è operato uno scarico controllato della CO₂ presente, in modo da mantenere al suo interno una sovrappressione costante di 3 bar. Durante la fase di riempimento i kegs sono stati posti sulla bilancia elettronica, con la quale è stata verificata l'aggiunta di 25 kg di spumante per ogni contenitore.



Figura 23: trasferimento di 25 kg di vino in un keg tramite collegamento al serbatoio in acciaio inox retrostante. Il peso del vino prelevato viene monitorato con la bilancia posta sotto il keg.

I 10 campioni sono stati lasciati due giorni nella cantina di vinificazione al fine di omogeneizzarne la temperatura: circa 17°C. Una volta stabilizzati, i campioni sono stati

collegati al barometro della ditta Barby + Kühner e la pressione è stata riportata a 3 bar (l'aumento della temperatura ha causato un aumento della pressione).

Le prove 1.1 e 1.2 (3 bar CO₂) sono state conservate tali e quali, mentre gli altri kegs sono stati nuovamente posti sotto battente di gas alla pressione di 5 bar. I campioni 2.1 e 2.2 sono stati nuovamente collegati all'impianto della CO₂ della cantina con lo stesso riduttore di pressione, le prove 3.1, 3.1, 5.1 e 5.2 sono invece state messe sotto battente di azoto contenuto in una bombola e i test 4.1 e 4.2 sono stati invece collegati alla bombola di Foodpack 6. I collegamenti alle bombole sono stati effettuati mediante riduttori di pressione forniti di manometro e tubi in PVC resistenti alla sovrappressione. Anche in questo caso la gassificazione è avvenuta secondo il metodo statico: la pressione interna dei kegs è stata mantenuta costante sui 5 bar finché la pressione parziale del gas nel liquido ha eguagliato quella nello spazio di testa. Per verificare ciò i kegs sono stati isolati dalle rispettive fonti di gas per 24 ore, dopodiché è stata misurata la pressione presente: un valore invariato di 5 bar ha indicato il raggiungimento dell'equilibrio. Esso è stato raggiunto dopo circa tre giorni di attesa a temperatura costante (17°C).



Figura 24: Gassificazione delle prove 2.1 e 2.2.



Figura 25: Gassificazione delle prove 4.1 e 4.2.



Figura 26: Gassificazione delle prove 3.1, 3.2, 5.1 e 5.2.

Imbottigliamento

L'imbottigliamento dei campioni è stato effettuato mediante la riempitrice isobarica, con la quale lo spumante è stato trasferito in bottiglie in vetro per la birra, sigillate poi mediante la tappatrice manuale con dei tappi a corona.

La prima cosa da fare nella fase di imbottigliamento è la preparazione della riempitrice. Tutto il circuito va svuotato dall'aria presente sostituendola con il gas di processo (CO_2 per i campioni 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2, Foodpack 6 per i 3.1, 3.2, 4.1 e 4.2 e azoto per i 5.1 e 5.2), dopodichè la valvola di sfiato va chiusa e si porta l'impianto alla stessa sovrappressione presente nello spumante. A questo punto è possibile collegare il keg alla riempitrice: la fuoriuscita del vino è operata dal gas di processo (lo stesso impiegato per la saturazione della macchina, il quale viene iniettato all'interno del keg

aumentandone la pressione. Ciò spinge lo spumante verso il serbatoio di raccolta della macchina, dal quale poi viene inserito nelle bottiglie. Un'altra operazione molto importante è quella della regolazione delle velocità di riempimento e di rilascio della bottiglia. Velocità troppo elevate causano la formazione di molta schiuma, con conseguente forte perdita di gas. Ciò va minimizzato diminuendo la velocità con cui il vino viene inserito all'interno della bottiglia, ma soprattutto la velocità con cui essa viene rilasciata: meno traumatica è la caduta di pressione (dalla pressione del vino a quella atmosferica) e minore è la quantità di schiuma che si forma.

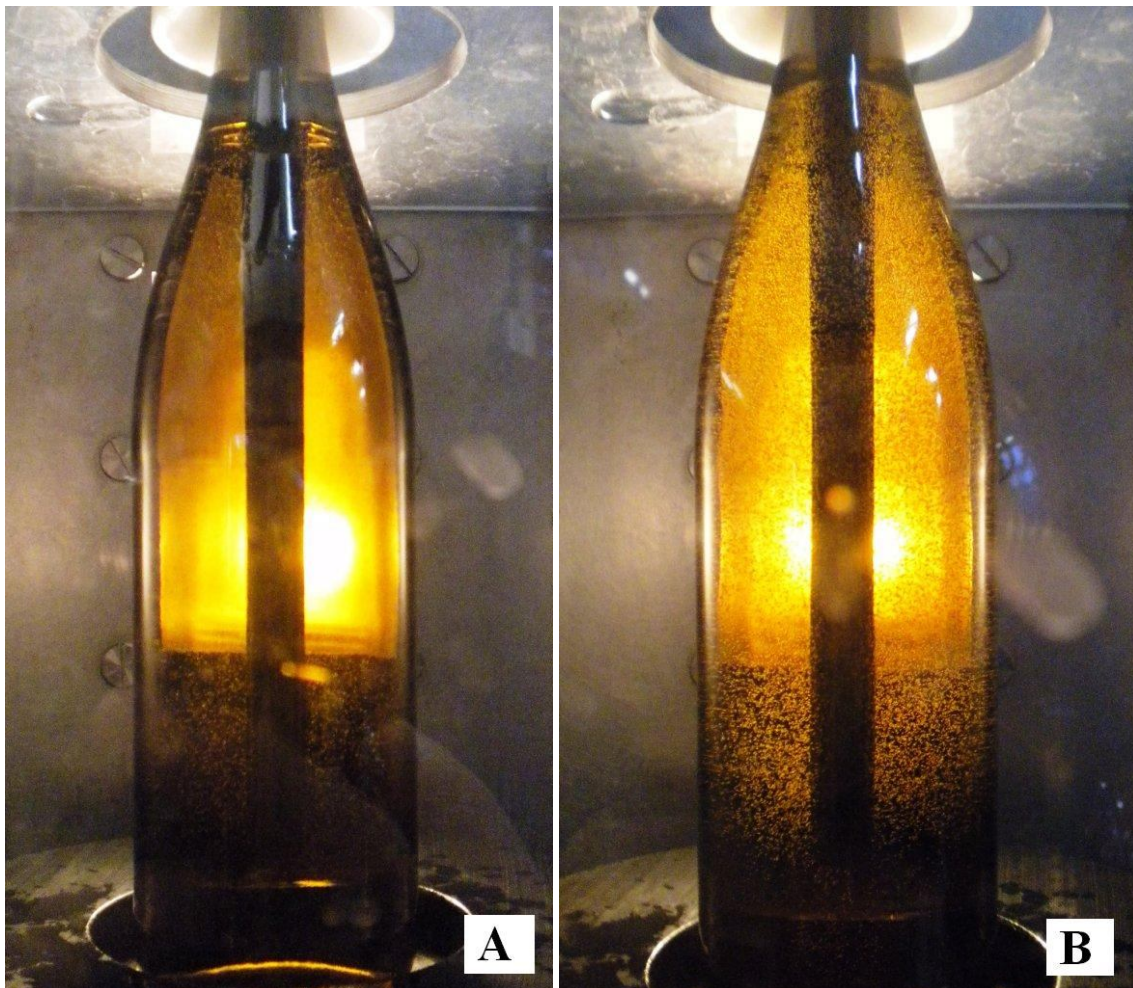


Figura 27: Taratura della velocità di rilascio della bottiglia da parte della riempitrice isobarica. Le due immagini illustrano un rilascio sufficientemente lento (A) e uno troppo repentino (B), il quale causa la formazione di molte bolle all'interno della bottiglia, con conseguente formazione di schiuma e perdita di gas.

Le operazioni di messa in pressione della riempitrice e di regolazione delle velocità di riempimento e rilascio delle bottiglie devono essere ripetute ogni volta che si cambia tipologia di campione.

Tutti i campioni sono arrivati alla riempitrice con una temperatura compresa tra i 4°C e i 5°C. Il ciclo di riempimento dura qualche decina di secondi ed è formato dalle seguenti fasi: posizionamento manuale della bottiglia sulla stazione di riempimento, bloccaggio della bottiglia a tenuta stagna sulla stazione di riempimento, messa in pressione della bottiglia previa iniezione del gas di processo fino al raggiungimento della pressione presente nel vino, inserimento dello spumante nella bottiglia, graduale allentamento della presa sulla bottiglia per ottenere una caduta di pressione regolare e controllata, rilascio della bottiglia, rimozione manuale della stessa.

Una volta rimosse dalla riempitrice le bottiglie sono state subito tappate con tappi a corona mediante la tappatrice manuale e stoccate orizzontalmente.

Esse sono poi state riportate nella cantina sperimentale della facoltà per omogeneizzarne la temperatura.

6.2 Analisi chimico - fisiche

Analisi preimbottigliamento

Prima dell'imbottigliamento sui kegs è stata effettuata la misura del contenuto di O₂ mediante c-DGM della ditta Pentair Haffmans. Lo strumento presenta due tubazioni: una di entrata, da collegare a turno ai kegs, e uno di uscita, connesso con una semplice vaschetta di raccolta del vino analizzato. Una volta messo in pressione il circuito, si passa alla messa a punto dello strumento. E' fondamentale che nella camera di misurazione dell'apparecchio non si formino bolle, quindi si regolano la contropressione e il flusso dello spumante al suo interno in modo da ottenere un flusso omogeneo. Segue poi la fase di misura. Quando la leva frontale viene abbassata il vino può scorrere all'interno dello strumento e riempire la camera di misurazione, dopodichè la leva viene alzata, il flusso viene bloccato e la camera viene sigillata, in modo da non subire influenze durante la fase di misurazione. Dopo poche decine di secondi lo

strumento fornisce in sequenza i seguenti dati: contenuto di ossigeno (mg/l), temperatura (°C), pressione (bar).

I campioni sono stati poi sistemati in una cella frigorifera alla temperatura di 3°C per due giorni, in modo da prepararli per l'imbottigliamento: al diminuire della temperatura aumenta la solubilità dei gas, quindi diminuisce la quantità di gas persa durante la fase di imbottigliamento.

Analisi sui campioni imbottigliati

Una volta che, dopo l'imbottigliamento, la temperatura dei campioni è stata omogeneizzata, sono state effettuate le analisi strumentali sui campioni, al fine di determinare i contenuti di O₂ e CO₂.

Il primo dato è stato misurato tramite lo strumento c-DGM, accoppiato allo strumento per la foratura dei tappi a corona e il prelievo dello spumante. Il primo passo è quello di collegare i due macchinari tramite un tubo in PVC. Si prepara poi lo strumento per il prelievo dei campioni collegandolo alla rete di distribuzione della CO₂ della cantina: grazie al riduttore di pressione, si imposta una pressione in uscita di poco superiore a quella presente nei campioni da analizzare (3,5 bar o 5,5 bar a seconda della prova). Questo eccesso di pressione spingerà lo spumante presente all'interno della bottiglia verso il c-DMG. Quando la strumentazione è operativa le bottiglie contenenti i campioni vengono posizionate a turno sull'apposito supporto e bloccate saldamente all'attrezzo mediante un meccanismo posto a livello del tappo. Abbassando una leva si permette ad un punzone metallico di creare un foro attraverso il tappo a corona e di farvi aderire una guarnizione, al fine di impedire perdite di pressione. A questo punto l'asta di prelievo viene abbassata ed inserita fino al fondo della bottiglia tramite il foro creato. Lo strumento immette ora la CO₂ di processo all'interno della bottiglia, convogliandone il contenuto verso lo il c-DMG. Il funzionamento di questo macchinario è già stato descritto precedentemente: dopo aver regolato la velocità del flusso e la contropressione presenti al suo interno, si abbassa la leva frontale per far scorrere lo spumante nel cilindro di misurazione. Per ogni bottiglia sono state effettuate due analisi, prelevando il vino in due differenti momenti. Con la leva abbassata si è fatto scorrere il vino all'interno dello strumento e, quando il livello del liquido nella bottiglia ha raggiunto circa la metà, la leva è stata alzata per bloccare il flusso e permettere la

misurazione. Una volta trascritti i dati la leva è stata nuovamente riabbassata e infine rialzata poco prima dello svuotamento totale della bottiglia, al fine di effettuare un'altra misurazione.

La misura del contenuto di CO₂ è stata effettuata in laboratorio mediante l'analizzatore di CO₂ 965D. Una bottiglia per ogni campione è stata messa in un refrigeratore per essere raffreddata fino a 0°C di temperatura, dopodichè la misurazione è stata effettuata come descritto nel capitolo "materiali". Prima di tutto lo strumento è stato acceso e tarato con le soluzioni fornite in dotazione, dopodichè, a turno, le bottiglie sono state aperte e sono stati subito aggiunti 18 ml di una soluzione di NaOH 40% P/V al fine di fissare la CO₂. Lo spumante è poi stato trasferito in una beuta di vetro da 1 l per essere omogeneizzato. 50 µl di prodotto sono stati prelevati con la pipetta automatica ed inseriti nel macchinario, il quale in pochi secondi fornisce il contenuto di CO₂ espresso in g/l. Prima dell'inserimento del campione successivo si aspetta che l'apparecchio svolga un breve ciclo di autopulitura. Per ogni bottiglia sono state effettuate tre misurazioni.

Analisi sensoriale

Alcune bottiglie di ogni campione sono state messe in frigorifero e portate ad una temperatura di 4°C in vista della degustazione.

Il panel impiegato durante l'analisi sensoriale era composto da 12 degustatori e comprendeva alcuni docenti e ricercatori nell'ambito enologico, nonché alcuni studenti al terzo anno del corso di viticoltura ed enologia. Il test è stato effettuato nell'aula di degustazione dell'università di Geisenheim e sono stati impiegati bicchieri standard da degustazione. Sono state organizzate due serie di campioni ciascuna e per ogni serie sono stati valutate l'effervescenza e la sensazione organolettica generale. È stata impiegata la metodologia del test discriminante dei ranghi, secondo la quale i degustatori valutano i campioni circa il parametro scelto e li ordinano in ranghi di qualità crescente. La prima batteria di campioni era composta dalle prove 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 e 5.1, mentre la seconda da quelle rimanenti, ovvero 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 e 5.2. La temperatura dei vini al momento del servizio era compresa tra 6°C e 8°C. L'assegnazione dello spumante nei bicchieri è stato effettuato nel minor intervallo di

tempo possibile, in modo che ogni campione venisse valutato nelle stesse condizioni. La degustazione è stata effettuata in circa 40 minuti, con una pausa di cinque minuti tra le due batterie di campioni.

Lo stesso giorno sono state effettuate le analisi fotografiche. Il bicchiere da utilizzare per questo processo è stato scelto in base alla capacità di produrre una colonna di bolle centrale visibile e regolare. Il set è stato allestito curando l'illuminazione, il contrasto con lo sfondo e la posizione delle macchine fotografiche. La fotocamera Casio è stata impiegata per lo scatto delle fotografie, mentre la Panasonic per la registrazione dei video. Esse sono state installate su due supporti differenti, quindi si è reso indispensabile l'intervento di due operatori per l'acquisizione dei dati: mentre uno versava lo spumante all'interno del bicchiere adeguatamente posizionato, l'altro provvedeva allo scatto delle foto e alla partenza della registrazione del video. Per ogni campione sono stati effettuati nove scatti uno al momento zero (coincidente col termine del servizio) e poi uno ogni 30 secondi. La temperatura dei vini al momento dell'analisi fotografica era compresa tra 17,5°C e 18,5°C.

6.3 Digitalizzazione delle fotografie

Si è operato misurando il numero e l'area delle bolle all'interno delle tre aree rettangolari precedentemente individuate. Il processo di digitalizzazione tramite MATLAB ha previsto dapprima vari interventi sulle fotografie al fine di migliorarne la qualità e facilitarne così l'analisi da parte del software, ed infine la misurazione vera e propria. La digitalizzazione delle immagini è avvenuta attraverso le seguenti fasi:

1. Registrazione della sequenza di immagini relative ad un campione, in modo da rendere il bicchiere esattamente allineato in tutte le fotografie.
2. Selezione delle aree delle fotografie acquisite in cui eseguire le misurazioni digitali circa il numero e la dimensione delle bolle. La sezione UP (400 x 250 pixel) è stata scelta al fine di indagare il comportamento del perlage nella parte di bicchiere vicina alla superficie, la sezione DOWN (400 x 250 pixel) è stata

individuata al fine di verificare le caratteristiche delle bolle vicino al punto in cui esse vengono generate e la sezione GLASS (500 x 1500 pixel) è utile al fine di capire il comportamento medio dell'effervescenza all'interno del bicchiere.

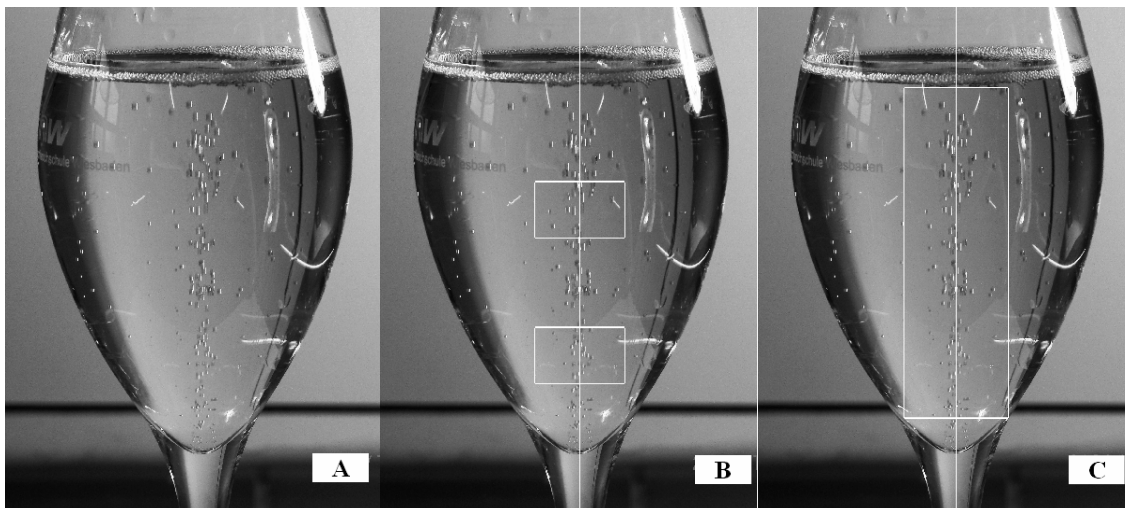


Figura 28: A) Bicchiere utilizzato durante il test fotografico; B) in evidenza sono riportate le aree (400 x 250 pixel) entro le quali sono stati misurati il numero e il diametro delle bolle. L'area superiore è chiamata "sezione UP", mentre quella inferiore "sezione DOWN"; C) in evidenza è riportata l'area (500 x 1500 pixel) denominata "sezione GLASS" entro la quale sono stati misurati il numero e il diametro delle bolle.

3. Normalizzazione dell'immagine. Viene effettuata per togliere i riflessi sul bicchiere e i rumori dell'immagine ed evidenziare oggetti in movimento, ovvero le bolle. Si opera applicando all'immagine un filtro mediano, ovvero una maschera quadrata di un certo numero di pixel, in questo caso 25, che seleziona un quadrato di 25 x 25 pixel, ne calcola la media e attribuisce tale valore al pixel centrale. L'immagine così ottenuta viene sottratta a quella originale:

Immagine normalizzata = immagine originale – immagine media.

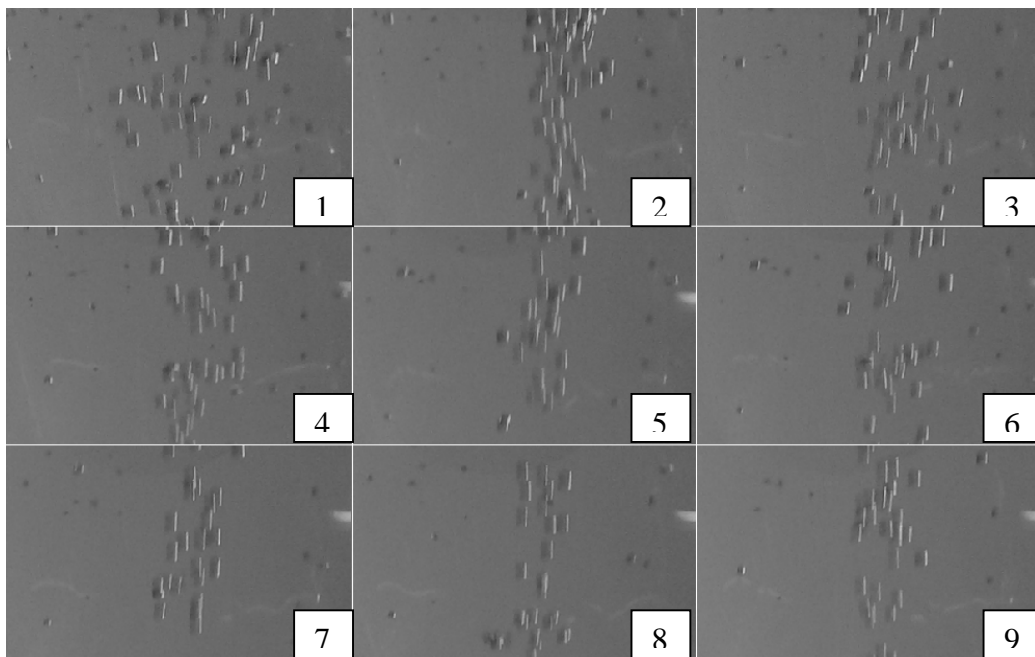


Figura 29: Immagine non normalizzata. Ogni riquadro è numerato per indicare la posizione temporale della fotografia a cui corrisponde, partendo dal momento 0 (1) per arrivare a 240 secondi dalla fine della mescolta (9). Le fotografie sono state scattate ogni 30 secondi.

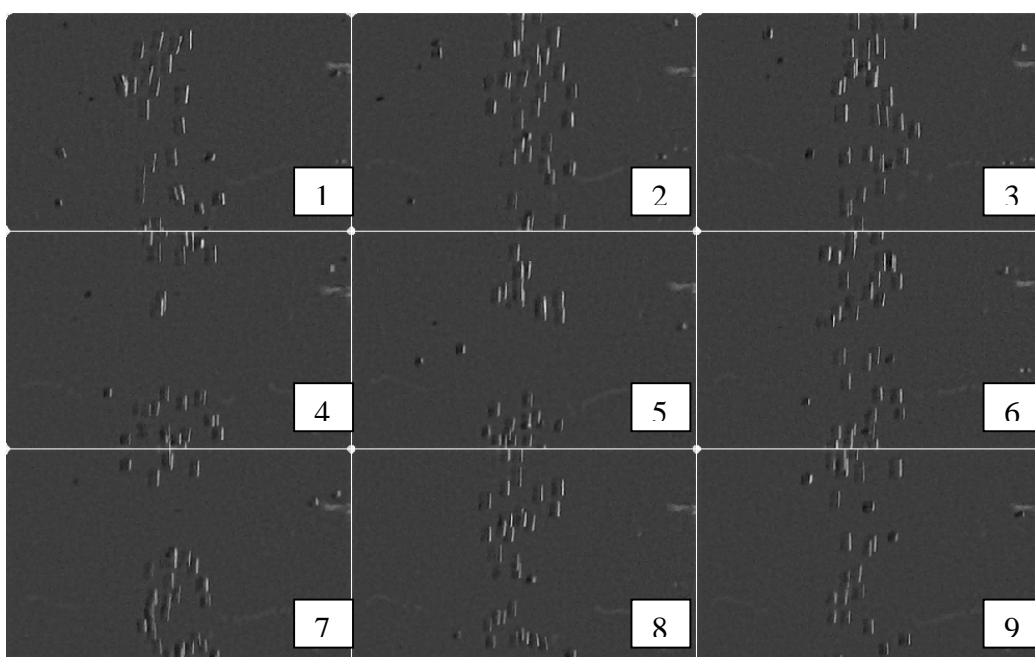


Figura 30: Immagine normalizzata. Ogni riquadro è numerato per indicare la posizione temporale della fotografia a cui corrisponde, partendo dal momento 0 (1) per arrivare a 240 secondi dalla fine della mescolta (9). Le fotografie sono state scattate ogni 30 secondi.

4. Stima del background. Si calcola la mediana di ogni pixel per ognuna delle nove immagini della sequenza al fine di stimare un background, ovvero un'immagine di fondo comune ad ogni pixel. Il comando MATLAB che si utilizza è:

`imgBG = median(imgSnorm, 3);`

5. Sottrazione del Background. L'immagine di background viene sottratta all'immagine normalizzata, in modo da togliere il colore di fondo e mettere in risalto gli elementi da analizzare (bolle). Il comando MATLAB utilizzato è:

`imgNoBg(i) = imgSnorm(i) - imgBG;`

Dove i è un indice che va da 1 a 9, in base al numero di fotografia della serie.

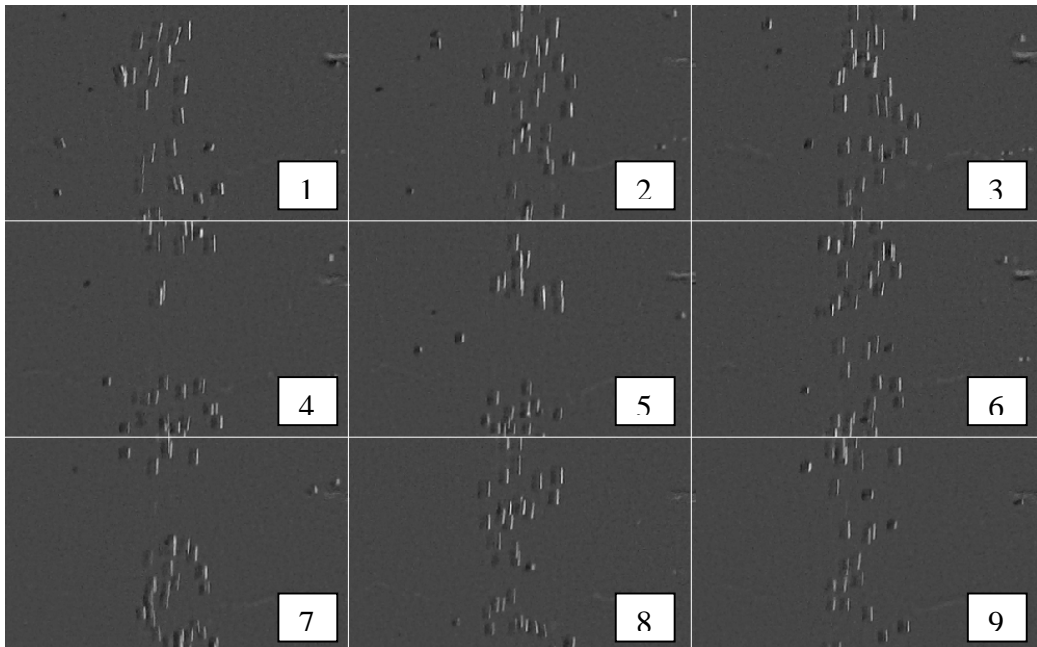


Figura 31: Immagine a cui è stato sottratto il background. Ogni riquadro è numerato per indicare la posizione temporale della fotografia a cui corrisponde, partendo dal momento 0 (1) per arrivare a 240 secondi dalla fine della mescolta (9). Le fotografie sono state scattate ogni 30 secondi.

6. Soglia di grigio dell'immagine. Si seleziona empiricamente un valore di grigio (in questo caso 15) definito "soglia", il quale permette di selezionare i pixel appartenenti alle bolle. Tutti i pixel aventi un valore superiore alla soglia vengono colorati di bianco, mentre quelli con valori inferiori si colorano di nero. Ciò che si ottiene è un'immagine binaria.

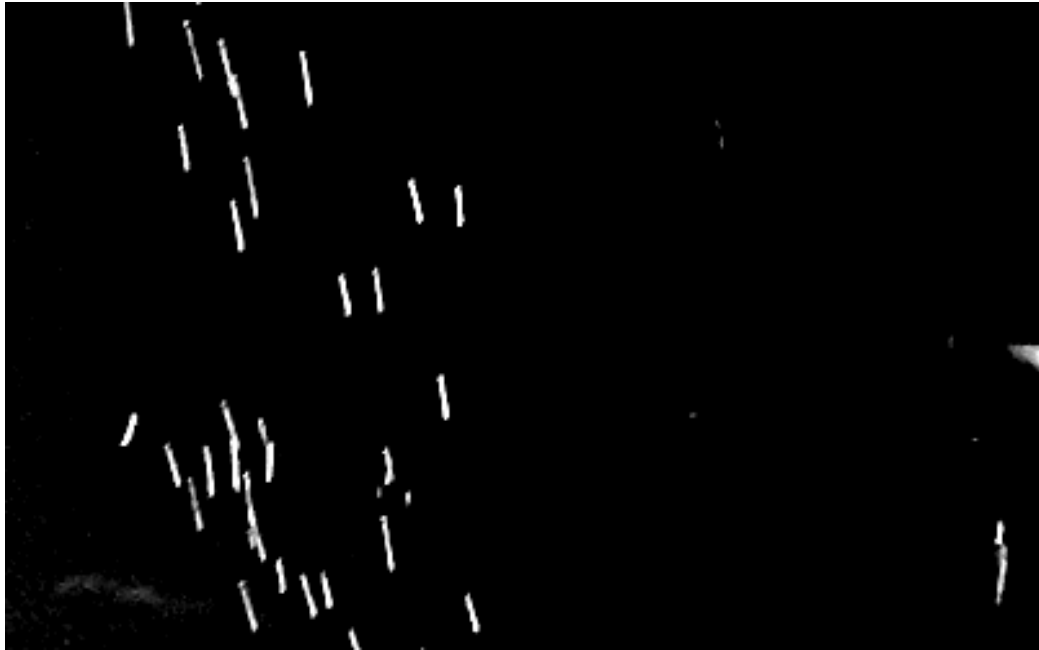


Figura 32: Immagine binaria dopo la sottrazione del valore soglia. Quest'immagine corrisponde ad un riquadro numerato delle immagini precedenti.

7. Creazione degli elementi strutturali e apertura (opening). Si individua una forma standard, detta elemento strutturale, per descrivere gli elementi da analizzare e gli si da una dimensione. Nel nostro caso si sono impiegate tre bacchette di 1 x 2 pixel, una è verticale, una inclinata di 30° ovest, e l'altra 30°est.

In MATLAB la funzione per la selezione dei tre elementi è:

```
se1 = strel('line', lenBubble, 90);  
se2 = strel('line', lenBubble, 60);  
se3 = strel('line', lenBubble, 120);
```

8. I tre elementi strutturali sono stati applicati ad ognuno dei gruppi di pixel bianchi in evidenza sull'immagine binaria (bolle). Il programma prova cioè ad inserire la forma "barretta" all'interno delle bolle colorate di bianco e colora di nero i pixel in cui la figura non entra: essi sono considerati differenti dalla forma dell'oggetto da indagare (bolle) e quindi non interessanti. Le funzioni utilizzate per quest'operazione sono:

```
aa1 = imopen(imgRecon, se1);  
aa2 = imopen(imgRecon, se2);  
aa3 = imopen(imgRecon, se3);
```

9. Etichettatura. I gruppi di pixel contigui rimasti, ovvero le bolle, vengono etichettati (numerati), e ne viene misurato l'asse maggiore. Per contarli è stata utilizzata la funzione MATLAB:

```
[out1, numB ] = bwlabel( aa1, 8 );
```

```
[out2, numB ] = bwlabel( aa2, 8 );
```

```
[out3, numB ] = bwlabel( aa3, 8 );
```

La funzione MATLAB che si usa per stimare l'asse di ciascuna bolla è la seguente:

```
bubbleL = regionprops( Iopen, 'MajorAxisLength' )
```

dove Iopen è l'immagine risultante dall'operazione di opening, e bubbleL è una lista di stime di assi maggiori dei gruppi di pixel bianchi presenti.

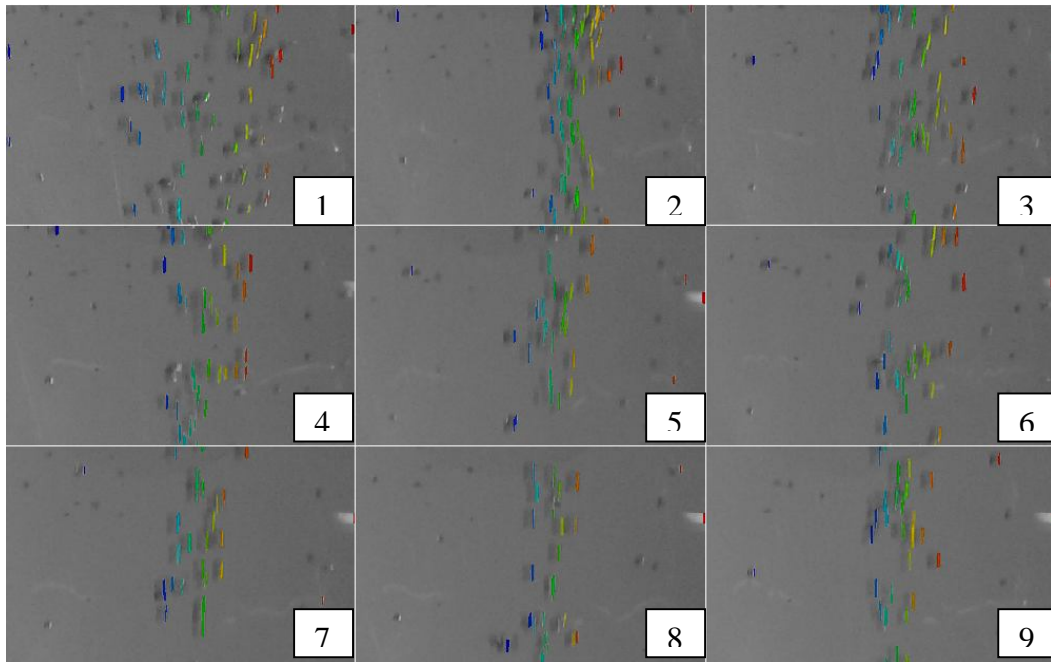


Figura 33: Immagini risultante dalla sovrapposizione dell'immagine ottenuta col labelling a quella originale di partenza. Ogni riquadro è numerato per indicare la posizione temporale della fotografia a cui corrisponde, partendo dal momento 0 (1) per arrivare a 240 secondi dalla fine della miscita (9). Le fotografie sono state scattate ogni 30 secondi.

RISULTATI E DISCUSSIONE

7 Ossigeno nei vini preimbottigliamento

Dall'analisi del contenuto di ossigeno nella fase di preimbottigliamento sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Campione	Temp. (°C)	Press. (bar)	O ₂ (mg/l)
1.1	16,8	2,93	0,53
1.2	17,1	3,19	0,24
2.1	17,4	4,28	0,53
2.2	17,2	3,94	0,11
3.1	17,0	3,26	0,66
3.2	17,1	3,43	0,14
4.1	17,0	3,23	0,70
4.2	17,1	2,92	0,14
5.1	16,8	2,70	1,06
5.2	17,0	2,71	0,80

Tabella 7: Contenuto di ossigeno dei campioni prima dell'imbottigliamento.

La concentrazione dell'ossigeno nei kegs è compresa tra 0,1 e 1,1 mg/l e la temperatura dei campioni oscilla tra 16,8 e 17,4 °C. La distribuzione dei dati all'interno dei vari campioni è omogeneo: solo nel caso delle due prove a 5 bar di N₂ i contenuti risultano essere più elevati rispetto a quelli riscontrati nelle altre prove. Ciò può essere dovuto alla mancanza di sovrappressione all'interno dei campioni al momento della messa nei kegs, il che può aver comportato una maggiore aerazione del vino.

8 Ossigeno in bottiglia negli spumanti

L'analisi del contenuto di ossigeno sulle bottiglie di spumante ha prodotto i risultati riportati nella seguente tabella:

Nome prova	mg/l O ₂	Temp. (°C)	Press. (bar)
1.1	2,24	17,9	3,05
1.1	2,64	17,8	3,47
1.2	2,91	17,7	3,63
1.2	2,99	17,8	3,67
2.1	1,20	18,3	4,68
2.1	1,20	18,5	4,83
2.2	1,49	18,6	4,98
2.2	1,62	18,6	5,04
3.1	2,13	17,9	3,81
3.1	2,23	17,7	3,65
3.2	2,19	17,9	3,76
3.2	2,29	17,9	3,76
4.1	1,46	18,1	3,99
4.1	1,46	18,1	4,00
4.2	1,22	18,0	4,25
4.2	1,21	17,9	4,17
5.1	3,91	17,8	2,47
5.1	4,13	17,7	2,08
5.2	4,11	17,5	1,83
5.2	4,14	17,2	1,90

Tabella 8: Contenuto di ossigeno dei campioni imbottigliati.

La concentrazione dell'ossigeno in bottiglie è sensibilmente maggiore rispetto a quella registrata nei kegs prima dell'imbottigliamento ed è compresa tra 1,4 e 4,2 mg/l. Si nota che nessuna delle prove carbonicate in parte o del tutto con CO₂ presenta contenuti di ossigeno superiori ai 3 mg/l, mentre i campioni 5.1 e 5.2 mostrano contenuti sensibilmente più elevati, che si aggiravano attorno a 4 mg/l.

La temperatura dei campioni oscilla tra 17,2 e 18,6 °C.

L'andamento della pressione parziale all'intero delle bottiglie delinea un comportamento caratteristico: nelle prove carbonicate al 100% con CO₂ la pressione si aggira attorno ai valori attesi (3 bar per i campioni 1.1 e 1.2 3 5 bar per i 2.1 e 2.2). Nelle altre prove invece si nota che, all'aumentare della percentuale di incidenza dell'azoto sulla quantità totale di gas insufflato, aumenta lo scostamento del dato della pressione misurato rispetto quello atteso. Nella fattispecie, all'aumentare della quota di N₂ impiegato diminuisce la pressione parziale all'interno delle bottiglie. Le prove 5.1 e 5.2 hanno fatto registrare la massima perdita di pressione, in quanto solo circa 2 bar dei 5 bar iniziali sono stati mantenuti. Ciò è attribuibile alla minore solubilità dell'azoto nel vino rispetto a quella della CO₂: nonostante la bassa temperatura alla quale i vini sono stati imbottigliati e l'accuratezza impiegata nella calibrazione della macchina

riempitrice (fase di rilascio della bottiglia), le perdite di azoto sono state molto ingenti, mentre quelle di CO₂ sono state molto più contenute.

Ciò potrebbe essere un grosso limite nell'impiego dell'azoto come miglioratore del perlage dei vini a livello industriale, in quanto sarebbe necessario abbassare ulteriormente la temperatura dei vini da imbottigliare, nonché mettere a punto nuove tecniche per svolgere questa operazione.

9 Anidride carbonica in bottiglia negli spumanti

L'analisi della CO₂ effettuata in laboratorio ha permesso di raccogliere i seguenti dati:

Campione	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Media	R ²
1.1	5,81	6,98	6,26	6,35	0,48
1.2	5,95	6,30	6,69	6,31	0,30
2.1	8,92	8,79	8,84	8,85	0,05
2.2	10,37	9,79	9,53	9,90	0,35
3.1	6,20	6,14	6,21	6,18	0,03
3.2	7,11	6,79	6,89	6,93	0,25
4.1	7,84	8,19	7,68	7,90	0,21
4.2	8,04	7,86	7,97	7,96	0,07
5.1	2,01	2,09	2,11	2,07	0,04
5.2	2,55	2,51	2,53	2,53	0,02

Note: I dati riportati esprimono la concentrazione di CO₂ in g/l

Tabella 9: Contenuto di anidride carbonica dei campioni imbottigliati.

La concentrazione dell'ossigeno nei kegs è compresa tra 0,1 e 1,1 mg/l e la temperatura dei campioni oscilla tra 16,8 e 17,4 °C. La distribuzione dei dati all'interno dei vari campioni è omogenea: solo nel caso delle due prove a 5 bar di N₂ i contenuti risultano essere più elevati rispetto a quelli riscontrati nelle altre prove. Ciò può essere dovuto alla mancanza di sovrappressione all'interno dei campioni al momento della messa nei kegs, il che può aver comportato una maggiore aerazione del vino.

Le ipotesi proposte per spiegare la perdita di pressione durante le fasi di imbottigliamento vengono giustificate anche dall'analisi del contenuto di CO₂ dei vini. Essi seguono un andamento prevedibile. I campioni gassificati al 100% con azoto hanno fatto registrare i tenori più bassi di anidride carbonica. Le prove 1.1, 1.2, 3.1 e 3.2, tutte carbonicate con soli 3 bar di CO₂, hanno fornito risultati simili che si aggirano attorno ai 6,5 g/l. I valori sono maggiori nel caso delle prove 4.1 e 4.2, che hanno ricevuto 3 bar di

CO₂ e due bar di Foodpack 6, e massimi nel caso delle prove 2.1 e 2.2, carbonicate con 5 bar di anidride carbonica.

10 Analisi sensoriale degli spumanti

I dati rilevati con il test di analisi sensoriale sono stati ordinati nelle quattro tabelle riportate nell'allegato 1 (tabella 15, 16, 17, 18). Il numero presente all'interno di ogni casella rappresenta la posizione di preferenza nella scala da 1 a 5 che il candidato ha assegnato al campione in esame. Il numero 1 significa che il campione è stato il più apprezzato secondo il parametro di giudizio fornito, mentre il numero 5 è stato valutato come peggiore della serie.

I dati raccolti sono stati elaborati sommando il numero di voti che ogni campione ha totalizzato per ogni posizione di preferenza (da 1 a 5), dopodichè i valori ottenuti sono stati moltiplicati per il numero della posizione corrispondente (rango) e i risultati di questa operazione sono stati infine sommati. Detti calcoli sono riportati nelle quattro tabelle presenti nell'allegato 2 (tabella 19, 20, 21 e 22).

I risultati così ottenuti sono stati poi elaborati da un apposito software, il quale ha applicato i principi del test di Friedman. Dato il numero di degustatori e di campioni analizzati, il computer ha stabilito che, per affermare con un grado di rischio $\alpha = 5\%$ che due vini sono differenti tra loro, è indispensabile che tra essi ci sia una differenza minima nella somma dei punteggi di 15,18. Per avere un grado di rischio $\alpha = 1\%$ la differenza minima è di 19,95. Essendo il numero dei degustatori e quello dei campioni analizzati uguali in tutte le serie, questi valori sono applicabili a tutte le degustazioni effettuate. Confrontando tra loro le somme dei punteggi totalizzate da ogni campione, è possibile costruire le seguenti tabelle. I campioni contrassegnati con lettere diverse tra loro possono quindi dirsi differenti per quel grado di rischio: i campioni A sono quindi statisticamente differenti dai campioni B, ma non da quelli AB.

Tabella 10: Differenze statisticamente significative tra i campioni della prima serie circa il carattere “effervescenza”.

Campione	Somma punti	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
1.1	30	B	B
2.1	26	B	B
3.1	38	B	B
4.1	26	B	B
5.1	60	A	A

Tabella 11: Differenze statisticamente significative tra i campioni della prima serie circa il carattere “preferenza gustativa”.

Campione	Somma punti	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
1.1	36	B	AB
2.1	25	B	B
3.1	37	B	AB
4.1	27	B	B
5.1	55	A	A

Tabella 12: Differenze statisticamente significative tra i campioni della seconda serie circa il carattere “effervescenza”.

Campione	Somma punti	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
1.2	31	B	B
2.2	26	B	B
3.2	34	B	B
4.2	30	B	B
5.2	59	A	A

Tabella 13: Differenze statisticamente significative tra i campioni della seconda serie circa il carattere “preferenza gustativa”.

Campione	Somma punti	$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
1.2	29	B	B
2.2	29	B	B
3.2	30	B	B
4.2	38	B	AB
5.2	54	A	A

Dalle tabelle si evince che in entrambe le serie l’unica differenza significativa nell’effervescenza dei campioni si è riscontrata nella prova a 5 bar di N_2 , la quale è risultata essere qualitativamente inferiore a tutte le altre. Per quanto riguarda la preferenza gustativa si osserva che nella prima serie la prova 5 bar di N_2 è risultata statisticamente meno apprezzata rispetto alle varianti a 5 bar CO_2 e 3 bar $CO_2 + 2$ bar Foodpack 6, ma non rispetto le altre varianti. Nella seconda serie sono state riscontrate differenze statisticamente significative solo tra la prova a 5 bar di N_2 e quella a 3 bar $CO_2 + 2$ bar Foodpack 6: la prova 100% azoto è stata la meno apprezzata.

Nel complesso la degustazione ha decretato la prova a 5 bar di CO_2 come la più apprezzata.

11 Analisi fotografica

11.1 Elaborazione dei video

I video sono stati elaborati al fine di ottenere un frame (fermo immagine) nitido ad intervalli di tempo abbastanza ravvicinati da cogliere lo sviluppo della schiuma fin dalle

prime fasi. Nella fattispecie sono state estrapolate le immagini raffiguranti i campioni in 17 istanti differenti, prendendo come momento 0 quello della fine del servizio (mescita) del vino.

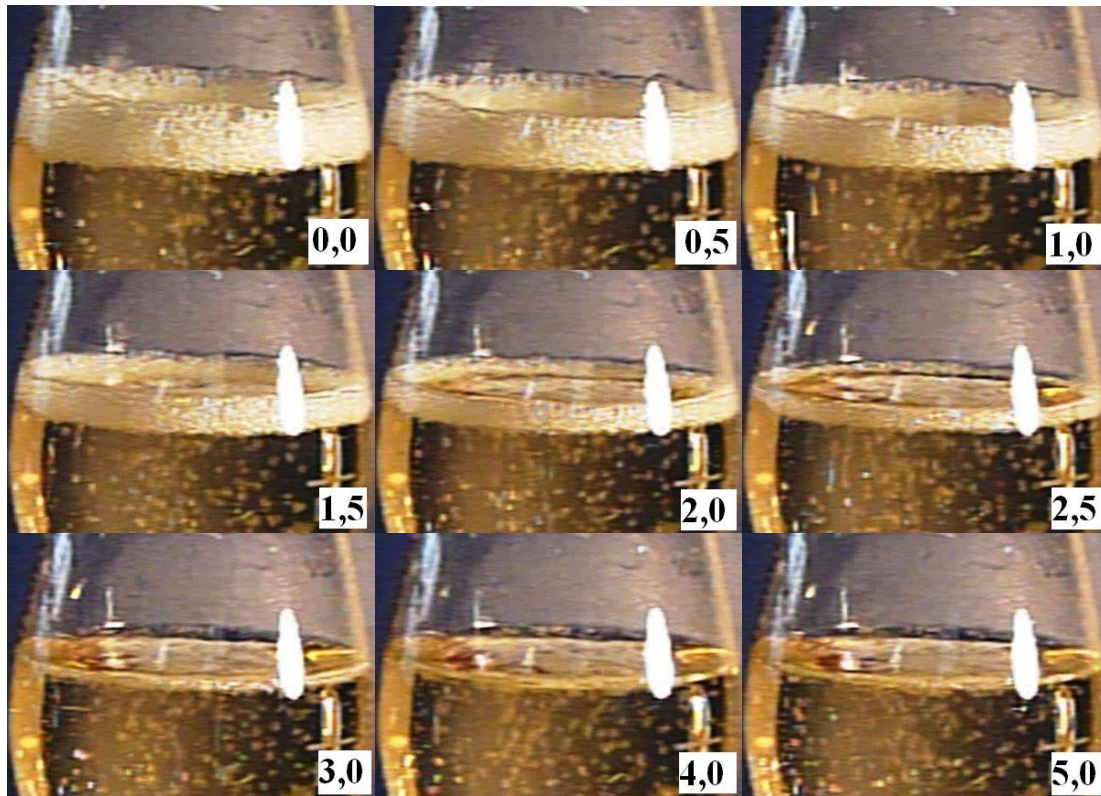


Figura 34: Altezza della schiuma nel bicchiere nei primi nove momenti selezionati. Nel riquadro è riportato il numero di secondi passati dalla fine della mescita al momento della registrazione del fermo immagine.

Dalle immagini ottenute è stato possibile misurare il massimo spessore raggiunto dalla schiuma nel bicchiere e di creare i grafici riportati nelle figure 35 e 36. Essi descrivono lo sviluppo della schiuma nel tempo rispettivamente durante i primi cinque secondi e i primi quattro minuti. Utilizzando due scale temporali diverse è possibile seguire in dettaglio l'andamento dello spessore della schiuma sia nelle primissime fasi, in cui è massima la formazione delle bolle, che durante un lasso di tempo ragionevolmente lungo, comparabile a quello impiegato per il consumo del prodotto.

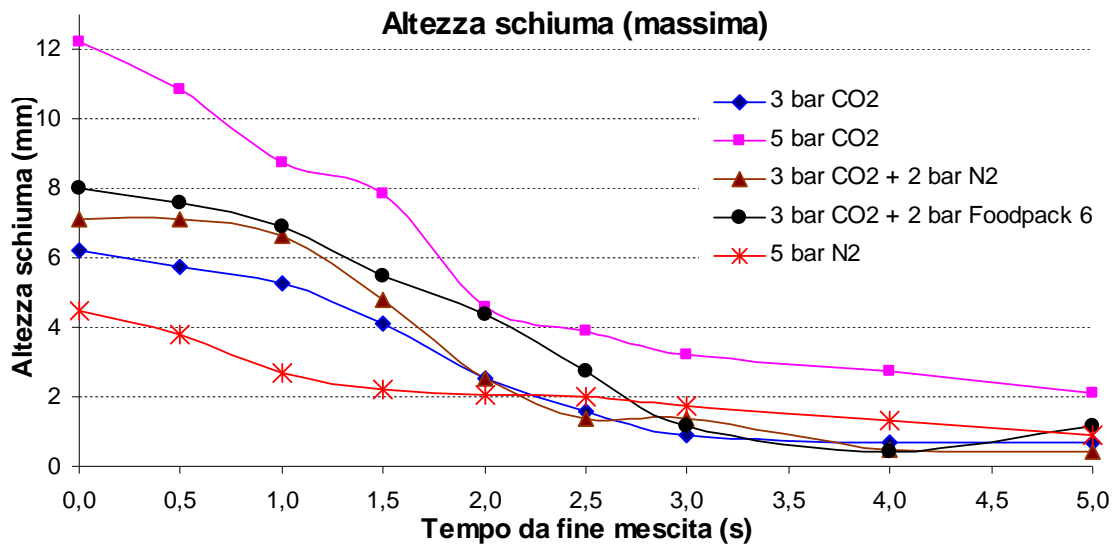


Figura 35: Altezza massima della schiuma durante i primi cinque secondi dalla fine della miscela per i cinque tipi di spumante.

Analizzando il grafico della figura 35 risulta evidente come la schiuma degeneri drasticamente nei primi due secondi, mentre in seguito cali in maniera meno repentina. Dopo due secondi lo spessore massimo appare dimezzato rispetto a quello registrato al momento 0, mentre a 5 secondi esso si è nuovamente dimezzato rispetto al momento 2. I cinque campioni si comportano in maniera abbastanza uniforme ed è evidente come la prova con 5 bar di CO₂ sviluppi una schiuma più spessa rispetto a tutte le altre. È interessante osservare il comportamento delle tre prove centrali: all'aumentare della sovrappressione e della pressione parziale della CO₂ aumenta lo spessore della schiuma prodotta. Il test a 5 bar di N₂ parte subito in svantaggio rispetto a tutti gli altri campioni, ma dopo 5 secondi presenta una schiuma più spessa rispetto ad altre due prove.

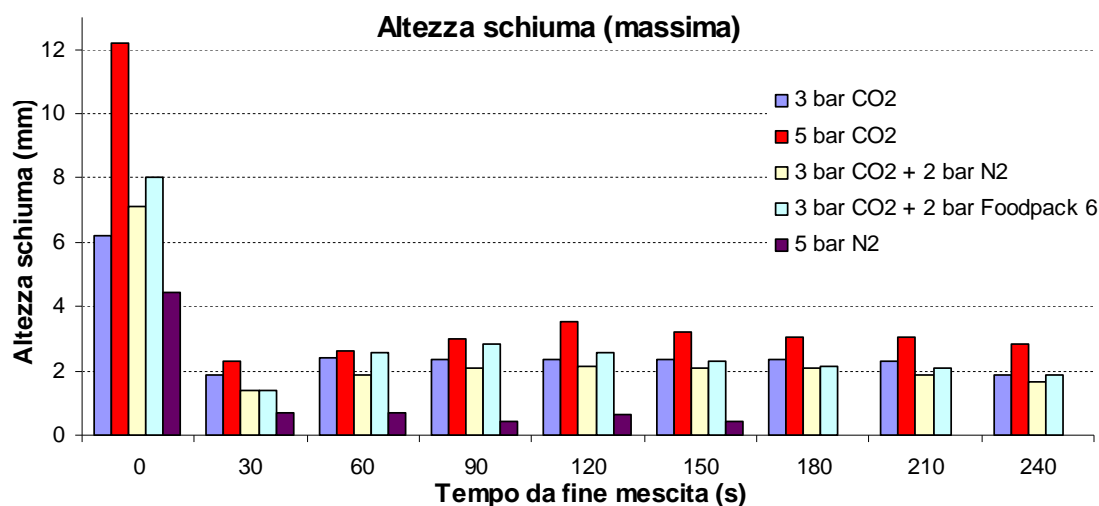


Figura 36: Dettaglio dell'altezza massima della schiuma durante i primi quattro minuti dalla fine della miscela per i cinque tipi di spumante..

Osservando il grafico di figura 36 si nota che anche in questo caso i campioni si comportano in maniera omogenea: durante i primi 30 secondi lo spessore della schiuma cala drasticamente, poi torna leggermente ad aumentare facendo registrare un nuovo picco massimo a 120 secondi, per poi calare nuovamente. Anche in questo caso il campione migliore risulta quella con 5 bar di CO₂ e il secondo quello a 5 bar contenente Foodpack 6, mentre il peggiore rimane quello a 5 bar di N₂. In questo grafico però è chiaro come il campione a 3 bar di CO₂ sia, dopo le primissime fasi, migliore di quello con 3 bar di CO₂ e 2 di azoto.

11.2 Elaborazione delle fotografie

Di seguito sono riportati i grafici sviluppati a partire dai dati così ottenuti, i quali sono riportati negli allegati 3, 4 e 5 riguardanti rispettivamente i valori delle sezioni UP, DOWN e GLASS. Per primi verranno illustrati i grafici riguardanti il numero delle bolle.

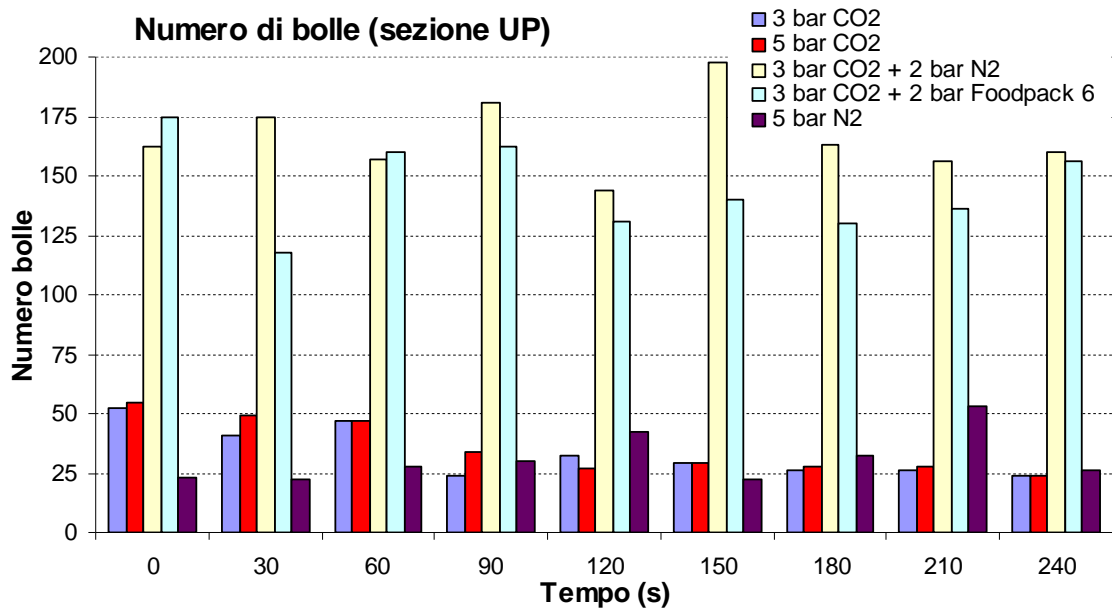


Figura 37: Numero di bolle presenti all'interno della sezione UP nei primi quattro minuti dalla fine della miscita.

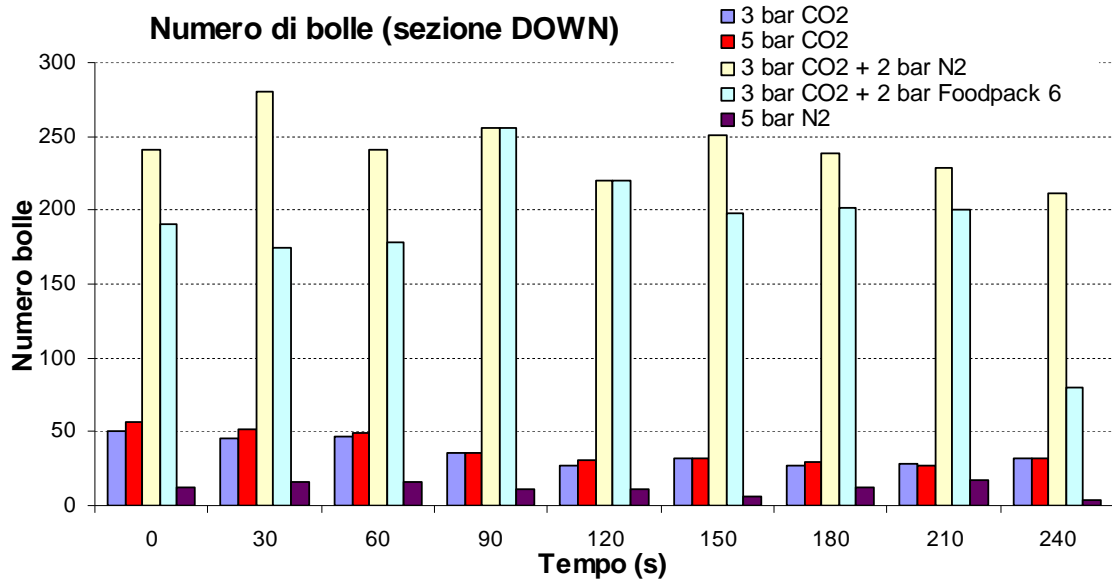


Figura 38: Numero di bolle presenti all'interno della sezione DOWN nei primi quattro minuti dalla fine della miscita.

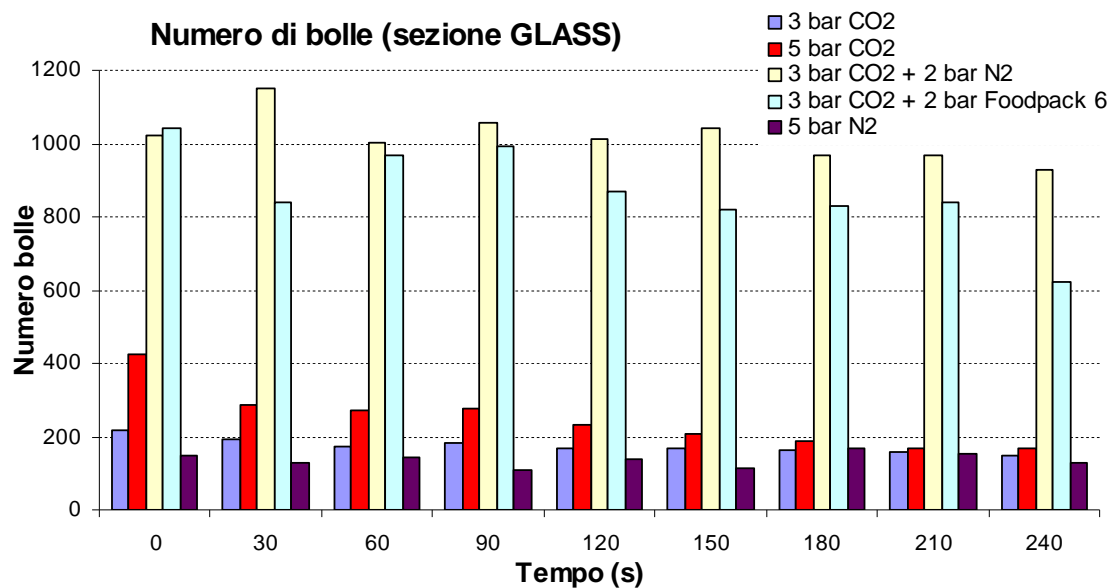


Figura 39: Numero di bolle presenti all'interno della sezione GLASS nei primi quattro minuti dalla fine della mescita.

Osservando i tre grafici risalta subito all'occhio come le due prove a 5 bar contenenti sia anidride carbonica che azoto sviluppino un numero di bolle notevolmente superiore a tutte le altre. Tra le due la migliore è quella con 2 bar di azoto ed entrambe dimostrano uno sviluppo di bolle perlopiù costante nel tempo; solo dal grafico riferito alla sezione GLASS si evince una tendenza alla lieve diminuzione dello sviluppo di bolle con l'andare del tempo. Tra le prove al 100% di CO₂ quella a 5 bar di sovrappressione risulta la migliore ed entrambe dimostrano una progressiva diminuzione del numero di bolle prodotte. La prova a 5 bar di azoto è una voce fuori dal coro, che non evidenzia alcun andamento uniforme ed interpretabile.

Tutte le prove, tranne quella con 5 bar di azoto, forniscono un conteggio di bolle superiore nella sezione DOWN rispetto alla sezione UP. Questa differenza è minima nel caso delle prove 100% CO₂, mentre è molto più sensibile (si aggira attorno al 25%) nel caso di quelle a 5 bar e contenenti azoto. Il numero delle bolle tende quindi ad aumentare durante la risalita e questo è spiegabile con il fenomeno della fusione (Ribéreau-Gayon, P. et al., 2007, p 515).

I seguenti grafici rappresentano invece la dimensione delle bolle all'interno delle tre aree di interesse.

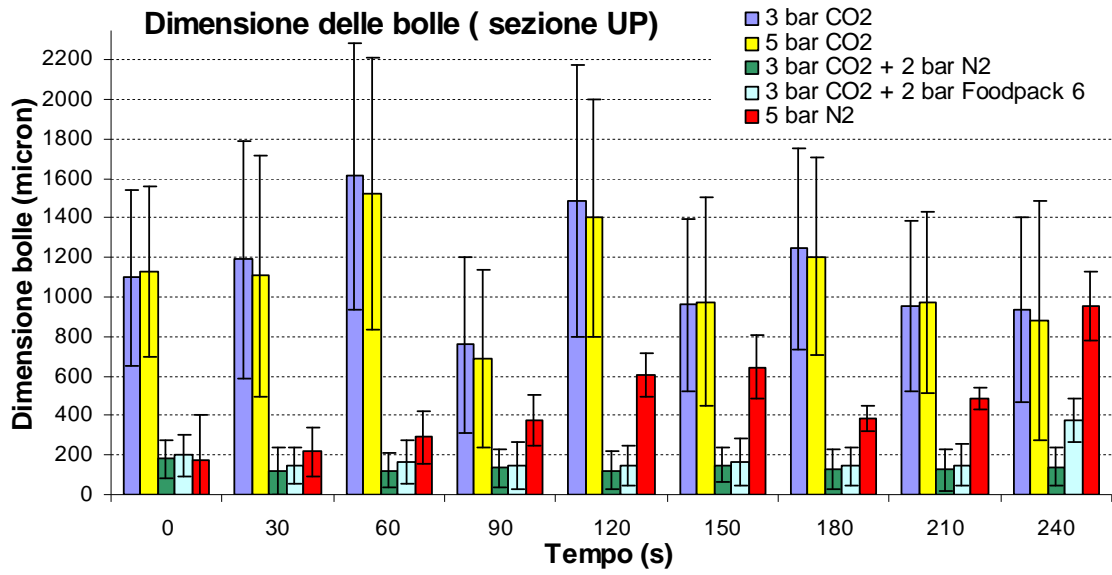


Figura 40: Dimensione delle bolle presenti all'interno della sezione UP nei primi quattro minuti dalla fine della miscita. Le colonne rappresentano i valori medi, mentre le linee verticali la deviazione standard.

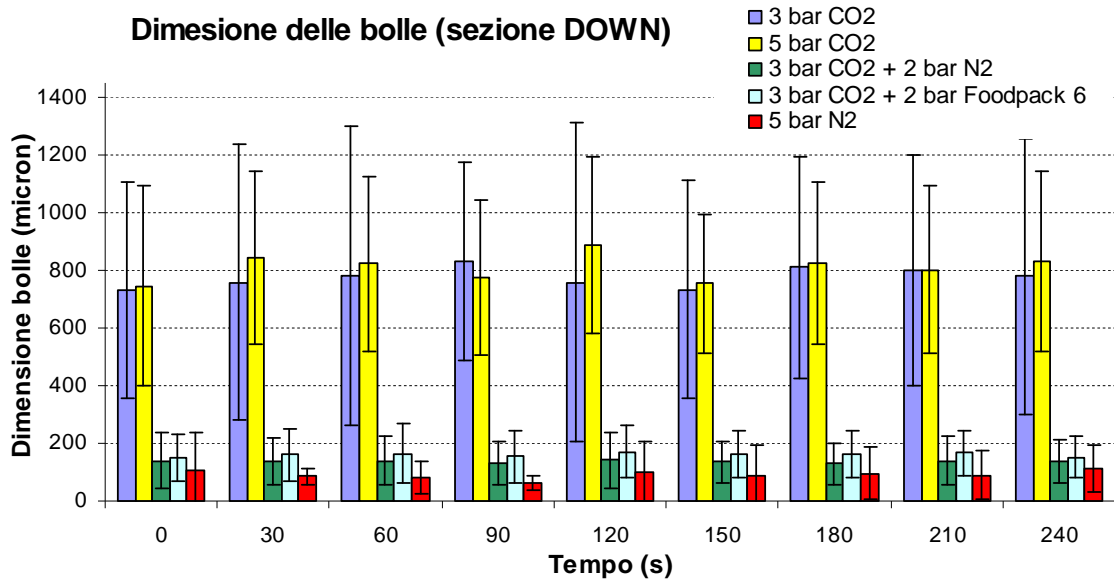


Figura 41: Dimensione delle bolle presenti all'interno della sezione DOWN nei primi quattro minuti dalla fine della miscita. Le colonne rappresentano i valori medi, mentre le linee verticali la deviazione standard.

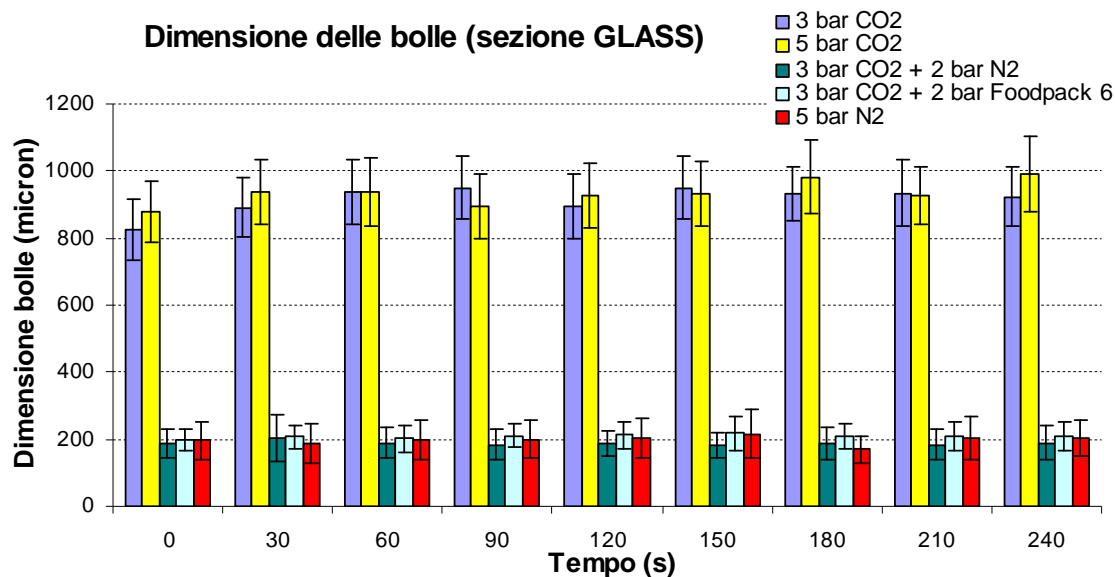


Figura 42: Dimensione delle bolle presenti all'interno della sezione GLASS nei primi quattro minuti dalla fine della mescita. Le colonne rappresentano i valori medi, mentre le linee verticali la deviazione standard.

Dai grafici si evince che la dimensione delle bolle rimane abbastanza costante nel tempo, tranne nel caso della prova col 100% di azoto nella quale le dimensioni aumentano sensibilmente nei primi due grafici, mentre tendono a rimanere costanti in quello riferito alla sezione GLASS.

Osservando contemporaneamente i primi due grafici si intuisce che durante la risalita il diametro delle bolle tende ad aumentare: l'incremento è minimo nelle prove contenenti sia CO₂ che N₂, mentre è massimo nel caso del campione 100% N₂. Le due prove al 100% di CO₂ si comportano in maniera molto simile tra loro, sia per quanto riguarda le dimensioni delle bolle (molto maggiori rispetto alle prove contenenti azoto) che per l'aumento del diametro medio durante la risalita nel bicchiere.

Un dato significativo è quello della deviazione standard registrata nei primi due grafici. In quasi tutte le prove essa è molto elevata, arrivando in alcune prove a eguagliare quasi il valore medio. Ciò significa che si sono prodotte bolle di dimensioni molto variabili. Nel grafico di figura 42 la deviazione standard assume valori molto più contenuti.

Di seguito è riportata una tabella che illustra il volume di gas liberato dal vino spumante nel bicchiere nel corso dei primi quattro minuti dalla fine della mescita.

Tempo da fine servizio (s)	Volume occupato dalle bolle (l x 10 ⁻⁴)				
	3 bar CO ₂	5 bar CO ₂	3 bar CO ₂ + 2 bar N ₂	3 bar CO ₂ + 2 bar GM	5 bar N ₂
0	11,10	26,35	0,63	0,74	0,11
30	12,44	21,63	0,89	0,69	0,08
60	13,05	20,60	0,62	0,72	0,10
90	14,36	18,22	0,61	0,85	0,08
120	10,93	17,00	0,61	0,77	0,11
150	13,21	15,35	0,59	0,77	0,10
180	12,12	16,40	0,57	0,68	0,07
210	11,96	12,44	0,55	0,69	0,12
240	10,65	15,26	0,58	0,51	0,10

Note: GM = gas misto: Foodpack 6

Tabella 14: Analisi fotografica del volume occupato dalle bolle presenti nella sezione GLASS, calcolato moltiplicando il volume occupato da una bolla di diametro medio per il numero di bolle presenti. I valori di volume sono espressi in litri x 10⁻⁴

I valori presenti nella tabella sono stati calcolati moltiplicando il volume medio occupato da una bolla per il numero di bolle presente nel bicchiere in quella fotografia. Il volume medio delle bolle è stato calcolato a partire dal diametro medio individuato precedentemente ed applicando poi la formula del volume di una sfera: $V = \frac{2}{3} * d * \pi$ dove V è il volume della sfera e d il diametro della stessa.

Dalla tabella è evidente come il campione che rilascia più volume di gas nei momenti in cui sono state scattate le fotografie sia quello a 5 bar di CO₂, subito seguito da quello a 3 bar di CO₂. Nonostante i campioni contenenti sia anidride carbonica che azoto facciano registrare un numero di bolle molto maggiore rispetto a tutti gli altri, liberano 20-25 volte meno gas rispetto ai campioni prodotti al 100% con CO₂. Nella prova a 5 bar CO₂ si registra un iniziale calo di volume del gas emesso, mentre negli ultimi scatti il valore si stabilizza. Tutti gli altri campioni dimostrano un'emissione di gas costante nel tempo.

CONCLUSIONI

Nel corso del lavoro di tesi si è provveduto alla preparazione di vini spumanti mediante l'impiego di cinque diverse miscele di gas inerte. Tali vini sono stati quindi caratterizzati rispetto ai contenuti di ossigeno e anidride carbonica disciolta, nonché alla misura della sovrappressione presente nei contenitori. Le prove prodotte al 100% con azoto sono risultate maggiormente inquinate dal gas atmosferico, in quanto hanno presentato un contenuto di ossigeno superiore rispetto a tutte le altre. E' inoltre emerso come all'aumentare della frazione di azoto impiegata nella gassificazione aumenti la perdita di pressione registrata durante la fase dell'imbottigliamento.

I vini spumanti sono stati poi valutati mediante un test di analisi sensoriale secondo i parametri "effervescenza" e "preferenza gustativa". Per quanto riguarda il primo requisito, il vino prodotto con il 100% con azoto è emerso come il meno effervescente, mentre tra gli altri campioni non sono emerse differenze statisticamente significative. In base al secondo parametro, il campione al 100% di azoto è risultato il meno apprezzato, mentre il campione a 5 bar di CO₂ il più apprezzato.

I campioni sono stati poi valutati mediante l'impiego di misure fotografiche digitalizzate circa la schiuma e il perlage, secondo una tecnica capace di cogliere e quantificare la rapida evoluzione di un fenomeno caratterizzato da un elevatissimo numero di bolle, spesso microscopiche. La schiuma dei prodotti è stata studiata circa l'altezza e, aspetto molto caratterizzante, la sua persistenza nel tempo, consentendo di individuare gli approcci di gassificazione maggiormente performanti.

Circa il perlage, si sono valutati tre distinti aspetti del fenomeno: il numero di bolle e la loro dimensione media. Questi aspetti sono stati indagati in tre diverse porzioni del vino in bicchiere: una prossima al fondo, una più vicina alla superficie di contatto con l'aria e l'ultima. Anche in questo caso la tecnica ha permesso di documentare con chiarezza le differenze nell'effervescenza dei diversi prodotti. Per completezza è stato infine calcolato il volume di gas liberato dai vini spumanti nel corso del tempo.

Il prodotto ottenuto mediante gassificazione con 5 bar di CO₂ ha mostrato le migliori caratteristiche di sviluppo e persistenza della schiuma, nonché del perlage: ciò in accordo con quanto emerso dall'analisi sensoriale.

La tecnica proposta, relativamente poco costosa, ha mostrato di saper evidenziare con accuratezza di dettaglio e chiarezza descrittiva le differenze macroscopiche e microscopiche prodotte da diverse tecniche di spumantizzazione sulle caratteristiche di schiuma e perlage.

Alla luce dei risultati acquisiti, tale approccio potrà sicuramente risultare interessante per gli impianti di produzione nella valutazione e standardizzazione dei loro prodotti commerciali.

BIBLIOGRAFIA

Andres-Lacueva, C.; Lamuela-Raventos, R. M.; Buxaderas, S.; de la Torre Boronat, M.C., *Influence of variety and aging on foaming properties of Cava (sparkling wine)*. 2. J. Agric. Food Chem., 1997.

Andres-Lacueva, C.; Lopez-Tamames, E.; Lamuela-Raventos, R. M.; Buxaderas, S.; de la Torre Boronat, M. C., *Characteristics of sparkling base wines affecting foam behaviour*. J. Agric. Food Chem., 1996.

Andres-Lacueva, C., Gallart M, Lopez-Tamames, E. & Lamuela-Raventos RM, *Influence of variety and aging on foaming properties of sparkling wine (cava)*. 1. J Agric Food Chem, 1996.

Bach, H.-P., Troost, G. & Rhein, O.H., *Sekt – Schaumwein – Perlwein*. Ulmer Verlag, 2010.

Blasco, L., Feijoo-Siota, L., Veiga-Crespo, P., Villa, T.G., *Genetic stabilization of Saccharomyces cerevisiae oenological strains by using benomyl*. Int Microbiol, 2008.

Buxaderas, S. and Lopez-Tamames, E., *Production of sparkling wines, in Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, Ed by Caballero B, Trugo L and Finglas PM. Vol 10, 2nd edn*. Elsevier Science, St Louis, MO, 2003.

Cilindre, C., Castro, A. J., Clement, C., Jeandet, P., & Marchal, R., *Influence of Botrytis cinerea infection on Champagne wine proteins (characterized by two-dimensional electrophoresis/ immunodetection) and wine foaming properties*.

Food Chemistry, 2007.

Council Regulation (EC)N 1493/1999 of 17 May 1999 on the common organization of the market in wine, L 179/1-84, 1999.

D.M. 29/11/1993 – GU 287 del 07/12/1993 con modifiche del D.M. 14/08/1995 – GU 228 del 29/09/1995.

Dambrouck T., Marchal R., Cilindre C., Parmentier M., & Jeandet P., *Determination of the grape invertase content (using PTAELISA) following various fining treatments versus changes in the total protein content of wine. Relationships with wine foamability.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005.

Das Südzucker Handbuch: Alkoholfreie Erfrischungsgetränke, Südzucker AG, 1998.

De Vita, P. & De Vita, G., *Manuale di meccanica enologica.*

Milano, Ulrico Hoepli Editore S.p.a., 2007.

Dittrich, H., *Mikrobiologie der Lebensmittel – Getränke.*

Hamburg, 1993.

Dittrich, H., *Mikrobiologie des Weines – Handbuch der Getränketechnologie.*

Stuttgart, 1977.

Dransfeld, K., Kienle, P. & Kalvius, G. M., *Physik I- Mechanik und Wärme*, 8.

Auflage, München, 1998.

Dussaud, A.; Robillard, B.; Carles, B.; Duteurtre, B.; Vignes-Adler, M., *Exogenous lipids and ethanol influences on the foam behavior of sparkling base wines.*

J. Food Sci, 1994.

Eisenbrand, G., Schreier, P. & Mezer A. H., *Römpp Lexikon Lebensmittelchemie*, 2.

Auflage, Stuttgart, 2006.

Evans, E., Bamforth, C.W., *Beer foam, achieving a suitable head. In: Bamforth CW (ed) Beer: a quality perspective.*

Academic Press, Burlington, MA, USA, 2009.

Ferreira, I.M., Jorge, K., Nogueira, L.C., Silva, F., Trugo, L.C., *Effects of the combination of hydrophobic polypeptides, iso-alpha acids, and malto-oligosaccharides on beer foam stability.*

J Agric Food Chem., 2005

Gallart M., Tomas X., Suberbiola G., Lopez-Tamames E. & Buxaderas, S., *Relationship between foam parameters obtained by the gas-sparging method and sensory evaluation of sparkling wines.*

J. Sci. Food Agric., 2004.

Gallart, M.; Lopez-Tamames, E.; Suberbiola, G. & BuxaderasS, S., *Influence of Fatty Acids on Wine Foaming.*

J. Agric. Food Chem., 2002.

Gallart, M.; Tomas, X.; Suberbiola, G.; Lopez-Tamames, E.; Buxaderas, S. *Relationship between foam parameters obtained by the gas-sparging method and sensory evaluation of sparkling wines.*

J. Sci. Food Agric., 2004.

Girbau-Sola, T., Lopez-Tamames, E., Bujan, J., & Buxaderas, S., *Foam aptitude of Trepat and Monastrell red varieties in Cava elaboration 1 base wine characteristics,* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002.

Girbau-Sola, T.; Lo´pez-Barajas, M.; Lopez-Tamames, E.; Buxaderas, S., *Foam aptitude of Trepat and Monastrell red varieties in Cava elaboration. 2. Second fermentation and aging.*

J. Agric. Food Chem. 2002.

Guichard, E, Roudnitzky, N., Valentin, D., & Brun, O., *Sparkling wines with different CO2 levels: effect on physico-chemical composition and aroma release.*

Proceedings of the WAC2008 International Conference, Oeno Plurimedia, 2008.

Harten, U., *Harten Physik – Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, 2. Auflage, Berlin, 2005.

Hering, E., Martin, R. & Stroher, M., *Physik für Ingenieure*, 9. Auflage, Berlin, 2004.

Hidalgo, P.; Pueyo, E.; Pozo-Bayo'n, M. A.; Marti'nez-Rodri'guez, A. J.; Marti'n-AA lvarez, P.; Polo, M.C., *Sensory and analytical study of Rose' Sparkling wines manufactured by second fermentation in the bottle.*

J. Agric. Food Chem., 2004.

Kordialik-Bogacka, E., Ambroziak, W., *Investigation of foamactive polypeptides during beer fermentation.*

J. Sci. Food Agric., 2004.

Liger Blair G., *The physics behind the fizz in champagne and sparkling wines.*
The european physical journal, 2012

Liger-Belair, G., Lemaesquier, H., Robillard, B., Duteurtre, B. and Jeandet, P., *The secrets of fizz in champagne wines: a phenomenological study.*

Am J Enol Vitic, 2001.

Liger-Belair, G., Vignes-Adler, M., Voisin, C., Robillard, B. and Jeandet, P., *Kinetics of gas discharging in a glass of champagne: the role of nucleation sites.*

Langmuir, 2002.

Liger-Belair, G., Polidori, G., & Jeandet, P., *Recent advances in the science of champagne bubbles.*

Chemical Society Reviews, 2008.

Liger-Belair, G.; Lemerquesquier, H.; Robillard, B.; Duteurtre, B.; Jeandet, P., *The secrets of fizz in Champagne wines: A phenomenological study.*

Am. J. Enol. Vitic. 2001.

Liger-Belair, G.; Prost, E.; Parmentier, M.; Jeandet, P.; Nuzillard, J.-M., *Diffusion coefficients of CO₂ molecules as determined by ¹³C NMR in various carbonated beverages.*

J. Agric. Food Chem., 2003.

Lopez-Barajas, M.; Lopez-Tamames, E.; Buxaderas, S.; de la Torre Boronat, M.C., *Effect of vinification and variety on foam capacity of wine.*

Am. J. Enol. Vitic, 1998.

Machet, F., Robillard, B., & Duteurtre, B., *Application of imageanalysis to foam stability of sparkling wines.*

Sciences Des Aliments, 1993.

Marchal, R., Rondot, S., Thuillier, B., Arnould, H.L., & Jeandet, P., *Incidence de l'intensité du dégazage par nucléation sur les caractéristiques "au nez" et "en bouche" des vins effervescents. In: Wine Active Compounds.*

Proceedings of the WAC2008 International Conference, Oeno Plurimedia, 2008a.

Marchal, R., Rondot, S., Thuillier, B., Arnould, H.L., & Jeandet, P., *Incidence de la standardisation de l'effervescence sur les caractéristiques visuelles d'un Crémant de Bourgogne. In: Wine Active Compounds.*

Proceedings of the WAC2008 International Conference, Oeno Plurimedia, 2008b.

Marchal, R., Tabary, I., Valade, M., Moncomble, D., Viaux, L., Robillard, B., et al., *Effects of Botrytis cinerea infection on Champagne wine foaming properties.*

Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001.

Marchal, R., Warchol, M., Cilindre, C., & Jeandet, P., *Evidence for protein degradation by Botrytis cinerea and relationships with alteration of synthetic wine foaming properties.*

J. Agric. Food Chem., 2006.

Marchal, R.; Chaboche, D.; Douillard, R.; Jeandet, P., *Influence of lysozyme treatments on Champagne base wine foaming properties.*

J. Agric. Food Chem., 2002.

Martinez-Rodriguez, A., & Pueyo, E., *Sparkling Wines and Yeast Autolysis. In V. Moreno-Arribas & M. C. Polo (Eds.).*

Wine Chemistry and Biochemistry, New Cork, USA: Springer Life Sciences Science Business Media Eds., LLC, 2009.

Martinez-Rodriguez, A. J., & Polo, M. C., *Effect of the addition of bentonite to the tirage solution on the nitrogen composition and sensory quality of sparkling wines.*

Food Chemistry, 2003.

Maujean, A.; Poinssaut, P.; Dantan, H.; Brissonet, F.; Cossiez, E., *EÄ tude de la tenue et de la qualite´ de mousse des vins effervescents. II. Mise au point d'une technique de mesure de la moussabilite´, de la tenue et de la stabilite´ de la mousse des vins effervescents (1).*

Bull. O.I.V., 1990.

Moreno-Arribas, V., Pueyo, E., Nieto, F. J., Martin-Alvarez, P. J., & Polo, M. C., *Influence of the polysaccharides and the nitrogen compounds on foaming properties of sparkling wines.*

Food Chemistry, 2000.

Nunez, Y. P., Carrascosa, A. V., Gonzalez, R., Polo, M. C., & Martinez-Rodriguez, A. J., *Effect of accelerated autolysis of yeast on the composition and foaming properties of sparkling wines elaborated by a champenoise method.*

J. Agric. Food Chem., 2005.

Obiols, J. M.; De La Presa-Owens, C.; Buxaderas, S.; Bori, J. L.; De La Torre-Boronat, C., *Protocolo de evaluació n de la formació n de la efervescencia y espuma en un vino espumoso.*

ACE ReV. Enol. 1998.

Poinsaut, P., *Le mosalux appareil de mesure du pouvoir moussant du vin.*

Rev. Oenol., 1991.

Pozo-Bayon, M. A., Polo, M. C., Martin-Alvarez, P. J., & Pueyo, E., *Effect of vineyard yield on the composition of sparkling wines produced from the grape cultivar Parellada.*

Food Chemistry, 2004.

Pretorius, I.S., *Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient wine making.*

Yeast, 2000.

Pueyo, E.; Marti n-AÄ lvarez, P.J.; Polo, M.C., *Relationship between foam characteristics and chemical composition in wines and Cavas (sparkling wines).*

Am. J. Enol. Vitic. 1995.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A., *Trattato di Enologia I. Microbiologia del vino e Vinificazioni. 3a edizione.*

Bologna, Il Sole 24 ORE Edagricole, 2007.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A., *Trattato di Enologia II. Chimica del vino, stabilizzazione e trattamenti. 3a edizione.*

Bologna, Il Sole 24 ORE Edagricole, 2007.

Robillard, B., Delpuech, E., Viaux, L., Malvy, J., Vignesadler, M., & Duteurtre, B., *Improvements of methods for sparkling base wine foam measurements and effect of wine filtration on foam behavior.*

American Journal of Enology and Viticulture, 1993.

Schumann, G., *Alkoholfreie Getränke: Rohstoffe, Produktion, lebensmittelrechtliche Bestimmungen. Edizione 9.*

Berlin, Verlag der VLB, 2002.

Scobel, W., Lindström, G. & Langkau, R., *Physik kompakt 1 – Mechanik, Fluiddynamik und Wärmelehre; 2.*

Auflage, Berlin, 2002

Ucke C and Schlichting HJ, *Why does champagne bubble?.*

Phys Technol Quest, 1997.

Vanrell, G., Canals, R., Esteruelas, M., Fort, F., Canals, J. M., & Zamora, F., *Influence of the use of bentonite as a riddling agent on foam quality and protein fraction of sparkling wines (Cava).*

Food Chemistry, 2007.

Viaux, L.; Morard, C.; Robillard, B.; Duteurtre, B., *The impact of base wine filtration on champagne foam behaviour.*

Am. J. Enol. Vitic., 1994.

Wilde, P.J., Clark, D.C., *Foam formation and stability. In: Hall (ed) Methods of testing protein functionality.*

Blackie, London, UK, 1996.

Würdig, G. & Woller, R., *Chemie des Weines – Handbuch der Lebensmitteltechnologie.* Stuttgart, 1989.

Allegato 1

Tabella 15: Ordine di preferenza dei campioni della prima serie di campioni secondo il parametro “effervescenza”.

Degustatore	Ordine effervescenza serie 1°				
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
1	3	2	4	1	5
2	4	2	1	3	5
3	2	1	4	3	5
4	1	2	4	3	5
5	1	3	4	2	5
6	4	2	3	1	5
7	3	4	2	1	5
8	2	1	4	3	5
9	2	4	3	1	5
10	3	1	2	4	5
11	1	3	4	2	5
12	4	1	3	2	5

Tabella 17: Ordine di preferenza dei campioni della seconda serie di campioni secondo il parametro “effervescenza”.

Degustatore	Ordine effervescenza serie 2°				
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
1	1	3	2	4	5
2	4	2	3	1	5
3	2	1	4	3	5
4	4	1	3	2	5
5	3	1	4	2	5
6	3	2	4	1	5
7	3	2	4	1	5
8	1	2	3	4	5
9	1	4	2	3	5
10	2	5	1	3	4
11	3	2	1	4	5
12	4	1	3	2	5

Tabella 16: Ordine di preferenza dei campioni della prima serie di campioni secondo il parametro “preferenza gustativa”.

Degustatore	Ordine preferenza gustativa serie 1°				
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
1	3	2	4	1	5
2	4	1	3	2	5
3	2	5	3	4	1
4	4	1	2	3	5
5	3	1	5	2	4
6	4	2	3	1	5
7	4	2	3	1	5
8	1	2	4	3	5
9	2	4	3	1	5
10	3	1	4	2	5
11	2	3	1	4	5
12	4	1	2	3	5

Tabella 18: Ordine di preferenza dei campioni della seconda serie di campioni secondo il parametro “preferenza gustativa”.

Degustatore	Ordine preferenza gustativa serie 2°				
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
1	1	2	3	4	5
2	3	1	2	4	5
3	2	3	5	4	1
4	4	3	1	2	5
5	1	2	3	4	4
6	3	2	4	1	5
7	2	3	4	1	5
8	4	2	1	3	5
9	2	4	1	3	5
10	2	5	1	4	3
11	3	1	2	4	5
12	2	1	3	4	5

Allegato 2

Tabella 19: Calcolo della somma dei ranghi della prima serie di campioni secondo il parametro “effervescenza”.

Ranghi	Votazione per rango				
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
1	3	4	1	4	0
2	3	4	2	3	0
3	3	2	3	4	0
4	3	2	6	1	0
5	0	0	0	0	12
Numero di voti x posizione					
1	3	4	1	4	0
2	6	8	4	6	0
3	9	6	9	12	0
4	12	8	24	4	0
5	0	0	0	0	60
Somma	30	26	38	26	60

Tabella 21: Calcolo della somma dei ranghi della seconda serie di campioni secondo il parametro “effervescenza”.

Ranghi	Votazione per rango				
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
1	3	4	2	3	0
2	2	5	2	3	0
3	4	1	4	3	0
4	3	1	4	3	1
5	0	1	0	0	11
Numero di voti x posizione					
1	3	4	2	3	0
2	4	10	4	6	0
3	12	3	12	9	0
4	12	4	16	12	4
5	0	5	0	0	55
Somma	31	26	34	30	59

Tabella 20: Calcolo della somma dei ranghi della prima serie di campioni secondo il parametro “preferenza gustativa”.

Ranghi	Votazione per rango				
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
1	1	5	1	4	1
2	3	4	2	3	0
3	3	1	5	3	0
4	5	1	3	2	1
5	0	1	1	0	10
Numero di voti x posizione					
1	1	5	1	4	1
2	6	8	4	6	0
3	9	3	15	9	0
4	20	4	12	6	4
5	0	5	5	0	50
Somma	36	25	37	27	55

Tabella 22: Calcolo della somma dei ranghi della prima serie di campioni secondo il parametro “preferenza gustativa”.

Ranghi	Votazione per rango				
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
1	2	3	4	2	1
2	5	4	2	1	0
3	3	3	3	2	1
4	2	1	2	7	0
5	0	1	1	0	10
Numero di voti x posizione					
1	2	3	4	2	1
2	10	8	4	2	0
3	9	9	9	6	3
4	8	4	8	28	0
5	0	5	5	0	50
Somma	29	29	30	38	54

Allegato 3

Tabella 23: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂, sezione UP.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	52	1097	444	222	2324
30	41	1189	603	288	3005
60	47	1613	677	222	4207
90	24	759	446	251	2756
120	32	1487	689	358	4131
150	29	960	437	347	1971
180	26	1244	511	222	2916
210	26	952	430	301	2252
240	24	937	465	222	2477

Tabella 24: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar CO₂, sezione UP.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	55	1127	433	317	2266
30	49	1108	609	447	4399
60	47	1525	690	380	4204
90	34	690	449	223	1907
120	27	1402	604	223	3071
150	29	977	526	301	2555
180	28	1207	501	223	2831
210	28	975	459	227	2400
240	24	882	610	222	3704

Tabella 25: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar N₂, sezione UP.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	162	180	95	39	678
30	175	121	118	38	1686
60	157	123	85	38	753
90	181	136	96	42	664
120	144	123	95	40	709
150	198	149	88	39	684
180	163	129	97	49	745
210	156	124	102	44	991
240	160	141	98	41	891

Tabella 26: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar Foodpack 6, sezione UP.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	175	200	104	43	813
30	118	144	93	39	716
60	160	167	109	41	896
90	162	149	118	38	736
120	131	147	103	40	850
150	140	167	118	38	754
180	130	145	98	42	798
210	136	149	106	45	630
240	156	380	110	40	667

Tabella 27: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar N₂, sezione UP.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	23	174	230	41	1607
30	22	218	124	40	562
60	28	292	132	41	983
90	30	378	131	39	770
120	42	609	111	40	929
150	22	645	161	43	1035
180	32	383	63	41	464
210	53	484	56	44	1245
240	26	952	174	43	1289

Allegato 4

Tabella 28: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂, sezione DOWN.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	51	732	373	224	1418
30	45	759	476	338	1394
60	47	781	518	294	2215
90	36	832	345	296	1782
120	27	759	555	224	2317
150	32	734	381	224	1578
180	27	812	384	301	1644
210	28	802	400	252	2384
240	32	780	478	313	1922

Tabella 29: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar CO₂, sezione DOWN.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	56	747	347	223	2699
30	52	843	302	340	1782
60	49	823	303	223	2095
90	36	776	267	220	1719
120	31	887	307	223	1448
150	32	756	241	224	1198
180	29	824	283	349	1498
210	27	801	291	252	1787
240	32	832	311	387	1882

Tabella 30: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar N₂, sezione DOWN.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	241	140	95	40	1012
30	280	140	81	42	696
60	241	139	85	39	744
90	256	133	74	38	561
120	220	142	96	38	1077
150	251	135	71	41	509
180	238	129	73	38	615
210	229	138	84	40	793
240	212	135	76	39	627

Tabella 31: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar Foodpack 6, sezione DOWN.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	190	153	81	38	613
30	174	160	90	40	822
60	178	164	102	41	1021
90	256	155	90	40	940
120	220	169	90	40	544
150	198	160	81	39	548
180	202	161	80	44	461
210	200	166	80	42	535
240	80	153	71	43	403

Tabella 32: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar N₂, sezione DOWN.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	12	104	136	41	641
30	16	85	28	42	130
60	16	83	56	39	230
90	11	62	26	38	117
120	11	103	104	42	454
150	6	89	103	39	393
180	12	97	88	40	271
210	17	89	85	41	467
240	4	111	80	41	317

Allegato 5

Tabella 33: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂, sezione GLASS.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	216	824	91	44	5040
30	192	890	88	45	3277
60	173	937	95	44	4578
90	183	950	93	45	4905
120	166	896	97	45	5258
150	168	950	94	46	3670
180	162	934	80	89	2916
210	160	935	99	43	4022
240	147	924	88	47	2945

Tabella 34: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar CO₂, sezione GLASS.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	423	879	93	45	3509
30	286	937	96	48	4692
60	273	937	100	44	4739
90	277	895	94	43	4386
120	233	927	97	51	4578
150	207	932	97	54	4417
180	188	983	108	45	5176
210	170	927	87	100	3768
240	170	992	112	45	4782

Tabella 35: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar N₂, sezione GLASS.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	1022	188	43	38	5826
30	1149	203	72	46	11761
60	1005	188	45	41	6652
90	1057	185	46	45	7190
120	1012	187	37	45	5727
150	1043	183	39	57	5657
180	967	185	48	53	5780
210	970	184	46	51	6400
240	927	190	49	39	7407

Tabella 36: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 3 bar CO₂ + 2 bar Foodpack 6, sezione GLASS.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	1044	197	32	39	4660
30	841	207	35	51	4640
60	966	201	39	56	4605
90	995	211	35	42	5194
120	869	213	41	38	5113
150	822	217	52	41	5730
180	829	208	36	38	4630
210	841	208	44	39	4866
240	622	208	42	38	5045

Tabella 37: Analisi fotografica del numero e della dimensione delle bolle riferita al campione 5 bar N₂, sezione GLASS.

Tempo da fine servizio (s)	N° bolle	Diametro bolle (micron)			
		Medio	Varianza	Minimo	Massimo
0	151	197	56	41	2851
30	128	187	59	40	3146
60	142	198	57	41	2988
90	110	201	57	41	3181
120	137	204	61	43	3035
150	112	216	73	45	3311
180	167	169	41	40	2914
210	154	202	65	45	3235
240	126	205	54	42	2767