

SUPSI

Produzione della kombucha in classe: un percorso didattico sul metodo scientifico

Materiali per docenti

Questo percorso didattico può essere svolto sia in laboratorio sia durante le lezioni in aula e offre un'opportunità concreta per applicare il metodo scientifico, introdurre le biomolecole, accennare al metabolismo cellulare e approfondire il concetto di simbiosi. Per queste caratteristiche, è particolarmente indicato per classi che affrontano per la prima volta lo studio della biologia, come le classi seconde a indirizzo scientifico o le classi terze a indirizzo non scientifico.

Nel Piano degli Studi liceali (PdS)¹, i campi di studio *Ecologia* e *Basi di biologia cellulare*, previsti per queste classi, includono i principali temi affrontati nel percorso e, inoltre, l'attività favorisce lo sviluppo di competenze trasversali fondamentali, tra cui la *capacità di mettere in relazione eventi e concetti, utilizzare in modo appropriato la terminologia e la simbologia scientifica, esporre risultati scientifici oralmente e in forma scritta e ragionare con un approccio scientifico*.

Durante l'attività, gli studenti sono chiamati a sviluppare diverse competenze trasversali previste dal Piano Quadro degli Studi (PQS)², come *osservare, descrivere e confrontare fenomeni con precisione e spirito critico* e *pianificare e condurre esperimenti in autonomia, raccogliendo e analizzando dati*. Oltre agli aspetti scientifici, l'esperienza promuove curiosità e meraviglia, stimolando gli studenti a comprendere autonomamente il processo di fermentazione batterica e dei lieviti nella kombucha.

L'attività è strutturata per favorire un apprendimento attivo e, attraverso un approccio induttivo, gli studenti sono guidati a riflettere sulle trasformazioni che avvengono durante la preparazione della kombucha, stimolando il ragionamento critico e la capacità di formulare ipotesi basate sulle osservazioni sperimentali.

¹ https://www4.ti.ch/fileadmin/DECS/DS/SIMS/documenti/PianiStudio/Liceo/Piano_degli_studi_liceali_05.06.2024.pdf

² <https://edudoc.ch/record/232279/files/Plan-etudes-cadre-ecoles-maturite.pdf>

1 Introduzione

La kombucha è una bevanda leggermente effervescente, con una bassa gradazione di alcol, ottenuta dalla fermentazione di tè zuccherato mediante una coltura simbiotica di batteri e lieviti (SCOBY, *Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeasts*).

Poiché la fermentazione della kombucha viene generalmente svolta a livello domestico con una grande varietà di ingredienti e ricette, la diversità di microrganismi in essa presenti è molto ampia (Laureys *et al.*, 2020).

Tra i lieviti, sono state individuate specie appartenenti ai generi *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces*, *Brettanomyces/Dekkera*, *Schizosaccharomyces*. I batteri presenti nella coltura invece sono prevalentemente batteri acetici dei generi *Acetobacter* e *Gluconobacter* e batteri lattici del genere *Lactobacillus*. Tra i batteri acetici è importante ricordare anche *Komagataeibacter xylinus*, la specie responsabile della produzione di un biofilm di cellulosa che galleggia al di sopra della kombucha (Laureys *et al.*, 2020).

La fermentazione della kombucha è una combinazione di tre processi fermentativi: alcolico, lattico e acetico (Jakubczyk *et al.*, 2022). I lieviti idrolizzano il saccarosio in fruttosio e glucosio. Quest'ultimo funge da substrato sia per la fermentazione lattica che per la fermentazione alcolica (figura 1).

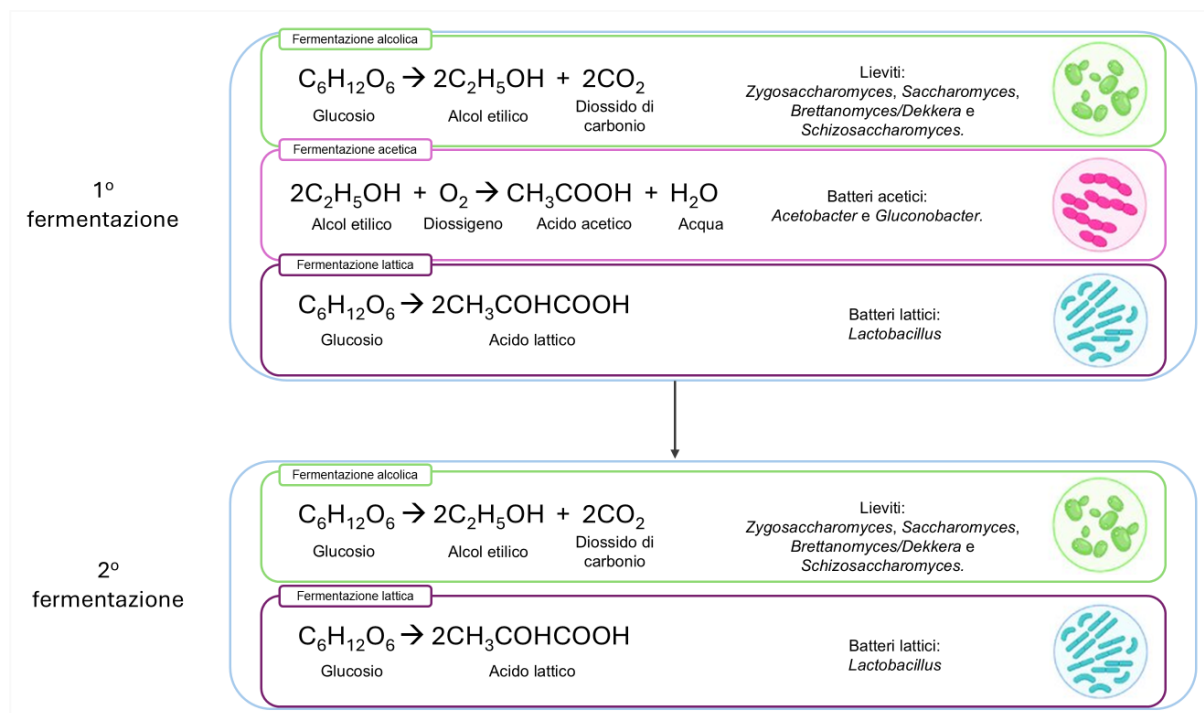


Figura 1: schema dei tre processi fermentativi della kombucha. Adattato da Jakubczyk *et al.* (2022).

La prima fermentazione avviene attraverso tre reazioni chimiche (fermentazione alcolica, acetica e lattica) mentre nella seconda la fermentazione acetica non avviene a causa dell'assenza di ossigeno.

Il glucosio viene convertito in acido lattico dai batteri lattici. Durante la fermentazione alcolica, invece, il glucosio viene trasformato in etanolo, con rilascio di anidride carbonica (Liu *et al.*, 1996). L'etanolo prodotto dalla degradazione del glucosio viene successivamente ossidato da batteri acetici del genere *Acetobacter* e trasformato in acido acetico (figura 1).

Batteri acetici del genere *Gluconobacter* sono invece responsabili dell'ossidazione del glucosio in acido gluconico e acido glucuronico (Wang *et al.*, 2022).

L'ecosistema microbico della kombucha è quindi altamente complesso e si distingue per la presenza di diverse interazioni simbiotiche tra i microrganismi che lo compongono (May *et al.*, 2019). Mentre le specie di *Gluconobacter* possono utilizzare il saccarosio, quelle di *Acetobacter* e alcune specie di *Lactobacillus* dipendono dai lieviti per l'idrolisi del saccarosio in glucosio e fruttosio (Liu *et al.*, 1996; Mamlouk & Gullo, 2013). Inoltre, l'acido acetico prodotto dai batteri acetici stimola la produzione di etanolo da parte dei lieviti (Liu *et al.*, 1996).

La produzione di cellulosa da parte di *Komagataeibacter xylinus* è invece stimolata dalla caffeina presente nel tè e dall'etanolo prodotto dai lieviti (Soh & Lee, 2002).

Le comunità microbiche della kombucha sono anche influenzate da specifiche pressioni selettive che ne modellano la diversità. Uno dei principali fattori è lo stress dovuto all'acidità, causato dall'accumulo di acidi organici prodotti durante la fermentazione. Il pH iniziale della kombucha varia generalmente tra 5.0 e 7.0, per poi diminuire progressivamente fino a un intervallo di 2.0-4.0 dopo circa sette giorni di fermentazione, creando un ambiente selettivo in cui possono sopravvivere solo microrganismi acidotolleranti (Teoh *et al.*, 2004).

La produzione della kombucha avviene in due fasi, una aerobica, in cui il fermentatore viene chiuso con una garza, e una anaerobica, in bottiglie sigillate.

La maggior parte dei lieviti sono anaerobi facoltativi e possono svolgere la fermentazione o la respirazione cellulare. La respirazione è possibile solo in presenza di ossigeno, ma la sua presenza non garantisce necessariamente un metabolismo respiratorio (Rozpedowska *et al.*, 2011). Molti lieviti continuano a fermentare anche in condizioni aerobiche, finché i carboidrati sono disponibili, un fenomeno noto come "*effetto Crabtree*". Sebbene la fermentazione sia meno efficiente dal punto di vista energetico rispetto alla respirazione cellulare, permette ai lieviti di produrre ATP a una velocità maggiore, garantendo loro un vantaggio competitivo nella colonizzazione dell'ecosistema.

I batteri lattici sono anaerobi facoltativi, ma non utilizzano ossigeno nel loro metabolismo (Laureys *et al.*, 2020). Al contrario, i batteri acetici sono aerobi obbligati e interrompono il loro metabolismo in assenza di ossigeno.

Di conseguenza, mentre le tre vie fermentative sono attive durante la fase aerobica della fermentazione della kombucha, nella seconda fase, la conversione di etanolo in acido acetico e la produzione di acido gluconico e acido glucuronico non si verificano (figura 1). Nella seconda fase, l'acidificazione sarà più lenta e la bevanda diventerà effervescente, poiché il diossido di carbonio prodotto verrà trattenuto all'interno della bottiglia.

Comunemente, il termine SCOBY viene utilizzato per indicare il biofilm di cellulosa che si forma sulla superficie della kombucha, sebbene in modo improprio, poiché il termine si riferisce in realtà all'intera comunità simbiotica di batteri e lieviti presenti nel liquido fermentato. Tuttavia, per semplicità, anche in questo testo verrà adottato questo uso convenzionale del termine.

2 Preparazione della kombucha

Tradizionalmente la kombucha viene realizzata con il tè, inteso come un infuso di foglie della pianta del tè *Camelia sinensis*, non con infusi di altre piante, come la camomilla o la menta.

Per preparare la kombucha è necessario procurarsi uno SCOBY e un liquido *starter*, costituito da kombucha già fermentata. L'acquisto di questi prodotti può essere effettuato in negozi online e sarà necessario solo la prima volta che si prepara la kombucha, in quanto lo SCOBY viene generato ad ogni fermentazione, così come la kombucha da utilizzare come *starter*.

Per l'acquisto, suggeriamo il negozio online Stoecklin Aprovital (<https://www.kombucha.ch/>), con sede a Basilea, che offre diversi kit per la preparazione della kombucha. Tra i vari prodotti disponibili, consigliamo di acquistare il kit "Kombucha Scoby Set C", che include uno SCOBY immerso in 300 mL di kombucha fermentata (*starter*) e 50 g di tè. Sebbene non sia necessario utilizzare un tè specifico per le fermentazioni successive, il negozio non offre kit privi di tè, rendendo inevitabile l'acquisto di una confezione che lo includa. In generale, si consiglia di utilizzare tè e zucchero biologici, poiché tracce di pesticidi e di altri trattamenti chimici potrebbero interferire con il processo di fermentazione.

La seconda fermentazione verrà svolta in bottiglia. Possono essere utilizzate bottiglie in vetro resistenti alla pressione, con tappo meccanico a leva. Durante la seconda fermentazione verrà prodotto diossido di carbonio, e la pressione all'interno della bottiglia sarà piuttosto elevata. In caso si utilizzino bottiglie di vetro, la pressione potrebbe provocarne l'esplosione improvvisa, con il rischio di dispersione di schegge. Si raccomanda pertanto di monitorare frequentemente lo stato della fermentazione, aprendo la bottiglia e valutando il livello di effervescenza. Quando questo è soddisfacente la bottiglia va conservata in frigorifero e consumata nel giro di un paio di giorni.

Di seguito vengono descritti i passaggi della preparazione della kombucha.

2.1 Materiali

- 1 L di acqua
- g di tè nero biologico (in bustina o in foglie)
- 100 g di zucchero biologico
- Uno SCOBY
- 100 mL di starter
- Un barattolo di vetro pulito di almeno 2 L di capienza, a bocca larga
- Un panno traspirante
- Un elastico
- Cartina tornasole o pH-metro

2.2 Preparazione del tè zuccherato

- Portare a ebollizione circa 1 litro di acqua.
- Aggiungere 3 g di tè nero e lasciarlo in infusione per 5-10 minuti.
- Sciogliere 100 g di zucchero nel tè caldo e mescolare fino a completa dissoluzione.
- Lasciar raffreddare il liquido a temperatura ambiente.

2.3 Prima fermentazione

- Versare il tè zuccherato raffreddato in un barattolo di vetro pulito.
- Aggiungere lo SCOBY e circa 100 ml di *starter*.
- Coprire il barattolo con un panno traspirante fissato con un elastico per evitare contaminazioni.
- Lasciare fermentare a temperatura ambiente (20-25°C) per 7-14 giorni.
- A partire dal quinto giorno di fermentazione, misurare il pH, con la cartina tornasole o il pH-metro, ogni 2-3 giorni.
- La prima fermentazione sarà conclusa quando la bevanda ha raggiunto un pH compreso tra 2,5 e 3,5.

2.4 Seconda fermentazione

- Al termine della prima fermentazione, rimuovere circa 600-700 mL di liquido e trasferirli in due bottiglie da 330 mL a chiusura ermetica.
- Per conservare lo SCOBY sarà necessario preparare un altro tè fermentato in cui inocularlo, oppure lasciarlo in una quantità sufficiente del primo prodotto di fermentazione, all'interno dello stesso barattolo coperto da un panno traspirante. Se si controlla che il liquido non evapori eccessivamente, causando la disidratazione dello SCOBY, ed eventualmente lo si rabbocca con tè fresco, esso può essere conservato anche per diversi mesi.
- Aggiungere 3 g di zucchero ad ogni bottiglia, chiudere ermeticamente e lasciare fermentare.
- Il livello di effervescenza della kombucha finale può variare in base alle preferenze individuali. A scopo didattico, si suggerisce di terminare la seconda fermentazione quando, aprendo la bottiglia, si osserva la formazione di una schiuma sulla superficie del liquido. Questo, in genere, si verifica dopo 2-5 giorni dall'imbottigliamento.
- Una volta terminata la seconda fermentazione, conservare la kombucha in frigorifero (4-10°C).

3 Attività didattica

Come illustrato nella figura 2, il percorso didattico è articolato in diverse fasi che non sempre corrispondono esattamente a unità didattiche. I passaggi di preparazione della kombucha richiedono poco tempo, mentre i processi fermentativi si sviluppano su più giorni. Complessivamente l'attività viene quindi svolta nell'arco di diverse settimane.

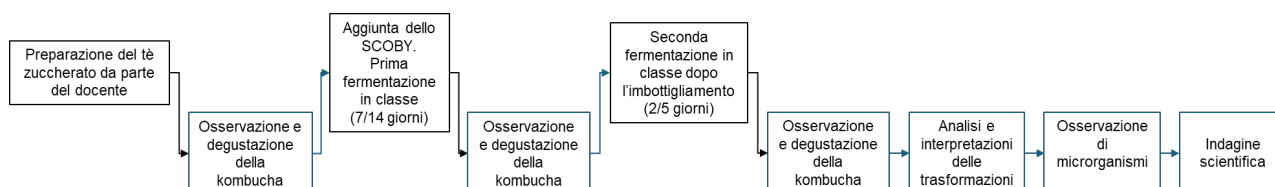


Figura 1: **schema del percorso didattico previsto.**

Riquadri in nero: parti in cui il docente deve produrre e controllare la kombucha; riquadri in blu: parti in cui gli allievi sono chiamati attivamente a partecipare attivamente.

Nella prima parte dell'esperienza, la kombucha viene preparata dal docente, mentre gli allievi eseguono delle degustazioni e ragionano sulla natura delle trasformazioni osservate. Nella seconda parte, sono gli allievi a gestire la produzione, in un'attività a carattere sperimentale (indagine scientifica).

3.1 Osservazione e degustazione della kombucha

Questa prima fase è progettata per stimolare la curiosità degli studenti attraverso l'osservazione e l'assaggio della kombucha in diverse fasi della fermentazione, favorendo il ragionamento sulla natura della trasformazione senza rivelarne subito le cause. Durante questi momenti si consegna una scheda agli allievi che dovranno compilare (Scheda osservazione_doc allievi). L'attività prevede che gli studenti osservino e assaggino la kombucha in tre momenti distinti:

- prima dell'inizio della fermentazione (assaggio del tè zuccherato);
- al termine della prima fermentazione;
- al termine della seconda fermentazione.

Inizialmente il docente dovrà preparare il tè zuccherato (passaggio 1 della procedura di preparazione, descritta nel capitolo 2) e farlo assaggiare agli studenti. Successivamente all'inoculo dello SCOBY (passaggio 2), il liquido verrà lasciato fermentare in classe per circa sette giorni, al termine dei quali gli studenti effettueranno un secondo assaggio. Dopo questa prima fermentazione, la kombucha verrà imbottigliata per avviare la seconda fermentazione (passaggio 3). Infine, si procederà con il terzo assaggio, permettendo agli studenti di confrontare le diverse versioni della bevanda.

Al momento dell'inoculo, lo SCOBY sarà inevitabilmente visibile agli studenti: per mantenere l'approccio esplorativo dell'attività, sarà importante non svelarne subito la natura e la funzione.

Ad ogni assaggio, gli studenti saranno invitati a descrivere le caratteristiche visive, olfattive e gustative di ciascun campione, che verranno annotate da ciascuno di loro in un'apposita scheda (Scheda osservazione_doc allievi). Ci si aspetta che essi notino variazioni nella trasparenza, nel profumo, nel sapore e nell'effervescenza della bevanda (Tabella 1).

	Osservazione 1	Osservazione 2	Osservazione 3
Caratteristiche visive	Limpido, di colore marrone.	È torbido, di colore marrone.	È torbido, di colore marrone.
Caratteristiche olfattive	Ha un caratteristico profumo di tè.	Ha un odore leggermente acido; si percepisce l'odore di lievito.	Ha un odore leggermente acido; si percepisce l'odore di lievito.
Caratteristiche gustative	Ha un caratteristico sapore di tè; è molto dolce.	Non è dolce, ma leggermente acida.	Non è dolce, ma leggermente acida. È gasata.

Tabella 1: esempio di osservazioni che dovrebbero essere annotate dagli allievi.

Ci si aspetta che gli allievi notino variazione di torbidità, di profumo e di sapore.

3.2 Analisi e interpretazione delle trasformazioni

In questa seconda fase dell'attività, gli studenti sono invitati a formulare ipotesi sulle variazioni organolettiche della kombucha e a identificare gli strumenti sperimentali più adatti per verificarle.

Gli studenti devono quindi riflettere sulla natura e sulle cause delle trasformazioni che hanno osservato e percepito nella bevanda.

La riflessione può essere svolta in un primo momento a gruppi di 3-4 allievi, e successivamente in *plenaria*.

Per avviare la riflessione, il docente può proporre alcune domande, preferibilmente in forma scritta. Di seguito vengono riportati alcuni esempi.

- Quali cambiamenti avete osservato o percepito nella bevanda tra i tre assaggi?
- Quali potrebbero essere le cause di queste trasformazioni?
- Come potreste verificare in modo oggettivo (qualitativo e quantitativo) i cambiamenti avvenuti?

Idealmente, nella discussione in *plenaria*, la classe dovrebbe arrivare a queste conclusioni:

Cambiamenti osservati o percepiti:

- riduzione dello zucchero: la bevanda, dal primo al secondo assaggio, è diventata meno dolce;
- aumento di acidità: la bevanda è diventata acida;
- produzione di un gas (diossido di carbonio): dal secondo al terzo assaggio la bevanda è diventata leggermente gasata;
- la bevanda è diventata più torbida.

Ipotesi sulle cause:

- nella bevanda sono avvenute delle trasformazioni chimiche: lo zucchero ha reagito mentre un acido è stato prodotto;
- le trasformazioni chimiche sono state causate da organismi viventi;
- strumenti per verificare i cambiamenti: pH-metro o cartina tornasole per la misurazione del pH ai vari stadi, refrattometro per misurare i brix.

Il docente ha un ruolo di guida nella discussione, evitando di fornire subito spiegazioni dirette, ma stimolando la curiosità e il ragionamento autonomo degli studenti. È importante annotare le ipotesi emerse, in modo da riprenderle nelle fasi successive del percorso e collegarle alle analisi sperimentali che verranno effettuate.

3.3 Osservazione dei microrganismi

Nella fase di analisi e interpretazione, gli allievi dovrebbero giungere all'ipotesi che le trasformazioni osservate nella kombucha siano dovute ad organismi viventi. Dovrebbe quindi emergere la richiesta di osservare il biofilm di cellulosa e la kombucha stessa al microscopio.

Seguendo i passaggi seguenti il docente può guidare gli allievi alla scoperta dei microrganismi responsabili della fermentazione. Nel documento "Scheda osservazione_doc allievi" è presente il protocollo che si può consegnare agli allievi.

3.3.1 **Materiali**

- Biofilm di cellulosa
- Kombucha
- Pinze
- Pipetta
- Microscopio ottico
- Vetrini coprioggetto
- Vetrini portaoggetto
- Blu di metilene

3.3.2 Osservazione dei batteri

Osservando il biofilm di cellulosa della kombucha è possibile osservare i batteri in essa presenti.

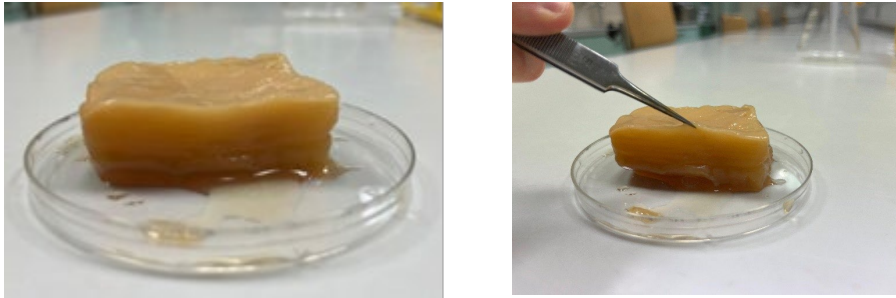


Figura 3: biofilm di cellulosa utilizzato per la fermentazione della kombucha.

Procedura:

- Con le pinzette, prelevare uno strato sottile di biofilm (vedi figura 3).
- Appoggiare il campione sul vetrino portaoggetti.
- Aggiungere una goccia di blu di metilene.
- Coprire il campione con un vetrino coprioggetto e attendere 10 minuti per favorire la colorazione.
- Osservare il campione al microscopio ottico.

Nel campione mostrato in figura 5 è possibile distinguere batteri a forma di bacillo, probabilmente appartenenti al genere *Lactobacillus*. Tuttavia, i batteri osservati potrebbero essere diversi a seconda del campione analizzato, a causa della grande varietà delle comunità microbiche della kombucha.

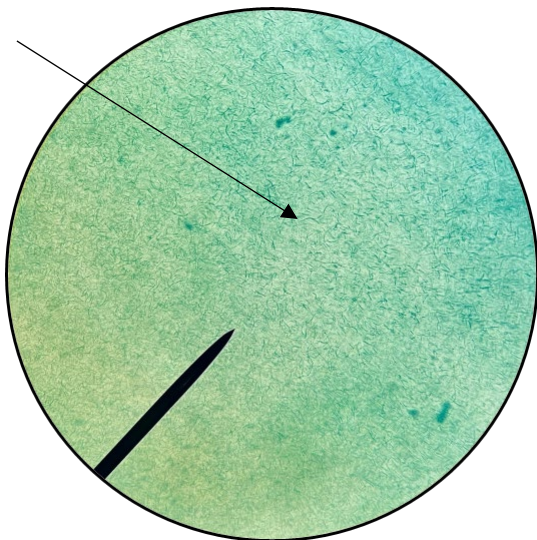


Figura 5: osservazione al microscopio ottico a luce trasmessa, con un ingrandimento a 400X. È possibile notare batteri a forma di bacillo (freccia).

3.3.3 Osservazione di lieviti nella kombucha

L'analisi della fase liquida della kombucha consente di osservare i lieviti.

Procedura:

- Con una pipetta, prelevare una piccola quantità di liquido dalla kombucha.
- Depositare una goccia del liquido su un vetrino portaoggetti.
- Aggiungere una goccia di blu di metilene per evidenziare le cellule.
- Coprire il campione con un vetrino coprioggetto.
- Osservare il campione al microscopio ottico.

Nel campione mostrato in figura 7 è possibile osservare alcune cellule di lievito.

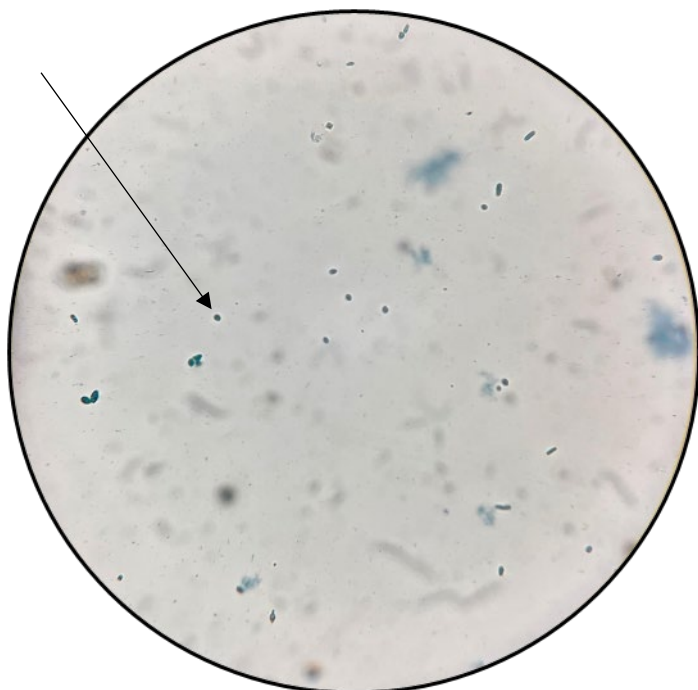


Figura 6: osservazione con il microscopio ottico a luce trasmessa, con ingrandimento a 400X. È possibile osservare cellule di lievito (freccia).

3.4 Indagine scientifica

In questa fase, gli studenti, organizzati in gruppi di tre o quattro persone, progettano ed eseguono esperimenti per verificare le loro ipotesi sui cambiamenti osservati nella kombucha. L'attività prevede che realizzino una seconda kombucha, durante la quale, utilizzando gli strumenti forniti, dopo che loro capiscano cosa hanno bisogno, misurino a ogni passaggio le variazioni di pH e concentrazione di zuccheri.

Per arricchire l'esperienza di propedeutica al metodo scientifico, a ciascun gruppo viene inoltre chiesto di formulare un'ulteriore domanda di ricerca inerente alla kombucha, che possa essere investigata in questa fase. Ogni gruppo dovrebbe ideare una differente domanda di ricerca.

Affinché l'attività favorisca il pensiero scientifico e mantenga un approccio centrato sugli studenti, è fondamentale che siano loro stessi a formulare la domanda di ricerca. Tuttavia, il docente assume un ruolo di guida, supportandoli nella definizione di quesiti coerenti e sperimentalmente realizzabili nel contesto scolastico.

Per facilitare questo processo, riteniamo utile fornire esempi di domande di ricerca e delle relative strategie sperimentali, da cui gli studenti possano trarre ispirazione per strutturare il proprio lavoro investigativo.

1. *Temperatura.* Come influisce la temperatura sui processi fermentativi? Confronto tra una produzione di kombucha a temperatura ambiente con una a bassa temperatura (4-10°C).
2. *Presenza di ossigeno.* In che modo la disponibilità di ossigeno modifica i processi fermentativi? Confronto tra una produzione di kombucha in contenitori sigillati già dalla prima fermentazione con una coperta con una garza.
3. *Presenza del biofilm di cellulosa.* Il biofilm di cellulosa è necessario per la fermentazione? In che modo vi contribuisce? Confronto tra una produzione di kombucha in cui viene inserito il biofilm con una in cui non viene inserito.
4. *Presenza dello starter.* La kombucha già fermentata è necessaria per la fermentazione? In che modo vi contribuisce? Confronto tra una produzione di kombucha in cui viene aggiunto lo *starter* con una in cui non viene aggiunto.
5. *Esposizione alla luce.* Come influisce l'esposizione alla luce sui processi fermentativi? Confronto tra una produzione di kombucha esposta alla luce e una tenuta al buio.

Dopo aver redatto il progetto sperimentale, ogni gruppo procede ad una seconda produzione di kombucha, secondo le condizioni sperimentali ideate. Eventualmente, la produzione del campione di controllo, che corrisponde alla produzione di kombucha secondo il protocollo descritto nel capitolo 2, potrà essere realizzata collettivamente.

Ogni gruppo è responsabile della raccolta e dell'analisi delle proprie misurazioni. Al termine dell'esperimento, deve redigere un poster scientifico, in cui vengono presentati i risultati ottenuti e le relative analisi e interpretazioni.

4 Obiettivi del percorso didattico

Obiettivi operazionali, classificati in base al livello dei processi cognitivi coinvolti (Bloom, 1956; Anderson & Krathwohl, 2001):

- Saper elencare i microrganismi presenti nella kombucha e saperne descrivere le interazioni microbiche (K1/K2);
- Saper utilizzare differenti materiali come la cartina tornasole, il pH-metro e il rifrattometro per monitorare le trasformazioni chimiche che avvengono in una soluzione (K3);
- Saper formulare ipotesi sul tipo di microrganismo coinvolto in una trasformazione chimica osservata, giustificando le proprie conclusioni in base al metabolismo dei diversi gruppi microbici (K4);
- Saper progettare un esperimento per investigare una domanda inerente ad un processo fermentativo (K6).

Gli obiettivi disposizionali invece sono i seguenti:

- sviluppare un atteggiamento scientifico, adottando un approccio basato sull'osservazione, la formulazione di ipotesi, la sperimentazione e l'analisi critica dei dati, riconoscendo l'importanza della verifica empirica nella costruzione della conoscenza.
- coltivare la curiosità e lo spirito d'indagine, ponendosi domande sui fenomeni osservati, esplorando possibili spiegazioni e mostrando apertura verso nuove scoperte e connessioni tra conoscenze scientifiche e vita quotidiana.

Aspetti disciplinari

Il tema centrale di questo percorso didattico è il metodo scientifico, che non viene introdotto in modo teorico, ma applicato direttamente attraverso l'osservazione, la formulazione di ipotesi, la sperimentazione e l'analisi dei dati. Questo approccio è in linea con le indicazioni del nuovo *Piano Quadro degli Studi* (PQS), che inserisce la propedeutica scientifica tra i domini di insegnamento trasversali a tutte le discipline.

Oltre a sviluppare competenze metodologiche, questo percorso didattico consente di introdurre o collegare successivamente altri argomenti, previsti dal *Piano degli studi liceali* (PdS). L'osservazione della fermentazione della kombucha costituisce quindi un punto di partenza per esplorare concetti fondamentali in tre campi di studio previsti per le classi seconde a indirizzo scientifico e terze a indirizzo non-scientifico.

Ecologia

L'ecosistema microbico della kombucha rappresenta un esempio di simbiosi e permette di analizzare l'interazione tra fattori ambientali, come l'acidità, e la sopravvivenza degli organismi. Inoltre, introduce il concetto di utilizzo delle risorse ambientali, evidenziando come i microrganismi necessitino di fonti di carbonio ed energia e, in alcuni casi, di ossigeno.

Classificazione degli organismi

Il percorso offre lo spunto per distinguere tra procarioti ed eucarioti, evidenziandone le differenze strutturali e metaboliche. Inoltre, permette di introdurre la distinzione tra organismi **anaerobi facoltativi e aerobi obbligati**, che costituiscono degli esempi di varietà metabolica nel mondo vivente.

Basi di biologia cellulare

Attraverso la misurazione del pH e del grado Brix, gli studenti osservano in modo pratico la trasformazione degli zuccheri e il ruolo delle biomolecole nel metabolismo cellulare. Questo fornisce un aggancio per trattare le classi di biomolecole e accennare alla respirazione cellulare e alla fermentazione.

In sintesi, questo percorso didattico non esaurisce la trattazione di questi temi, ma rappresenta un punto di partenza esperienziale che stimola la curiosità e crea connessioni con argomenti che verranno sviluppati in seguito, anche attraverso altre metodologie didattiche.

Il percorso sulla kombucha rappresenta un'opportunità per integrare concetti di biologia e chimica, mostrando come i due ambiti si intersechino nello studio di processi reali. L'analisi della fermentazione permette di collegare il metabolismo microbico alle reazioni chimiche coinvolte, offrendo un contesto applicato per lo studio di fenomeni come l'ossidazione, l'acidità delle soluzioni e la trasformazione delle biomolecole. La possibilità di misurare parametri chimici, come il pH e il grado Brix, fornisce inoltre un'occasione per applicare strumenti e metodi analitici tipici della chimica, rafforzando il legame tra osservazione sperimentale e interpretazione scientifica. Questo approccio interdisciplinare aiuta gli studenti a sviluppare una visione integrata e sistemica della conoscenza, in linea con i principi del nuovo PQS.

5 Scelte didattiche

Nella prima fase di questo percorso didattico il tema della fermentazione viene introdotto attraverso un approccio induttivo, incentrato sull'allievo. Invece di iniziare con una spiegazione teorica, gli studenti vengono guidati alla scoperta del concetto di fermentazione partendo dall'osservazione diretta e dall'analisi delle trasformazioni avvenute nella kombucha. Questo metodo favorisce un apprendimento attivo e significativo, stimolando la curiosità e il coinvolgimento degli studenti fin dalle prime fasi dell'attività. Mantenere alta l'attenzione iniziale è fondamentale per promuovere un atteggiamento esplorativo e investigativo, elementi chiave per una comprensione profonda e duratura.

L'analisi e l'interpretazione dei cambiamenti osservati nella kombucha si sviluppano attraverso una discussione guidata, in cui il confronto tra pari e il supporto del docente giocano un ruolo cruciale nel processo di apprendimento. Gli studenti imparano a scambiare idee con i compagni, a elaborare spiegazioni condivise e a formulare ipotesi basate sulle osservazioni dirette.

L'attività è progettata per studenti del secondo o terzo anno, con conoscenze limitate sui fenomeni biologici. Pur essendo la fermentazione un concetto familiare alla vita quotidiana, la kombucha rappresenta un prodotto meno noto rispetto alla birra, al vino o al kefir. Questo equilibrio tra familiarità e novità rende l'attività accessibile, ma allo stesso tempo abbastanza stimolante da suscitare curiosità e favorire la ricerca di spiegazioni.

La struttura didattica è quindi ispirata alla teoria della zona di sviluppo prossimale delineata da Vygotskij, secondo cui l'interazione con i pari e il supporto del docente facilitano l'apprendimento (Vygotskij, 1978). Affinché ciò avvenga, l'attività deve presentare un livello di difficoltà adeguato, ponendosi tra ciò che gli studenti possono fare autonomamente e ciò che possono raggiungere con la guida e la collaborazione, stimolandoli a sviluppare nuove competenze senza risultare né troppo semplice né eccessivamente complessa.

L'adozione dell'*inquiry project-based learning* (Inquiry PjBL) in questo percorso didattico mira a coinvolgere attivamente gli studenti in tutte le fasi del metodo scientifico, offrendo loro un'esperienza pratica e coinvolgente. Questo approccio nasce dalla combinazione di *inquiry-based learning* (IBL) e *project-based learning* (PjBL) e prevede che gli studenti formulino delle domande di ricerca e delle ipotesi. Le risposte vengono ottenute attraverso una ricerca scientifica e l'analisi dei dati ottenuti. L'intero processo deve portare alla realizzazione di un prodotto, in questo caso di un poster scientifico (Chu *et al.*, 2016).

Attraverso l'Inquiry PjBL, gli studenti sviluppano competenze critiche come il pensiero analitico, la capacità di *problem-solving* e la comprensione approfondita dei concetti scientifici. La realizzazione di un prodotto finale ha lo scopo di motivare gli allievi e vedere concretizzato il loro processo di apprendimento.

Oltre a far sperimentare il metodo scientifico, questa sequenza didattica promuove processi cognitivi di ordine superiore (Anderson & Krathwohl, 2001; Bloom, 1956).

L'analisi delle trasformazioni osservate nella kombucha stimola il pensiero riflessivo (K4 - analizzare), portando gli studenti a collegare le proprie osservazioni con conoscenze ed esperienze pregresse. La formulazione di ipotesi sulle cause dei cambiamenti riscontrati sviluppa una prospettiva critica (K5 - valutare). Infine, la progettazione di un'indagine sperimentale per rispondere ai quesiti emersi rafforza le competenze di *problem-solving* e la creatività, portando gli studenti a elaborare nuove strategie di ricerca (K6 - creare).

Un altro aspetto didattico rilevante di questo percorso è il coinvolgimento sensoriale e corporeo durante la lezione. Gli studenti interagiscono direttamente con la kombucha attraverso l'assaggio della bevanda nelle diverse fasi della fermentazione. Studi dimostrano che il coinvolgimento sensoriale facilita la comprensione e la memorizzazione dei concetti scientifici (Häussler et al., 1998).

Dopo una prima valutazione qualitativa del fenomeno, vengono introdotti aspetti quantitativi, come la misurazione del pH e del grado Brix, che permettono di collegare le osservazioni soggettive a misurazioni oggettive. Questo passaggio aiuta gli studenti a sviluppare un metodo di indagine più rigoroso e strutturato.

Infine, l'attività aiuta gli studenti a riconoscere il ruolo delle scienze naturali nella società, mostrando come la ricerca scientifica sia strettamente legata alla vita quotidiana.

La fermentazione non è solo un fenomeno chimico e biologico, ma un processo con importanti implicazioni pratiche, utilizzato da millenni per la conservazione degli alimenti e la produzione di cibi benefici per la salute. Esplicitare questo collegamento aiuta gli studenti a sviluppare una maggiore consapevolezza dell'impatto della scienza sul mondo reale (Häussler et al., 1998).