

# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento Agronomia Animali Ambiente Risorse Naturali e Ambiente  
Dipartimento di Medicina Animale, produzioni e salute

Corso di laurea in  
Scienze e Cultura della Gastronomia

## **Tecniche digitali per la caratterizzazione della spuma negli spumanti NoLo**

Relatore: Prof. Lorenzo Guerrini  
Correlatore: Dr. Alessandro Zanchin

Laureanda: Francesco Toffolo  
Matricola n. 2015992



## Riassunto

La qualità è un fattore da sempre importante nel settore dell'agroalimentare, per tutelare il consumatore negli anni si sono creati vari metodi di controllo, sia a livello "artigianale" prima, che a livello industriale ed automatizzato, poi. Grazie alle innovazioni tecnologiche, e alla vasta disponibilità nel mercato di strumenti informatici come, sensori, schede grafiche e processori, il controllo della qualità dei prodotti ha visto una notevole rivoluzione metodologica. Nel controllo-qualità si ha una vasta gamma di mezzi per migliorare la filiera intera, qui noi ci focalizzeremo su quelli che sono i sistemi di controllo tramite selezionatrici, che poi processano i dati tramite reti neurali, andando a fare una breve descrizione di quelli che sono i metodi più utilizzati (Red Green Blue-Depth, Short wavelength infrared, you only live once). Nel mondo del vino, negli ultimi anni, è in crescita quella fetta di mercato che va alla ricerca di prodotti a basso grado alcolico od assente (Low o Free alcol). Il presente lavoro di tesi ha voluto rispondere alla domanda, in che modo si forma la schiuma in un vino e qual è il suo comportamento al variare dell'percentuale di alcol. Ho quindi deciso di fare delle analisi a del vino con differenti percentuali di alcol, con il metodo Mosalux. In seguito, grazie a tecniche di intelligenza artificiale applicata all'analisi di immagine, si è voluto misurare l'area totale coperta dalla schiuma, il numero di singole bolle identificabili, e la stabilità temporale della schiuma.

Tramite questo lavoro, si può andare a pianificare la produzione di un vino frizzante con un basso quantitativo di alcol sapendo che non è necessaria la presenza di alcol al fine di avere una schiuma di qualità in un vino.

## **Abstract**

Quality has always been an important factor in the agri-food sector. Various control methods have been created over the years to protect the consumer both at an "artisanal" level first and then at an industrial and automated level. Thanks to technological innovations and the vast availability of IT tools such as sensors, graphics cards, and processors, product quality control has seen a notable methodological revolution. In quality control, there is a vast range of means to improve the entire supply chain. The present thesis focused on the control systems using sorters, which then process the data via neural networks, giving a brief description of those that are the most used methods (RGBD, SWIR, YOLO). In recent years, the wine market has increased the availability of products with low or no alcohol content. This thesis aimed to answer the research question of how foam forms in wine and its behaviour when the alcohol percentage varies. Hence, it has been decided to carry out analyses on wine with different alcohol percentages following the Mosalux method. Subsequently, thanks to artificial intelligence techniques applied to image analysis, we wanted to measure the total area covered by the foam, the number of individually identifiable bubbles, and the temporal stability of the foam.

Through this work, you can plan the production of a sparkling wine with a low quantity of alcohol, knowing that the presence of alcohol is not necessary to have a quality foam in a wine.

## **Sommario**

- 1 INTRODUZIONE
  1. LA QUALITÀ NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE
    - 1.1 Il controllo qualità
- 2 TECNICHE DI CONTROLLO QUALITÀ IMPIEGATE NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE
  - 2.1 Le tecniche a confronto
  - 2.2 Sensori ottici
  - 2.3 Analisi d'immagine
  - 2.4 Reti neurali
- 4 METODI DIGITALI DI ANALISI DELL'IMMAGINE
  - 4.1 Riconoscimento di oggetti
  - 4.2 Segmentazione semantica
- 5 GLI SPUMANTI E LE PROPRIETÀ DELLA SPUMA
  - 5.1 Bollicine negli spumanti e loro natura
  - 5.2 Come si sviluppa la schiuma in uno spumante
  - 5.3 Persistenza e qualità delle bolle negli spumanti
  - 5.4 Metodi tradizionali per la valutazione di bolle e spuma
- 6 IL CASO STUDIO
  - 6.1 Il presente lavoro di tesi
  - 6.2 Materiali e metodi
  - 6.3 Risultati
  - 6.4 Conclusioni
- 7 BIBLIOGRAFIA

## INTRODUZIONE

### 1. LA QUALITÀ NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE

#### 1.1 il controllo qualità

Il controllo della qualità alimentare è il processo di monitoraggio, analisi e verifica delle materie prime impiegate nell'industria alimentare in piena conformità degli standard qualitativi e di sicurezza previsti dalle normative e dai regolamenti delle aziende impiegate nel settore agro-alimentare. Tutte le aziende del settore agroalimentare sono obbligate, per legge, a seguire la norma ISO 22000 per la gestione della sicurezza alimentare che consente in modo diretto o indiretto, di identificare i rischi a cui possono essere esposte e di gestirli in maniera efficace.

L'ISO 22000 garantisce la sicurezza agroalimentare in tutta la filiera produttiva e di lavorazione sulla base di principi fondamentali riconosciuti a livello internazionale.

Il controllo della qualità è quindi fondamentale per garantire la sicurezza, la conformità, e l'integrità dei prodotti; ciò implica una serie di processi e misure atte a monitorare e gestire vari aspetti che vanno dalla raccolta alla distribuzione.

Gli elementi chiave del controllo-qualità sono:

- Ispezione delle materie prime
- GAP (good agricultural practices)
- GMP (good manufacturing practices)
- HACCP (hazard analysis of critical and control point)
- Tracciabilità e documentazione

Nel settore agro-alimentare il controllo qualità, necessita di sperimentazione al fine di valutare l'efficacia di quelli che sono i precedentemente citati punti chiave, e anche per identificare quelli che possono essere nuovi metodi o tecnologie atti a migliorare la qualità dei prodotti alimentari.

Possibili tipologie di sperimentazioni rispetto a quelle che sono le metodologie in uso:

- **Nuovi metodi analitici** per l'analisi chimico-fisica/microbiologica.
- **Nuovi trattamenti di conservazione** al fine di preservarne la qualità nutrizionale e la shelf-life per il tempo più lungo possibile.
- **Tecnologie innovative come sensori**, IA o strumenti di analisi procedurali tramite sensori ottici.

Sperimentare nel mondo del food è e diventerà sempre più importante e necessario per mantenere gli standard qualitativi più alti possibile e anche per facilitare e automatizzare le procedure più lunghe di alcuni processi.

## 2. TECNICHE DI CONTROLLO QUALITA' IMPIEGATE NEL SETTORE AGRO-ALIMENTARE

### 2.1. Le tecniche a confronto

Potremmo definire il controllo qualità come l'insieme delle azioni volte a individuare e monitorare gli standard qualitativi dei prodotti realizzati.

Per assicurare la conformità ai requisiti richiesti, il reparto, o il tecnico addetto al controllo qualità effettua test e ispezioni sistematiche sulle materie prime, sui processi produttivi e sui prodotti in uscita.

L'esecuzione del controllo qualità da parte del personale fisico è sempre meno utilizzata, sia per le quantità che per l'accuratezza dei risultati finali; questo ha fatto sì che le tecniche di controllo virassero sempre di più verso una tipologia di controllo automatizzato in linea.

- I. Controllo umano-visivo: Valutazione del prodotto alimentare da parte di operatori umani, che vanno a rilevare difetti o irregolarità.
- II. Controllo umano-sensoriale: Valutazione del prodotto alimentare basandosi sui sensi umani, cioè gusto, olfatto, udito e tatto.
- III. Sistemi di ispezione visiva: Controllo da parte di dispositivi elettronici progettati per rilevare colori non conformi o per la presenza di corpi estranei, tramite la valutazione di immagini statiche o dinamiche, grazie a sensori d'immagine. Sono utilizzati ampiamente e sono di vario genere.
- IV. Selezionatori basati sull'acustica d'impatto: Monitoraggio con sensori acustici (microfoni od ultrasuoni) per analizzare l'emissione acustica del prodotto da ispezionare durante l'impatto con un corpo rigido.
- V. Selezionatrici ponderali: Controllo del peso dei prodotti, che può essere di tipo statico (bilancia), o dinamico attraverso pesatura automatica sui nastri trasportatori.
- VI. Analisi chimiche: Determinazione della composizione chimica, della presenza di additivi, nutrienti o eventuali contaminanti tramite l'uso di metodi analitici nei prodotti alimentari.
- VII. Analisi microbiologiche: Valutazione di presenza e quantità di microrganismi nei prodotti alimentari.
- VIII. Analisi degli allergeni: Presenza o meno di allergeni nei prodotti utilizzando metodi immuno-chimici.
- IX. Analisi della texture: Analisi della "trama", cioè la misurazione delle proprietà meccaniche di un prodotto, come la sua consistenza, tramite test meccanici.
- X. Analisi tramite raggiX: Analisi tramite l'aiuto di raggi x che penetrano nei materiali opachi alla luce visibile, andando a trovare eventuali impurità, come vetro, ossa, pietre o anche componenti metalliche.
- XI. Metal detector, con un rilevatore in cui è generato un campo magnetico che viene alterato al passaggio di un oggetto metallico con capacità magnetiche.

## *2.2. Sensori ottici*

In questo capitolo verranno approfonditi quelli che sono i sensori ottici utilizzati nel settore agro-alimentare, andando a comprenderne funzionalità, costruzione, impiego e storia.

Per soddisfare la richiesta di cibo di alta qualità le tecnologie hanno sviluppato dei sistemi capaci di riconoscere ciò che può andare a intaccare la qualità e la salubrità dei prodotti alimentari.

La tecnologia dei sensori è la misurazione di varie informazioni tramite rilevatori; con tecnologia dei sensori si intende un termine generale per le tecnologie che quantificano e utilizzano le informazioni ottenute dal rilevamento.

Ai tempi in cui non esistevano i sensori, le informazioni potevano essere ottenute solo attraverso i sensi dell'essere umano.

A partire dagli anni Ottanta cominciarono ad entrare nelle aziende agroalimentari le fotocamere digitali, inizialmente per verificare la qualità estetica o per documentare i processi. Cominciano a nascere i primi strumenti per il controllo della qualità, il primo esempio in Italia è uno strumento di calibrazione automatica per distinguere il colore delle mele rosse da quelle gialle (Biometric).

Nei primi anni 90 si cominciano ad utilizzare dei sensori di tipo CCD (charge-coupled-device)

Sono dei sensori d'immagine che trasformano un segnale luminoso in un segnale elettronico analogico o digitale che permette di ricostruire, elaborare e memorizzare un'immagine inquadrata.

Grazie allo sviluppo di nuovi sensori, chiamati CMOS o APS, negli anni duemila, si ha un miglioramento nella qualità dell'immagine e nella velocità di acquisizione delle immagini.

A partire dal 2010 si ha avuto una crescita di utilizzo di sensori tridimensionali (3D), che offrono la capacità di misurare le dimensioni e la forma degli oggetti in maniera tridimensionale.

In questi anni cominciano a nascere le fotocamere con rilevatore di profondità.

Oggigiorno, l'industria agro-alimentare fa largo impiego dei sensori d'immagine e tecniche di monitoraggio basate sull'analisi delle immagini raccolte durante il processo. Nei prossimi paragrafi, verranno illustrate le tecniche e metodologie più comuni riguardo all'impiego di sensori ottici ed analisi di immagine.

### 2.3. Analisi d'immagine

I vari tipi di fotocamere che utilizzano sensori si basano su 2 tipologie di sensori:

- Charge coupled device (CCD)
- Active pixel sensor (APS o CMOS)

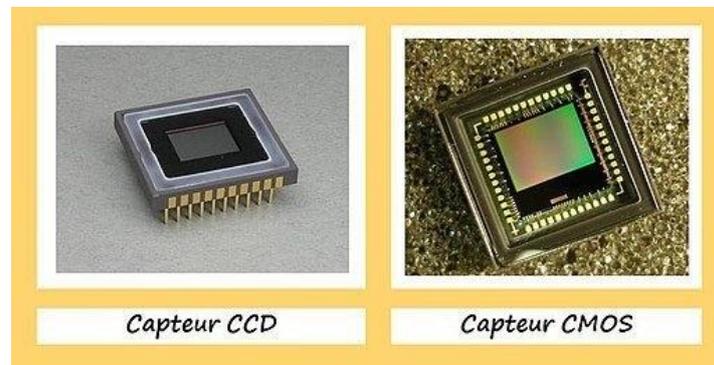


Figura 1. Charge coupled device

Active pixel sensor.

Le due tipologie di sensori ottici illustrati in Figura *n* hanno lo stesso fine, cioè, trasformare un segnale luminoso in un segnale elettronico analogico o digitale che permetta di ricostruire, elaborare e memorizzare l'immagine inquadrata.

Entrambi sfruttano l'effetto fotoelettrico ma si differenziano per le tecniche di elaborazione dei dati e per quelle di costruzione; infatti, i CCD hanno un frame rate molto più lento rispetto agli APS.

Il vantaggio degli APS rispetto ai CCD è la velocità di processazione delle immagini e la semplicità di sistema, questo lo fa essere il sistema più utilizzato a livello industriale.

I progressi delle tecnologie legate all'apprendimento automatico, all'intelligenza artificiale, alla visione integrata e alla tecnologia di elaborazione hanno fatto sì che si potesse creare dispositivi in grado di muoversi in ambienti con scarsa supervisione umana. Per rendere questi dispositivi il più possibile autonomi è stato necessario creare dei sistemi che gli permettessero di muoversi senza nessuna navigazione manuale; per fare questo si è dovuto affinare la capacità di profondità, di localizzazione, e di rilevamento ostacoli, ed è qui che entrano in gioco le fotocamere con rilevamento della profondità.

Sono delle fotocamere con rilevamento di profondità 3D che rileva presenza e distanza durante il movimento, ci sono 3 tipi di tecnologie di profondità:

### 1. Visione stereoscopica

Una telecamera stereoscopica si basa sul principio di funzionamento dell'occhio umano, cioè la visione binoculare che misura la profondità di un oggetto.

### 2. Tempo di volo

Prende questo nome in riferimento al tempo che impiega la luce per percorrere una determinata distanza (time of flight). Viene stimata la distanza da un oggetto ad un altro in base al tempo che impiega una luce emessa e riflessa a tornare al sensore di rilevamento. La funzione del processore in questo caso è convertire i dati dei pixel sensore in informazioni di profondità, e questo aiuta anche a fornire immagini in 2D.

### 3. Luce strutturata

È una fotocamera con rilevamento di profondità basata anch'essa sulla luce. Utilizza una sorgente di luce LED per proiettare modelli di luce sull'oggetto bersaglio, in base alle distorsioni ottenute sarà possibile calcolare la distanza dall'oggetto.

Quindi, nel campo delle camere a colori (RGB) si hanno varie tipologie di integrazioni tra camera e sensori di profondità, ottenendo così delle camere RGB-D, in D sta per "depth".

Con l'evoluzione delle tecnologie di visione 3D si è migliorata la precisione di questi sistemi; Con il termine RGB si fa riferimento a un modello di colore in cui i colori primari della verde, blu e rosso vengono aggiunti per creare i differenti colori che poi percepiamo. Una fotocamera RGB viene utilizzata per fornire immagini a colori di persone e oggetti catturandone la luce nelle lunghezze d'onda di questi 3 colori.

Una fotocamera RGB-D è una fotocamera che fornisce i dati di colore alla pari di una RGB ma ne aggiunge anche i dati di profondità (D) come dati in uscita in tempo reale. Queste fotocamere possono dare una fusione pixel per pixel di dati RGB (colore) e informazioni di profondità (D) in un unico fotogramma.

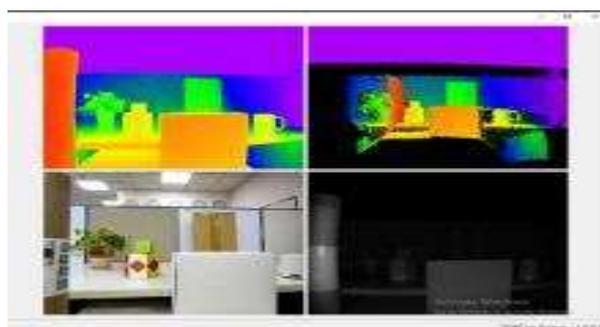


Figura 2 esempio di applicazione RGBD

Una tecnologia emergente soprattutto nel campo delle ispezioni alimentari è l'imaging iperspettrale (SWIR, short wavelength infrared): permette di prendere sia le informazioni di profondità che quelle dello spettro infrarosso.

Sfruttando questa tecnologia si può rilevare corpi estranei e difetti, ma soprattutto identificare ingredienti all'interno di un alimento (come l'acqua) e quindi andare poi a classificarlo.



Figura 3 Esempio di applicazione SWIR

#### 2.4. Reti neurali

Uno strumento innovativo per elaborare i dati sono le reti neurali, in inglese “convolutional neural network” (CNN).

Prendono il nome dal neurone di McCulloch e Pitts, che è un modello proposto per la prima volta nel 1943, due ricercatori dell'Università di Chicago.

La prima rete neurale addestrabile fu dimostrata nel 1957; fino al 1969 sono state una delle principali aree di ricerca delle neuroscienze e dell'informatica. Sono tornate in uso negli ultimi anni, grazie alla maggiore potenza di elaborazione dei chip grafici.

Le reti neurali sono sistemi formati da numerosi e semplici elementi che operano in parallelo. Il loro criterio di funzionamento trae spunto dalla modalità in cui vengono scambiate le informazioni tra i neuroni dell'apparato nervoso umano. Le reti neurali possono essere “addestrate” e quindi apprendere informazioni. Le reti neurali vengono impiegate per prevedere scenari e stimare misurazioni basandosi su un dataset di informazioni fornite dalla rete stessa attraverso un modello previsionale creatosi da un certo numero di associazioni causa-effetto sulla quale tale rete è stata progettata.

Le neural networks (NN) si perfezionano, ripetizione dopo ripetizione, aggiustando in maniera dinamica i valori associati alle connessioni, con il fine di ridurre l'errore commesso durante la fase di approssimazione.

Solitamente gli input delle reti neurali sono perfezionati in modo tale che i risultati ottenuti dal modello siano sempre più simili a quelli attesi in uscita.

In seguito ad una comparazione tra il vero valore e quello stimato, si ridefiniscono in maniera dinamica i valori migliorando volta per volta l'output finale.

La struttura delle reti neurali artificiali può variare molto, spesso ci sono configurazioni organizzate su diversi strati, il primo riceve i segnali in ingresso(input), e l'ultimo li restituisce in uscita (output); tali reti vengono identificate come feed-forward networks.

Esistono anche strutture neurali in cui i segnali si propagano anche all'indietro, generando così un feedback all'interno della rete.

Il Neurone artificiale è costituito da un'unità che riceve un valore numerico, lo elabora e se superata la soglia di attivazione si attiva o meno a seconda del ruolo che il neurone e la rete neurale sono destinati a svolgere.

Una rete neurale artificiale viene inizialmente addestrata o alimentata con grandi quantità di dati. Un esempio di impiego di questi sistemi è il riconoscimento di specifici soggetti in delle immagini; dopo aver elaborato molti esempi di formazione di immagini di quel determinato soggetto, l'algoritmo ha un modello di quali elementi, e delle rispettive relazioni, in un'immagine sono importanti da considerare per decidere se quel determinato soggetto è presente in un'immagine e nel momento in cui andrà a valutare una nuova immagine, la rete neurale confronterà i dati relativi alla nuova immagine con il suo modello basato su tutte le valutazioni precedenti.

### RICONOSCIMENTO DI OGGETTI

Un altro sistema di identificazione è basato sul riconoscimento di oggetti caratteristici da immagini a colori. In questo caso, il risultato è la probabilità che una rete neurale possa aver identificato correttamente un elemento da un'immagine, senza però delineare con precisione tutti i pixel dell'immagine che compongono il suddetto soggetto.

Il riconoscimento di oggetti è la capacità di trovare un determinato oggetto in una sequenza di immagini o video. L'algoritmo di rilevamento oggetti identifica e individua tutte le istanze degli oggetti in un'immagine da una raccolta nota di categorie di oggetti.

L'algoritmo poi accetta un'immagine come input e restituisce la categoria a cui appartiene l'oggetto. Yolo (you only look once) rappresenta oggi, uno degli algoritmi più comuni per queste applicazioni.

La differenza con gli altri metodi di identificazione è che in questo caso si utilizza di un ent-to-end rete neurale che prevede simultaneamente riquadri di delimitazione e le probabilità di classe.

Questo metodo divide l'immagine in N griglie, ciascuna con un settore dimensionale  $S \times S$  di uguali dimensioni. Ciascuna di queste N griglie ha il compito di rilevare e localizzare l'oggetto che contiene. Queste griglie a loro volta, prevedono le coordinate del riquadro di delimitazione B relative alle coordinate della cella, nonché il nome dell'elemento e la probabilità che l'oggetto sia presente nella cella. Per evitare previsioni duplicate elimina i riquadri con punteggi di probabilità bassi.

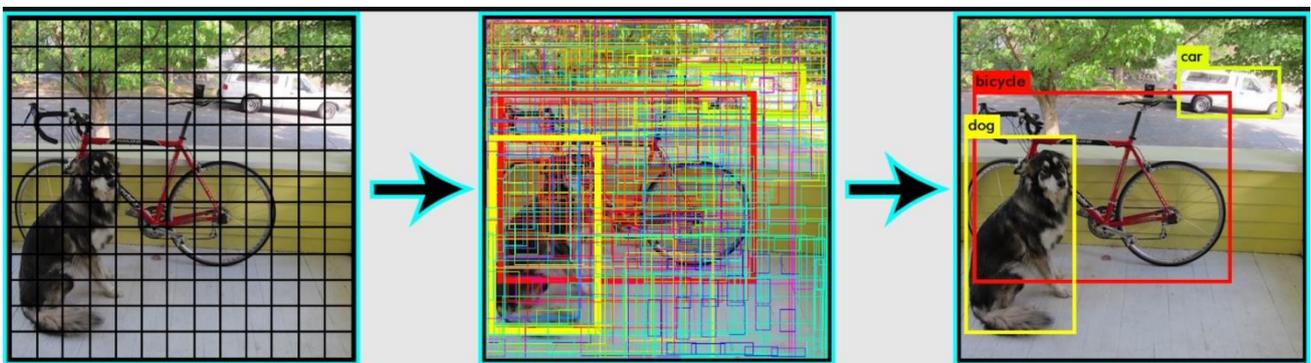


Figura 4 Esempio di applicazione YOLO

## SEGMENTAZIONE SEMANTICA

Nel campo del machine learning (“apprendimento dell’IA”) un algoritmo utilizzato è la segmentazione semantica, che associa un’etichetta ad una categoria di pixel di un’immagine.

La segmentazione semantica è un’alternativa alla rilevazione di oggetti poiché consente all’oggetto di interesse di coprire più aree dell’immagine a livello di pixel, e può rilevare in modo preciso oggetti di forma e posizione diversa, a differenza di una forma definita come può essere nella rilevazione a immagini per sensori definiti.

Un esempio di segmentazione semantica è questo:

Nella figura a si ha del vino effervescente contenente una quantità non nota di bolle.

In figura b è stato fatto un processo di etichettatura, che consiste nel segnare manualmente (con il colore blu) il quantitativo maggiore di bolle formatesi presenti nell’immagine, al fine di addestrare l’algoritmo del software utilizzato che è Apeer .

Il tutto per andare a prevedere in tutte le immagini simili quante bolle ci saranno, infatti nell’immagine di figura c si possono notare tutte le bolle marcate col colore giallo che sono tutte quelle segnate dal software. Ciò permette infatti di avere una precisione maggiore del risultato finale.

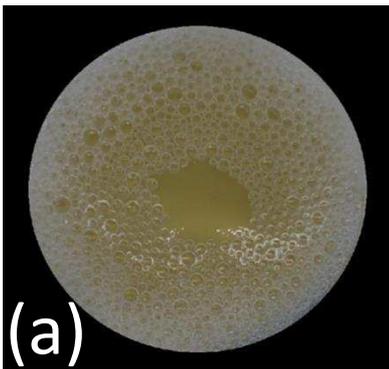


Figura (a) vino effervescente

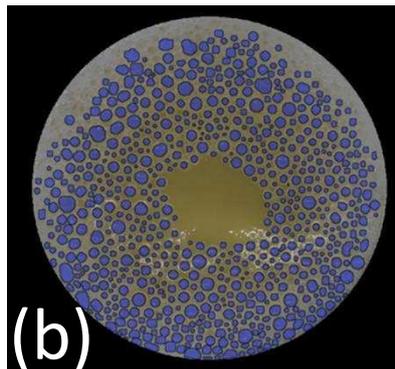


Figura (b) etichettatura manuale degli oggetti di interesse

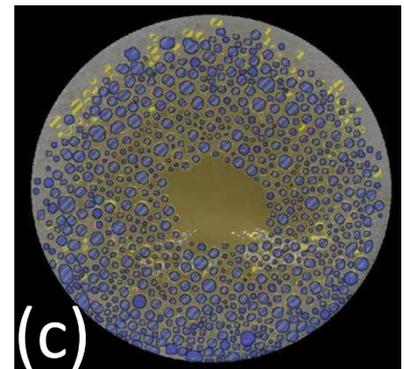


Figura (c) esempio di applicazione Apeer

## 1. CASO STUDIO

### 1.1. GLI SPUMANTI E LE PROPRIETÀ DELLA SPUMA

- **Bollicine negli spumanti e loro natura**

Quello che distingue i vini fermi da quelli spumanti è l’effervescenza (dal latino effervescere: bollire) dovuta dalla presenza di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nel vino.

L’effervescenza nel vino si può definire come il progressivo rilascio di molecole di CO<sub>2</sub> disciolte nel vino, le quali sono responsabili della formazione delle bolle in seguito alla stappatura del vino.

La schiuma è un sistema a due fasi (bolla e gas atmosferico) separate da un sottile strato di liquido chiamato fase lamellare.

La dimensione, la quantità e il modo in cui sono distribuite le bolle ne determinano la texture della schiuma. La schiuma è instabile, data dalla tensione superficiale delle bolle che contrastano le forze necessarie al suo mantenimento.

Nel mondo del vino non esistono solo i vini spumanti ma ci sono anche i vini frizzanti che si distinguono dai primi per il quantitativo di anidride carbonica presente nel liquido e nell'intensità della sovrappressione generata; negli spumanti questa è superiore o pari a 3 bar, mentre per i vini frizzanti è tra 1 e 2,5 bar.

- **Come si sviluppa la schiuma in uno spumante**

All'apertura della bottiglia di spumante, la CO<sub>2</sub> viene rilasciata a causa della differenza di pressione tra l'interno del contenitore e l'esterno (pressione atmosferica).

La CO<sub>2</sub> fuoriesce per mezzo di due processi, il primo è la diffusione attraverso l'interfaccia tra liquido e aria esterna e grazie alla formazione di bolle.

Nel caso delle bolle le molecole di CO<sub>2</sub> vengono imprigionate in bolle che salgono verso la superficie del liquido resistendo, per un limitato lasso di tempo, alla differenza di pressione tra interno e esterno bolla.

La formazione delle bolle prende il nome di nucleazione, e avviene in due modi diversi, nucleazione indotta omogenea e indotta eterogenea.

Nella nucleazione indotta omogenea si formano delle bolle direttamente a partire dal gas disciolto, dopo l'agitazione della bottiglia, queste bolle si dividono per crearne di più piccole che verranno poi stabilizzate al contatto con proteine e sostanze tensioattive, e finiranno per galleggiare in superficie.

All'apertura della bottiglia l'abbassamento della pressione farà sì che le bolle superficiali esplodano, e ciò porterà ad un fenomeno di concatenazione che prende il nome di gerbage.

Dopo l'apertura della bottiglia, causa il cambio di pressione, cresceranno di dimensione fino al loro massimo, che prende il nome di raggio critico; a quel punto si staccano e salgono aumentando di dimensione.



*Figura (a) vino effervescente*

- **Persistenza e qualità delle bolle negli spumanti**

Nello studio di Viaux et al., (1994) si riporta che l'equilibrio della schiuma non è dovuto alla presenza o all'assenza di composti definiti, ma all'equilibrio di concentrazione che hanno un elevato numero di molecole organiche di varia struttura, come ad esempio composti azotati soprattutto alfa-amminoacidi e polisaccaridi che sono stati correlati positivamente con la formazione e la stabilità della schiuma.

Dal punto di vista del consumatore, capita spesso che uno spumante venga valutato positivamente più per l'aspetto visivo che per l'aspetto organolettico, è quindi tangibile che le caratteristiche della spuma di un vino siano importanti per un buono spumante.

Le caratteristiche che rivestono una grande importanza, per quanto ne riguarda la qualità, sono spuma ed il perlage.

Quest'ultimo è un termine che si riferisce all'insieme delle bollicine che si sviluppano in uno spumante quando il liquido viene versato nel bicchiere, e deve rispettare delle caratteristiche quali dimensioni, persistenza e numero. Uno spumante di qualità deve formare una spuma compatta e persistente, mentre il perlage deve essere persistente e possibilmente fine. Non sono solo caratteristiche estetiche ma diventano caratteristiche di qualità organolettica nel momento in cui si vanno a consumare, poiché se si hanno delle bollicine fini trascineranno in superficie i composti aromatici dando intensità e persistenza olfattiva.

- **Metodi tradizionali per la valutazione di bolle e spuma**

Negli ultimi anni sono state messe a punto diverse tecniche per stabilire la valutazione oggettiva della spuma.

#### METODO MOSALUX

Stabilità e formazione della spuma sono parametri essenziali che caratterizzano una schiuma, ecco che Maujean et al. (1990) hanno creato un metodo automatico che misura le proprietà schiumogene dei vini chiamato Mosalux.

La procedura è standardizzata ed è la seguente:

- 1- Un cilindro di vetro viene collegato sul fondo ad un iniettore di CO<sub>2</sub> e viene riempito con 100ml di vino (precedentemente filtrato e degassato)
- 2- Si inietta la CO<sub>2</sub> a una Pressione costante dal fondo del cilindro, e tramite delle celle fotoelettriche si misurano tre parametri: HM, HS,TS

I 3 parametri descrivono l'altezza (HM) cioè l'altezza massima che la schiuma raggiunge dopo l'iniezione di CO<sub>2</sub>; la stabilità (HS) ovvero la capacità del vino di avere una colonna di spuma stabile; e il tempo di stabilità (TS) cioè il tempo in secondi che trascorre la colonna di spuma prima di collassare.

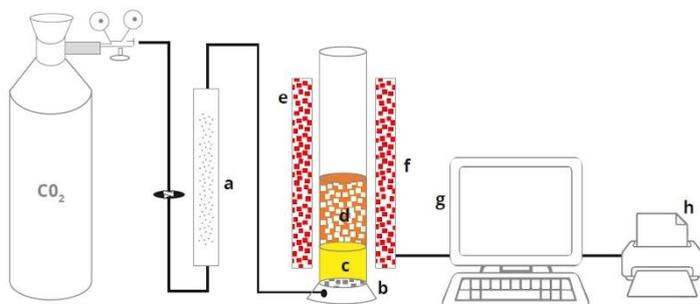


Figura 6 Metodo Mosalux

Il controllo automatizzato dei processi e il controllo tramite computer sono, come precedentemente detto, ampiamente in uso nell'industria alimentare al fine di gestire la produzione e garantire il mantenimento di sicurezza e qualità del prodotto finale; tuttavia, nell'industria vitivinicola non hanno ancora preso piede questo tipo di tecnologie.

L'utilizzo di analisi d'immagini per lo studio della schiuma nel vino comincia nel 1931 con Foulk e Miller, poi ci fu un altro lavoro nel 1998 dove si andò a iniettare azoto in un vino degassato per poi farne delle analisi per vedere le caratteristiche della spuma, andando a utilizzare gli stessi risultati del metodo Mosalux.

### 1.1. Il presente lavoro di tesi

#### • Introduzione

La valutazione della qualità nel mondo vino è sempre più importante grazie alle aspettative crescenti dei consumatori, interessati a prodotti con caratteristiche specifiche e ben definite.

La qualità di un vino frizzante o spumante può essere valutata utilizzando vari metodi, che vanno da quello sensoriale a quello chimico.

In questo caso si vuole sfruttare l'uscente e in ampliamento fetta di mercato che è alla ricerca di prodotti NoLo (No o Low alcol), cioè prodotti che hanno un quantitativo basso o nullo di alcol.

Con questo lavoro, si è voluto considerare l'utilizzo della segmentazione semantica al fine di quantificare e definire la caratterizzazione della spuma in un vino.

- Quindi, la sperimentazione si è basata sull'utilizzo di un vino privato della frazione di etanolo, quindi, l'etanolo è stato raggiunto artificialmente per valutare la persistenza della spuma a prevedere il numero di bolle in un vino, con quantitativo di etanolo (EtOH) e a temperature variabili risultati sono stati messi a confronto tramite grafici con l'area totale delle bolle, la quantità di schiuma, sempre in riferimento al rapporto temperatura – EtOH.

#### **Materiali e metodi**

Al vino è stato applicato il metodo (precedentemente enunciato) Mosalux; dunque, si ha un vino inizialmente degassato (100 ml) e a cui successivamente viene iniettata della CO<sub>2</sub> per 30" a 5 L/min.

Le prove sono state ripetute a 4 temperature differenti in ambiente temostatato.

Cui sono stati presi 5 classi differenti:

- T4C° con 0%-3%-6%-9%-% di EtOH
- T11C° con 0%-3%-6%-9%-% di EtOH
- T18C° con 0%-3%-6%-9%-% di EtOH
- T25C° con 0%-3%-6%-9%-% di EtOH

Ogni classe di vino è stata ripresa da inizio a fine processo di gassificazione, così facendo si avevano 50 immagini per tipologia, per un totale di 1000 immagini.

Come si può vedere nella figura numero 6, le immagini erano inizialmente complete di cilindro per la gassatura.



Figura 7 inizio lavoro

Come si può vedere in figura 7, dalle immagini iniziali siamo andati a sezionare solo la parte a noi interessante ai fini dello studio.



Figura 8 immagini sezionate

Dopo la fase di sezionatura siamo passati a caricare tutte le immagini, divise per temperatura e quantità di EtOH, nel software Apeer.

*Apeer*

Apeer arivis Zeiss è un software cloud (applicabile da remoto) che fornisce automazione dei processi di analisi delle immagini.

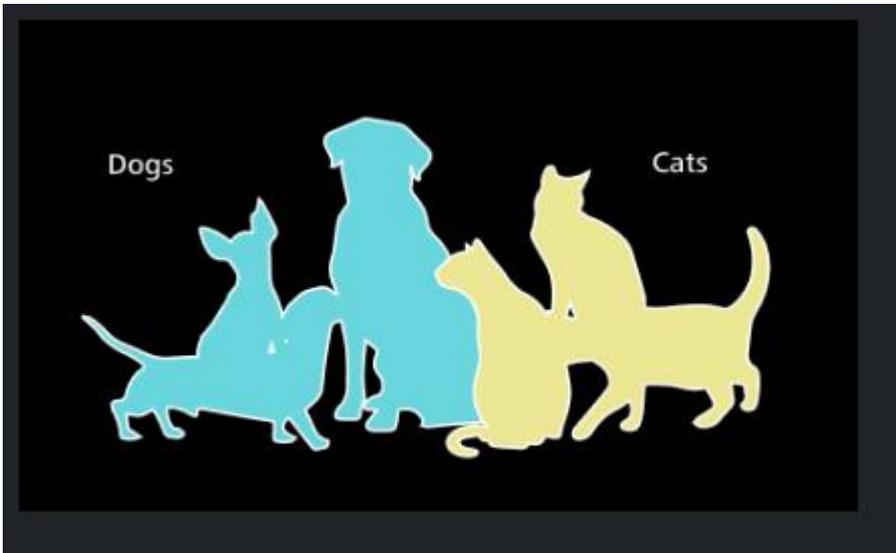


Figura 9. Esempio di segmentazione semantica operata da Apeer arivis

In Apeer siamo passati alla fase più meccanica del lavoro, cioè l'etichettatura, ossia il definire, manualmente, il 90% delle bolle presenti, in immagini che non avessero una frazione di schiuma tale da poter distinguere le singole bolle, rispetto alla schiuma od al vino.

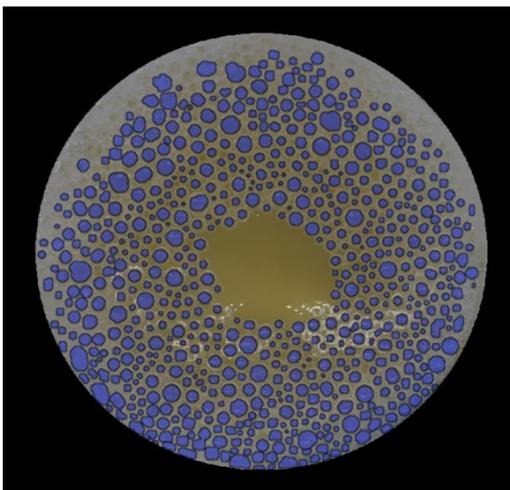


Figura 10 Fase di etichettatura

Successivamente siamo passati alla fase di background, cioè allo stabilire l'area in cui l'algoritmo di Apeer dovesse ritrovare tutto il resto delle bolle, per poi andare a calcolare tutti i dati a noi necessari.

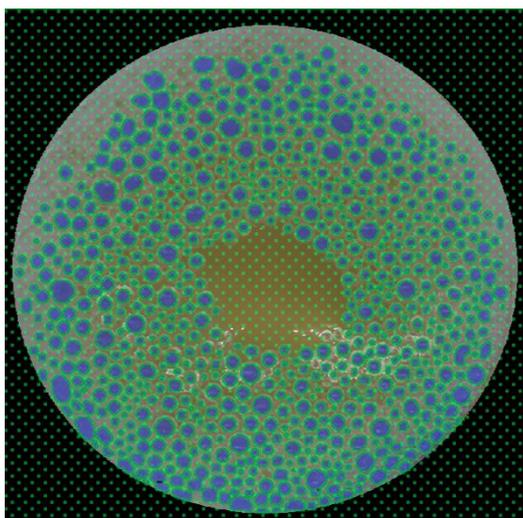


Figura 11 Fase di background

Come si può notare nella figura 10, la zona di background comprende tutta l'immagine, così facendo l'algoritmo apprenderà ogni bolla etichettata (figura 9) come "istruzione" per trovare le bolle che non sono state etichettate manualmente.

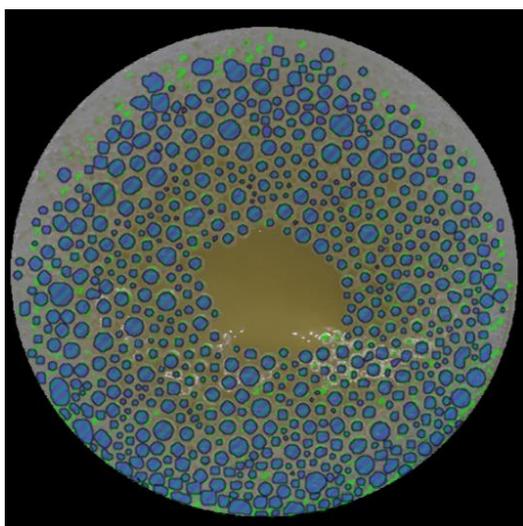
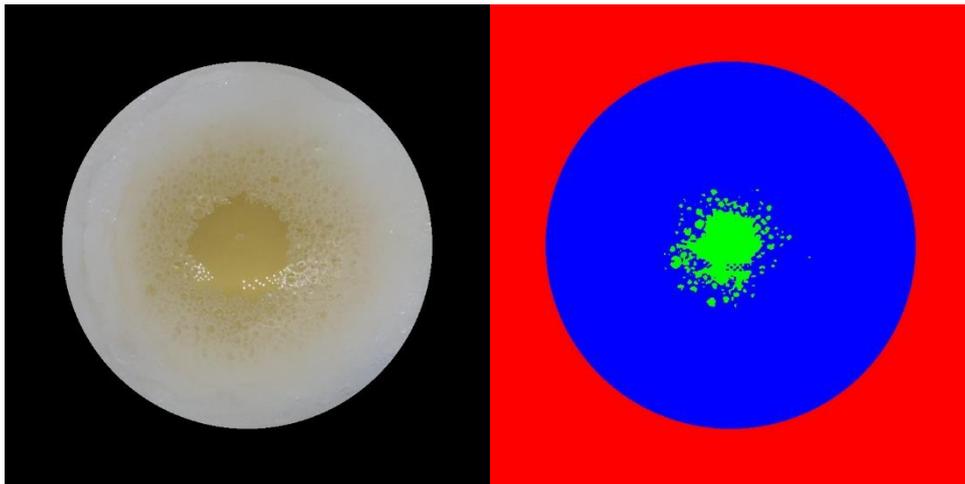


Figura 12 Fase di previsione bolle

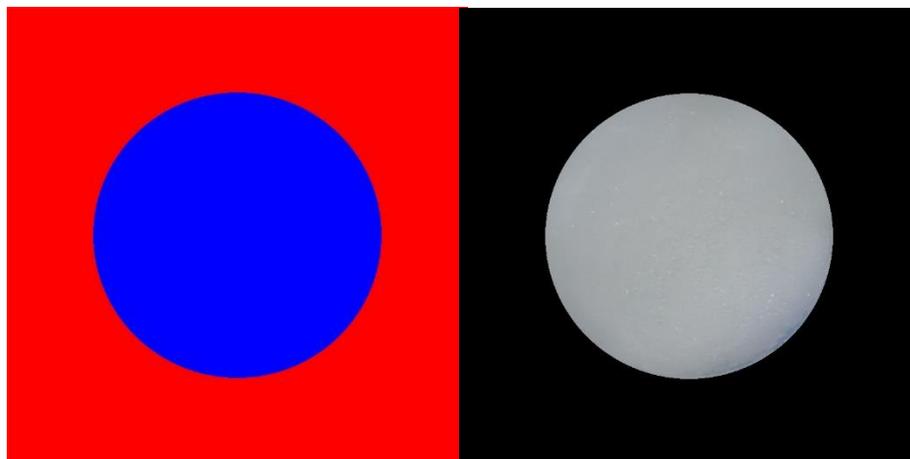
In figura 11 si vede, che a differenza di figura 9, vi sono un numero di bolle maggiore riconosciute dall'algoritmo. Per ogni prova, sono stati comparati il numero di bolle e l'area totale dell'immagine occupata da bolle. Un'analisi della varianza (ANOVA) ha permesso di marcare le differenze tra le diverse concentrazioni di etanolo a diversa temperatura.

La quantificazione dell'area del pelo libero ricoperta dalla schiuma, rispetto al vino, è stata possibile utilizzando un secondo software focalizzato nella catalogazione dei pixel di un'immagine. Per l'analisi si è utilizzato un software (Food color inspector) che, a differenza di Apeer, non riconosce singoli oggetti, ma classifica i pixel in base al loro colore, tonalità, luminosità. La metodica risulta molto più semplice e veloce, anche in termini di tempo necessario per l'analisi al computer. La segmentazione è avvenuta identificando tre classi: sfondo nero, vino e schiuma, come illustrato in Figura 13. Successivamente a quest'ultima fase siamo passati al processare i dati relativi all'area in pixel occupata dalle classi "vino" e "schiuma" per ogni immagine per avere i risultati finali.



*Figura13. Immagine neutra*

*applicativo di Food color inspector*



*Figura14. Applicativo food color inspector*

*Immagine neutra*

- **Risultati**

Tabella1. ANOVA (analysis of variance) temp/EtoH

Variabile	Gradi di libertà F	p value	Significatività
Temperature	3	368 <2 <sup>e</sup> e-16	***
EtOH	4	446 <2 <sup>e</sup> e-16	***
Interazione	12	188,6 <2 <sup>e</sup> e-16	***
Residuals	1016		

Tabella2. Analisi della varianza

Temperatura °C	Etanolo%	N° Bolle	Area tot (pixel)
4	0	126,41 +-(72,19)	4023,57+-(2219,23)
4	3	1,8 +-(1,22)	126,54 +-(368,62)
4	6	3,25 +-(15,27)	3020,26v +-(1648,33)
4	9	274,2 +-(140,46)	27763,95 +-(15265,112)
4	12	540,8 +-(45,75)	106401,32 +-(21940,53)
11	0	10,4 +-(8,09)	547,68 +-(499,40)
11	3	19,32 +-(13,15)	1205,06 +-(479,14)
11	6	35,4 +-(44,35)	2230,09 +-(4018,96)
11	9	164,79 +-(114,53)	22772,81 +-(17168,71)
11	12	304,06 +-(122,309)	56176,48 +-(29428,34)
18	0	350,95 +-(103,32)	75663,87 +-(29485,00)
18	3	12,71 +-(24,75)	949,64 +-(1910,91)
18	6	5,05 +-(3,43)	168,48 +-(83,62)
18	9	11,87 +-(14,59)	612,03 +-(671,60)
18	12	103,85 +-(101)	6640,28 +-(7495,89)
25	0	15,40 +-(5,40)	681,87 +-(248,48)
25	3	19,86 +-(19,88)	787,66 +-(742,68)
25	6	23,39 +-(18,69)	1079,76 +-(797,62)
25	9	30,76 +-(21,67)	1805,34 +-(1197,97)
25	12	55,26 +-(36,75)	3392,77 +-(2171,10)

In questa tabella si ha la media delle bolle e l'area totale (con la deviazione standard) in relazione alla temperatura e alla percentuale di EtOH

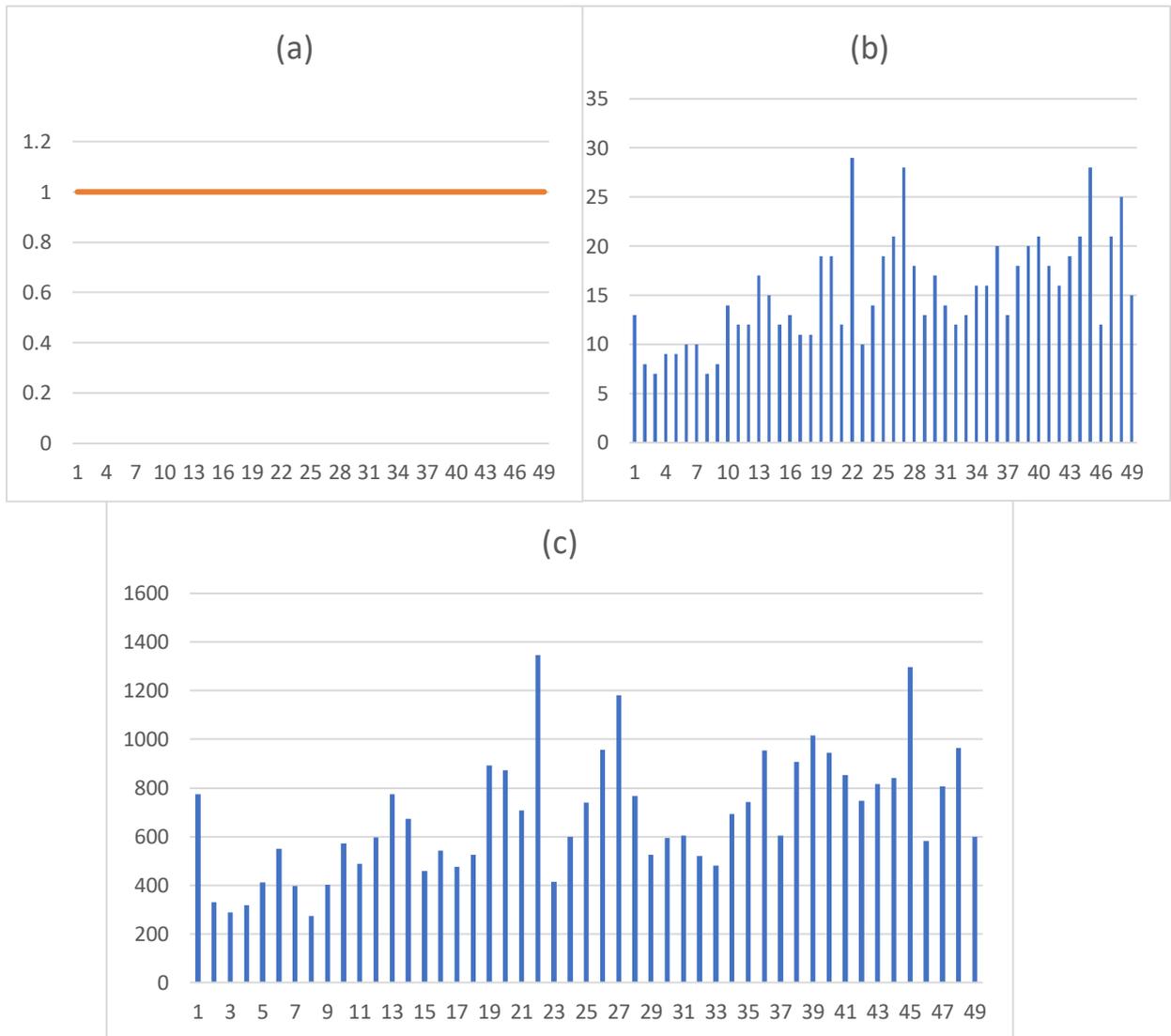


Figure 1 Grafico 1a) schiuma/tempo di persistenza in 25C e 0% di EtOH, Grafico 1b) Numero bolle a 25C in 0% di EtOH, Grafico 1c) Area totale a 25C in 0% di EtOH

Possiamo vedere come a 25C° si sviluppano le bolle in modo persistente e caotico, con a metà un picco più alto, probabilmente un residuo della gassificazione. Ma il dato più interessante è sulla tabella della schiuma dove possiamo vedere che è rimasta stabile allo stesso valore dall'inizio alla fine.

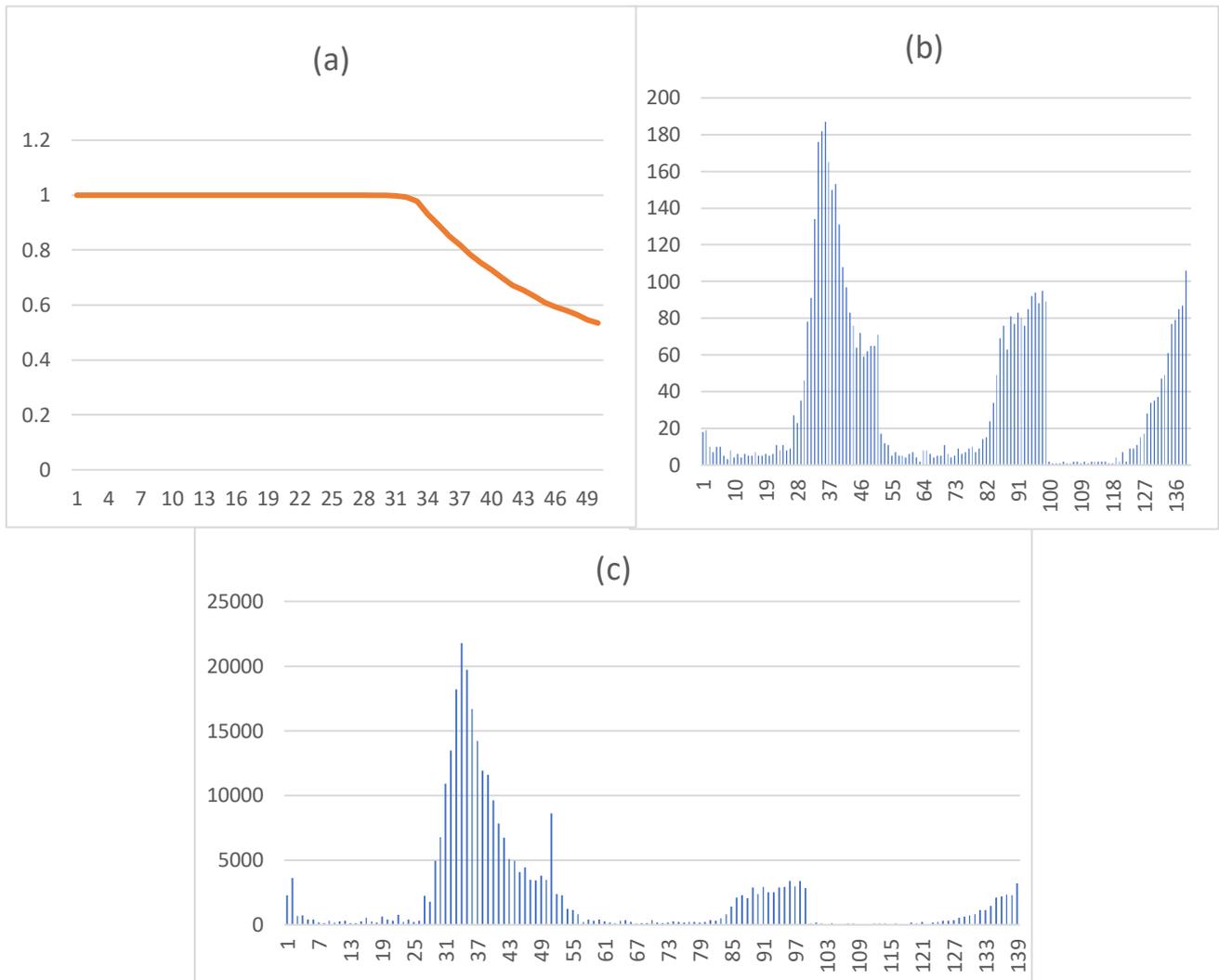


Figure 2 Grafico 2a) schiuma/tempo di persistenza in 11C e 6% di EtOH, Grafico 2b) Numero bolle a 115C° in 6% di EtOH, Grafico 2c) Area totale a 11C° in 6% di EtOH

Vediamo in questo caso come unendo i 2 sistemi di segmentazione si possa vedere che le bolle si formano all'inizio, per la gassificazione, ma nella parte finale hanno una fase calante sia nei grafici (2b) e (2c) che nel grafico arancione della schiuma.

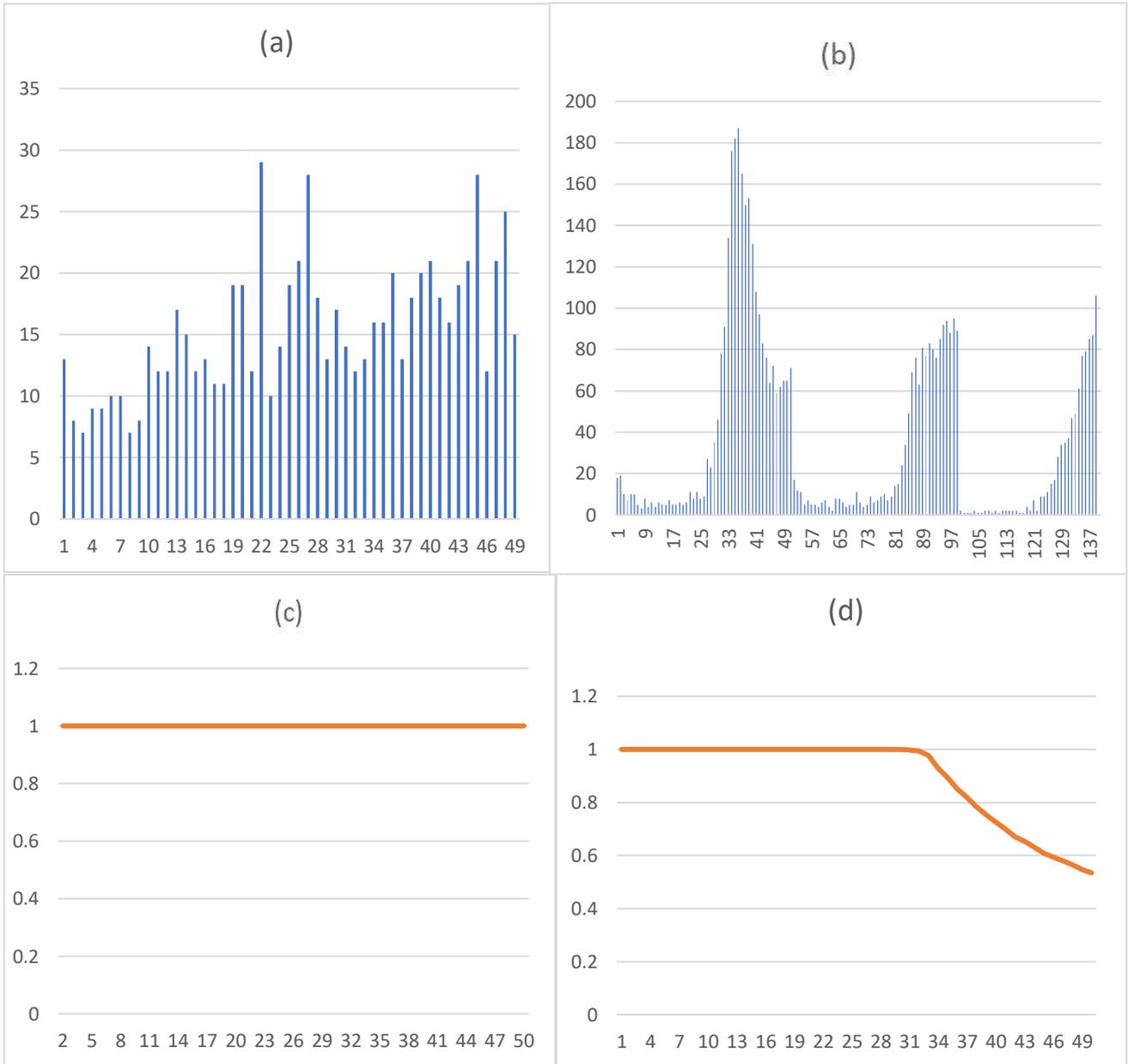


Figure 3 Grafico 3a) N.bolle a 25C° in 0% di EtOH Grafico 3b) Area totale a 11C° in 6% di EtOH Grafico 3c) Schiuma/Tempo di persistenza in 25C e 0% di EtOH Grafico d) Schiuma/Tempo di persistenza in 11C e 6% di EtOH

in questo caso la gassificazione ha un ruolo poco influente nel grafico (3b), si nota infatti che la formazione di bolle vi è a tratti, e confrontandola con il grafico (3d) si vede quanto la formazione di schiuma consistente non permette la lettura delle bollicine più definite al grafico (3c).

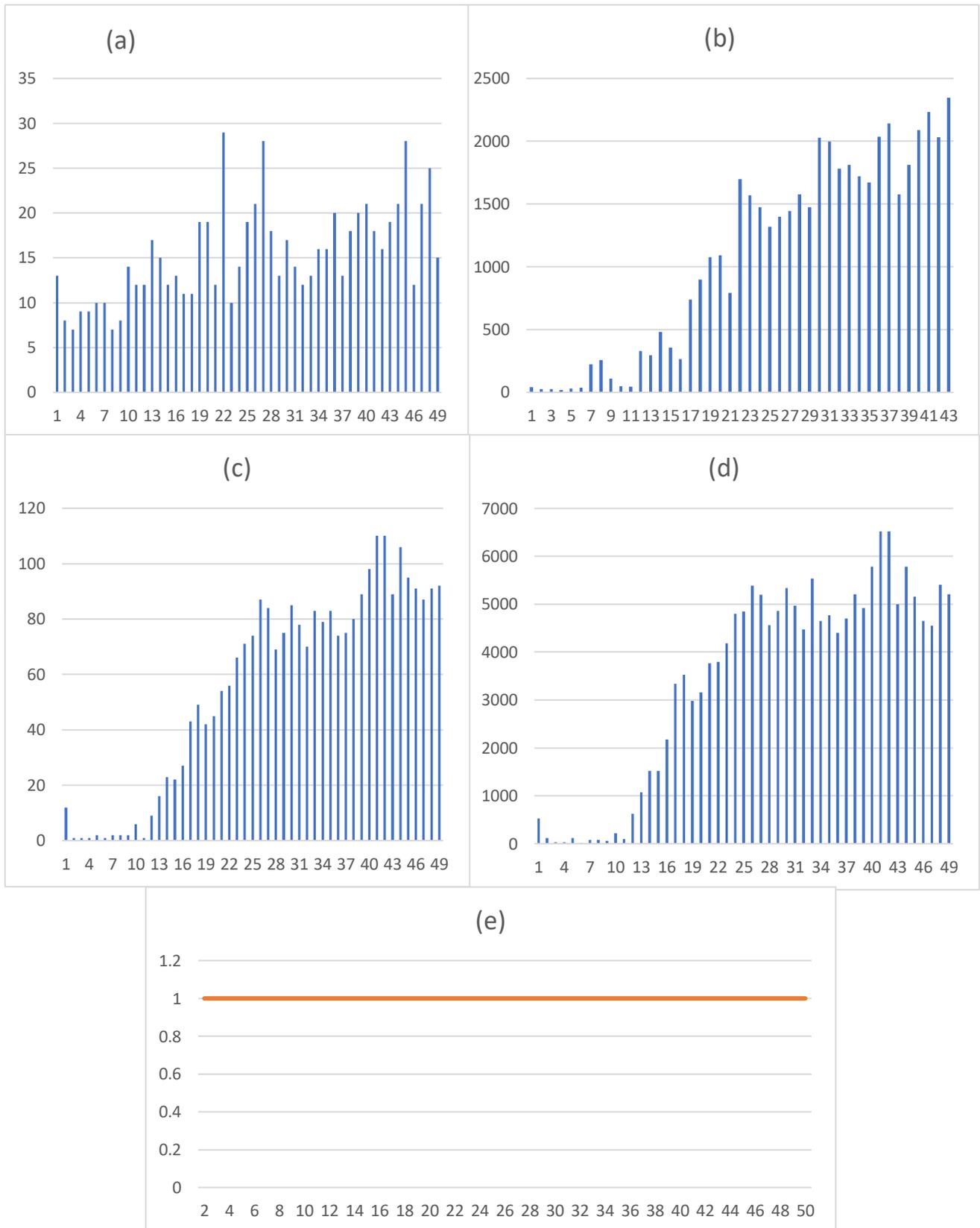


Figure 4 Grafico 4a) N.bolle a 25°C in 0% di EtOH Grafico 4b) Area totale a 25°C in 6% di EtOH Grafico 4c) Area total a 25°C in 0% di EtOH Grafico 4d) Area totale a 25°C in 6% di EtOH Grafico 4e) Schiuma/Tempo di persistenza in 25°C e 0% di EtOH

Qui si ha il confronto tra le varie %di EtOH in vino a 25°C.

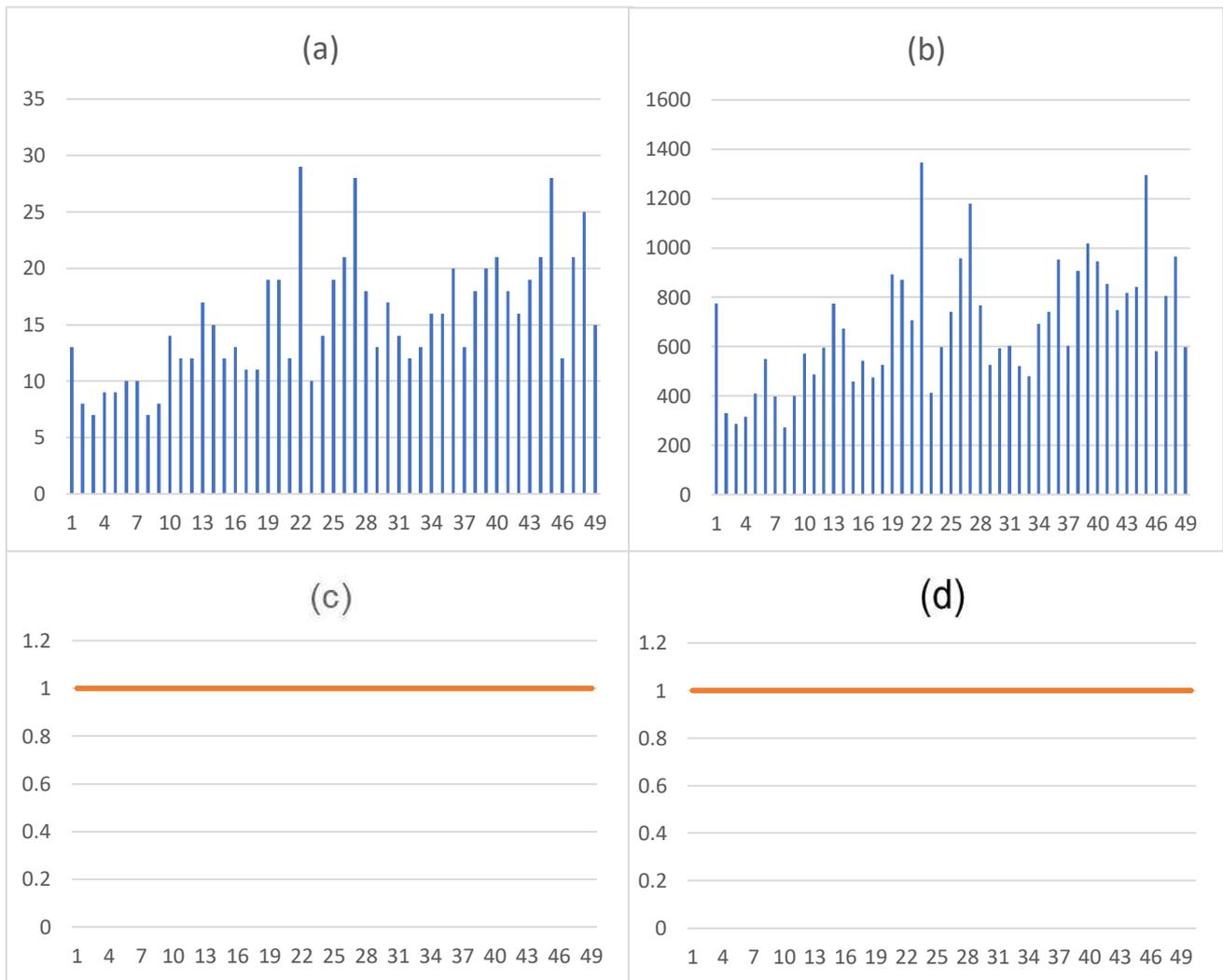


Figure 5 Grafico 5a) N.bolle a 25°C in 0% di EtOH Grafico 5b) N. bolle a 25°C in 6% di EtOH Grafico 5c) Schiuma/Tempo di persistenza in 25°C e 0% di EtOH Grafico 5d) Schiuma/Tempo di persistenza in 25°C e 6% di EtOH

Qui si ha la stessa temperatura (25°C) con due differenti percentuali di EtOH, e possiamo notare come a 0% la produzione di bolle aumenti in maniera lenta e poco considerevole. Al contrario nel vino con il 12% di EtOH si ha un aumento elevato delle bolle che rimane anche stabile, senza collassare.

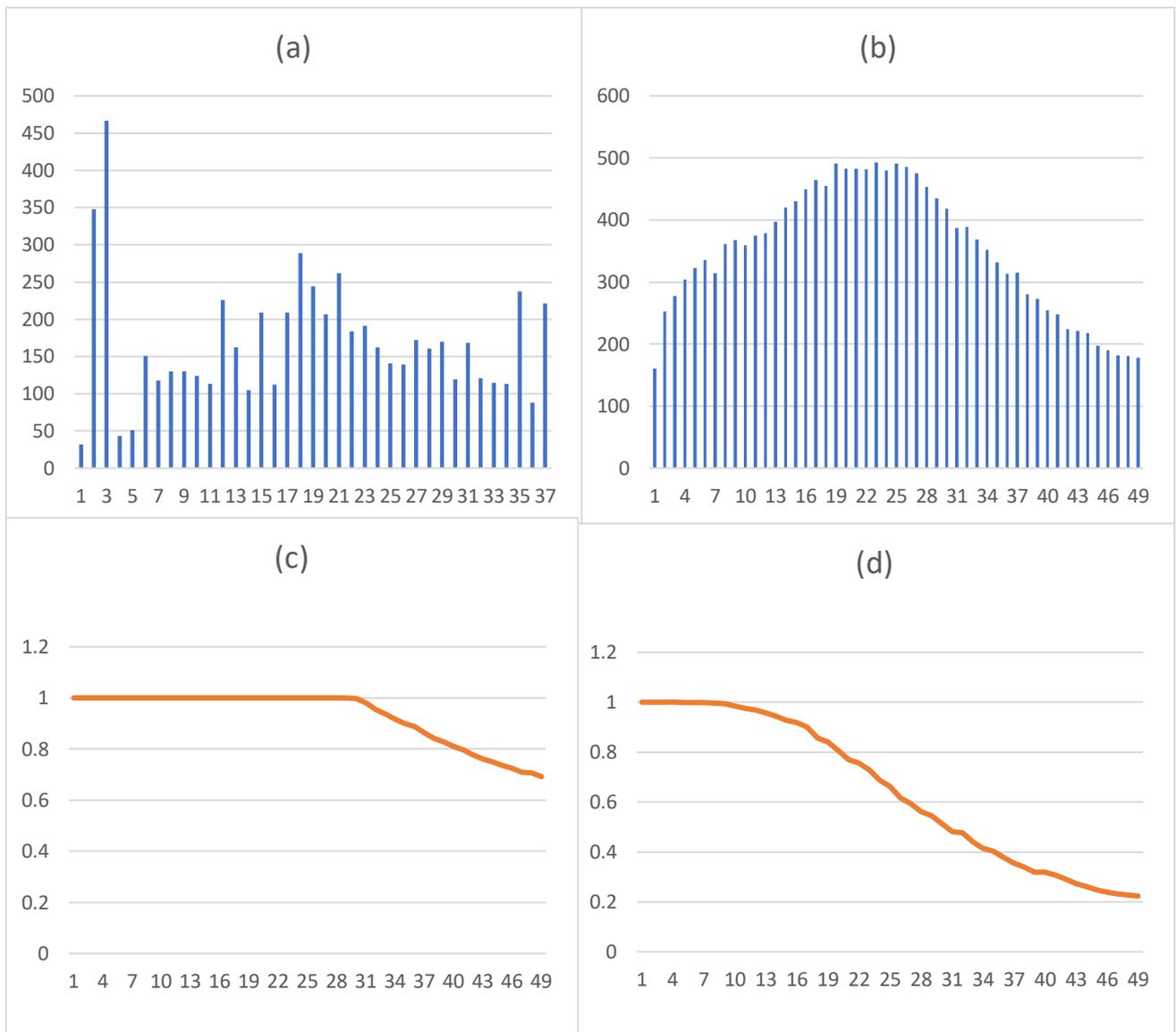


Figure 6 Grafico 6a) N.bolle a 18°C in 6% di EtOH Grafico 6b) N. bolle a 18°C in 0% di EtOH Grafico 6c) Schiuma/Tempo di persistenza in 18°C e 6% di EtOH Grafico 6d) Schiuma/Tempo di persistenza in 18°C e 0% di EtOH

**In questo caso c'è il confronto tra 2 campioni a 18°C ma con % differenti. Il tutto per andare a verificare la correlazione tra % di etanolo e stabilità della schiuma.**

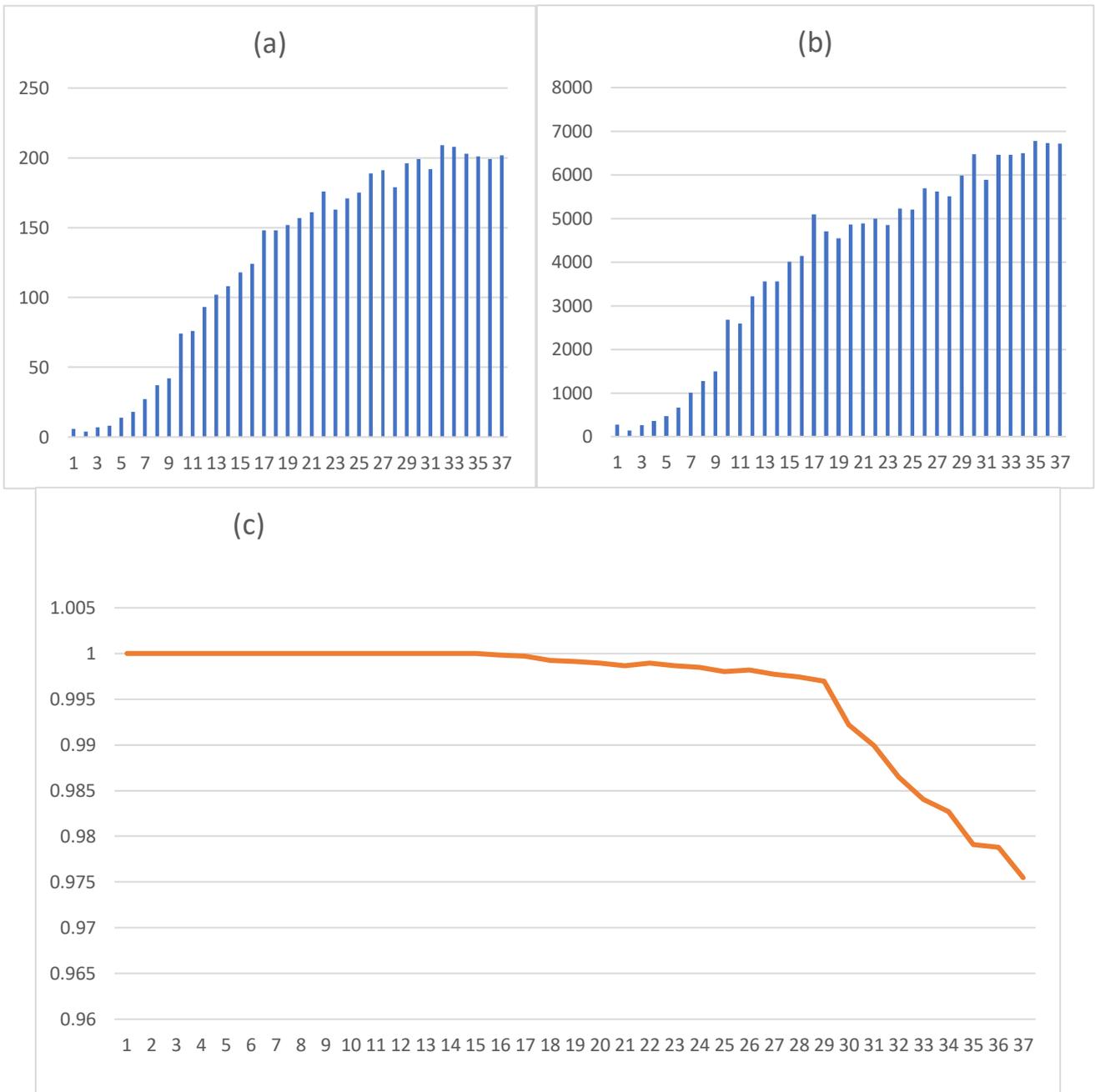


Figure 7 Grafico 7a) N. bolle a 4°C in 0% di EtOH Grafico 7b) Area totale a 4°C in 0% di EtOH Grafico 7c) Schiuma/Tempo di persistenza in 4°C e 0% di EtOH

Com'è stato nel caso di pagina 24 nelle figure1, sarebbe intuitivo pensare che guardando i grafici blu si vada ad avere una schiuma che rimane stabile, mentre al contrario nel grafico arancione si vede un cedimento che non sembra essere rispettato nei grafici blu, anche se poi nelle tabelle i dati rispecchiano i grafici blu;

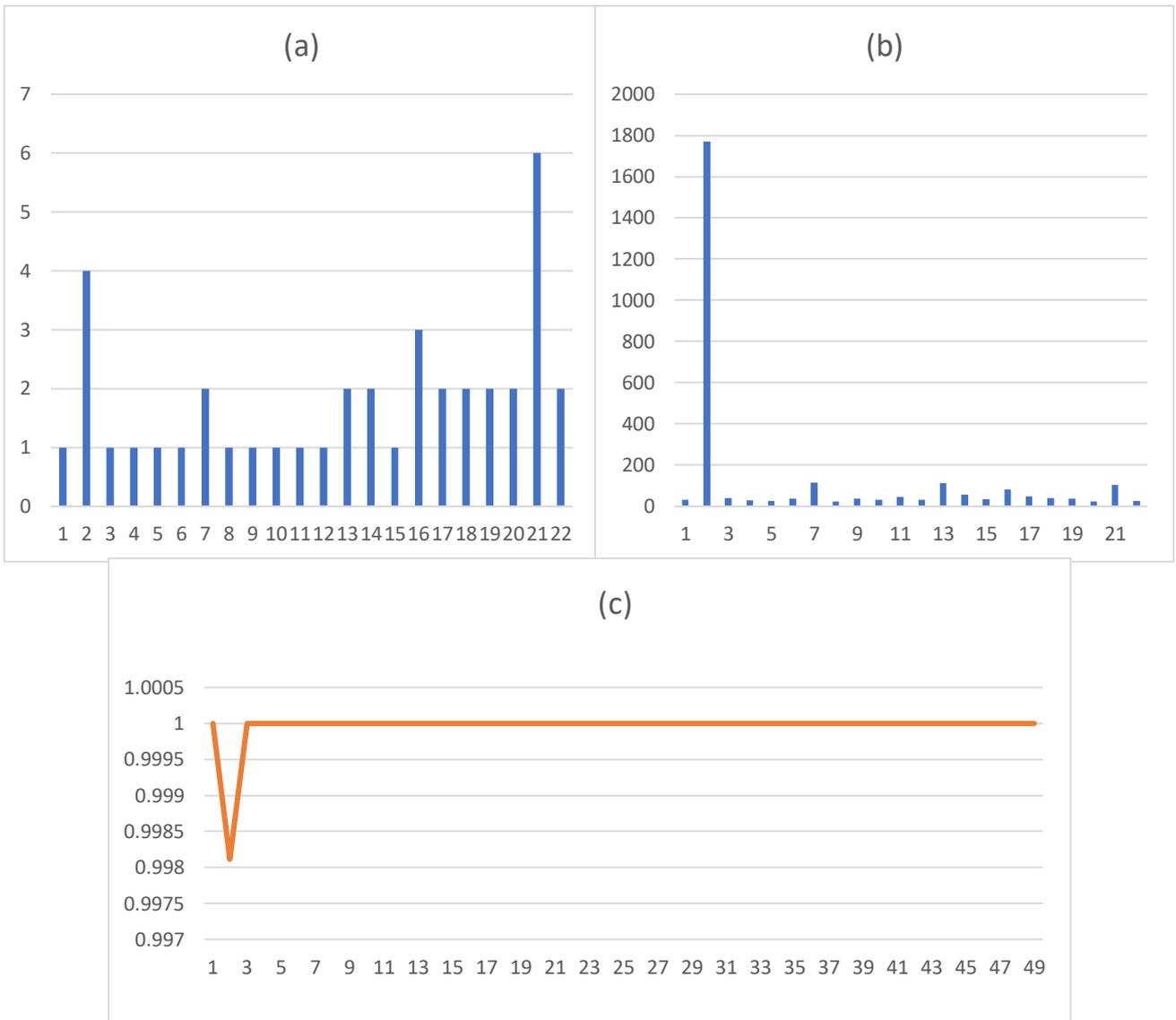


Figure 8 Grafico 8a) N.bolle a 4°C in 3% di EtOH Grafico 8b) Area totale a 4°C in 3% di EtOH Grafico 8c) Schiuma/Tempo di persistenza in 4°C e 0% di EtOH

In questo caso c'è una schiuma fine e persistente che copre le bolle visibili, si vede dal fatto che l'area nel grafico b non viene considerata, anche se possiamo vedere la sua presenza nel grafico a e c.

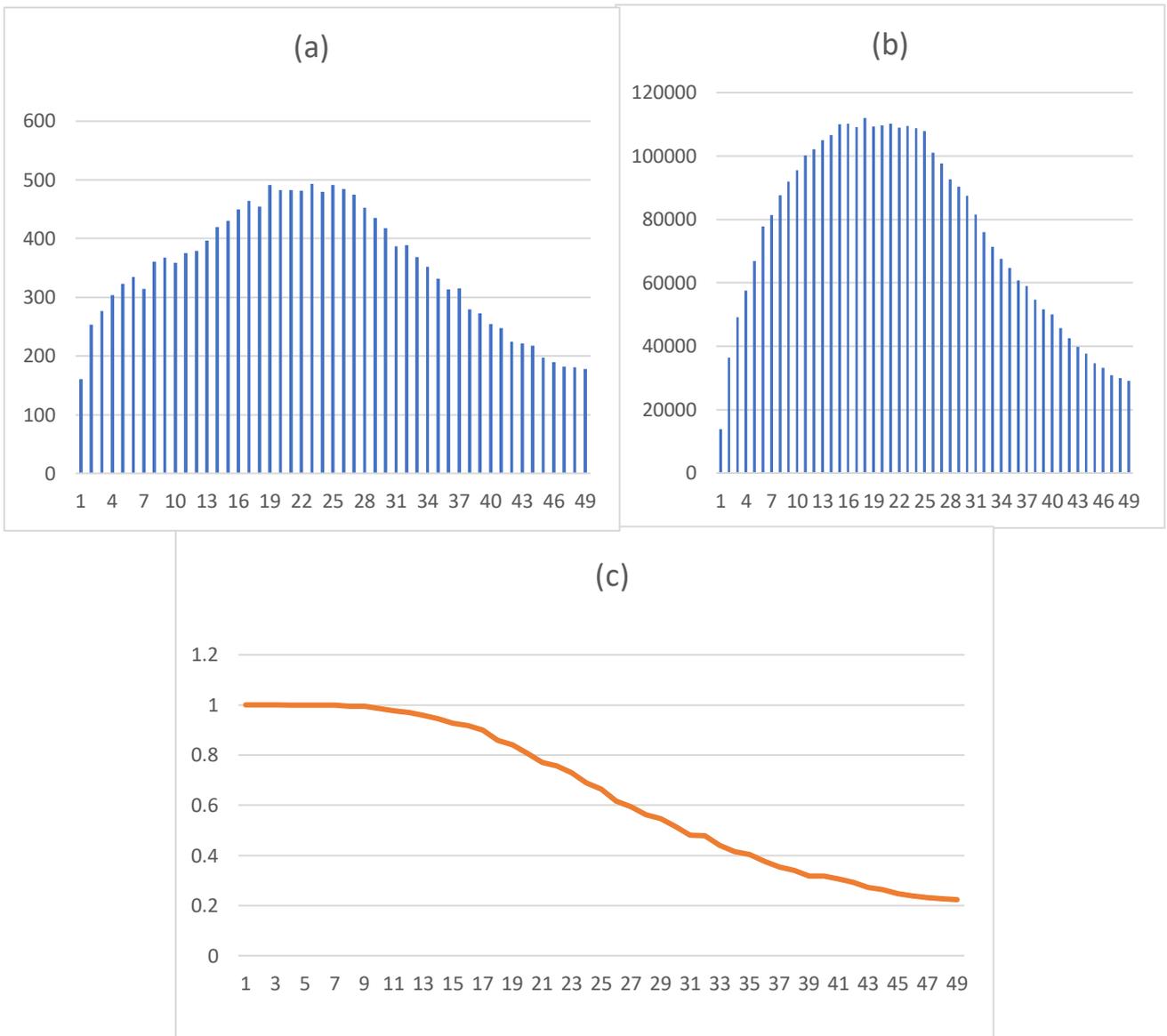


Figure 9 Grafico 9a) N.bolle a 18°C in 0% di EtOH Grafico 9b) Area totale a 18°C in 0% di EtOH Grafico 9c) Schiuma/Tempo di persistenza in 18°C e 0% di EtOH

Qui abbiamo i 3 grafici che combaciano, si vede temporalmente un calo sia nella schiuma (grafico c) che nelle bolle (grafico a e b).

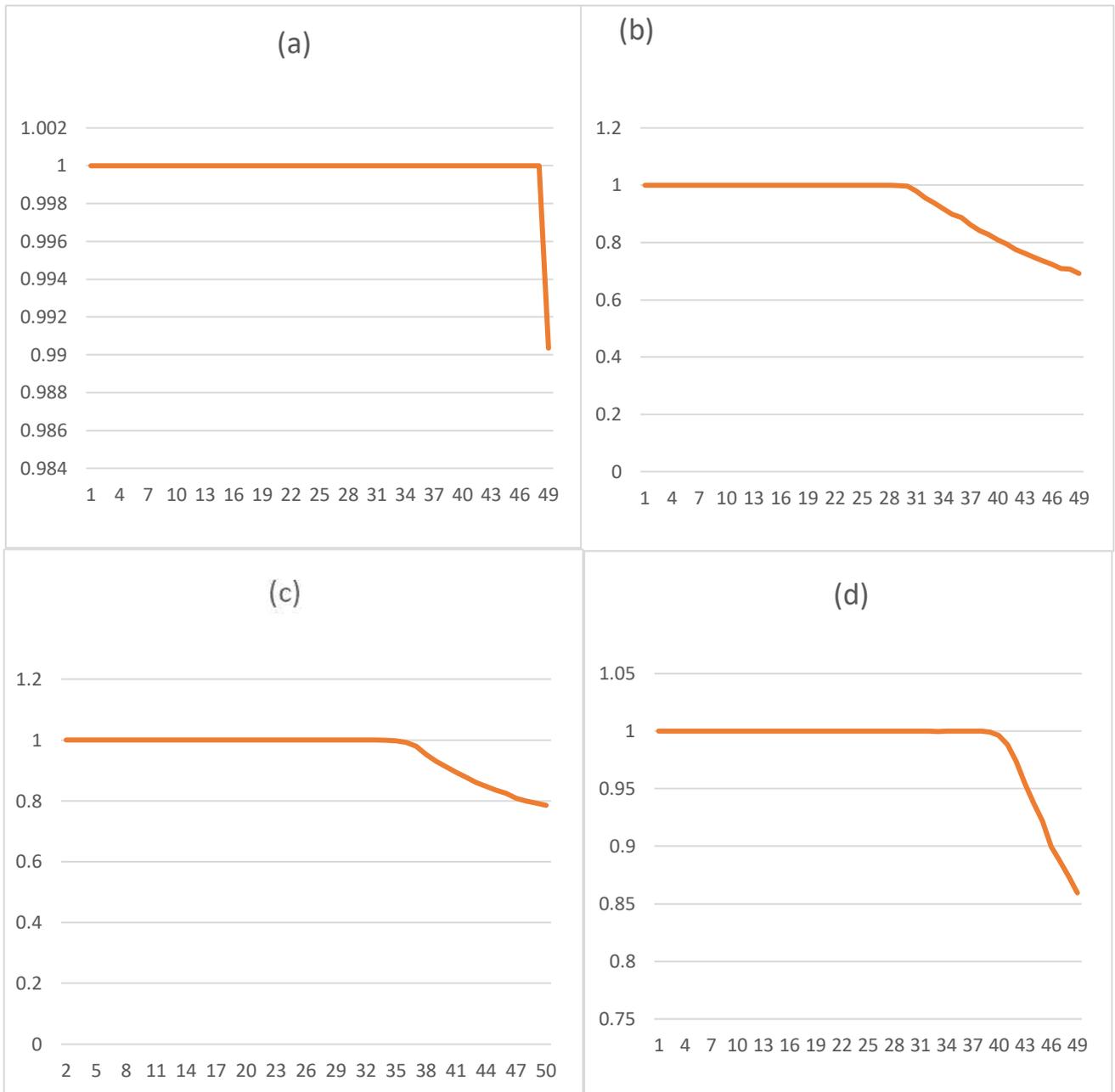


Figure 10 Grafico 10a) Schiuma/Tempo di persistenza in 18C° e 3% di EtOH ,10b) Schiuma/Tempo di persistenza in 18C° e 6% di EtOH, 10c) Schiuma/Tempo di persistenza in 18C° e 12% di EtOH, 10d) Schiuma/Tempo di persistenza in 18C° e 9% di EtOH

**Qui si è voluto mettere a confronto i 4 grafici che indicano la stabilità della schiuma a 18C° con 4 % differenti. Si nota che con poco alcol (grafico 10a) la stabilità dura a lungo, negli altri casi invece si abbassa.**

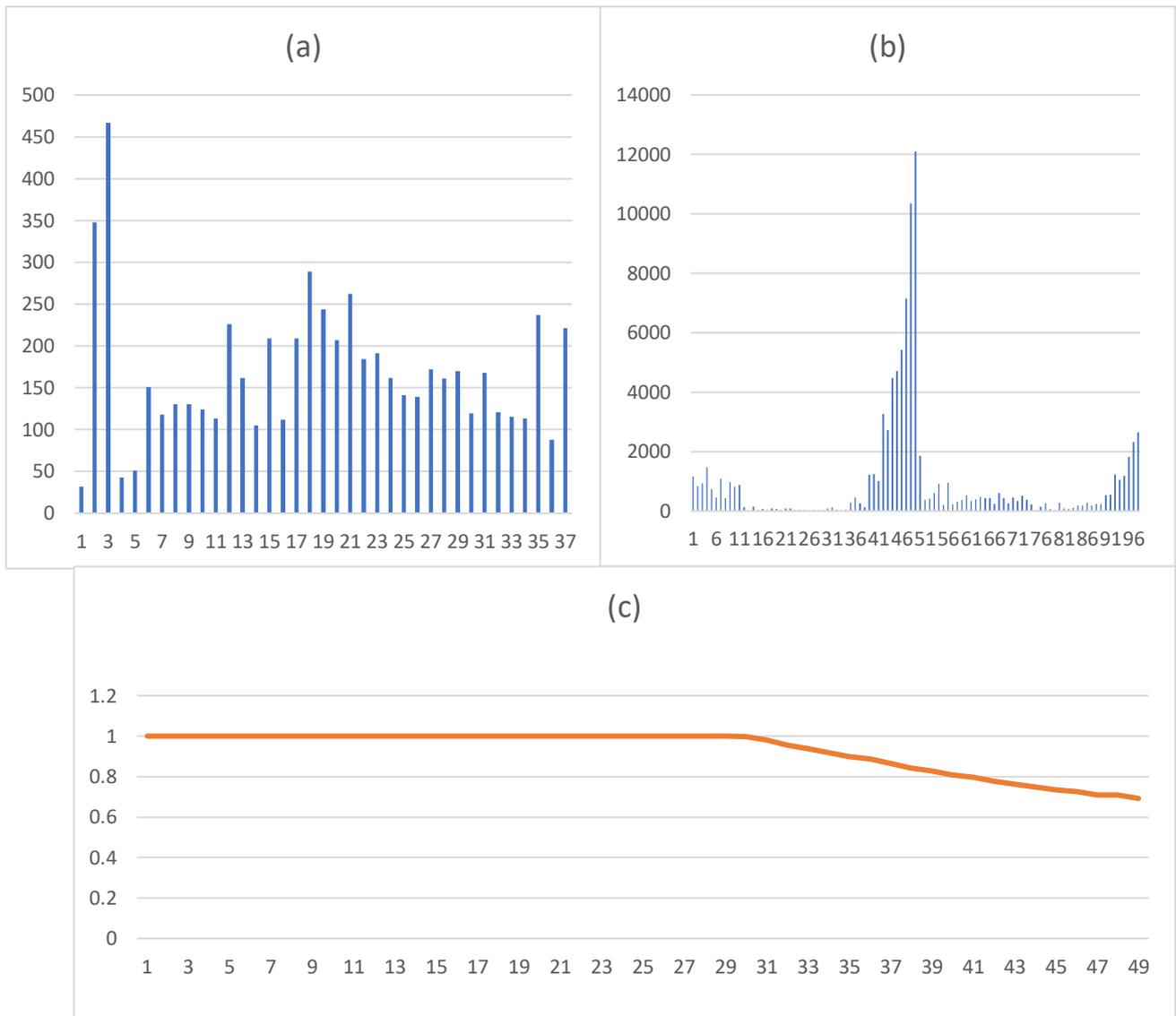


Figure 11 Grafico 11a) N.bolle a 4° in 3% di EtOH Grafico 11b) Area totale a 4C° in 3% di EtOH Grafico 11c) Schiuma/Tempo di persistenza Cin 4C° e 0% di EtOH

Si può considerare anomalo il fatto che da quando la gassificazione viene fatta, non risulta mai un calo di schiuma nel grafico (c) mentre se vediamo le due figure, nella (a) si una stabilità con gli ultimi valori che si alzano, mentre nell'area un innalzamento nella fase centrale del processo.

## Discussione

Prendendo come primo caso di discussione il più semplice dei 2 algoritmi utilizzati, cioè il Food color inspector.

Si può notare la differenza tra i 2 esempi nelle figure 13 e 14 (quelle colorate), dove nelle prime due immagini si può definire in modo chiaro la differenza che c'è nella parte esterna della frazione di schiuma, cioè tra il blu e il verde, mentre non è chiara la distinzione delle bolle più centrali.

Mentre in figura 14 si può notare come non sia stata evidenziata nessuna bolla, ma solamente schiuma.

Nei grafici di figure 7 si vede che la schiuma diminuisce e che le bolle definibili aumentano.

Ciò significa che il food color inspector andando solo a dividere per colori, non potrà andare a differenziare la qualità delle bolle, ciò che Apeer invece fa.

Abbiamo messo a confronto le statistiche dei dati delle temperature, Nei casi in cui il vino è al 6% di EtOH (grafico 2 e 4), lungo la linea temporale si vede che l'area delle bolle è alta solo inizialmente, presumibilmente data dalla gassificazione, e man mano diminuisce, come anche in tanti altri casi. Mettendo in relazione bolle e tempo, e associandoci anche il tempo della schiuma rilevato tramite il secondo algoritmo, si può notare come quasi tutte le percentuali intermedie di EtOH non portino a della formazione di bolle consistente.

Alla tabella 1 e 2 di pag. 23 si hanno le statistiche dove si può vedere come in tutte le 5 temperature, in funzione del contenuto di EtOH, solo una temperatura cresce e rimane stabile nel tempo in tutte e 3 le differenti percentuali di Etanolo, cioè quando il prodotto è a 25°C, in più grazie ai grafici 10a, 10b, 10c, 10d riferiti alla schiuma si può vedere quanto rimanga stabile a livello temporale; infatti, in tutti i grafici "schiuma/linea temporale" si vede che la linea di schiuma è una retta. Ci sono alcuni casi in cui la temperatura influisce.

Confrontando le stesse temperature (25°C a pagina 27) a differenti percentuali alcoliche si può vedere che l'area e il numero di bolle aumenta all'aumentare della quantità di EtOH presente.

Però questo aumento non ha correlazione nella stabilità della schiuma, come si può vedere a pagina 28 (figure 6), si ha lo stesso caso precedente dove area e numero di bolle aumentano, e la stabilità della schiuma rimane uguale, mentre nella pagina successiva è stato fatto il confronto con le stesse percentuali di EtOH ma a temperature più basse (18°C), qui si può vedere come la correlazione tra quantità di EtOH e temperatura non faccia differenza rispetto al produrre quantità di bolle, ma invece riguardo alla stabilità della schiuma ne fa la differenza, infatti si può vedere bene nella figura (10c) e (10d) come la stabilità della schiuma si riduca lungo la linea temporale.

In riferimento alla temperatura, dai confronti grafici si può notare che all'aumentare della temperatura si ha una schiuma più persistente

In riferimento alla temperatura, dai confronti grafici si può notare che all'aumentare della temperatura si ha una schiuma più persistente

A parità di temperatura a pag. 29 possiamo notare come a 18°C a differenti % di EtOH ci sia un quantitativo totale di bolle emesso minimo, perché entrambe hanno un picco di numero vicino ai 500, però in figura (7b) si ha un trend di aumento di bollicine che è omogeneo lungo tutta la linea

temporale, mentre in figura (7a) si ha l'aumento iniziale dato dalla gassificazione mentre poi non aumenta di molto.

Se prendiamo in esempio le figure 11 a pag.33 abbiamo a confronto tutte le % di EtOH assieme a quella della pagina precedente e possiamo notare che non sembra esserci una correlazione tra temperatura e % di EtOH.

Per quanto riguarda un altro parametro, cioè quello del numero di bolle in relazione all'area possiamo dire che non sempre è stato evidenziato un nesso, perché il software legge solo le bollicine di dimensioni ridotte, dunque se si ha la frazione di schiuma con delle bolle al suo interno non verranno lette, e questo porta a un area differente rispetto a quello che è il risultato effettivo.

Dunque confrontando le varie tipologie di grafici, si può notare come a pagina 27 (figure 5) nel grafico (5a)-(5c) ci sia un aumento graduale del numero di bolle (5a), mentre nel grafico dell'area (5c) ci sia un aumento che però nella parte iniziale del grafico non corrisponde; mentre nelle figure (5b) e (5d) il trend di crescita sembra equivalersi temporalmente.

Se andiamo a vedere a pagina 31 (figure 9) possiamo vedere come corrispondano l'area totale e il numero di bolle nei grafici (9a) e (9b). nella pagina successiva (figure 10 pag.32) abbiamo la stessa temperatura a %3 di EtOH, e si nota come l'area (10b) e il numero di bolle non corrispondano (10a), il tutto è probabilmente dato dalla formazione di schiuma persistente (come si può vedere anche nel grafico (c)) che va a coprire le bollicine e che quindi non le ha fatto leggere dal software.

Questa è l'unica anomalia evidente, perché negli esempi successivi (figure 11 pag. 33) si nota sempre una correlazione tra numero di bollicine e area totale.

Se andiamo a mettere tutti dati a confronto vedremo che in tutte le situazioni si ha un 'ampia varietà di risultati che può rendere, all'apparenza, non fattibile una valutazione finale; ma invece se uniamo tutti i parametri e consideriamo anche quindi la stabilità della schiuma (i grafici arancioni) si potrà notare come solo nei grafici in cui la temperatura supera la temperatura ambiente si ha la formazione di una schiuma stabile. Ciò probabilmente è dato dalla solubilità della  $CO_2$ , che a  $25C^\circ$  si insolubilizza e evapora più facilmente.

## Conclusioni

Grazie ai risultati visivi e numerici abbiamo potuto descrivere la schiuma dal punto di vista qualitativo e quantitativo.

Per mezzo di Apeer abbiamo potuto identificare e descrivere le bolle, nel modo più preciso possibile, andando a verificare poi le varie relazioni tra i dati.

Con food color inspector abbiamo avuto un contributo riguardo alla qualità della schiuma, e grazie ad esso siamo riusciti a mettere a confronto i dati di Apeer per avere un aspetto ulteriore riguardo alla qualità della schiuma.

Avendo preso in considerazione come fattore più importante per la schiuma la sua stabilità, sembra che non ci sia un'elevata relazione tra schiuma e quantità di alcol. Perciò si può affermare che la stabilità della schiuma dipende dalla sua temperatura e in minima parte dalla quantità di alcol.

Mentre per quanto riguarda il numero di bolle possiamo dire che confrontando i dati e i grafici si ha come risultato che la temperatura è il fattore che incide di più. Dunque si può dire che il fattore più importante per la formazione di bolle di qualità e quindi per una spuma di qualità è la temperatura a 25°C; mentre la % di EtOH non andrà a incidere in maniera rilevante nel processo.

Dunque, nel momento in cui si volesse andare a produrre un vino con un contenuto alcolico basso o addirittura privo, basterà andare a considerare il fattore temperatura, dato che per l'avvicinarsi il più possibile ad un vino spumante sarà necessaria una schiuma, dal punto di vista qualitativo, migliore possibile.

Per integrare questo lavoro in futuro, si potrebbe andare a fare un'analisi a livello microbiologico di tutte le proteine che vanno a comporre la schiuma prima e dopo la gassificazione, facendo lo stesso caso studio, dunque con un prodotto base a differenti gradazioni d'alcol e di temperatura.

## **BIBLIOGRAFIA**

-

Recent advances in the science of champagne bubbles LigerBelair, Polidori, & Jeandet, 2008

The impact of base wine filtration on champagne foam behavior, Viaux et Al 1994

Sensori d'immagine CCD e CMOS, Carlo Dall'alba, 2012

Influence of variety and aging on foaming properties of sparkling wine (cava) Cristina André s-Lacueva et Al. 1996

Development of a robotic and computer vision method to assess foam quality in sparkling wines Bruna C. Condè et Al. 2010

Il manuale delle reti neurali, Dario Floreano 2003

Applicazioni delle reti neurali feed-forward, Pier Giuseppe Giribone, 2015

e-con Systems depth sensing camera, Prabu Kumar, 2022

## **SITOGRAFIA**

Sensori d'immagine CCD e CMOS, Carlo Dall'alba, 2012

la nel settore alimentare, Martina Olivieri, 2023

The application of computer vision systems in meat science and industry, Monika Modzelewska-kapitula, 2022

Digitalizzazione del fenomeno del perlage per la valutazione oggettiva della schiuma e dell'effervescenza dei vini spumante, Emilio Celotti, Maurizio Zadra, 2012