

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Agronomia Animali Risorse
Naturali e Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

„Applicazioni tradizionali e innovative dei sottoprodotti
dell'industria della birra“

Relatore
Prof.ssa Anna Lante
Correlatore
Dott. Roberto Zaupa

Laureanda
Matilde Bozzola
Matricola n. 1221437

Anno Accademico 2022-2023

INDICE

Riassunto	-----	1
Abstract	-----	2
1. La sostenibilità in campo alimentare	-----	3
1.1 Definizione di economia circolare	-----	3
1.2 Lo spreco alimentare	-----	4
1.3 L'industria mangimistica nell'economia circolare	-----	6
1.3.1 Principali sottoprodotti utilizzati nei mangimi	-----	7
1.3.2 Prodotti alimentari scartati	-----	9
1.4 Problematiche co-prodotti	-----	10
1.4.1 Competizione tra mangimistica e produzione di biodiesel	-----	11
2. L'industria birraria	-----	12
2.1 L'industria birraria e l'economia circolare	-----	12
2.2 L'industria birraria: i numeri nel mondo e in Europa	-----	13
2.3 L'industria birraria in Italia	-----	14
2.3.1 Birrifici artigianali	-----	15
3. Produzione birra e i suoi sottoprodotti	-----	16
3.1 Processo di produzione della birra	-----	16
4. Trebbie esauste di birra – BSG	-----	20
4.1 Composizione chimica	-----	21
4.2 Panoramica degli utilizzi	-----	22
5. Luppolo esausto – BSH	-----	25
5.1 Composizione chimica	-----	25
5.2 Panoramica degli utilizzi	-----	26
6. Lieviti esausti – BSY	-----	29
6.1 Composizione chimica	-----	29
6.2 Panoramica degli utilizzi	-----	30
7. Acque reflue – BSW e Radichette d'orzo	-----	32
7.1 Composizione chimica acque reflue	-----	33
7.1.2 Riutilizzo delle acque reflue	-----	34
7.2 Composizione chimica delle radichette d'orzo	-----	35
7.2.1 Riutilizzo delle radichette d'orzo	-----	35
Conclusioni		
Bibliografia		

RIASSUNTO

L'industria birraria ogni anno produce circa 46 milioni di tonnellate di sottoprodotti, principalmente trebbie di birra, lieviti esausti, luppoli ed acque reflue. La maggior parte di questi viene smaltita direttamente, oppure utilizzata come mangime per gli animali. L'elaborato, dopo aver riportato le caratteristiche compositive di ciascuno di questi prodotti, ne discute la valorizzazione in un'ottica di economia circolare.

ABSTRACT

The brewing industry produces about 46 million tons of by-products every year, mainly spent grains, spent yeasts, hops, and wastewater. Most of these are either disposed of directly or used as animal feed. The study, after outlining the compositional characteristics of each of these products, discusses their valorization from a circular economy perspective.

Premessa

L'economia circolare è un approccio al design e alla produzione che mira a promuovere la sostenibilità riducendo gli sprechi e rafforzando l'efficienza delle risorse. A differenza del modello lineare tradizionale di "prelevare, produrre, dismettere", l'economia circolare incoraggia il riutilizzo, la riparazione, il rinnovamento e il riciclo dei materiali e prodotti per quanto possibile.

Un esempio emblematico di economia circolare si trova nell'industria della birra, dove i sottoprodotti come cereali esausti, luppolo e lievito, che una volta sarebbero stati considerati rifiuti, vengono oggi trasformati in nuove risorse. Questi materiali possono essere impiegati in vari modi: come mangimi per animali, compost per l'agricoltura, biomassa per la produzione di energia rinnovabile, materiali bioplastici ed anche composti bioattivi.

I cereali esausti, ad esempio, sono ricchi di fibre e proteine e possono essere usati nell'alimentazione animale, fornendo un'alternativa nutriente ai mangimi tradizionali. Il luppolo e il lievito, invece, possono essere utilizzati per produrre biocarburanti e biopolimeri, contribuendo alla creazione di nuovi settori industriali e alla riduzione della dipendenza dai combustibili fossili.

L'adozione di pratiche circolari nell'industria birraria non solo riduce l'impatto ambientale e i costi associati allo smaltimento dei rifiuti, ma apre anche la strada a nuovi flussi di reddito e opportunità di mercato. Questo approccio, che può essere esteso a molte altre industrie, è fondamentale per l'innovazione e la sostenibilità a lungo termine.

In sintesi, l'economia circolare nell'industria birraria dimostra come i concetti di efficienza delle risorse e sostenibilità possano essere integrati con successo nei processi produttivi. Rappresenta un cambio di paradigma che può contribuire in modo significativo alla conservazione delle risorse naturali, stimolando allo stesso tempo l'innovazione e sostenendo lo sviluppo economico.

CAPITOLO 1

La sostenibilità in campo alimentare

1.1 L'economia circolare

Secondo la definizione emanata dal parlamento europeo, l'economia circolare si configura come un paradigma di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e dei prodotti esistenti in modo prolungato nel tempo (Parlamento Europeo, 2023).

Una delle principali sfide alla sostenibilità dei sistemi industriali consiste nel modificare il modello di crescita da lineare a circolare, superando il paradigma del "prendere, fare, gettare" e massimizzando, pertanto, il riutilizzo e il recupero degli scarti. Attualmente, il modello economico tradizionale si basa sulla disponibilità abbondante e a basso costo di risorse materiali ed energetiche, insieme al principio dell'obsolescenza dei prodotti. Questo approccio operativo risulta ormai antiquato e disfunzionale, poiché abbiamo constatato che le risorse non sono infinite e la loro scarsità ha iniziato a manifestarsi, con impatti negativi sulla qualità della vita e sull'ambiente. L'economia circolare fornisce dunque gli strumenti per affrontare le sfide del cambiamento climatico e della perdita di biodiversità, rispondendo contemporaneamente a importanti esigenze sociali. Essa permette di incrementare la prosperità, i livelli occupazionali e la resilienza, riducendo le emissioni di gas serra, i rifiuti e l'inquinamento. Un'attuale definizione di economia circolare, formulata dalla Ellen MacArthur Foundation, la descrive come "un'economia concepita per rigenerarsi autonomamente", sottolineando che "i flussi di materiali in un'economia circolare si distinguono in due categorie: quelli biologici, che possono essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici, destinati a essere valorizzati nuovamente senza entrare nella biosfera" (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Questo concetto è stato rappresentato visivamente dalla fondazione Ellen MacArthur attraverso un'immagine esplicativa, il modello della farfalla. Nella Figura 1, il modello lineare dell'economia è posizionato al centro, mentre ai lati sono rappresentati i "flussi" dell'economia circolare: in verde sono indicati quelli organici, mentre in blu sono rappresentati i materiali tecnologici come plastiche e metalli.

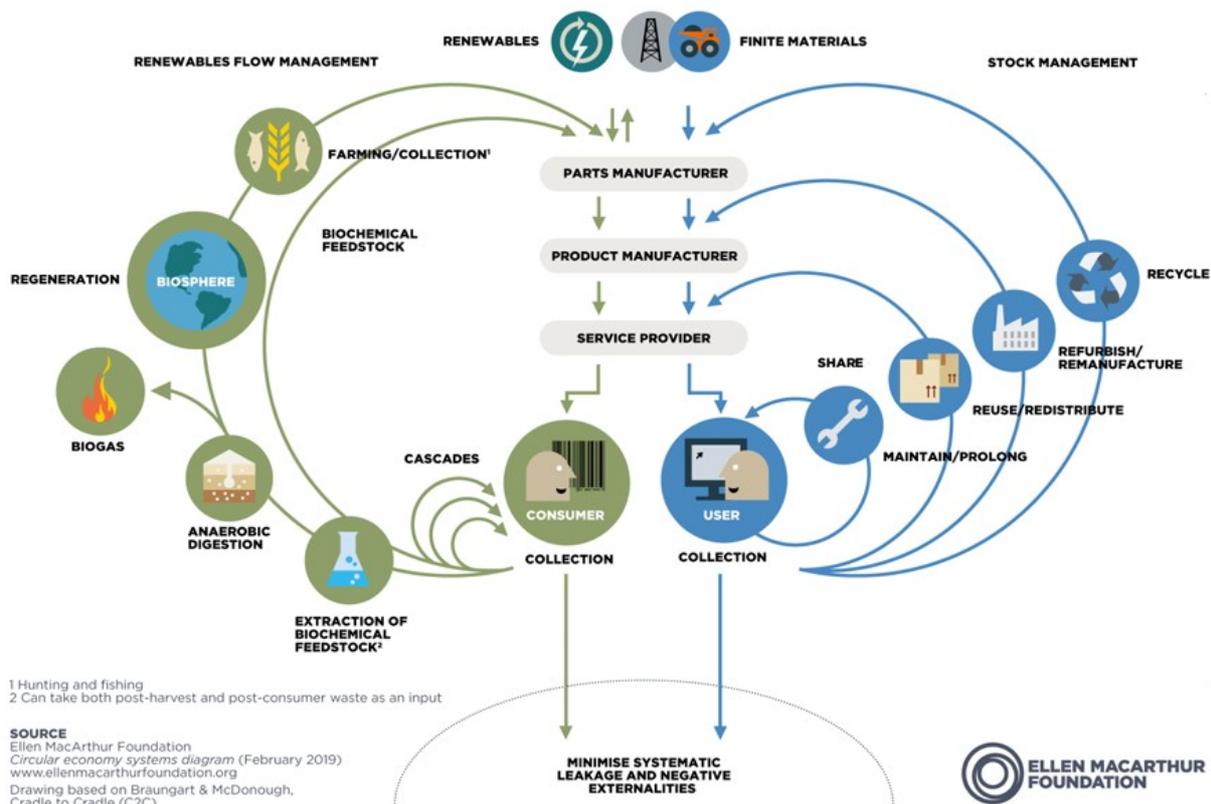


Figura 1 – Modello della farfalla (Ellen MacArthur Foundation, 2013)

1.2 Lo spreco Alimentare

Il concetto di sostenibilità richiede un'anticipazione del concetto di spreco, che nell'ambito del settore agroalimentare rappresenta il suo contrario. Quando si verificano delle perdite o degli sprechi di cibo, si sprecano anche tutte le risorse impiegate per la sua produzione: acqua, terreno, energia, lavoro e denaro. Inoltre, il deposito di rifiuti e scarti alimentari nelle discariche produce emissioni di gas serra che contribuiscono al cambiamento climatico. Le perdite e gli sprechi di cibo possono avere un impatto negativo sulla sicurezza alimentare e sulla disponibilità di cibo, oltre a contribuire all'aumento dei costi degli alimenti.

Circa il 13 per cento del cibo prodotto a livello mondiale viene perso lungo la catena di approvvigionamento, dalla raccolta al punto vendita; ulteriori 17 per cento di cibo viene sprecato nelle case, nei servizi alimentari e nella vendita al dettaglio (FAO, 2019).

Risulta dunque chiaro che lo spreco alimentare può essere combattuto su due fronti: quello della produzione e quello del consumatore.

La FAO suddivide lo spreco alimentare in due categorie definite “food loss” e “food waste” (FAO, 2019).

La diminuzione non intenzionale del cibo destinato al consumo umano derivante da inefficienze nella catena di fornitura degli alimenti è indicata come “food loss”, cioè perdite alimentari. Tali perdite si verificano durante la produzione, la fase post-raccolta e la trasformazione nella catena di

approvvigionamento alimentare, spesso a causa di infrastrutture e logistica carenti, mancanza di tecnologia oppure competenze, conoscenze e capacità gestionali insufficienti.

Al contrario, il termine "spreco alimentare" si riferisce alle perdite alimentari che si verificano alla fine della catena alimentare, ovvero durante la vendita al dettaglio e il consumo finale. Questo aspetto riguarda principalmente le azioni dei rivenditori e dei consumatori, ed è dovuto al comportamento di aziende e privati.

Nel calcolo delle perdite o sprechi di cibo, vengono presi in considerazione esclusivamente i prodotti destinati al consumo umano, mentre sono esclusi i mangimi e le parti non commestibili dei prodotti. In altre parole, si valuta la quantità di cibo che viene persa o sprecata lungo le catene alimentari, prima di raggiungere i "prodotti commestibili destinati al consumo umano" (Commissione Europea, 2013).

Pertanto, se un alimento inizialmente destinato al consumo umano viene accidentalmente deviato dalla catena alimentare umana e utilizzato per scopi non alimentari, come mangimi o bioenergia, viene comunque considerato come una perdita o uno spreco di cibo. Questa metodologia permette di distinguere tra gli utilizzi non alimentari "pianificati" e quelli "non pianificati", entrambi considerati come perdite durante la valutazione.

Per avere una comprensione più chiara riguardo ai concetti di spreco alimentare, possiamo fare riferimento alla piramide gerarchica rovesciata della gestione dei rifiuti, adattata al settore agro-alimentare. Come rappresentato nella Figura 2, questa piramide classifica le strategie in ordine di priorità, iniziando con azioni di prevenzione, seguite da tecniche di riutilizzo, riciclo e recupero, e infine considera lo smaltimento dei rifiuti come ultima opzione preferibile.

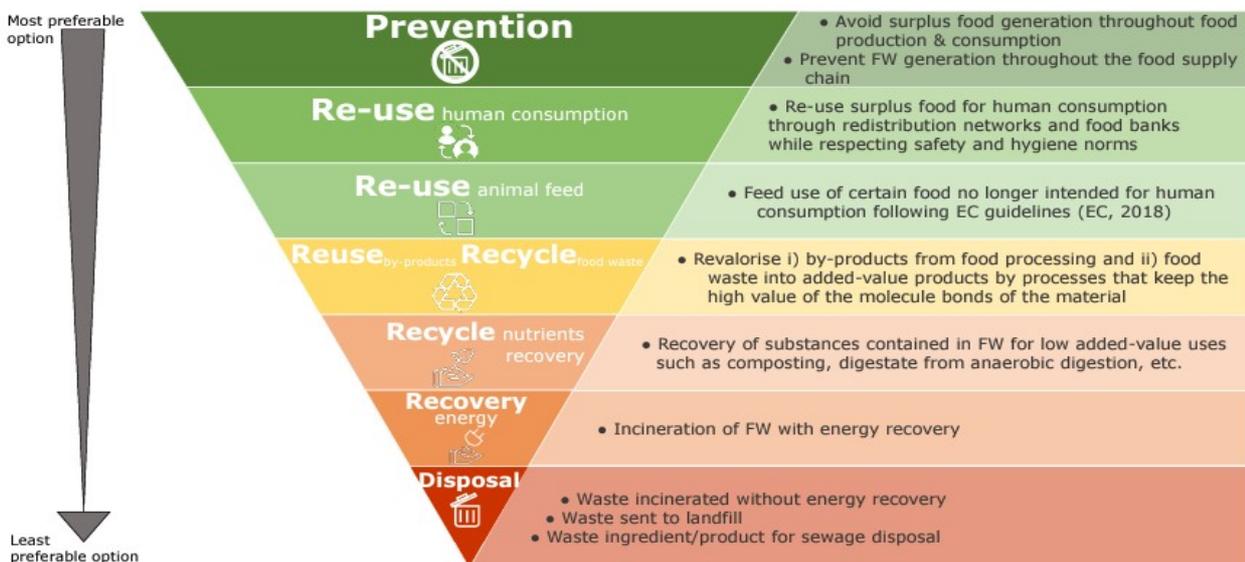


Figura 2 – Food Waste Measurements (Commissione Europea, 2013)

1.3 L'industria mangimistica nell'economia circolare

Nel panorama attuale, emerge chiaramente dalla piramide gerarchica della gestione dei rifiuti e con particolare rilievo, il ruolo cruciale svolto dal settore dell'alimentazione animale nell'economia circolare. Diversi sottoprodotti derivanti dalla produzione di alimenti, sia nel settore agricolo che nelle fasi di trasformazione, trovano impiego prevalente come mangime.

L'Annual Report Ambientale del 2020, (Assalzo, 2020) mette in evidenza l'importanza etica dell'utilizzo dei sottoprodotti nel settore alimentare, rivelando che ogni anno vengono impiegate fino a 230.000 tonnellate di ex prodotti alimentari, equivalenti a circa 265.000 tonnellate di mais o a 26.000 ettari di terreno resi disponibili per altre finalità.

In effetti, l'approccio dell'economia circolare risulta familiare agli agricoltori e agli allevatori, poiché l'integrazione delle diverse attività costituisce una delle principali caratteristiche di successo per un'azienda agricola.

Ad esempio, la paglia residua proveniente dalla coltivazione dei cereali viene spesso utilizzata per alimentare gli animali o come materiale per la lettiera, mentre i rifiuti derivanti dagli animali rappresentano una risorsa di valore per la concimazione dei terreni. È opportuno sottolineare che l'industria mangimistica ha una lunga tradizione di collaborazione con l'industria molitoria, contribuendo costantemente alla valorizzazione dei sottoprodotti provenienti dalla produzione di farine e oli vegetali (Assalzo, 2020).

1.3.1 Principali sottoprodotti utilizzati nei mangimi

La base della preparazione dei mangimi si fonda sull'utilizzo di materie prime coltivate specificamente per l'alimentazione degli animali e su sottoprodotti ottenuti principalmente dalle filiere agroalimentari, al fine di massimizzare il loro valore. Storicamente, la dieta degli animali è stata arricchita con scarti o residui provenienti dalle diverse fasi di trasformazione industriale degli alimenti, come ad esempio frutta e verdura non adatte alla vendita, sottoprodotti della macinazione dei cereali, pasta e prodotti da forno non conformi, scarti dell'industria del latte, della birra, del pomodoro e anche i pannelli esausti derivanti dall'estrazione di olio di soia, girasole e colza, che costituiscono una fonte proteica abbondante.

L'impiego di tali materiali presenta diversi vantaggi ambientali: si riduce la dipendenza dall'importazione di materie prime per l'alimentazione degli animali, permettendo un risparmio di terreni agricoli destinati alla coltivazione di cereali e leguminose, favorendo così la produzione di alimenti per l'uomo. Al contempo, si contribuisce a combattere lo spreco alimentare. È importante sottolineare che le risorse alimentari utilizzate per la preparazione degli alimenti per gli animali non vengono sottratte all'alimentazione umana, eliminando così la competizione per le risorse. Anzi,

riducendo la superficie dei campi coltivati per l'allevamento degli animali, si crea maggiore spazio per l'espansione di quelli destinati al consumo umano.

Alcuni dei co-prodotti più utilizzati per la formulazione di mangimi composti sono:

1. Co-prodotti derivanti dalla molitura di grano e riso, che rappresentano l'origine del settore mangimistico, rappresentati principalmente da crusca di frumento o di riso, ricca in proteine (14-19%), fibre, minerali e oli. Può essere utilizzata nell'alimentazione di quasi tutti gli animali da reddito, ed è particolarmente adatta ai bovini da latte dove è associata ad una migliore resa nel latte stesso (Fefac 2019);
2. Co-prodotti derivante dalla produzione di zuccheri (da barbabietola o da canna). Le polpe di barbabietole essiccate sono ricche di fibra e molto energetiche, e nella bovina da latte stimolano la produzione di latte e riducono il rischio di acidosi del rumine; la melassa (prodotto sciropposo) ha scarse qualità nutrizionali, ma è altamente appetibile e viene utilizzata soprattutto per legare i componenti dei mangimi pellettizzati di ruminanti e suini (Fefac 2019);
3. Co-prodotti della frantumazione di semi oleosi e raffinazione di oli vegetali: farine di semi oleosi (soia, colza, girasole, lino) rappresentano la fonte più importante di materie proteiche per i mangimi. La farina di soia in particolare è la principale fonte di proteine, grazie al suo profilo amminoacidico, la densità di nutrienti e la digeribilità associate all'accessibilità economica e l'ampia disponibilità (Fefac 2019);
4. Co-prodotti della lavorazione casearia: il siero di latte in polvere è altamente utilizzato come sostituto del latte per ruminanti neonati come vitelli e agnelli. Il suo basso contenuto di grassi, con una buona concentrazione di lattosio, minerali e un eccellente potere amminoacidico, affiancato all'assenza di antinutrienti, lo rende altamente appetibile e digeribile, stimolando così l'assunzione del mangime (Fefac 2019);
5. Sottoprodotti di origine animale: l'uso di questi ingredienti nei mangimi, comprese le restrizioni per alcune specie, è definito anche dal Reg. (CE) n. 999/200, e la legislazione europea è la più rigorosa al mondo, quindi si tratta di ingredienti di alta qualità e sicuri. Si tratta di prodotti di fusione come le proteine animali trasformate (PAP) provenienti da animali non ruminanti utilizzabili dal 2013 in acquacoltura specie per pesci carnivori come il salmone, e dal 2021 è anche ammesso l'uso di PAP di maiale nelle carni avicole e viceversa. La PAP è ricca di amminoacidi essenziali, come lisina e metionina, grassi e minerali ed è altamente appetibile e digeribile, essendo priva di fattori antinutrienti (Fefac 2019).

Oltre a quanto menzionato in precedenza, vi sono molteplici altre applicazioni dei suddetti ex scarti nell'ambito del settore mangimistico, il che dimostra la sua notevole versatilità e il potenziale

ancora inesplorato. Esplorando le diverse situazioni caso per caso, possiamo intravedere un concetto tanto antico quanto attuale: l'integrazione dell'allevamento con l'industria alimentare consente una gestione ottimale dei rifiuti, seguendo una pratica conosciuta fin da cent'anni fa, nota come il rapporto mutualistico tra mulino e allevamento.

1.3.2 Prodotti alimentari scartati

Un occhio di riguardo va a questa categoria di prodotti alimentari, definiti dalla Commissione europea come “alimentari, diversi dai residui della ristorazione, fabbricati, in modo del tutto conforme alla legislazione comunitaria sugli alimenti, per il consumo umano, ma che non sono più destinati al consumo umano per ragioni pratiche, logistiche o legate a difetti di lavorazione, d'imballaggio o d'altro tipo, senza che presentino alcun rischio per la salute se usati come mangimi.” (Commissione Europea, 2018).

Questi prodotti alimentari scartati si distinguono dagli altri esempi presentati poiché non sono considerati co-prodotti in senso tradizionale. Tuttavia, dimostrano che in ogni fase della catena di produzione alimentare, l'industria del mangime è in grado di offrire soluzioni e sfruttare al meglio le risorse disponibili.

Durante il processo di fabbricazione di generi alimentari come pane, biscotti, cioccolatini, cereali per colazione, patatine e pasta, una porzione della produzione di solito non rispetta gli standard richiesti dal produttore a causa di errori di produzione che causano rotture o deformazioni, colore, sapore o etichettatura errati. La sovrapproduzione di beni invenduti può verificarsi anche a seguito di eventi stagionali come Natale o Pasqua o dopo la cessazione di una linea di prodotti. Inoltre, i prodotti alimentari scartati possono essere il risultato delle sfide quotidiane nella consegna di determinati alimenti.

Quando i prodotti alimentari non possono più essere venduti per il consumo umano e dopo che il produttore o il rivenditore ha esaminato la possibilità di donarli in beneficenza, eventuali rimanenti scorte sono generalmente ancora idonee e sicure per essere trasformate in mangimi per animali. Diversi alimenti possono essere trasformati in un mangime energetico che può sostituire gli ingredienti normalmente selezionati come grano, orzo o mais.

Alcuni prodotti alimentari scartati, come cioccolatini, patatine e croissant, presentano un contenuto di olio che li rende addirittura "arricchiti di grassi" rispetto ai cereali, fornendo un ulteriore valore nutrizionale. Poiché anche questi prodotti alimentari sono stati sottoposti a trattamento termico, l'amido e altri nutrienti sono più facilmente digeribili. Inoltre, i prodotti alimentari scartati ben conservati non sono contaminati da micotossine. È necessario però che non contengano ingredienti di origine animale (sempre secondo la direttiva europea) (Commissione Europea, 2018).

È importante sottolineare che, essendo provenienti da produttori e rivenditori di alimenti, non sono da confondere con i rifiuti di ristorazione. I prodotti alimentari scartati trasformati vengono utilizzati più frequentemente nei mangimi per suini, che metabolizzano la teobromina (un composto del cioccolato che può essere fatale per i cani) allo stesso modo degli esseri umani (Commissione Europea, 2018).

1.4 Problematiche co-prodotti

Non esiste alcuna definizione legale né differenziazione tra i termini co-prodotto e sotto-prodotto.

Si può intuire che un sottoprodotto è un residuo inevitabile che deve essere smaltito al minor costo, mentre un co-prodotto, al contrario, è riconosciuto per il suo valore nutritivo e/o tecnologico, e viene trattato con la stessa attenzione e cura del prodotto principale.

Il valore dei co-prodotti come mangimi dipende dal fatto che i produttori mantengano la loro integrità nutrizionale e sicurezza durante la manipolazione, la produzione, lo stoccaggio e il trasporto. In altre parole, trattandoli come “prodotti” e non come “rifiuti”.

Oltre a contribuire alla sostenibilità, l'utilizzo dei co-prodotti nel settore mangimistico aggiunge un valore economico alla materia prima, aumenta la competitività del settore e inoltre porta ad un valore socio-economico maggiore, favorendo l'esistenza di industrie specializzate della trasformazione di queste materie.

Risulta tuttavia evidente come lo sfruttamento di un co-prodotto vada oltre la semplice conformità legale ai requisiti di legge e spesso comporti un adeguamento alle tecniche di lavorazione per garantire la qualità.

Non tutti i co-prodotti sono adatti al settore mangimistico, almeno non a quella fascia di produzione così definita industrializzata e su alta scala.

Esistono infatti dei requisiti specifici, ad esempio relativi alla sicurezza alimentare, come il Sistema di Qualità ISO 9001, oppure ISO 22000 per la Gestione della Sicurezza Alimentare. Tutti gli impianti di produzione e lavorazione dei co-prodotti devono rispettare gli standard di sicurezza alimentare richiesti (Fefac 2019).

Il processo per la determinazione della validità del co-prodotto come ingrediente per un mangime composto prevede un'analisi dei suoi componenti nutrizionali disponibili, e anche delle componenti antinutrizionali (quei componenti che possono avere effetto negativo sulla salute o sulla prestazione dell'animale), garantendo al contempo che la qualità e la sicurezza dei prodotti animali che si andranno ad ottenere non sia alterata o influenzata negativamente e, se possibile, potenziata.

Ma oltre questi standard relativi alla qualità intrinseca e alla sicurezza del prodotto, spesso la problematica principale, soprattutto per i grandi mangimifici, riguarda la quantità disponibile di questi co-prodotti, che spesso non risulta sufficiente oppure non è in grado di coprire l'annualità.

Un esempio è la polpa di agrumi, costituito dagli scarti di limoni e arance sottoposte a spremitura, ottimo ingrediente per la bovina da latte per l'alto contenuto di fibre altamente digeribili che inducono una buona ruminazione nello stomaco della vacca, ed aumenta il contenuto di grasso nel latte (Fefac 2019). Pur essendo un buon esempio di come un elemento aggiuntivo della produzione agricola possa essere mantenuto nella catena alimentare, presenta, soprattutto in Italia, diverse problematiche, tra cui spiccano la stagionalità e la quantità disponibile, determinando destinazioni ottimali diverse da caso a caso e addirittura anche da anno ad anno.

1.4.1 Competizione tra mangimistica e produzione di biodiesel

La competizione tra impiego dei sottoprodotti agricoli ed ex-prodotti alimentari nell'industria alimentare zootecnica e nella produzione di bioenergie rappresenta una tematica di notevole importanza per il settore mangimistico. Questo assume particolare rilevanza nel contesto geopolitico attuale, caratterizzato dal conflitto tra Russia e Ucraina, che ha avuto forti ripercussioni sull'approvvigionamento delle materie prime.

Il 1° marzo 2022, il decreto legge numero 17, incentrato sulle misure urgenti per contenere gli effetti dell'aumento dei prezzi nel settore elettrico e del gas naturale, è stato ufficialmente convertito in legge. Tale provvedimento ha dichiarato che, al fine di semplificare il processo produttivo negli impianti di biogas e biometano, alcuni sottoprodotti possono essere utilizzati in tali impianti di produzione.

L'elenco dei sottoprodotti ammessi negli impianti di biogas e biometano è stato quindi ampliato e comprende diverse materie prime di rilevanza per il settore mangimistico. Questi materiali includono paglia, pula, residui di campo delle aziende agricole, nonché sottoprodotti derivanti dalla trasformazione di pomodori, olive, uva, frutta, ortaggi vari, barbabietole da zucchero, cereali, prodotti ittici, panificazione, industria dolciaria, birra, frutti e semi oleosi.

Va sottolineato che questa competizione coinvolge non solo il settore mangimistico e l'impiego dei co-prodotti derivanti dal settore alimentare, ma riguarda l'intero sistema agroalimentare. La produzione di biogas e altre energie alternative richiede la destinazione di vaste aree agricole. Gli impianti fotovoltaici occupano direttamente terreni agricoli, mentre biogas e biomasse necessitano di estensioni considerevoli per la coltivazione di colture energetiche dedicate. In tal senso, le politiche per il clima e il fabbisogno energetico ed alimentare devono essere integrate in maniera sostenibile nei territori. Questo aspetto è stato oggetto di discussione internazionale con il concetto emergente di "food-energy-environment trilemma" (Carrosio G. 2013).

Il tema del "food-energy-environment trilemma" non sarà affrontato all'interno di questo elaborato, poiché richiederebbe un'analisi approfondita. Tuttavia, la sua citazione è utile per fornire un quadro

ambientale, sociale ed economico più ampio sul tema principale su cui si concentrerà questa trattazione.

CAPITOLO 2

L'industria birraria

2. L'industria birraria e l'economia circolare

Come sottolineate nell'antecedente capitolo, la necessità di promuovere l'economia circolare e trovare soluzioni per raggiungere lo zero rifiuti nel settore agroalimentare nei prossimi anni si trova attualmente tra gli obiettivi principali perseguiti dalle aziende di tutti i settori e dalla Commissione Europea. In questo contesto, la valorizzazione dei rifiuti e sottoprodotti agroalimentari è una delle soluzioni chiave. Il recupero di nuovi ingredienti funzionali da fonti naturali e sottoprodotti è una delle sfide più importanti nella scienza e tecnologia alimentare attuale (Amorim M. *et al.* 2019). Una filiera dell'industria agroalimentare che si presta perfettamente a questa visione innovativa nell'utilizzo delle risorse è quella della birra, che per diversi anni ha rappresentato uno dei settori più inquinanti. L'industria birraria genera enormi quantità di sottoprodotti. Infatti, per ogni 1000 tonnellate di birra prodotta, si creano da 137 a 173 tonnellate di rifiuti solidi sotto forma di grani esausti, lievito esausto, luppolo esausto e materiali indesiderati (Amoriello T. *et al.* 2020).

Questi sottoprodotti vengono principalmente utilizzati come mangime per animale, compost o addirittura smaltiti come rifiuti. Al contrario, possono rappresentare una fonte a basso costo di prodotti preziosi e innovativi (bioenergia, ingredienti alimentari e mangimi, miglioratori del suolo e fertilizzanti, farmaceutici, cosmetici, ecc.), e il loro riutilizzo può contribuire alla Politica Zero Rifiuti dell'UE (Amoriello T. *et al.* 2020). Il recupero e il riutilizzo dei sottoprodotti dell'industria birraria con l'obiettivo di estrarre composti funzionali e sviluppare prodotti innovativi possono rappresentare un buon approccio di circolarità in questo settore industriale, anche dal punto di vista del rapporto cibo-salute, grazie alla loro notevole quantità di composti preziosi come proteine, lipidi, carboidrati, polifenoli e minerali (Amoriello T. *et al.* 2020). L'industria della birra ha sperimentato diversi avanzamenti tecnologici che permettono grandi risparmi riducendo la quantità di rifiuti e sottoprodotti prodotti durante tutto il processo di birrificazione.

2.1 L'industria birraria: i numeri nel mondo e in Europa

Guardando il grafico riportato in Figura 3, la produzione globale di birra ha raggiunto circa 1,89 miliardi di ettolitri, in aumento rispetto ai 1,3 miliardi di ettolitri del 1998. La birra è una bevanda ampiamente consumata in tutto il mondo, composta principalmente da acqua, malto, luppolo e lievito. I principali paesi produttori di birra a livello globale sono la Cina, gli Stati Uniti e il Brasile (Statista, 2023).

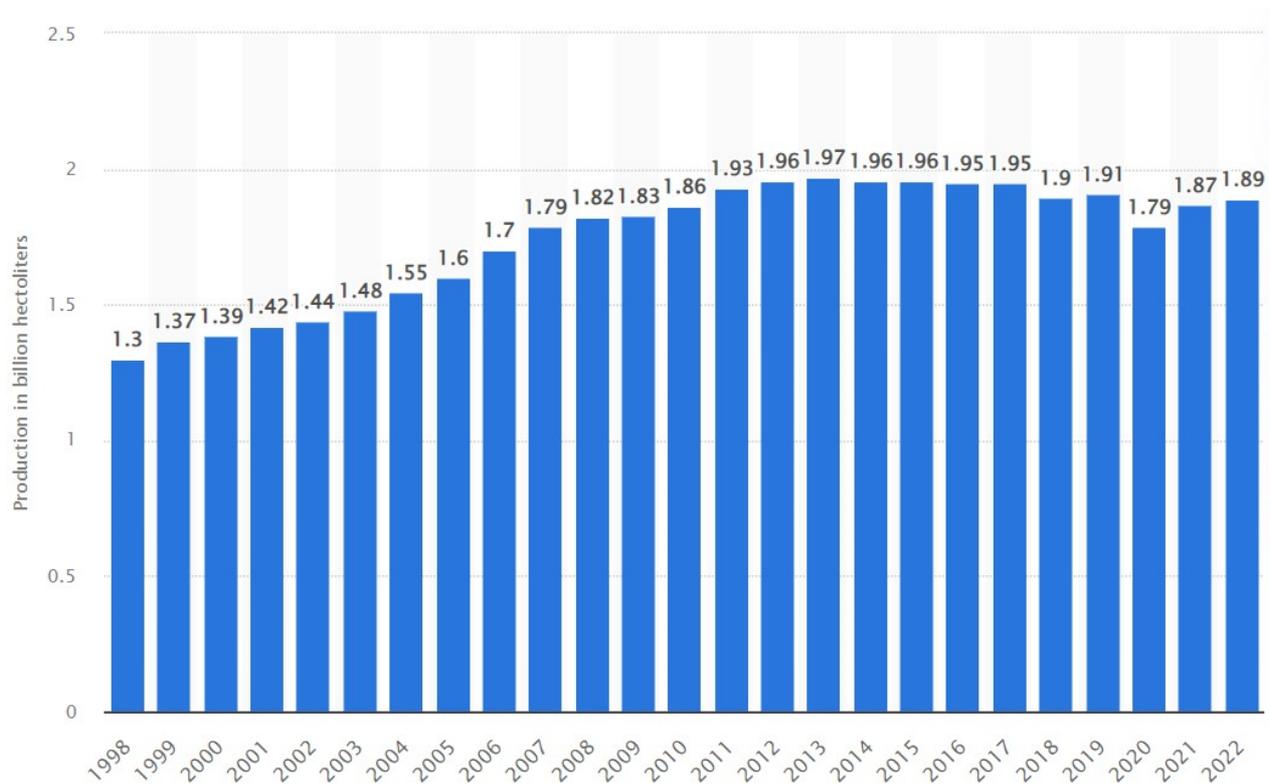


Figura 3: produzione mondiale di birra in ettolitri a partire dal 1998 al 2022 (Statista, 2023)

Spostandoci invece sul territorio europeo, nel 2022, l'industria birraia ha visto significative fluttuazioni nella sua produzione. In totale, i paesi dell'UE hanno prodotto quasi 34,3 miliardi di litri di birra alcolica e 1,6 miliardi di litri di birra a basso contenuto alcolico o senza alcol. Questi numeri mostrano un aumento del 7% nella produzione di birra alcolica rispetto al 2021, avvicinandosi ai livelli pre-pandemici del 2019. Per quanto riguarda la birra non alcolica, la produzione è rimasta invariata (Eurostat, 2023).

Analizzando la produzione per nazione, la Germania ha dominato il panorama europeo, contribuendo con oltre 22% della produzione totale. Seguono la Spagna e la Polonia, rispettivamente con il 11% ciascuna. I Paesi Bassi si sono distinti come principali esportatori di birra alcolica dell'UE, mentre la Francia è stata il maggiore importatore (Eurostat, 2023).

Guardando al di fuori dei confini europei, il Regno Unito e gli Stati Uniti sono emersi come principali destinatari delle esportazioni birraie dell'UE, mentre per quanto riguarda le importazioni, la birra britannica e quella messicana sono state le più apprezzate dai paesi dell'Unione (Eurostat, 2023).

2.2 L'industria birraria in Italia

Negli ultimi anni in Italia, nazione storicamente legata alla produzione e al consumo di vino, si è recentemente registrata una progressiva e considerevole diffusione di birrifici e, parallelamente, una crescente popolarità delle birre da essi prodotte e commercializzate.

Si tratta di un trend positivo, che vede come pionieri birrifici artigianali, microbirrifici e agrobirrifici, simbolo di una rinascita culturale e simbolica nella visione italiana delle bevande alcoliche, che elegge attualmente la birra come la principale bevanda da pasto.

I consumatori sono più attenti, competenti e curiosi, ed hanno a loro volta stimolato il mercato ad una costante evoluzione, a proporre nuovi gusti e ampliare la varietà delle tipologie birrarie.

Secondo l'analisi Beer Image Tracker commissionata dai Brewers of Europe nel 2022 (ASSOBIRRA, 2022), l'Italia è passata dal punteggio di 78,8 del 2020 all'81,2 del 2022 con un +2,4, superando anche di 1 punto il vino che si ferma all'80,2. A questi dati corrispondono i trend di mercato: in questi ultimi anni, ad un mercato prevalentemente composto da birre lager, grazie all'innovazione e alla sperimentazione portate avanti da grandi e piccoli birrifici è iniziato un percorso di crescita delle birre speciali, il cui mercato dal 2015 al 2022 è più che raddoppiato (dal 7,42% al 15,37%).

Nel 2022 le imprese che producono birra in Italia hanno raggiunto le 1.326 unità occupando un totale di 9.612 addetti diretti. Rispetto al 2015 il settore è cresciuto del 104% in termini di opifici e del 22% in termini di addetti (Unioni Birrai, 2022).

2.2.1 Birrifici artigianali

Degni di nota all'interno del contesto della cultura birraia italiana sono i piccoli birrifici artigianali. Nel corso degli ultimi anni è emersa una rivoluzione evidente: i consumatori italiani hanno sviluppato un nuovo approccio alla birra, percependola non più solo come una bevanda industriale, ma come un prodotto agricolo legato al territorio.

L'emergere e la graduale crescita delle birrerie artigianali sono stati favoriti dal Decreto Legislativo n. 504 datato 26 Ottobre 1995, il quale ha introdotto semplificazioni nelle norme che regolano la produzione della birra e ha stabilito regole per l'homebrewing. Inoltre, sono state previste agevolazioni fiscali per la birra prodotta da privati destinata al consumo personale o di familiari/ospiti. Un impulso significativo a questa tendenza è stato fornito dal D.M. n. 212 del 5 agosto 2010, il quale ha riconosciuto la birra come un "prodotto agricolo" anziché una semplice bevanda. Questa classificazione ha consentito l'accesso a finanziamenti comunitari per progetti agricoli, inclusa la creazione di birrifici, e ha reso possibile l'adozione di un regime fiscale agricolo, a patto che almeno il 51% delle materie prime provenisse da aziende agricole.

L'articolo 35 della Legge n. 154 datata 28 luglio 2016 ha fornito una definizione ufficiale di birra artigianale, ampliando la Legge n. 1354 del 16 agosto 1962. Questa definizione stabilisce che la birra artigianale è prodotta da piccole birrerie indipendenti e non è soggetta a processi di pastorizzazione e microfiltrazione durante la produzione. Inoltre, viene enfatizzata la distinzione tra i microbirrifici e le grandi strutture industriali. Un microbirrificio indipendente è definito come un'entità separata legalmente ed economicamente da altre birrerie, che utilizza impianti distinti, non opera sotto licenze di proprietà intellettuale altrui e la cui produzione annua non supera i 200.000 ettolitri, considerando anche la produzione per conto terzi (Amoriello T. *et. al*, 2016)

Di solito, la produzione media dei microbirrifici varia dai 390.000 ai 480.000 ettolitri all'anno, rappresentando una quota della produzione nazionale di birra che si aggira tra il 2,2% e il 2,8%. Questa produzione ha un grado Plato medio di 14 (Unione Birrai, 2023).

In aggiunta, diversi microbirrifici hanno scelto di legare strettamente il proprio prodotto al territorio in cui operano, attribuendo alla birra un'identità locale. Questo connubio con il territorio non solo la inserisce nel contesto come prodotto agricolo, ma anche come espressione culturale. Da un lato, alcune birrerie artigianali hanno iniziato a utilizzare ingredienti locali, come l'orzo, per produrre birra artigianale, creando un legame tangibile tra il prodotto e il territorio. Questo ha contribuito a costruire un'immagine di qualità, autenticità e provenienza distintiva. D'altra parte, diverse birrerie promuovono le loro birre evidenziando l'origine biologica degli ingredienti o l'uso di materiali provenienti dal commercio equo e solidale. Questa strategia aggiunge un valore sociale al prodotto, garantendo il rispetto per la salute, l'ambiente e il lavoro (Garaviglia C., 2010).

Va inoltre sottolineato che molte di queste imprese rappresentano un valore sociale aggiunto per la comunità locale. Non solo generano reddito e occupazione, spesso coinvolgendo abitanti della zona, ma diventano anche punti di interesse per il turismo nazionale, proponendo i loro prodotti in armonia con le specialità locali.

CAPITOLO 3

Produzione birra e suoi sottoprodotti

3.1 Processo di produzione della birra

Il processo di produzione della birra comincia con la produzione del malto, che sarà poi la materia prima di tutto il processo (Figura 4). Al giorno d'oggi è piuttosto inusuale trovare nello stesso stabilimento impianti per la produzione sia del malto che della birra. Nell'ultimo secolo queste due attività sono andate specializzandosi ognuna nel proprio settore, dividendosi quindi in aziende produttrici di malto, le malterie e aziende produttrici di birra, i birrifici.

Il *malting* è un processo di germinazione controllata della cariosside di orzo. Questo processo si compone di tre fasi: ammollo, germinazione e essiccazione.

1. Ammollo: Il processo viene avviato sotto specifiche condizioni di temperatura e umidità, attraverso cicli controllati di spruzzo o immersione d'acqua e aerazione fino a quando il contenuto d'acqua del grano raggiunge il 42-48%. L'umidità dell'orzo dopo l'ammollo è determinata dal tipo di malto che si intende ottenere (42-44% per Pilsner e 47-48% per birre scure). L'obiettivo dell'ammollo è di creare condizioni di umidità favorevoli all'interno dell'orzo e attivare gli enzimi coinvolti nella germinazione. Questa fase si svolge generalmente a una temperatura di 10-15 °C (Pires & Branyik, 2015).
2. Germinazione: Questa fase comporta l'attivazione di tutto l'apparato enzimatico per la degradazione delle riserve di amido e proteine. Inizia poche ore dopo la penetrazione dell'acqua nel chicco durante l'ammollo e comincia con il trasporto dell'acido gibberellico (un promotore di crescita) verso lo strato aleuronico, dove avviene la produzione e attivazione degli enzimi. Gli enzimi sintetizzati includono amilasi, dextrinasi, enzimi citolitici, enzimi proteolitici, lipasi, lipoossigenasi e fosfatasi (Pires & Branyik, 2015). La temperatura di germinazione, come l'umidità finale dell'ammollo, è determinata dal tipo di malto che il birraio vuole ottenere (17-18 °C per il malto Pilsner e 23-25 °C per il malto scuro). L'obiettivo principale della germinazione è arricchire il malto con enzimi e formare composti aromatici e di sapore.
3. Essiccazione: Questa fase arresta la germinazione tramite l'essiccazione e/o la torrefazione del chicco, prevenendo ulteriori cambiamenti strutturali dell'orzo. L'essiccazione si svolge a diverse scale di temperatura: inizia a meno di 50 °C fino a quando l'umidità del cereale raggiunge il 10-12% e poi la temperatura aumenta gradualmente fino a 80-90 °C. Le temperature scelte hanno lo scopo di ridurre al minimo la degradazione degli enzimi. L'intensità dell'essiccazione e della torrefazione è fondamentale nella formazione del sapore e del colore del malto (Pires & Branyik, 2015).

Macinazione:

La macinazione del malto e altri cereali ha lo scopo di aumentare la superficie di contatto tra il liquore di birrificazione e il malto. Di solito, si utilizzano mulini a rulli e mulini a martelli per ottenere i migliori risultati perché in questo modo le bucce rimangono quasi intatte, il che impedisce l'estrazione di tannini e altri composti indesiderati. Più fini sono le particelle, migliore è la scomposizione del malto in materiali fermentescibili come zuccheri e composti azotati assimilabili durante l'infusione. Tuttavia, una dimensione delle particelle troppo piccola può avere un impatto negativo riducendo le rese di filtrazione e aumentando la torbidità del mosto (Pires & Branyik, 2015).

Infusione:

Consiste nell'aggiungere una grande quantità d'acqua (circa 17 kg di malto sono necessari per 1 hL di birra) nella miscela di orzo frammentato a temperature specifiche per attivare gli enzimi presenti (inattivati dalla torrefazione) e permettere la conversione degli amidi in zuccheri fermentabili. Due tipi di enzimi sono principalmente presenti: saccarolitici e proteolitici. Le condizioni fisiche applicate durante l'infusione mirano a massimizzare l'efficienza degli enzimi in base alle loro diverse temperature ottimali (K.L. Tse *et al.*, 2003). Quattro scale di temperatura sono solitamente mantenute per un certo tempo per permettere le seguenti trasformazioni: 45-50°C per gli β -glucani e l'idrolisi delle proteine, 62-65°C per la produzione di maltosio, 70-75°C per la saccarificazione e 75-78°C per l'attivazione delle α -amilasi e la conclusione dell'infusione. Esiste un processo alternativo di infusione chiamato "infusione per decozione", in cui si raggiungono diverse temperature rimuovendo ripetutamente una parte dell'infusione, bollendola e mescolandola nuovamente (Pires & Branyik, 2015). Questa tecnica corrisponde a quella tradizionale utilizzata in antichità per la produzione della birra, al giorno d'oggi è però caduta in disuso, poiché nel momento della bollitura vengono inattivati tutti gli enzimi nella porzione di miscela rimossa.

Durante la fase di infusione, è importante controllare tutti i parametri possibili, a cominciare dalla temperatura e dal tempo di riscaldamento, e proseguendo con il pH (ottimale essendo pH=5.2), il livello di ossigenazione e la velocità di mescolamento.

Separazione e bollitura del mosto:

Terminato il processo di ammostamento o infusione ci dev'esser un processo di filtrazione per la separazione delle trebbie. In inglese tale processo è conosciuto come "Lautering" e gli impianti utilizzati si chiamano "Lauter tuns".

Il mosto di malto viene trasferito all'interno di queste strutture dove sono presenti dei filtri. Nel piatto filtrante passano i liquidi mentre sopra restano imprigionati i residui dell'orzo, ovvero le parti

più esterne definite trebbie. Per recuperare tutto il mosto le trebbie vengono lavate con degli spruzzi “sparger”, recuperando così tutto il liquido. Questo metodo appena descritto è il più tradizionale ma è anche possibile usare dei filtri (filtro-pressa).

Vengono in seguito aggiunti i luppoli. Tradizionalmente alla birra erano aggiunti direttamente i coni della pianta. Mentre ad oggi il luppolo è venduto e utilizzato sottoforma di pellet oppure può anche essere venduto sottoforma di sciroppo concentrato (resina). È chiaro che lo sciroppo estratto e il pellet sono più facilmente conservabili e hanno una *shelf life* più lunga (Materiale Didattico – Corso di Microbiologia delle Fermentazioni, prof. Viviana Corich).

Il mosto può anche essere arricchito aggiungendo zuccheri, sciroppi e aromatizzanti come semi di coriandolo e buccia d'arancia (Pires & Branyik, 2015). La bollitura del luppolo dura solitamente tra 45 e 60 minuti o più. Questo processo varia a seconda del tipo di luppolo utilizzato, del tempo di bollitura e del momento in cui i luppoli vengono introdotti (all'inizio, a metà o alla fine della bollitura) (Briggs et al., 2004). Durante la bollitura del mosto avvengono vari processi, tra cui: inattivazione degli enzimi, evaporazione di acqua e composti volatili, precipitazione delle proteine, sterilizzazione, isomerizzazione degli α -acidi del luppolo e reazioni di Maillard, che modulano il sapore (Briggs et al., 2004). Successivamente, il mosto viene raffreddato, filtrato e trasportato nei serbatoi di fermentazione.

Fermentazione:

La fermentazione del mosto è avviata dai lieviti del genere *Saccharomyces*. I ceppi di lievito utilizzati variano a seconda del tipo di birra. Esistono due tecnologie principali che presentano caratteristiche differenti. La fermentazione alta, utilizzata per produrre birre di tipo ALE, di origine inglese e spesso prodotte da micro-birrifici. Questa bevanda presenta un grado alcolico elevato di 7-8° e fermenta ad alta temperatura (18-25°C) usando il lievito *Saccharomyces cerevisiae*. Questo lievito, diverso da quello usato per il vino, produce una fermentazione rapida e aromi fruttati. Le ALE tradizionalmente erano prodotte in vasche aperte e il lievito, chiamato "top fermenting", tende a risalire in superficie. L'altra tecnologia viene chiamata fermentazione bassa e porta alla produzione di birre tipo Lager, provenienti dal Nord Europa e le più diffuse in commercio e nella grande industria. Sono anche note come "bottom fermenting" perché i lieviti usati si depositano sul fondo a fine fermentazione. La fermentazione avviene a basse temperature (5-15°C) per 5-14 giorni. Durante questo processo avvengono vari fenomeni i lieviti producono composti solforati, come il dimetil-solfuro, che conferisce alla birra il suo aroma caratteristico.

Durante la fermentazione, i lieviti trasformano gli zuccheri in alcol e anidride carbonica e producono anche una serie di composti secondari come esteri, alcoli superiori, composti volatili, ecc.

Maturazione e stabilizzazione:

La maturazione e la condizionatura hanno lo scopo di migliorare e stabilizzare il sapore della birra dopo la fermentazione. Durante questo passaggio, avvengono altri processi come la chiarificazione della birra, la sedimentazione dei lieviti e la formazione del sapore del prodotto finale. La maturazione dura solitamente da 1 a 3 mesi e comporta l'abbassamento della temperatura (fase di freddo) a circa 0 °C. Una fermentazione secondaria è spesso praticata e l'aggiunta di zuccheri di priming è accettabile. Durante la fase di condizionamento avviene una combinazione di proteine e tannini, risultando nella chiarificazione della birra. Le proteine possono anche essere rimosse aggiungendo enzimi, introducendo tannini aggiuntivi o adsorbendo su superfici come membrane di nylon o gel di silice (Lewis & Young, 1995). La chiarificazione può essere accelerata mediante filtrazione o centrifugazione. I lieviti vengono rimossi dalla birra mediante filtrazione e il prodotto viene trasferito in serbatoi di invecchiamento per una conservazione prolungata. I passaggi successivi nella produzione della birra mirano a stabilizzare fisicamente (stabilizzazione colloidale) e microbiologicamente (filtrazione e pastorizzazione) il prodotto prima del confezionamento in vetro o in lattina.

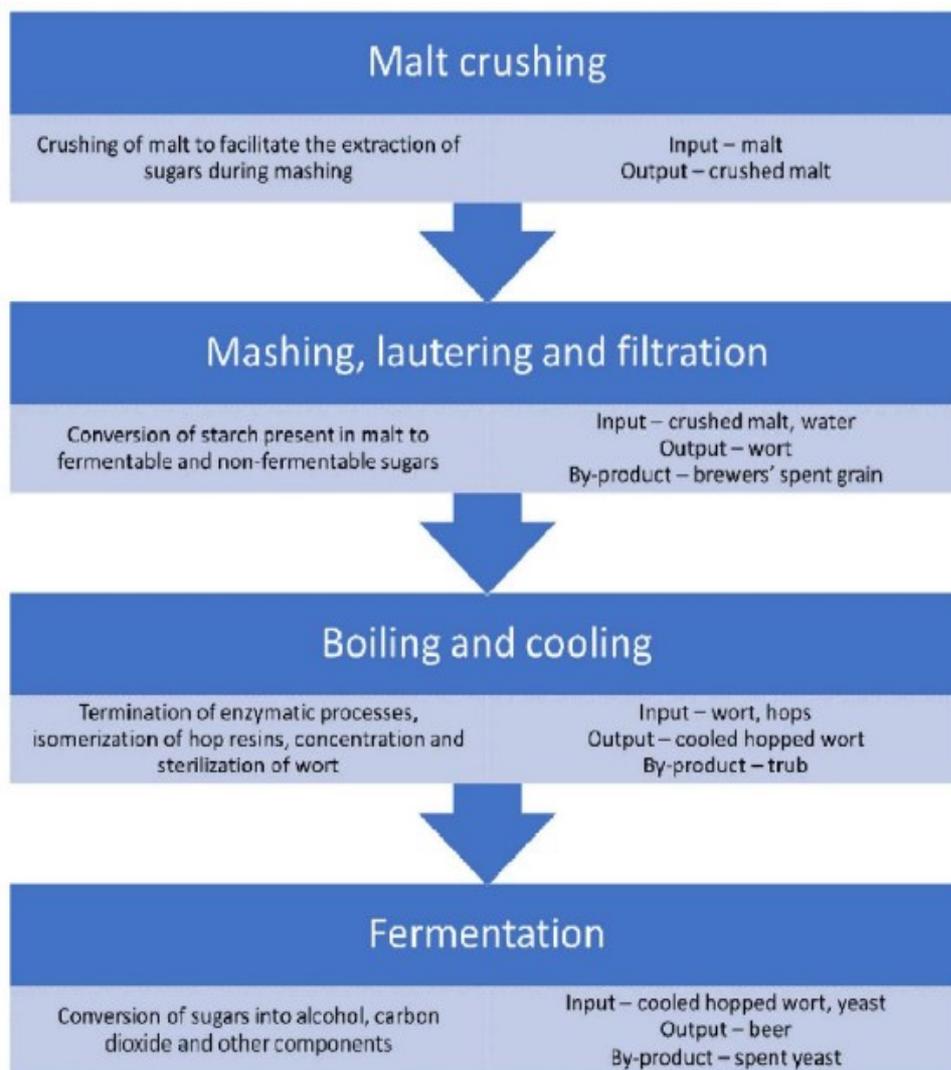


Figura 4 – Schema generale della produzione della birra e dei sottoprodotti generati (Hejna A., 2022)

CAPITOLO 4

Trebbe esauste di birra – BSG

Le trebbie di birra esauste, che prendono la sigla di BSG dal termine inglese *Brewers Spent Grains*, letteralmente “Grani Esausti del Birraio”, sono ad oggi considerate i sottoprodotti della birrificazione più abbondanti e a basso costo, presentando un grande potenziale, in parte ancora inesplorato.

Questa matrice, derivante dalle fasi di macinazione e filtrazione, rappresentano infatti l'85% dei sottoprodotti totali. Il BSG contiene principalmente la buccia del chicco d'orzo, piccole frazioni di pericarpo e frammenti di endosperma, e altri composti residui non convertiti in zuccheri fermentabili durante il processo di macinazione. Negli anni recenti, il BSG ha guadagnato sempre più attenzione tra vari stakeholder, in particolare le industrie alimentari e biotecnologiche, per la sua composizione chimica e nutrizionale (Amoriello T. *et al.*, 2020).

Tuttavia, un impiego diffuso della BSG come materia prima industriale è ostacolato dal suo deterioramento chimico e dalla sua suscettibilità agli attacchi microbici a causa dell'alto contenuto di acqua (circa il 70%–80%) e alla presenza di polisaccaridi (Cancelliere R. *et al.*, 2019).

Questo conduce i grandi e medi birrifici a venderle ad un prezzo nominale, oppure donarle a contadini gratuitamente in cambio del loro ritiro o a produttori di mangimi per animali. Tuttavia, le birrerie artigianali o microbirrifici spesso optano per lo smaltimento diretto nelle discariche, probabilmente a causa dell'esiguità della produzione di tale scarto (Kerby C. & Vriesekoop F., 2017).

4.2 Composizione

Le trebbie esauste possono essere caratterizzate da una composizione simile a vari materiali lignocellulosi, se si omette l'elevato contenuto di umidità.

Come indicato nella Tabella 1, i carboidrati rappresentano circa il 50% del BSG, un valore significativamente minore se paragonato ad altri residui lignocellulosici come, per esempio, la stoppia d'orzo (56%), quella di segale o avena (66-68%), o i fusti di girasole o cotone (72-73%) . Questa particolarità è dovuta alla diminuzione parziale dei carboidrati nel corso della fase di macinazione, durante la quale l'amido viene eliminato.

In aggiunta, il residuo di grano dei birrai contiene una percentuale di lignina che varia tra il 10 e il 28%, secondo varie fonti, e una considerevole presenza di proteine, legata all'elevata quantità presente nel grano d'orzo. La specifica composizione proteica del BSG può cambiare in base all'origine del sottoprodotto e ai malti impiegati (Hejna A., 2022).

A livello proteico il BSG costituito principalmente da ordeine d'orzo, gluteline, globuline e albumine. Le ordeine rappresentano la maggior parte delle proteine presenti nell'orzo, mentre le gluteline sono la seconda principale frazione proteica. Inoltre, l'orzo contiene globuline e albumine, proteine con significato funzionale e nutrizionale (Cieurko D. *et al.*, 2021).

Il grano esausto dei birrai contiene spesso quantità evidenti di acidi fenolici, che potrebbero fornire un valore aggiuntivo per diverse applicazioni grazie alle loro proprietà antiossidanti e antimicrobiche. I principali componenti fenolici del BSG sono acidi idrossicinnamici (HCAs) e acidi idrossibenzoici (HBAs), in particolare acidi ferulico, p-coumarico, sinapico, siringico e caffeico. I primi due composti sono presenti nelle quantità più elevate, ma i rapporti presenti in letteratura indicano che i loro contenuti dipendono fortemente dal tipo di malti utilizzati per la birrificazione (Hejna A., 2022).

Tabella 1 – Composizione del grano esausto dei birrai secondo i rapporti presenti in letteratura (Karlović A. *et al.*, 2020).

Component		Value
Water		75–80%
Hemicellulose		20–25%
Proteins		19–30%
Cellulose		12–25%
Lignin		12–28%
Lipids		10%
Ash		2–5%
Minerals	Phosphorous	2000 ppm
	Calcium	1040 ppm
	Magnesium	690 ppm
	Silicon	240 ppm
Vitamins	Choline	1800 ppm
	Niacin	44 ppm
	Pantothenic acid	8.5 ppm
	Riboflavin	1.5 ppm
	Thiamine	0.7 ppm
	Pyridoxine	0.7 ppm
	Folic acid	0.2 ppm
	Biotin	0.1 ppm

Tuttavia, la composizione chimica del BSG può variare notevolmente, a seconda della varietà d'orzo e del momento della raccolta, delle condizioni di maltazione e macinazione, e del tipo e qualità delle materie prime secondarie aggiunte nel processo di birrificazione (Amoriello T. *et al.*, 2020).

4.3 Panoramica degli utilizzi

Sulla base della composizione chimica del BSG, sono state proposte molte alternative per convertirlo in una materia prima preziosa. Il recupero di composti preziosi dal BSG comporta comunemente le seguenti fasi: pretrattamento, estrazione, isolamento e purificazione.

Mangime per animali

Le BSG rappresentano per la vacca da latte un'ottima fonte proteica: i trattamenti termici subiti dall'orzo durante i processi di ammostamento denaturano parzialmente la struttura proteica limitandone la fermentescibilità ruminale (Cevaloni D., 2002). Inoltre fibra supporta il funzionamento del rumine, integrando la dieta a base di foraggi ad alto contenuto di amido e prive di fibre facilmente fermentescibili (Fefac, 2019), promuovendo la produzione di latte ed il tenore di grasso.

I cavalli sono classificati come monogastrici ma, come i ruminanti, hanno un grande fabbisogno di fibre nella loro dieta per mantenere la capacità di digestione intestinale. Alcuni studi hanno dimostrato fra cui le BSG rappresentano un buon mangime da includere nelle razioni equine adulte, con una digestione delle proteine paragonabile a quella di una miscela di farina di avena e semi di soia (Charlton P. & Vriesekoop F., 2017).

Negli ultimi anni, la ricerca scientifica ha mostrato un crescente interesse nell'esplorare l'uso di sottoprodotti dell'industria birraria, in particolare il BSG, nell'itticoltura. Questo interesse è particolarmente rilevante per l'alimentazione di pesci carnivori d'acqua dolce come la trota iridea e l'orata. Il motivo di questa indagine emerge dal contesto dell'acquacoltura: nel 2018, la produzione globale di pesce ha raggiunto 82,1 milioni di tonnellate, con il 57,2% di questa cifra proveniente dall'acquacoltura interna. La domanda sempre crescente ha posto l'accento sulla sostenibilità degli ingredienti tradizionalmente utilizzati nei mangimi per pesci, come le farine e gli oli di pesce (Estévez A. *et al.*, 2021).

Di fronte a questa sfida, la comunità scientifica ha cercato di identificare fonti alternative di proteine per i mangimi. In questo scenario, alcuni studi (Pires E. & Brányik T., 2015) hanno proposto l'integrazione tra l'industria birraria e quella dell'acquacoltura, esplorando l'efficacia dei sottoprodotti birrari, come il BSG, come ingredienti nei mangimi per pesci. Questa linea di ricerca ha prodotto risultati promettenti, suggerendo che i sottoprodotti dell'industria birraria potrebbero rappresentare un'alternativa sostenibile agli ingredienti tradizionali. Questa innovazione non solo potrebbe beneficiare l'industria dell'acquacoltura, fornendo ingredienti di mangime più sostenibili, ma potrebbe anche offrire all'industria birraria un metodo sostenibile per valorizzare i suoi sottoprodotti.

Impieghi Alimentari

Recentemente, l'attenzione si è concentrata sull'integrazione di BSG nei prodotti da forno, come pane, grissini e pizza (Amoriello T. *et al.*, 2020). Nonostante il valore nutrizionale, l'aggiunta di BSG può influenzare le proprietà reologiche dell'impasto e le caratteristiche finali dei prodotti.

Le ricerche hanno dimostrato che l'arricchimento di farina con BSG porta ad un aumento di proteine, fibre, lipidi e ceneri. Tuttavia, tale arricchimento può influenzare anche l'assorbimento d'acqua dell'impasto, la sua stabilità e il colore dei prodotti finiti. Interessante notare che i prodotti arricchiti con il 5% di BSG sono stati i più apprezzati dai consumatori. Il BSG è composto principalmente dalla buccia del chicco d'orzo e da altri residui non convertiti durante il processo di birrificazione. La sua composizione può variare in base a diversi fattori, ma è una fonte preziosa di fibre, proteine, aminoacidi essenziali, lipidi, minerali e vitamine. Inoltre, il BSG contiene composti

che offrono benefici per la salute, come la regolazione del colesterolo e la protezione contro malattie croniche (Amoriello T. *et al.*, 2020).

Tuttavia, l'uso del BSG nei prodotti da forno presenta alcune sfide, come possibili variazioni nel sapore e nel colore, che potrebbero influenzare le preferenze dei consumatori. Pertanto, l'obiettivo principale delle ricerche è stato quello di sviluppare nuove formulazioni per prodotti da forno arricchite con BSG, valutando le proprietà tecnologiche, nutrizionali e sensoriali delle farine risultanti. In Italia, i prodotti a base di cereali, come pane e pizza, sono ampiamente consumati, rendendo fondamentale lo studio dell'effetto dell'aggiunta di BSG su questi alimenti. La ricerca ha anche enfatizzato l'importanza di comprendere le interazioni tra BSG e le proteine di riserva del grano, che influenzano la formazione del glutine e, di conseguenza, le proprietà dell'impasto e del prodotto finale (Hejna A., 2022).

Produzione di bio-energia

Come diverse forme di biomassa residua, la BSG è stata oggetto di studio per la produzione di energia, che può essere incorporata all'interno dell'impianto di birrificazione, conducendo a una riduzione dei costi di produzione. Può essere bruciata direttamente. Tuttavia, potrebbe presentare problemi legati all'elevata presenza di azoto e la conseguente emissione di ossidi di azoto. Questo effetto può essere mitigato attraverso l'uso della pirolisi. Un'alternativa consiste nella trasformazione della BSG in blocchi di carbone, che aumentano il suo potere calorifico da circa 20 a 27 MJ/kg. Diversi studi hanno anche segnalato la fermentazione microbica dei residui di cereali provenienti dai birrifici in bioetanolo o biogas, che possono essere impiegati come biocarburanti (Hejna A., 2022).

Estrazione componenti antiossidanti

Negli ultimi anni diverse tecniche sono state testate per estrarre composti antiossidanti dal BSG. Questi includono metodi tradizionali come la macerazione, ma anche approcci più avanzati e tecnologicamente sofisticati, come l'estrazione con microonde, ultrasuoni e, recentemente, l'estrazione con fluidi supercritici (SFE) (Birsan R. I. *et al.*, 2019). Sebbene l'approccio SFE, che utilizza il biossido di carbonio (CO₂) come solvente principale, abbia mostrato significativi vantaggi in termini di sostenibilità, sicurezza e efficienza, sorprendentemente, la macerazione convenzionale continua a fornire risultati comparabili in termini di estrazione (Ferrentino G. *et al.*, 2019)

Gli estratti derivati dal BSG, indipendentemente dal metodo di estrazione utilizzato, hanno dimostrato di possedere varie proprietà bioattive, tra cui antiossidanti, antiipertensive, antibatteriche e antibiofilm (Birsan R. I. *et al.*, 2019). In particolare, l'olio ottenuto attraverso l'estrazione SFE ha evidenziato una capacità notevole nel ritardare l'ossidazione di altri oli, come l'olio di lino,

suggerendo un ampio spettro di possibili applicazioni, sia nel settore alimentare che cosmetico (Ferrentino G. *et al.*, 2019).

La sfida attuale per ricercatori e industrie è sfruttare al meglio queste proprietà benefiche, garantendo al contempo l'accettabilità sensoriale e la qualità dei prodotti finali realizzati con BSG, trasformando quello che un tempo era considerato un semplice scarto in una risorsa preziosa e sostenibile.

CAPITOLO 5

Luppolo esausto – BSH

5.1 Composizione chimica

Nel processo di produzione della birra, il trub è una sostanza formata durante la fase di filtrazione del mosto, post-raffreddamento e antecedente l'aggiunta dello starter microbico per la fermentazione. Questo residuo si configura come circa lo 0,2-0,4% del volume totale del mosto e si compone principalmente di proteine coagulate ad alto peso molecolare, costituendo il 22-23% della sostanza secca (Tabella 2) e di residui di luppolo che rappresentano l'85% della massa totale del luppolo iniziale (Hejna A., 2022).

I luppoli post-produzione, noti anche come Brewers Spent Hops (BSH), sono caratterizzati dalla presenza di luppolina, una sostanza ricca di composti polifenolici. La luppolina è una fonte essenziale di tre sostanze chimiche principali che influenzano il processo produttivo della birra: alfa-acidi, beta-acidi e oli essenziali. Durante la fase di produzione del mosto, gli alfa-acidi subiscono una conversione in acidi iso-alpha solubili, responsabili della caratteristica amarezza della birra. Questo processo comporta anche una diminuzione del contenuto di azoto nel mosto (Hejna A., 2022).

La concentrazione dei micro e macroelementi nel mosto è soggetta a fluttuazioni, dipendendo dalla materia prima utilizzata. Durante la produzione del mosto, il BSH (o trub) emerge come sottoprodotto, prima della fase fermentativa. Questo residuo è arricchito da fibre, polifenoli, composti antimicrobici e aromi. Di rilievo è la presenza nel BSH di acidi fenolici come gli acidi salicilico, 4-idrossicinnamico e sinapico, flavonoidi prenilati quali xantumolo, isoxantumolo, 8-prenilnaringenina e 6-prenilnaringenina, oli essenziali come i terpeni mircene, umulene (anche noto come alfa-cariofillene) e β -cariofillene, e composti con proprietà antiossidanti (Hejna A., 2022).

Tabella 2 – Composizione chimica luppolo esausto (Karlović A. *et al.*, 2020).

	Component	Value
Essential oils	Sesquiterpene hydrocarbons	37%
	Monoterpene hydrocarbons	27%
	Non-terpene derivatives	18%
	Oxygenated sesquiterpenes	8%
	Oxygenated monoterpenes	4%
	Not identified	6%
	Lipids	4.5%
	Proteins	22–23%
	Nitrogen free extract	40%
	Ash	6–6.5%
	Crude fiber	23–26%

5.2 Panoramica degli utilizzi

Rispetto ai residui cerealicoli dei produttori di birra, il trub e i luppoli post-utilizzo vengono impiegati molto meno frequentemente come mangimi per animali, pur avendo una composizione vantaggiosa, un elevato tenore di fibre e, in particolare, un'abbondante presenza di proteine. Questa tendenza è principalmente dovuta alla caratteristica amarezza conferita dalla presenza dei luppoli. Un ulteriore fattore limitante è il contenuto energetico ridotto dei luppoli esausti, che risulta essere circa il 50% inferiore rispetto ai residui cerealicoli, malgrado il loro ricco apporto in fibre (Hejna A., 2022).

Diverse ricerche hanno analizzato la possibilità di integrare i luppoli esausti con altri scarti della produzione birraria al fine di formulare un mangime idoneo, in particolar modo per i suini (**Rub W. & Meyer-Pittroff R., 2003**). Studi hanno evidenziato che gli acidi amari derivanti dai luppoli esausti possono essere neutralizzati o degradati attraverso l'azione di lieviti o miceti (**Huszczka E. & Bartmanska A., 2008**). Approfondimenti successivi si sono concentrati sulla diminuzione dell'amaro in tali luppoli attraverso tecniche specifiche di estrazione (**B.R. Saraiva et al., 2019**). Questa metodologia ha comportato l'eliminazione di carboidrati, tannini e composti fenolici, incrementando la quota di proteine e lipidi. Sebbene si sia riscontrata una diminuzione dell'attività antiossidante, il trub deamaricato si è rivelato idoneo per usi nel settore alimentare, ad esempio come additivo per incrementare la concentrazione proteica e garantire una viscosità ottimale, indice di consistenza, area dell'isteresi viscoelastica, coesività, e una diminuita velocità di fusione nel gelato (Saraiva B. R., 2020).

Tenendo conto delle principali applicazioni della biomassa e dei residui della produzione birraria, al di fuori dell'uso in mangimi animali, il trub e i luppoli post-utilizzo possono servire come miglioratori del terreno e fertilizzanti, data la loro ricchezza in azoto. Inoltre, questi sottoprodotti possono essere introdotti nei processi fermentativi come supplemento per i microrganismi, a causa dell'abbondante presenza di azoto e dell'esistenza di lipidi e zinco (Hejna A., 2022).

Di seguito vengono illustrate alcune applicazioni di grande interesse negli ultimi anni riguardanti le sostanze polifenoliche e le loro proprietà derivanti dal luppolo esausto.

Proprietà farmaceutiche

Le malattie non trasmissibili legate alla nutrizione (NR-NCDs), tra cui le malattie cardiovascolari e il diabete di tipo 2, rappresentano un grave onere per la società e incidono profondamente sulla qualità della vita. In questo contesto, è emersa la necessità di esplorare nuovi approcci terapeutici e preventivi. I fitochimici, in particolare quelli presenti nel luppolo, stanno guadagnando sempre più attenzione come potenziali alleati nella lotta contro le NR-NCDs (Iniguez A. B. & Zhu M., 2021). Il luppolo, utilizzato principalmente nell'industria birraia, contiene sostanze come gli acidi amari e lo xantumolo, principale calcone prenilato presente nella pianta, che mostrano una gamma di proprietà benefiche per la salute, incluse attività anti-infiammatorie e preventive nei confronti di alcune patologie (Iniguez A. B. & Zhu M., 2021).

Una delle prime modalità di sfruttamento dei benefici del luppolo in ambito farmaceutico riguarda l'estratto di luppolo esausto, un sottoprodotto del processo di birrificazione. Questo estratto, ricco di polifenoli, ha dimostrato notevoli proprietà anti-infiammatorie, come evidenziato dalla sua capacità di modulare efficacemente i macrofagi e inibire mediatori infiammatori come l'IL-6 e la COX-2. Un ruolo chiave in questo processo potrebbe essere svolto dall'azione dell'estratto sul fattore nucleare- κ B (NF- κ B), centrale nella modulazione dell'infiammazione (Caban M. *et al.*, 2020). Di conseguenza, gli scarti birrari potrebbero trovare applicazione come fonte di composti anti-infiammatori in ambito nutraceutico e alimentare.

Un'altra interessante applicazione degli estratti di luppolo è come integratori alimentari. In particolare, flavonoidi prenilati come lo xantumolo sono collegati a vari benefici per la salute. Questi composti sono stati utilizzati come integratori per alleviare i sintomi della menopausa nelle donne anziane, grazie alla presenza di fitoestrogeni potenti come l'8-prenilnaringenina. Oltre alle proprietà estrogeniche, lo xantumolo ha mostrato potenzialità antiobesità e proprietà protettive in alcune vie metaboliche legate al cancro. Gli integratori a base di luppolo potrebbero quindi offrire

una vasta gamma di benefici per la salute, ma è fondamentale una comprensione approfondita dei loro meccanismi d'azione per garantirne l'efficacia e la sicurezza (Bolton J. *et al.*, 2019).

Repellenti/antimicrobici biologici

Il BSH sta guadagnando riconoscimento per il suo ruolo nella lotta contro le perdite alimentari e i parassiti delle derrate conservate. Uno dei principali attori di questa trasformazione è lo xantumolo, un flavonoide presente nel luppolo, che ha dimostrato di possedere potenti proprietà insetticide. Questo composto si è rivelato particolarmente efficace nel contrastare gli insetti parassiti dei magazzini, con *S. granarius* che si è dimostrato altamente sensibile al suo effetto letale (Aydin T. *et al.*, 2017.).

Tuttavia, non è solo lo xantumolo a giocare un ruolo chiave. Gli estratti di luppolo, in particolare quelli ottenuti dal luppolo esausto, hanno dimostrato notevoli proprietà antimicrobiche e antifungine. Questi estratti sono stati testati con successo contro microrganismi patogeni come *Staphylococcus aureus* e patogeni vegetali come *Fusarium oxysporum* e *Botrytis cinerea*. Sorprendentemente, anche dopo la rimozione del xantumolo, gli estratti hanno mantenuto gran parte della loro attività antifungina (Bartmańska A. *et al.*, 2018).

Ma c'è di più: il luppolo esausto è stato rivelato come una risorsa con proprietà repellenti contro gli insetti parassiti dei cibi conservati. Gli estratti di luppolo esausto sono stati efficacemente valutati per la loro capacità di respingere il piccolo tarlo del grano e il curculionide del grano, entrambi noti per causare perdite economiche significative nei prodotti conservati (Bedini S. *et al.*, 2015).

L'olio essenziale estratto dal luppolo esausto contiene terpeni come il mircene, umulene (anche noto come alfa-cariofillene) e β -cariofillene, che si sono dimostrati altamente efficaci nel respingere gli insetti parassiti. Queste proprietà repellenti offrono una soluzione sostenibile ed eco-compatibile per proteggere i prodotti conservati (Bedini S. *et al.*, 2015).

In conclusione, il luppolo esausto, una volta considerato un sottoprodotto, si sta rivelando una risorsa preziosa nella lotta contro le perdite alimentari e i parassiti dei cibi conservati. Con i suoi potenti composti bioattivi e le sue molteplici applicazioni, il luppolo esausto rappresenta una soluzione sostenibile ed economica per affrontare una serie di sfide legate ai microrganismi patogeni e agli insetti dannosi nei settori alimentari e agricoli.

CAPITOLO 6

Lieviti esausti – BSY

6.1 Lieviti esausti: composizione chimica

Durante la fase iniziale della fermentazione, si verifica un'intensa proliferazione del lievito, quindi dopo la fermentazione e la maturazione, l'eccesso di lievito è presente e dovrebbe essere rimosso dalla birra. La quantità effettiva di questo sottoprodotto dipende dal tipo di lievito utilizzato per la fermentazione, ma può rappresentare anche il 15% del totale dei sottoprodotti generati durante la produzione della birra (Hejna A. 2022).

Per ogni ettolitro di birra vengono generati circa 0,3 kg di lievito esausto. A seconda delle proprietà del lievito, in particolare della loro flocculazione, questo sottoprodotto è caratterizzato da un elevato contenuto di umidità compreso tra il 75 e il 90%. Pertanto, parte della birra viene rimossa insieme al lievito, il che può generare una perdita di birra pari all'1,5–3,0% (Hejna A. 2022).

Attualmente, il BSY nella sua forma grezza ha poco valore commerciale, ma a causa dell'alto contenuto di proteine e carboidrati, gli estratti di BSY hanno applicazioni simili al BSG.

Per accedere agli ingredienti attivi nel BSY, le cellule di lievito in eccesso vengono processate mediante metodi meccanici, come il mulino a sfere per la rottura delle cellule o il sonotrodo. In alternativa, si possono utilizzare mezzi non meccanici, come il trattamento chimico, l'idrolisi enzimatica (Jaeger A. *et al.*, 2020), o la liofilizzazione (Torello Pianale L. *et al.*, 2022), per rimuovere o distruggere la parete cellulare. L'idrolisi enzimatica può essere ottenuta come risultato dell'autolisi, durante la quale le cellule si autodigeriscono con il loro enzima endogeno alla fine del ciclo di vita della cellula. In alternativa, ciò può essere ottenuto aggiungendo acido cloridrico o enzimi proteolitici. L'estratto di lievito risultante potrebbe richiedere un ulteriore trattamento con solventi alcalini o organici per rimuovere il sapore amaro associato agli iso-alfa acidi, tannini e resine dai luppoli.

Considerando la composizione, il lievito esausto contiene una notevole quantità di carboidrati e proteine. Tra il primo gruppo, i più abbondanti sono i composti non cellulosici (25–35%), principalmente glucani, mannoproteine e glicogeno, seguiti dalla cellulosa (17– 25%). Le proteine possono rappresentare più del 50% della massa secca del lievito esaurito. Pertanto, il lievito esaurito è caratterizzato dal rapporto carbonio:azoto più basso tra i sottoprodotti della birra, intorno a 5 (Hejna A. 2022).

Il lievito di birra esaurito è anche un'ottima fonte di micro e macroelementi, nonché di vitamine. Tuttavia, la composizione minerale del lievito può differire a seconda della durata della fermentazione e dei cicli di fermentazione. Tra i minerali più abbondanti ci sono sodio, potassio e

magnesio, ma possono essere presenti notevoli quantità di fosforo, che potrebbe essere associato ai nutrienti del lievito nei birrifici. Considerando le vitamine, il tipo B è il più popolare, in particolare niacina, tiamina, pantotenato e riboflavina (Hejna A. 2022).

Component	Value
Non-cellulose carbohydrates	25–35%
Cellulose	17–25%
Proteins	15–24%
Lignin	8–28%
Lipids	10%
Ash	5%

Tabella 3 – Composizione chimica del lievito esausto (Karlović A. et al., 2020)

6.2 Panoramica degli utilizzi

Mangimistica

Nel lievito di birra, l'azoto proveniente dagli acidi nucleici è principalmente sotto forma di RNA, rappresentando tra il 20 e il 25%, fatto che lo rende tossico per gli esseri umani e la maggior parte degli animali monogastrici, a causa dell'incapacità di eliminare l'acido urico che si forma durante il suo processo metabolico (Nazzaro J. *et al.*, 2021).

Sono stati invece dimostrati diversi benefici dell'integrazione di prodotti a base di lievito nella nutrizione dei ruminanti, tra cui un aumento della digeribilità dei nutrienti, una modifica della proporzione di acidi grassi volatili prodotti nel rumine, una riduzione dell'ammoniaca ruminale e un aumento della popolazione di microrganismi nel rumine. Tuttavia, il meccanismo d'azione dei prodotti a base di lievito non è completamente descritto (Moallem U. *et al.*, 2009).

La coltura di lievito fornisce vari fattori di crescita, provitamine e altri stimolanti per la crescita batterica nel rumine, mentre il lievito vivo sembra migliorare l'ambiente del rumine e contribuire a mantenere condizioni ottimali per la flora batterica anaerobica. Gli effetti benefici dei prodotti a base di lievito dipendono dalla fase di lattazione, dalle caratteristiche della dieta e dalle condizioni ambientali (Moallem U. *et al.*, 2009).

Sempre a causa del suo alto contenuto di proteine economiche e del suo eccellente profilo di aminoacidi, oltre al suo ricco contenuto di altri nutrienti e composti bioattivi come β -glucani, mannano oligosaccaridi, vitamine, minerali e acidi nucleici, il BSY viene anche utilizzato, fin dagli anni '90, nella pesicoltura (Nazzaro J. *et al.*, 2021).

Applicazioni tecnologiche

Grazie alla sua composizione benefica, il lievito esausto di birra è particolarmente adatto per la coltivazione di microrganismi, consentendo loro di crescere in modo significativamente più veloce rispetto ad altri tipi di lievito.

Questo rende il lievito esausto una fonte altamente efficiente di molteplici enzimi, tra cui proteasi e pectinasi. Inoltre, il lievito esausto di birra può essere impiegato come nutriente durante la fermentazione dell'etanolo o dell'acido lattico.

Oltre a queste applicazioni più comuni, il lievito esausto trova impieghi meno diffusi, come la produzione di metano o l'uso come bioassorbente. Dal punto di vista energetico, il lievito esausto si rivela un substrato eccellente per la co-digestione con altri materiali, come il letame suino, i cereali esausti o il glicerolo grezzo (Hejna A., 2022).

Nel contesto della tecnologia dei polimeri, il lievito esausto di birreria non ha una vasta applicazione, ma può essere impiegato nei processi di fermentazione che generano acido lattico o succinico. L'acido lattico, ad esempio, trova utilizzo nella produzione di poliesteri o resine alchidiche. Alcuni studi hanno dimostrato che l'uso del lievito esausto può accelerare e aumentare la resa della fermentazione dell'acido lattico grazie alla presenza di aminoacidi, vitamine e minerali (Hejna A., 2022).

Additivi alimentari

I lieviti esausti sono ricchi di β -glucani, componenti cruciali delle pareti cellulari dei lieviti. Questi β -glucani possono essere estratti e utilizzati come integratori alimentari o additivi in alimenti funzionali, grazie alle loro attività biologiche poliedriche (Rakowska R. *et al.*, 2017). I β -glucani ottenuti dalla post-fermentazione della birra hanno dimostrato effetti benefici come il miglioramento del profilo lipidico del sangue, l'aumento dello stato immunologico e proprietà prebiotiche e antiossidanti.

Gli estratti di lievito sono sempre più utilizzati per migliorare il sapore degli alimenti, soprattutto nelle carni. L'autolisi controllata del lievito speso consente di progettare estratti con profili di aromi specifici per tipi di carne particolari (Rakowska R. *et al.*, 2017). Questi estratti contengono aminoacidi, nucleotidi e peptidi che agiscono sinergicamente per migliorare il sapore dei prodotti alimentari. Inoltre, sono stati riconosciuti come sicuri (GRAS), contribuendo alla loro crescente popolarità come additivi alimentari funzionali e integratori alimentari.

L'estrazione dei β -glucani dal lievito del birraio è una pratica complessa che richiede attenzione a diversi passaggi. Per ottimizzare l'estrazione, è essenziale trattare il lievito immediatamente dopo la birrificazione per evitare l'autolisi. La separazione dal liquido amaro e alcolico della birra è

cruciale, con la possibilità di un "debittering" iniziale per migliorare l'efficacia dell'estrazione (Avramia I. & Amariei S.,2021).

L'età del lievito e le condizioni di crescita influenzano il contenuto di β -glucano, rendendo la purificazione iniziale della poltiglia di lievito attraverso setacciatura, "debittering" e lavaggi un processo critico (Avramia I. & Amariei S.,2021). La decisione se essiccare il lievito prima o dopo l'estrazione può influenzare l'attività biologica dei β -glucani. Inoltre, è necessario controllare attentamente i metodi di lisi cellulare per preservare la conformazione e la lunghezza dei β -glucani. La scelta del processo di estrazione deve tener conto della forma desiderata del glucano e delle normative sulla composizione chimica per garantire la sicurezza e l'efficacia dei β -glucani estratti (Avramia I. & Amariei S.,2021).

In conclusione, il lievito esausto derivante dal processo di birrificazione è una risorsa versatile e preziosa nell'industria alimentare, con applicazioni che spaziano dalla nutrizione umana alla salute animale. Gli estratti di lievito e i β -glucani offrono un potenziale significativo per migliorare la qualità degli alimenti e contribuire a una dieta più equilibrata e nutriente (Rakowska R. *et al.*, 2017).

CAPITOLO 7

Acque reflue – BSW e Radichette d'orzo

7.1 Composizione Acque reflue

La produzione di birra richiede notevoli quantità d'acqua, con circa 10 litri necessari per ogni litro di birra prodotto, di cui 7 litri diventano acque reflue. Questa sfida ambientale richiede soluzioni innovative, specialmente considerando che l'acqua è ampiamente utilizzata per la pulizia e la disinfezione nell'intero processo di produzione (Karlović A. *et al.*, 2020).

Le acque reflue delle birrerie sono diverse in composizione a causa della presenza di acqua in tutte le fasi del processo. Solitamente contengono zuccheri, amidi solubili, etanolo, acidi grassi volatili e solidi sospesi (Tab. 4). Pertanto, è essenziale adottare soluzioni ecologiche per ridurre l'inquinamento.

Leggi rigorose richiedono uno smaltimento adeguato delle acque reflue delle birrerie, spingendo l'industria a considerare il riutilizzo o il trattamento avanzato. Opzioni come la produzione di microalghe, biogas o la coltivazione idroponica delle piante possono essere considerate. Il trattamento delle acque reflue può avvenire mediante metodi fisici, chimici o biologici (Karlović A. *et al.*, 2020).

Le acque reflue non trattate possono avere impatti negativi sull'ecosistema, riducendo l'ossigeno nell'acqua e ostacolando gli organismi fotosintetici a causa della diminuzione della luce disponibile. Inoltre, le caratteristiche delle acque reflue delle birrerie possono variare in base ai cereali e ai lieviti utilizzati, influenzando il contenuto di azoto e fosforo e il pH degli effluenti (Karlović A. et al., 2020).

Tabella 4 - Caratterizzazione dei reflui della birreria riportata dalla letteratura e l'efficienza del reattore UASB (Janhom T *et al.*, 2009)

REPORTED BREWERY WASTEWATER CHARACTERIZATION FROM THE LITERATURE AND THE EFFICIENCY OF THE UASB REACTOR [16]								
Parameter	Units	This study	[17]	[22]	[18]	[23]	[24]	[15]
pH	-	4.6-7.3	3.30-6.30	6.3-6.9	3-12	7.2	-	11.97
Temperature	°C	24-30.5	25-35	-	18-40	-	-	-
COD	mg/L	1096-8926	8240 ≥ 20000	910-1900	2000-6000	4000	1120-1500	471
TSS	mg/L	530 - 3728	2020-5940	140-320	2901-3000	1300	10-60ml/l	81
VSS	mg/L	804 -1278	-	90-180	-	-	-	-
TS	mg/L	1289-12248	5100-8750	1300-2000	5100-8750	-	-	-
NH ₄ -N	mg/L	0.48 - 13.05	-	2.2-7.0	-	15	-	-
TN	mg/L	0 - 5.36	0.0196-0.0336	17-36	-	15	30-100	0.39
TP	mg/L	-	16-124	8.4-17	-	-	10-30	0.462
CODremoval	%	79	57	80	-	80	-	-

7.1.2 Riutilizzare le acque reflue

La produzione di birra richiede notevoli quantità d'acqua e il suo smaltimento rappresenta una sfida ambientale. Leggi severe impongono la corretta gestione delle acque reflue, spingendo l'industria a cercare soluzioni ecologiche. Si possono adottare diverse misure, tra cui la riduzione del consumo d'acqua o l'uso di nuove tecnologie, il riutilizzo dell'acqua in altre attività e il trattamento adeguato prima dello scarico nell'ambiente. L'Istituto europeo IPPC ha fornito linee guida per il riutilizzo dell'acqua calda, delle acque reflue del filtro e dell'acqua di imbottigliamento. Per le birrerie più piccole, è stata proposta l'utilizzazione delle acque reflue nella produzione di microalghe o biogas (Karlović A. et al., 2020)

Le acque reflue contengono composti organici, polifenoli e altre sostanze. Il loro trattamento può avvenire attraverso metodi fisici, chimici o biologici. I metodi biologici sono i più efficaci, ma richiedono metodi primari di pretrattamento. La combinazione di diverse metodologie si rivela spesso la soluzione migliore (Karlović A. et al., 2020).

La tecnologia a membrana viene utilizzata nella filtrazione della birra, ma è meno efficace nel trattamento delle acque reflue. Altri approcci includono la digestione anaerobica e metodi elettrochimici.

Le birrerie più piccole, che scaricano direttamente nel sistema fognario senza trattamento, possono causare danni all'ecosistema. La gestione sostenibile delle acque reflue delle birrerie è fondamentale per ridurre l'impatto ambientale di questa industria.

7.2 Radichette d'orzo

I germogli e le radichette si formano durante il processo di maltaggio dell'orzo e costituiscono un sottoprodotto della produzione di birra (Tab. 5). Dalla quantità totale di orzo, si possono ottenere dal 3% al 5% di germogli e radichette. Sono ricchi di proteine, vitamine, minerali e altre sostanze nutritive. Tuttavia, vengono spesso rimossi durante l'essiccazione poiché possono influenzare negativamente il sapore e il colore della birra. Negli ultimi anni, sono stati oggetto di interesse nella ricerca alimentare e sono stati utilizzati come mangime per animali (Karlović A. et al., 2020).

Recenti studi hanno esplorato le potenziali applicazioni dei germogli e delle radichette nell'industria alimentare umana, cercando di superare il problema del loro sapore poco gradito. Sono stati condotti esperimenti per determinare il grado di triturazione ottimale per evitare sgradevoli sensazioni gustative. Inoltre, è stato dimostrato che i germogli e le radichette ibride hanno maggiori proprietà antiossidanti, iperglicemiche e anti-infiammatorie rispetto alle varianti non ibride (Karlović A. et al., 2020).

Component	Value
Dry matter	91–96%
Crude protein	20–25%
Carbohydrates	46%
Calcium	0.19%
Phosphorus	0.69%
Magnesium	0.17%
Potassium	1.17%
Sulfur	0.24%
Zinc	64 ppm
Manganese	36 ppm
Copper	9 ppm

Tabella 5 – Composizione chimica radichette d'orzo (Karlović A. et al., 2020)

7.2.1 Riutilizzo radichette d'orzo

Numerose ricerche sono state condotte sull'impiego di germogli e radichette nell'industria alimentare. In Giappone, è stata sviluppata un'innovazione che consiste nell'utilizzare prodotti di emicellulosa parzialmente degradati estratti dalle fibre dei germogli vegetali per la produzione di alimenti e bevande contenenti fibre alimentari solubili. Tuttavia, sorge il problema del sapore sgradevole associato ai germogli. Pertanto, gli studi attuali si concentrano sulla ricerca di tecnologie

in grado di consentire l'utilizzo di germogli e radichette nell'industria alimentare senza compromettere il sapore (Kondo K. *et al.*, 2016).

Alcuni ricercatori hanno condotto una ricerca sul cattivo sapore dei germogli, associandolo al grado di frantumazione durante la separazione dei germogli e delle radichette dal malto. Sono stati testati cinque diversi livelli di frantumazione, e i risultati hanno dimostrato che maggiore era la frantumazione, più sgradevole risultava il sapore (Kondo K. *et al.*, 2016).

Altri studi hanno esaminato la composizione fitochimica, la capacità antiossidante (*in vitro*), le attività antidiabetiche, gli effetti sull'apparato gastrointestinale e le attività anti-infiammatorie proprie delle radichette di orzo. Gli studi hanno evidenziato che le radichette ibride presentavano un contenuto fitochimico superiore e maggiori capacità antiossidanti, oltre a effetti iperglicemizzanti e anti-infiammatori più pronunciati (Aborus, N.E. *et al.*, 2017).

CONCLUSIONI

L'economia circolare è un approccio al design e alla produzione che mira a promuovere la sostenibilità riducendo gli sprechi e rafforzando l'efficienza delle risorse. A differenza del modello lineare tradizionale di "prelevare, produrre, dismettere", l'economia circolare incoraggia il riutilizzo, la riparazione, il rinnovamento e il riciclo dei materiali e prodotti per quanto possibile.

Un esempio emblematico di economia circolare si trova nell'industria della birra, dove i sottoprodotti come cereali esausti, luppolo e lievito, che una volta sarebbero stati considerati rifiuti, vengono oggi trasformati in nuove risorse. Questi materiali possono essere impiegati in vari modi: come mangimi per animali, compost per l'agricoltura, biomassa per la produzione di energia rinnovabile, materiali bioplastici ed anche composti bioattivi.

I cereali esausti, ad esempio, sono ricchi di fibre e proteine e possono essere usati nell'alimentazione animale, fornendo un'alternativa nutriente ai mangimi tradizionali. Il luppolo e il lievito, invece, possono essere utilizzati per produrre biocarburanti e biopolimeri, contribuendo alla creazione di nuovi settori industriali e alla riduzione della dipendenza dai combustibili fossili.

L'adozione di pratiche circolari nell'industria birraria non solo riduce l'impatto ambientale e i costi associati allo smaltimento dei rifiuti, ma apre anche la strada a nuovi flussi di reddito e opportunità di mercato. Questo approccio, che può essere esteso a molte altre industrie, è fondamentale per l'innovazione e la sostenibilità a lungo termine.

In sintesi, l'economia circolare nell'industria birraria dimostra come i concetti di efficienza delle risorse e sostenibilità possano essere integrati con successo nei processi produttivi. Rappresenta un cambio di paradigma che può contribuire in modo significativo alla conservazione delle risorse naturali, stimolando allo stesso tempo l'innovazione e sostenendo lo sviluppo economico.

BIBLIOGRAFIA

- Aborus NE, Čanadanović-Brunet J, Četković G, Šaponjac VT, Vulić J, Ilić N. Powdered barley sprouts: composition, functionality and polyphenol digestibility. *Int J of Food Sci Tech*. 2017;52(1):231-238. doi:10.1111/ijfs.13274
- Avramia I, Amariei S. Spent Brewer's Yeast as a Source of Insoluble β -Glucans. *IJMS*. 2021;22(2):825. doi:10.3390/ijms22020825
- Amoriello T, Mellara F, Galli V, Amoriello M, Ciccoritti R. Technological Properties and Consumer Acceptability of Bakery Products Enriched with Brewers' Spent Grains. *Foods*. 2020;9(10):1492. doi:10.3390/foods9101492
- Amoriello T., Carbone K., Monteleone A., Pagano M., Tarangioli S. (a cura) (2016) – "Criticità e opportunità per lo sviluppo sostenibile della filiera brassicola"
- Amorim M, Pinheiro H, Pintado M. Valorization of spent brewer's yeast: Optimization of hydrolysis process towards the generation of stable ACE-inhibitory peptides. *LWT*. 2019;111:77-84. doi:10.1016/j.lwt.2019.05.011
- Assobirra (2022) – "Annual report 2022" <https://www.assobirra.it/annual-report-assobirra/>
- Aydin T, Bayrak N, Baran E, Cakir A. Insecticidal effects of extracts of *Humulus lupulus* (hops) L. cones and its principal component, xanthohumol. *Bull Entomol Res*. 2017;107(4):543-549. doi:10.1017/S0007485317000256
- Bartmańska A, Wałęcka-Zacharska E, Tronina T, et al. Antimicrobial Properties of Spent Hops Extracts, Flavonoids Isolated Therefrom, and Their Derivatives. *Molecules*. 2018;23(8):2059. doi:10.3390/molecules23082059
- Bedini S, Flamini G, Girardi J, Cosci F, Conti B. Not just for beer: evaluation of spent hops (*Humulus lupulus* L.) as a source of eco-friendly repellents for insect pests of stored foods. *J Pest Sci*. 2015;88(3):583-592. doi:10.1007/s10340-015-0647-1
- Birsan RI, Wilde P, Waldron KW, Rai DK. Recovery of Polyphenols from Brewer's Spent Grains. *Antioxidants*. 2019;8(9):380. doi:10.3390/antiox8090380
- Bolton JL, Dunlap TL, Hajirahimkhan A, et al. The Multiple Biological Targets of Hops and Bioactive Compounds. *Chem Res Toxicol*. 2019;32(2):222-233. doi:10.1021/acs.chemrestox.8b00345
- Brewing: Science and Practice*. CRC Press Woodhead Pub; 2004.
- Cancelliere R, Carbone K, Pagano M, Cacciotti I, Micheli L. Biochar from Brewers' Spent Grain: A Green and Low-Cost Smart Material to Modify Screen-Printed Electrodes. *Biosensors*. 2019;9(4):139. doi:10.3390/bios9040139
- Carrosio G. (2013) – "Competizione tra energia e cibo. La produzione di energia da biogas nella Pianura Padana" *Agriregionieuropa*, editoriale n. 39.
- Comunicazione della Commissione — Orientamenti per l'utilizzo come mangimi di alimenti non più destinati al consumo umano (2018/C 133/02)
- Cevolani D. *Gli alimenti per la vacca da latte e il bovino da carne: 150 schede per valutare materie prime e foraggi*. Edagricole; 2023.
- Charlton P., Vriesekoop F. (2017) – "Brewery By-Products", *Handbook of Brewing* CRC Press
- Cheng ZJ, Hardy RW, Huige NJ. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). *Aquac Research*. 2004;35(1):1-9. doi:10.1111/j.1365-2109.2004.00941.x

- Ciurko D, Łaba W, Żarowska B, Janek T. Enzymatic hydrolysis using bacterial cultures as a novel method for obtaining antioxidant peptides from brewers' spent grain. *RSC Adv.* 2021;11(8):4688-4700. doi:10.1039/D0RA08830G
- Ellen MacArthur Foundation (2013) – “Circular Economy Introduction”
<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Estévez A, Padrell L, Iñarra B, Orive M, San Martín D. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeds. *Front Mar Sci.* 2022;9:862020. doi:10.3389/fmars.2022.862020
- European Commission (2018) – “European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy. Brief on food waste in the European Union”
https://food.ec.europa.eu/system/files/2021-04/fw_lib_stud-rep-pol_ec-know-cen_bioeconomy_2021.pdf
- Eurostat (2023) – "Beer production back to pre-pandemic level"
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230803-1>
- FAO (2019) – “Technical Platform on the Measurement and Reduction of Food Loss and Waste”
Food and Agriculture Organization of the United Nations
<https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-loss/introduction/en>
- Ferrentino G, Ndayishimiye J, Haman N, Scampicchio M. Functional Activity of Oils from Brewer's Spent Grain Extracted by Supercritical Carbon Dioxide. *Food Bioprocess Technol.* 2019;12(5):789-798. doi:10.1007/s11947-019-02249-3
- Garavaglia, C. (2010) – "Birra, identità locale e legame territoriale" *AGRIREGIONIEUROPA*, 5(20).
- Ghisellini P, Protano G, Viglia S, Gaworski M, Setti M, Ulgiati S. Integrated Agricultural and Dairy Production within a Circular Economy Framework. A Comparison of Italian and Polish Farming Systems. *JEAM.* 2014;2(4):367-384. doi:10.5890/JEAM.2014.12.007
- Hejna A. More than just a beer—the potential applications of by-products from beer manufacturing in polymer technology. *emergent mater.* 2022;5(3):765-783. doi:10.1007/s42247-021-00304-4
- Huszczka E, Bartmańska A. The implication of yeast in debittering of spent hops. *Enzyme and Microbial Technology.* 2008;42(5):421-425. doi:10.1016/j.enzmictec.2008.01.004
- Iniguez A. B. and Zhu M. (2021) – “Hop bioactive compounds in prevention of nutrition-related noncommunicable diseases”. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 61(11), 1900–1913
- Jaeger A, Arendt EK, Zannini E, Sahin AW. Brewer's Spent Yeast (BSY), an Underutilized Brewing By-Product. *Fermentation.* 2020;6(4):123. doi:10.3390/fermentation6040123
- Janhom T, Wattanachira S, Pavasant P. Characterization of brewery wastewater with spectrofluorometry analysis. *Journal of Environmental Management.* 2009;90(2):1184-1190. doi:10.1016/j.jenvman.2008.05.008
- Jung F, Staltner R, Baumann A, et al. A Xanthohumol-Rich Hop Extract Diminishes Endotoxin-Induced Activation of TLR4 Signaling in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells: A Study in Healthy Women. *IJMS.* 2022;23(20):12702. doi:10.3390/ijms232012702
- Karlović A, Jurić A, Ćorić N, Habschied K, Krstanović V, Mastanjević K. By-Products in the Malting and Brewing Industries—Re-Usage Possibilities. *Fermentation.* 2020;6(3):82. doi:10.3390/fermentation6030082
- Kerby C, Vriesekoop F. An Overview of the Utilisation of Brewery By-Products as Generated by British Craft Breweries. *Beverages.* 2017;3(2):24. doi:10.3390/beverages3020024
- Kondo, K.; Nagao, K.; Yokoo, Y. Process for producing food and beverage products from malt sprouts (2016)

Lewis MJ, Young TW. *Brewing*. Springer US; 2001. doi:10.1007/978-1-4615-0729-1

Materiale Didattico – Corso di Microbiologia delle Fermentazioni, prof. Viviana Corich

Moallem U, Lehrer H, Livshitz L, Zachut M, Yakoby S. The effects of live yeast supplementation to dairy cows during the hot season on production, feed efficiency, and digestibility. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(1):343-351. doi:10.3168/jds.2007-0839

Nazzaro, J., Martin, D. S., Perez-Vendrell, A. M., Padrell, L., Iñarra, B., Orive, M., and Estévez, A. (2021). Apparent digestibility coefficients of brewer's by-products used in feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and gilthead seabream

Parlamento europeo (2023) – “Economia circolare: definizione, importanza e vantaggi” 25-05-2023
<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-definizione-importanza-e-vantaggi>

Pires E, Brányik T. *Biochemistry of Beer Fermentation*. Springer International Publishing; 2015. doi:10.1007/978-3-319-15189-2

Rakowska R, Sadowska A, Dybkowska E, Świdorski F. Spent yeast as natural source of functional food additives. *Rocz Panstw Zakl Hig*. 2017;68(2):115-121.

Regolamento (UE) n. 68/2013 della Commissione, del 16 gennaio 2013, concernente il catalogo delle materie prime per mangimi

Rub W. , Meyer-Pittroff R. (2003) – “The use of phenolic protein precipitates (trub) from beer production in animal feed”. *Monatsschr Brauwiss* 56, 84–88

Saraiva BR, Anjo FA, Vital ACP, et al. Waste from brewing (trub) as a source of protein for the food industry. *Int J of Food Sci Tech*. 2019;54(4):1247-1255. doi:10.1111/ijfs.14101

Saraiva BR, Anjo FA, Vital ACP, Matumoto-Pintro PT. Soluble protein isolate from brewing by-product (trub) using the Box-Behnken design. *J Food Process Preserv*. 2021;45(10). doi:10.1111/jfpp.15871

Spent hops (*Humulus Lupulus* L.) extract as modulator of the inflammatory response in lipopolysaccharide stimulated raw 264.7 macrophages. *Journal of Physiology and Pharmacology*. Published online 2020. doi:10.26402/jpp.2020.1.05

Statista (2023) – "Worldwide beer production" <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>

Stewart GG, Anstruther A, Russell I, eds. *Handbook of Brewing*. Third edition. CRC Press; 2018.

Torello Pianale L, Rugbjerg P, Olsson L. Real-Time Monitoring of the Yeast Intracellular State During Bioprocesses With a Toolbox of Biosensors. *Front Microbiol*. 2022;12:802169. doi:10.3389/fmicb.2021.802169

Tse KL, Boswell CD, Nienow AW, Fryer PJ. Assessment of the Effects of Agitation on Mashing for Beer Production in a Small Scale Vessel. *Food and Bioprocess Processing*. 2003;81(1):3-12. doi:10.1205/096030803765208616

Unioni birrai (2023) – “Report 2022” Realizzato a cura di OBiArt, laboratorio del Dipartimento di Scienze e Tecnologie agrarie, alimentari, ambientali e forestali dell'Università di Firenze
<https://www.unionibirrai.it/it/report-2022/>