



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti  
Risorse Naturali Ambiente

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Alimentari

**SOTTOPRODOTTI DELL'INDUSTRIA DI  
LAVORAZIONE DELLA MELA PER LA  
FORMULAZIONE DI ALIMENTI FUNZIONALI**

**Relatore**

**Prof. Simone Vincenzi**

**Laureanda**

Vanessa Bianchin

Matricola n. 2032771

ANNO ACCADEMICO 2024-2025

## INDICE

RIASSUNTO.....	3
ABSTRACT.....	4
1. SOTTOPRODOTTI ED ALIMENTI FUNZIONALI: QUADRO NORMATIVO.....	5
2. SOTTOPRODOTTI DELLA LAVORAZIONE DELLE MELE.....	6
3. COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE DELLE BUCCE.....	6
3.1 COMPOSTI ANTIOSSIDANTI.....	7
3.2 FIBRE ALIMENTARI.....	8
3.2.1 EFFETTI BENEFICI DELLE PECTINE SULL'ORGANISMO UMANO.....	9
4. COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE DEI SEMI.....	10
5. METODI DI ESTRAZIONE.....	11
5.1 ESTRAZIONE CON SOLVENTE.....	11
5.2 ESTRAZIONE DEI POLIFENOLI CON METODICHE ALTERNATIVE SOSTENIBILI.....	12
5.2.1 ESTRAZIONE ASSISTITA CON ULTRASUONI.....	12
5.2.2 ESTRAZIONE ASSISTITA CON MICROONDE.....	14
5.2.3 ESTRAZIONE CON FLUIDI SUPERCRITICI (SFE).....	15
5.3 ESTRAZIONE DELLA PECTINA.....	16
5.3.1 ESTRAZIONE ASSISTITA CON ENZIMI.....	17
6. ALIMENTI FUNZIONALI: APPLICAZIONI PRATICHE.....	18
6.1 BISCOTTI ARRICCHITI IN FIBRE E POLIFENOLI.....	18
6.1.1 CONTENUTO TOTALE DI POLIFENOLI ED EFFETTO ANTIOSSIDANTE.....	18
6.2 YOGURT ARRICCHITI IN PECTINA.....	19
CONSIDERAZIONI FINALI.....	23
BIBLIOGRAFIA.....	24
RINGRAZIAMENTI.....	27

## RIASSUNTO

La mela è un frutto del genere *Malus* (famiglia delle *Rosaceae*) e uno dei più consumati al mondo. Secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura, la produzione globale di mele ammonta a oltre 85 milioni di tonnellate nel 2019. Sebbene la maggior parte venga consumata come frutto fresco, il 25-30% viene convertito in prodotti trasformati, di cui il succo di mela è il prodotto principale.

In questo contesto, la grande quantità di scarti dell'industria agroalimentare, considerata un problema globale per il suo impatto ambientale ed economico, rappresenta una fonte inesplorata di composti bioattivi. Questo lavoro fornisce una panoramica in merito al possibile sfruttamento di scarti o sottoprodotti derivati dalla lavorazione delle mele come fonte di molecole bioattive per la formulazione di alimenti funzionali. Particolare attenzione è stata data al profilo chimico bioattivo di bucce e semi che, per il loro utilizzo, vengono trattati come un'unica matrice chiamata sansa o vinaccia di mele. Le matrici di scarto della lavorazione delle mele possono rappresentare un promettente materiale di partenza per la produzione di prodotti "riciclati" con applicazioni funzionali, come alimenti arricchiti in pectina e polifenoli.

## ABSTRACT

Apple is a fruit of the genus *Malus* (*Rosaceae* family) and one of the most consumed in the world. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations, global apple production amounts to over 85 million tonnes in 2019. Although most of it is consumed as fresh fruit, 25-30% is converted into processed products, of which apple juice is the main one.

In this context, the large amount of waste from the agri-food industry, considered a global problem for its environmental and economic impact, represents an unexplored source of bioactive compounds. This work provides an overview of the possible exploitation of waste or by-products derived from apple processing as a source of bioactive molecules for the formulation of functional foods. Particular attention has been given to the bioactive chemical profile of peels and seeds that, for their utilization, are treated as a single matrix called apple pomace. Apple processing waste matrices can represent a promising starting material for the production of "recycled" products with functional applications, such as foods enriched in pectin and polyphenols.

## 1. SOTTOPRODOTTI ED ALIMENTI FUNZIONALI: QUADRO NORMATIVO

Il Dlgs n.205 del 2010 definisce una serie di requisiti che devono essere contestualmente tutti soddisfatti per identificare un “sottoprodotto”:

- Deve essere originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- Deve soddisfare, per l'utilizzo specifico, i requisiti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non portare a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana;
- Deve essere utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi.

La mancanza di anche un solo requisito comporta che il materiale sia trattato inevitabilmente secondo la disciplina sui rifiuti.

Gli alimenti funzionali sono disciplinati dal Reg. CE n. 1925/2006, per cui l'impiego di indicazioni nutrizionali e sulla salute è permesso soltanto se sono rispettate le seguenti condizioni generali:

- Se è dimostrato che la presenza, l'assenza o il contenuto ridotto in un alimento o categoria di alimenti di una sostanza nutritiva o di altro tipo rispetto alla quale è fornita l'indicazione ha un effetto nutrizionale o fisiologico benefico, sulla base di prove scientifiche generalmente accettate;
- La sostanza nutritiva o di altro tipo rispetto alla quale è fornita l'indicazione: i) è contenuta nel prodotto finale in una quantità significativa, o ii) non è presente o è presente in quantità ridotta, in modo da produrre l'effetto nutrizionale o fisiologico indicato, sulla base di prove scientifiche generalmente accettate;
- La quantità del prodotto tale da poter essere ragionevolmente consumata fornisce una quantità significativa della sostanza nutritiva o di altro tipo cui si riferisce l'indicazione.

Le indicazioni nutrizionali e sulla salute possono essere utilizzate solo se ci si può aspettare che il consumatore medio comprenda gli effetti benefici secondo la formulazione riportata sull'indicazione.

## **2. SOTTOPRODOTTI DELLA LAVORAZIONE DELLE MELE**

I sottoprodotti della mela derivano dalla lavorazione del frutto, che può essere destinato alla produzione di succhi, marmellate, sidro o purea. Durante questi processi, vengono generati dei sottoprodotti interessanti ricchi di composti bioattivi:

- Bucce;
- Semi;
- Polpa come residuo di frutta non utilizzata;
- Sansa, ovvero il residuo solido che rimane dopo la spremitura del frutto.

Circa il 13% del peso del frutto fresco della mela è costituito dalle bucce, che sono ottenute dalla lavorazione di frutta fresca. L'altro sottoprodotto è rappresentato dai semi, che si ottengono mediante setacciatura e separazione dalla sansa di mela in una frazione in massa compresa tra il 4 ed il 7% (Asma et al, 2023).

Le ricerche effettuate nell'ambito dell'uso alternativo di questi sottoprodotti da una parte offrono all'industria del comparto alimentare nuove sostanze naturali, in previsione più convenienti rispetto a quelle artificiali. Dall'altra, affrontano il problema degli sprechi di cibo, valorizzando gli scarti che altrimenti sarebbero destinati allo smaltimento, con ovvi costi collegati.

## **3. COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE DELLE BUCCE**

Le mele rappresentano un'importante fonte di composti bioattivi come pectine, fibre alimentari, composti antiossidanti, oligosaccaridi ed acidi triterpenici. I composti maggiormente concentrati nelle bucce sono gli antiossidanti e le fibre alimentari, rispetto alla polpa che presenta molecole nutritive come gli zuccheri solubili.

### 3.1 COMPOSTI ANTIOSSIDANTI

Nell'organismo umano avvengono numerose reazioni metaboliche durante le quali si formano i radicali liberi, molecole instabili che contengono uno o più elettroni spaiati e sono responsabili dello stress ossidativo.

Queste molecole possono danneggiare le strutture cellulari come le membrane plasmatiche e il DNA; perciò, sono coinvolte nei processi di invecchiamento cellulare e nello sviluppo di diverse patologie come tumori, malattie cardiovascolari e malattie neurodegenerative (Barbosa et al, 2021).

Le sostanze antiossidanti hanno una forte attività di contrasto dei radicali liberi, proprietà che le rende adatte per lo sviluppo di alimenti funzionali.

Il contenuto di composti antiossidanti varia in base alle condizioni edafoclimatiche (come il tempo e la disponibilità di acqua), alle pratiche di coltivazione, alla raccolta, allo stoccaggio, alle condizioni ed alla cultivar di mele. Inoltre, si possono riscontrare anche delle differenze tra le diverse parti della mela, poiché la buccia contiene una maggior quantità di composti antiossidanti rispetto alla polpa (Barbosa et al, 2021).

Gli antiossidanti maggiormente presenti nelle bucce di mela sono:

- Vitamine, soprattutto vitamina C. La sua concentrazione varia da 2 a 35 mg/100gr e si può trovare in due forme, ovvero l'acido ascorbico e la sua forma ossidata, l'acido deidroascorbico. È stato riferito che la vitamina C ha proprietà antiossidanti con forte attività di eliminazione dei radicali liberi (Asma et al, 2023);
- Composti fenolici e polifenoli, suddivisi in flavonoidi e non flavonoidi.

Per esercitare la loro attività biologica, i composti fenolici devono essere rilasciati dai vacuoli delle cellule vegetali nel tratto gastrointestinale, assorbiti dai villi intestinali e trasferiti al flusso sanguigno (Al-Khayri et al, 2023). A questo proposito, la bioaccessibilità indica la frazione di polifenoli che viene rilasciata dalla matrice vegetale durante la digestione e diventa disponibile per l'assorbimento nell'intestino tenue (Ferruzzi, 2010).

Al contrario, la biodisponibilità si riferisce alla frazione che viene effettivamente assorbita, distribuita dal sistema circolatorio e sottoposta a metabolismo ed eliminazione (Stahl et al, 2002).

Evidenze scientifiche dimostrano come la bassa bioaccessibilità può essere attribuita a diversi fattori come la struttura chimica dei polifenoli, le interazioni con la matrice e le operazioni tecnologiche applicate (Arfaoui, 2021), nonché il metodo di estrazione.

### 3.2 FIBRE ALIMENTARI

Le bucce di mela hanno un contenuto prossimo al 93% in fibra alimentare, a cui sono stati attribuiti numerosi effetti benefici, legati soprattutto alle pectine (Strinati, 2020).

Le pectine sono etero polisaccaridi complessi contenuti nelle pareti dei tessuti vegetali. Non tutta la pectina è uguale: la struttura chimica dipende principalmente dall'origine botanica, dalla parte della pianta e dal metodo di estrazione.

La struttura portante della pectina è composta da una sequenza di acido galatturonico legato da legami  $\alpha$ -(1,4). Inoltre, è formata da altre due importanti strutture: il ramnogalatturonano (composto da residui alternati di ramnosio ed acido galatturonico) e l'acido galatturonico sostituito, la struttura più complessa (Figura 1). Attraverso i gruppi carbossilici del galatturonano, le pectine sono in grado di legare ioni calcio che fungono da ponte tra molecole. Parte dei gruppi carbossilici sono esterificati con metanolo, fattore che classifica le pectine commerciali in HM – Alto Metossile (>50% carbossili esterificati) e LM – Basso Metossile (<50% carbossili esterificati).

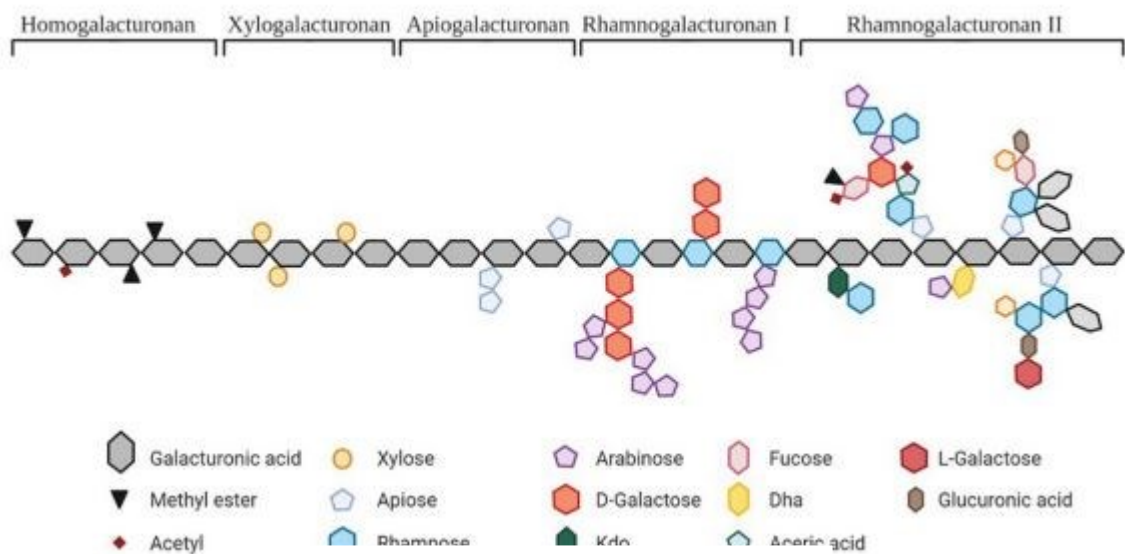


Figura 1: Struttura delle pectine.

Nell'industria alimentare le pectine vengono estratte da bucce di mela o di agrumi, in quanto questi frutti ne contengono un'elevata quantità, ed utilizzate per la gelificazione di confetture e marmellate. In base al grado di metilazione vi sono due diversi meccanismi di gelificazione:



- Le pectine HM vengono solubilizzate in acqua dove avviene la dissociazione dei gruppi carbossilici fino all'ottenimento di ioni  $\text{COO}^-$  ed  $\text{H}^+$ . Lo zucchero presente nella miscela di frutta è in grado di assorbire acqua, ed in questo modo ha un'azione disidratante che favorisce l'avvicinamento delle catene indissociate. In una prima fase i gruppi idrofobici metil-esteri si aggregano tra di loro, per poi formare ponti ad idrogeno tra gruppi carbossilici che sono alla base della formazione del gel di pectina;
- Le pectine LM sono in grado di gelificare solo in presenza di ioni  $\text{Ca}^{++}$ , che hanno la funzione di favorire la creazione di legami ionici tra due carbossili di due catene pectiche distinte.

### **3.2.1 EFFETTI BENEFICI DELLE PECTINE SULL'ORGANISMO UMANO**

Uno dei principali effetti delle pectine sulla salute umana riguarda l'impatto sulla glicemia del sangue, che è stato ampiamente studiato, soprattutto per quanto riguarda gli interventi legati alla risposta glicemica ed all'appetito. Una review ha analizzato le pubblicazioni su questo argomento che vanno dal 1977 al 2020. L'origine botanica testata in questi studi consisteva principalmente in fonti di pectina non definite ( $n = 34$ ), mela ( $n = 8$ ) e agrumi ( $n = 2$ ). La dose di pectina testata negli studi relativi alla risposta glicemica variava da 0,1 g/giorno a 40 g/giorno, con una dose media di 13,2 g/giorno. I risultati misurati sono stati correlati alla risposta glicemica in fase post-prandiale, alla risposta al glucosio e all'insulina. Altre misure includevano lo svuotamento gastrico, la sazietà e la glicemia a digiuno. I risultati complessivi hanno evidenziato che la pectina è collegata ad una riduzione dei picchi di insulina e glucosio post-prandiale, un aumento della sazietà e un ritardo nello svuotamento gastrico sia in soggetti sani che no. Questi riscontri sulla risposta glicemica sono anche stati riassunti dall'EFSA in un rapporto del 2010, che afferma l'esistenza di una relazione causa-effetto tra il consumo di pectina e la riduzione della risposta glicemica post-prandiale, che si esplica con il consumo di almeno 10 g di pectina per pasto negli adulti.

Tuttavia, molti degli studi che si riferivano alla risposta glicemica post-prandiale erano studi riferiti ad una singola assunzione. È necessario un lavoro futuro per identificare relazioni tra la regolazione della glicemia e l'assunzione a lungo termine di pectina (Weber et al, 2024).

Nella review sopra citata sono stati inclusi anche trentaquattro studi relativi al tema del metabolismo dei grassi, con pubblicazioni datate dal 1961 al 2022.

L'origine botanica della pectina testata in questi studi era da agrumi e fonti non definite, e la dose testata variava da 0,1 g/giorno a 50 g/giorno, con dose media di 14,6 g/giorno. La durata degli interventi è stata mediamente di 28 giorni, sebbene molti fossero studi a singola assunzione.

I principali risultati studiati in queste pubblicazioni erano correlati a misurazioni del colesterolo nel sangue, triacilgliceroli nel sangue, assorbimento/escrezione di grassi e metabolismo degli acidi biliari.

Dei trentaquattro studi, ventotto hanno riportato effetti positivi della pectina sulla riduzione del colesterolo, triacilglicerolo e assorbimento dei grassi.

Questo è dovuto al fatto che la struttura delle pectine permette a queste molecole di intrappolare una certa quota di acidi biliari, sostanze sintetizzate a partire dal colesterolo, che ricoprono un ruolo importante nei processi di digestione ed assorbimento dei lipidi. Questo stimolerebbe la sintesi *ex-novo* dei sali biliari a partire dal colesterolo nocivo (LDL), che viene sottratto dall'organismo a favore del colesterolo HDL.

Infine, è stato provato che l'ingestione di quantità elevate di pectina non ha effetti nocivi sulla salute: la dose più alta di pectina testata è stata di 50 g/giorno per 14 giorni negli adulti, che non hanno riportato alcun effetto collaterale negativo.

#### **4. COMPOSIZIONE NUTRIZIONALE DEI SEMI**

Gli studi esistenti suggeriscono che i semi di mela sono una ricca fonte di amminoacidi, acidi grassi e composti polifenolici, e viene evidenziata l'attuale applicazione dei semi di mela nell'industria alimentare, farmaceutica e nutraceutica insieme agli aspetti di sicurezza, considerando la presenza di amigdalina (Kumar et al, 2023).

L'amigdalina (D-Mandelonitrile 6-O- $\beta$ -D-glucosido- $\beta$ -D-glucoside) è un glicoside cianogenico naturale presente nei semi di alcune piante commestibili, come le mele e le pesche.

È un composto interessante ma controverso dal punto di vista medico poiché da un lato possiede diverse proprietà benefiche (tra cui attività antitumorale) e dall'altro può essere tossico attraverso la degradazione enzimatica e la produzione di acido cianidrico (HCN).

Nonostante i numerosi lavori eseguiti su linee cellulari tumorali, l'evidenza clinica dell'attività antitumorale dell'amigdalina non è completamente confermata. Inoltre, esposizioni ad alte dosi di amigdalina possono produrre tossicità da cianuro.

Un consumo eccessivo di semi può avere un effetto negativo sull'organismo, causando una serie di reazioni avverse come: diarrea, vomito, dolore addominale e in casi estremi possono portare alla morte (Jaszczak-Wilke, 2021).

I semi di mela, come gli altri sottoprodotti, contengono inoltre un'elevata quantità di composti fenolici, la cui concentrazione totale è compresa tra 18 mg/g e 99.8 mg/g, parametro che varia in base alla cultivar analizzata. Tra i fenoli il più presente è la florizina, utile nel trattamento del diabete mellito di tipo II e dell'obesità (Kumar et al, 2022).

## **5. METODI DI ESTRAZIONE**

In questo capitolo verranno descritti i possibili metodi di estrazione dei composti bioattivi presenti nei sottoprodotti della mela, principalmente buccia e semi. Il metodo di estrazione è una fase importante poiché influenza la struttura chimica dei composti e, conseguentemente, anche la loro attività biologica.

### **5.1 ESTRAZIONE CON SOLVENTE**

L'estrazione con solvente è una tecnica di laboratorio che comprende procedure atte alla separazione di miscele, anche complesse, sfruttando la diversa solubilità di un composto organico in due liquidi immiscibili tra di loro. Con queste metodiche è possibile purificare e/o estrarre dei composti organici dai materiali naturali solidi che li contengono e proprio per questo sono largamente utilizzate nell'analisi degli alimenti.

Nei casi più semplici l'estrazione richiede l'utilizzo di un imbuto separatore in cui agitare i due solventi, mentre processi di separazione più complessi richiedono un'apparecchiatura di vetro, l'estrattore Soxhlet, contenente un contenitore di carta (ditale) in cui è posto il materiale da estrarre.

La tecnica si basa sul trasferimento selettivo di uno dei componenti della miscela solida o liquida da un solvente ad un altro immiscibile con il precedente. Il campione in esame viene trattato con un solvente in cui il composto da separare è molto più solubile di tutti gli altri componenti presenti. Solitamente il solvente A è l'acqua (polare), mentre il solvente B è una sostanza organica apolare.

Quando i due solventi A e B vengono in contatto tra di loro, il composto da separare inizia a trasferirsi dalla fase acquosa A alla fase estraente organica B fino a raggiungere un equilibrio, detto equilibrio di ripartizione o di distribuzione.

## **5.2 ESTRAZIONE DEI POLIFENOLI CON METODICHE ALTERNATIVE SOSTENIBILI**

Poiché dai sottoprodotti di lavorazione delle mele possono essere recuperate molte molecole di interesse, le industrie sono alla ricerca di soluzioni sostenibili per la loro estrazione. Per questo motivo vengono studiate nuove procedure più eco-compatibili che hanno lo scopo di ridurre il quantitativo di energia utilizzato, i tempi di trattamento ed eliminare, o se impossibile ridurre al minimo, l'uso di solventi nei processi estrattivi; tra i trattamenti più promettenti si ha l'estrazione con ultrasuoni (UAE), con microonde (MAE) e con fluidi supercritici (SFE).

### **5.2.1 ESTRAZIONE ASSISTITA CON ULTRASUONI**

L'estrazione assistita ad ultrasuoni (UAE) si basa sul fenomeno della cavitazione: consiste nella formazione di zone di vapore all'interno di un fluido che poi implodono. Ciò avviene a causa dell'abbassamento locale di pressione, la quale raggiunge la tensione di vapore del liquido, che subisce così un cambiamento di fase a gas, formando bolle (cavità) contenenti vapore. Si verifica una propagazione delle onde di pressione ad ultrasuoni, ed il trasferimento di massa degli estraenti è aumentato da forze di taglio elevate (Joan-Bing, 2006).

A causa dell'elevata superficie di contatto tra la fase liquida e quella solida (a causa della ridotta dimensione delle particelle), l'UAE è significativamente più veloce delle tecniche classiche (Casazza, 2010).

La cavitazione acustica degli ultrasuoni (gamma di frequenza 18-40 kHz) disgrega la parete cellulare, facilitando il contatto tra il contenuto cellulare e il solvente, migliorando così il trasferimento di massa (Novak et al, 2008).

In uno studio pubblicato da Esteban Villamil-Galindo sull'UAE applicata a bucce di mela, si è messo in evidenza come il solvente e il numero di fasi di estrazione influenzano in modo significativo il contenuto fenolico totale e la capacità antiossidante degli estratti di buccia di mela. Tuttavia, ciò che impatta maggiormente la qualità e la resa di estrazione dei composti antiossidanti è il trattamento effettuato prima della vera e propria estrazione: il principale uso industriale delle bucce di mela è la produzione di pectina e, come parte del processo convenzionale per ottenerla, la buccia deve essere essiccata per evitare alterazioni enzimatiche (Constenla et al, 2002).

In conclusione, è stato appurato che il contenuto totale di composti fenolici più elevato è stato estratto dalla buccia di mela fresca con acetone (80%) in un'estrazione in due fasi. I flavan-3-oli erano la classe di composti fenolici maggioritaria determinata negli estratti di buccia di mela, rappresentando il 59% dei composti fenolici totali. Infine, l'estrazione assistita da ultrasuoni migliora significativamente le rese di pectina (22%). In questo esperimento, la pectina ottenuta dopo l'estrazione del composto fenolico ha aumentato la resa dal 5,35 al 6,38% (Villamil-Galindo e Piagentini, 2022).

Secondo uno studio pubblicato da da Silva, l'agitazione magnetica e l'omogeneizzazione con agitatore sono state le tecniche convenzionali più impiegate negli ultimi due decenni per l'estrazione di composti fenolici da sottoprodotti della mela. È essenziale menzionare che questo lavoro ha identificato i metodi di estrazione più usati su scala di laboratorio; pertanto, sebbene questi metodi non siano considerati i più efficienti in termini di resa e selettività, sono molto facili da usare, il che li rende i più applicati. Oltre ai metodi convenzionali, l'UAE sta guadagnando importanza ed è la principale tecnica emergente, probabilmente per i suoi vantaggi in termini di tempi di estrazione brevi e resa, paragonabile o superiore rispetto ad altre tecniche (da Silva et al, 2021).

## 5.2.2 ESTRAZIONE ASSISTITA CON MICROONDE

L'estrazione assistita con microonde è una tecnica di estrazione rapida ed efficiente basata sull'impiego di microonde per riscaldare la miscela campione/solvente allo scopo di facilitare e velocizzare l'estrazione dell'analita. A differenza delle fonti di calore tradizionali che usano una superficie riscaldata per diffondere il calore verso gli strati interni del corpo per conduzione e convezione, una fonte di calore a microonde agisce sull'intero volume (se il mezzo è omogeneo) o su centri riscaldanti localizzati, costituiti dalle molecole polari presenti nel prodotto (Moret, 2014).

Le microonde sono onde non ionizzanti di natura elettromagnetica con frequenza compresa tra 300 MHz e 300 GHz. Queste onde si posizionano nello spettro elettromagnetico tra i raggi infrarossi e i raggi X. L'azione diretta di queste onde sulla sostanza è quella di trasformare l'energia elettromagnetica in energia termica. Le microonde (Figura 2) sono costituite da due campi perpendicolari oscillanti: quello magnetico e quello elettrico, responsabile del riscaldamento.

Inoltre, è governata da due fenomeni: la rotazione di dipolo e la conduzione ionica. Per rotazione di dipolo si intende il riallineamento dei dipoli della molecola con il rapido cambiamento del campo elettrico; ciò fa sì che sia materiale dielettrico che solventi con dipoli persistenti vengano riscaldati dall'azione delle microonde. Per conduzione ionica invece si intende il trasferimento degli ioni provocato dal cambiamento del campo elettrico. Di conseguenza la migrazione genera attrito (a causa della resistenza offerta dalla soluzione) responsabile del riscaldamento della soluzione (Lopez-Avila, 2014), (Letellier e Budzinski, 1999), (Mandal, 2007).

L'estrazione assistita con microonde può essere influenzata da una grande varietà di fattori, come potenza, frequenza e tempo di applicazione delle microonde, contenuto di umidità e dimensione delle particelle della matrice del campione, tipo e concentrazione del solvente, rapporto tra solido e liquido, temperatura di estrazione, pressione di estrazione e numero di cicli di estrazione (Mandal, Mohan e Hemalatha, 2007).

Questa tecnica presenta molti vantaggi rispetto alle tecniche di estrazione convenzionali, tra cui un minore inquinamento ambientale, una maggiore efficienza di estrazione e tempi di estrazione più brevi.

Tuttavia, per essere applicato a livello industriale, va presa in considerazione (e quindi contrastata) la problematica relativa alla modifica della struttura chimica dei composti target, che può alterare la loro bioattività e limitarne l'applicazione (Strati e Oreopoulou, 2014).

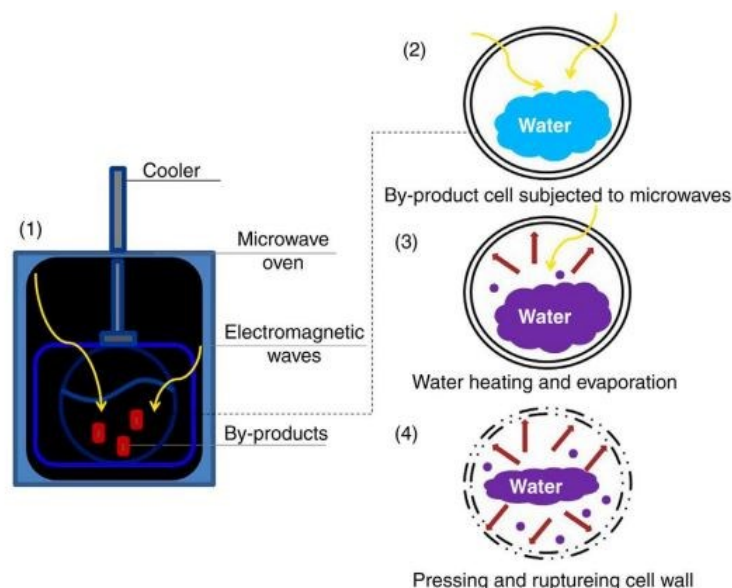


Figura 2: Estrazione assistita con microonde  
(Estrazione di principi attivi da scarti agroindustriali mediante protocolli sostenibili, Piccinini L.)

### 5.2.3 ESTRAZIONE CON FLUIDI SUPERCRITICI (SFE)

La definizione di fluido supercritico si riferisce a un fluido a basso peso molecolare che ha come caratteristica chimico-fisica una temperatura critica molto vicina a quella ambiente (tra 10°C e 40°C) e contemporaneamente una pressione critica relativamente bassa (tra 40 e 60 bar). Di conseguenza, il punto critico di una sostanza corrisponde all'insieme di condizioni di massima temperatura e massima pressione, in corrispondenza delle quali una sostanza può esistere come miscela bifase gas-liquido.

L'anidride carbonica è uno dei fluidi supercritici più utilizzati per via delle sue proprietà: si tratta di un solvente poco costoso, ecocompatibile, non tossico, non carcinogeno e non infiammabile, con una pressione critica (74 bar) e una temperatura (31° C) relativamente facili da raggiungere (Ghafoor, 2012), (Robert C. Reid, 2004), (Phillip E. Savage, 1995).

La SFE assistita con CO<sub>2</sub> ha mostrato estratti di alta qualità con rese paragonabili a quelle recuperate da solventi organici (Sovovà H, 1994); inoltre l'aggiunta di modificatori, come per esempio etanolo, aumenta la polarità ed efficienza dell'anidride carbonica, in particolare in termini di estrazione di molecole polari come i composti fenolici (Salgin, 2007).

Secondo uno studio condotto dal team di ricercatori dei laboratori di Scienze e Tecnologie Alimentari dell'Università di Bolzano, i composti ottenuti attraverso la tecnica SFE presentano un'azione antiossidante più elevata rispetto a quelli ricavati grazie a tecnologie tradizionali come la macerazione o l'estrazione tramite solvente. I risultati dello studio, improntato sul confronto tra SFE ed estrazione convenzionale di polifenoli da sansa di mela, mostrano che si ottengono rese inferiori elaborando la vinaccia di mele con SFE. Al contrario, l'attività antiossidante misurata tramite DPPH e coulometria a iniezione di flusso degli estratti SFE è superiore a quella degli estratti elaborati tramite Soxhlet e macerazione con acqua bollente. Nel complesso, i risultati mostrano che vengono estratti selettivamente meno polifenoli che risultato però più bioattivi.

In una prospettiva più generale, il lavoro conferma il potenziale dell'estrazione con fluidi supercritici come tecnologia verde per il recupero di composti di alto valore dalla sansa di mele (Ferrentino et al, 2018).

### **5.3 ESTRAZIONE DELLA PECTINA**

Il processo di estrazione della pectina non è semplice, principalmente a causa della sua complessa composizione e delle interazioni con altri polisaccaridi, fenoli e proteine presenti nella parete cellulare. Inoltre, è condizionato da fattori quali pH, temperatura, tempo e solventi utilizzati. In generale, la produzione di pectina prevede diverse fasi come un primo processo di selezione delle materie prime, estrazione, chiarificazione, concentrazione, precipitazione, lavaggio ed essiccazione. Tuttavia, è importante notare che il processo di estrazione può variare a seconda del tipo specifico di pectina prodotta e delle pratiche del produttore. Alcuni produttori possono anche utilizzare fasi di lavorazione aggiuntive, come il trattamento enzimatico o la de-esterificazione, per modificare le proprietà della pectina per applicazioni specifiche. Nella Tabella 1 viene mostrato un riepilogo delle tecniche di estrazione e dei loro effetti sulla resa e sulla qualità della pectina estratta da residui di mela (Barrera-Chamorro et al, 2025).



TECNICA	TIPOLOGIA	CONDIZIONI OPERATIVE	EFFETTI	RIFERIMENTI
<b>Estrazione con solvente</b>	Miscela di acidi organici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solventi: acido citrico, ascorbico ed acetico.</li> <li>• pH: 1.9</li> <li>• Temperature: 25°C</li> <li>• Tempo: 10 min</li> </ul>	Resa pectina: 14%	Mahmoud et al., 2022
<b>Estrazione Green</b>	Estrazione assistita con enzimi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo: 10h</li> <li>• pH: 5.0</li> <li>• Temperatura: 40°C</li> <li>• Enzima endo-xylanasi</li> </ul>	Resa pectina: 19.8%	Wikiera et al., 2016

Tabella 1

### 5.3.1 ESTRAZIONE ASSISTITA CON ENZIMI

Gli enzimi vengono utilizzati per idrolizzare la materia prima e migliorare l'estrazione dei componenti bioattivi: la loro efficacia dipende dal tempo e dalle condizioni di reazione, dalla natura dell'enzima e dalla concentrazione (Maric et al, 2018). L'estrazione della pectina con enzimi consente di ottenere pectina di alta qualità che migliora il prodotto finale e riduce i tempi di produzione, limitando anche il dispendio energetico rispetto ai metodi tradizionali. Studi presentati da diversi autori sostengono che la pectina ottenuta con questo metodo è di migliore qualità grazie all'elevata efficienza e specificità degli enzimi. La temperatura è uno dei fattori limitanti in questo processo poiché la maggior parte degli enzimi viene inattivata al di sopra dei 50 °C. A livello industriale, gli enzimi commerciali vengono utilizzati per l'estrazione di polisaccaridi assistita da microonde, ultrasuoni, fluidi supercritici o alte pressioni. Gli enzimi commerciali utilizzati per l'estrazione dei polisaccaridi sono miscele enzimatiche di arabanasi (scompono i polisaccaridi contenenti arabinosio), cellulasi (scompono la cellulosa in unità di glucosio),  $\beta$ -glucanasi (idrolizza i  $\beta$ -glucani, che sono polisaccaridi presenti nelle pareti cellulari), emicellulosa (idrolizza l'emicellulosa) e xilanasi (catalizza l'idrolisi dello xilano) (Nadar et al, 2018).

## **6. ALIMENTI FUNZIONALI: APPLICAZIONI PRATICHE**

### **6.1 BISCOTTI ARRICCHITI IN FIBRE E POLIFENOLI**

In uno studio condotto dai ricercatori Naseem, Bhat e Mir, sono stati formulati dei biscotti a base di farina di grano tenero arricchiti in polifenoli e fibre, grazie all'utilizzo di sansa di mela. Il processo di produzione prevedeva l'utilizzo di una cultivar di grano tenero (SKW-355) e mele *Golden delicious*. Le mele sono state affettate e schiacciate per estrarre la polpa, che è stata successivamente pressata per estrarre il succo. La polpa di mela risultante è stata disidratata in un essiccatore a 40 °C fino a quando il suo contenuto di umidità ha raggiunto il 4,4%. Una volta essicata, la polpa di mela è stata macinata e setacciata. La polvere di polpa di mela (APP) è stata quindi conservata in sacchetti di polietilene ermetici a temperature refrigerate (4 °C) per ulteriori analisi.

Sono state preparate formulazioni di farina di frumento sostituita con diversi livelli di sansa di mela. La farina di frumento senza aggiunta di APP è stata tenuta come controllo ed etichettata come WF (0%) mentre la farina di frumento sostituita con polvere di polpa di mela al 5%, 10% e 15% è stata etichettata rispettivamente come WFP1, WFP2 e WFP3.

#### **6.1.1 CONTENUTO TOTALE DI POLIFENOLI ED EFFETTO ANTIOSSIDANTE**

Il contenuto fenolico totale (TPC) di APP (1,04 mg GAE/g) è risultato significativamente più alto di quello di WF (0,28 mg GAE/g). Di conseguenza il TPC delle formulazioni è aumentato significativamente da 0,28 a 0,86 mg GAE/g con l'incorporazione di APP. Questo aumento potrebbe essere collegato al rilascio di componenti dalla sansa di mela, in particolare dalla buccia macinata all'interno, che è ricca di polifenoli. Inoltre, il contenuto di TPC dei biscotti è aumentato durante la cottura: a temperature più elevate la formazione di melanoidine durante la reazione di Maillard contribuisce all'aumento del TPC nei biscotti.

Per quanto riguarda l'effetto antiossidante, i risultati delle analisi indicano che un aumento della quantità di APP sia nel WF che nei biscotti determina un corrispondente aumento della percentuale di inibizione del DPPH.

L'APP ha mostrato una maggiore attività di rimozione dei radicali DPPH (83,38%) e di conseguenza, aumentando la sua frazione dallo 0 al 15% nel WF l'attività di rimozione dei radicali DPPH è aumentata dal 48,54 al 59,32%.

L' APP ha mostrato un valore di inibizione della perossidazione lipidica (ILP) più alto (67%) rispetto alla farina di grano (54%). La ragione di ciò potrebbe essere la presenza di elevate quantità di polifenoli nella sansa di mela. È stato osservato che la percentuale di ILP delle formulazioni è aumentata dal 54,0 al 65,0% con l'aumento dell'aggiunta di APP. È stato riportato da (García-Pérez, P. & Gallego, 2022) che i fenoli hanno la capacità di prevenire la reazione a catena autocatalitica della perossidazione lipidica, che è responsabile del miglioramento dell'ILP da parte delle formulazioni contenenti APP nel nostro studio. L'ILP di tutti i biscotti è diminuito significativamente dopo la cottura dal 54,00 al 50,00%, 59,35-53,00%, 61,70-55,00% e 65,05-57,00%, rispettivamente per C0, C1, C2 e C3.

La riduzione dell'ILP dei biscotti potrebbe essere attribuita all'aumento dell'ossidazione dei lipidi durante la cottura. L'attività di inibizione dell'ossidazione lipidica è un fattore importante nella conservazione dei prodotti da forno, in quanto è la principale causa di deterioramento di cibi ricchi di grassi come biscotti, snack ed altri.

In conclusione, incorporare polvere di sansa di mela (APP) nella farina di grano ha alterato significativamente i suoi attributi funzionali ed antiossidanti. I biscotti arricchiti hanno mostrato maggiori proprietà antiossidanti e un contenuto fenolico totale, mantenendo al contempo un'eccellenza sensoriale simile al controllo. In particolare, i biscotti con il 10% di APP hanno ottenuto i punteggi più alti in tutti gli attributi sensoriali sulla scala edonica a 9 punti, indicando un appeal sensoriale superiore. Nel complesso, lo studio sottolinea il potenziale per produrre biscotti salutari utilizzando scarti di frutta provenienti da varie industrie alimentari a livello globale. Questi prodotti di scarto servono come abbondanti fonti di composti bioattivi, aumentando i benefici per la salute dei consumatori senza compromettere le qualità organolettiche del prodotto. Inoltre, il loro utilizzo contribuisce alla riduzione dell'inquinamento ambientale attraverso il riutilizzo di sottoprodotti di scarto alimentare sottoutilizzati.

## **6.2 YOGURT ARRICCHITI IN PECTINA**

Le pectine sono generalmente aggiunte agli yogurt per stabilizzare il prodotto. La pectina delle mele è solitamente una pectina ad alto metossile, che può creare un gel a valori di pH bassi (pH acido), una caratteristica interessante nell'ambito dei prodotti lattiero-caseari fermentati: l'uso di sansa di mela offre un nuovo approccio per la formulazione di yogurt

contenenti pectina con proprietà benefiche aggiuntive, date dalla presenza di altri composti bioattivi.

Poiché la vinaccia di mela contiene molti composti bioattivi, può essere considerata un prebiotico. I prebiotici sono materiali che supportano la crescita delle colture microbiche; perciò, vengono utilizzati per produrre prodotti lattiero-caseari fermentati (Hill et al, 2017).

Uno dei prodotti lattiero-caseari fermentati più consumati è lo yogurt, prodotto in diverse consistenze e sapori. Le tendenze attuali per il miglioramento della texture e del sapore si concentrano su stabilizzanti aggiunti appositamente, ma che possono essere fastidiosi per i consumatori che cercano prodotti naturali (Allam et al, 2023). In uno studio pubblicato da Iveta Klojdova, l'obiettivo principale era quello di proporre una soluzione valida e sostenibile per utilizzare la vinaccia di mele nella preparazione di yogurt con valore aggiunto e proprietà reologiche migliorate. Inoltre, sono stati valutati due possibili metodi di essiccazione della vinaccia di mele, la liofilizzazione e l'essiccazione ad aria calda, e le diverse velocità di aggiunta. Poiché la liofilizzazione è un metodo molto più costoso, è stato valutato se il suo utilizzo per l'essiccazione della vinaccia di mele abbia un effetto significativamente migliorato sulle proprietà dei gel di yogurt preparati.

Nella formulazione dello yogurt è stata utilizzata sansa di mele come sottoprodotto della produzione di sidro e succo. La sansa di mele era un campione di varietà comuni di mele (la maggior parte Red Delicious), tra cui polpa, buccia e residui di semi.

I campioni di yogurt sono stati preparati da latte intero Krajanka, mescolato con sansa di mela (1, 2 e 4%) liofilizzata o essiccata all'aria.

L'acidificazione della miscela di yogurt è stata effettuata con coltura di yogurt liofilizzata YF-L812 (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*) nel rapporto raccomandato dal fornitore (0,472 g di coltura/1 l di latte, Chr. Hansen, Danimarca). I campioni in contenitori di plastica sono stati posti in un termostato e incubati a 44 °C fino a raggiungere un pH di  $4,6 \pm 0,2$  (8 ore). Sono stati quindi posti in un frigorifero e conservati a 4 °C per 2 settimane. Tutte le analisi sono state eseguite dopo la preparazione del campione (raffreddamento a 4 °C durante la notte) e poi dopo 1 e 2 settimane di conservazione.

La compattezza di tutti i campioni di yogurt è stata influenzata in modo significativo dall'aggiunta di sansa di mele e dal periodo di conservazione.

I risultati ottenuti hanno indicato gel più sodi in yogurt addizionati di sansa di mele: la durezza è principalmente influenzata dal contenuto di solidi totali, che aumenta con l'aggiunta di vinaccia di mele (Paseephol et al, 2008). Inoltre, le proprietà gelificanti sono supportate dalle pectine (Khubber et al, 2021). La durezza più elevata è stata determinata nei gel dopo 2 settimane di conservazione. Ciò può essere causato da diversi fattori, come la riorganizzazione nella rete di gel di yogurt supportata dalla pectina e da lievi variazioni del pH (Said et al, 2023).

È stata anche osservata una riduzione della resistenza al taglio per tutti i campioni di yogurt poiché lo yogurt è un materiale pseudoplastico (Rubio et al, 2021). I campioni arricchiti con sansa di mela liofilizzata e l'1% di sansa di mela essiccata all'aria presentavano viscosità apparenti inferiori rispetto al controllo nell'intero intervallo di velocità di taglio misurata. Al contrario, l'aggiunta del 2 e del 4% di sansa di mela essiccata all'aria ha aumentato i valori di viscosità apparente. La stessa tendenza è stata osservata dopo 1 e 2 settimane di conservazione.

Sulla base di questi risultati, si può concludere che la forma essiccata all'aria della vinaccia di mela ha dimostrato una migliore capacità di ritenzione idrica e proprietà testurizzanti. Questi risultati sono vantaggiosi, soprattutto considerando i costi economici del trattamento della vinaccia di mela: in genere, i metodi di essiccazione all'aria sono molto più economici dei metodi di liofilizzazione (Vanbillemont et al, 2023).

Infine, secondo i membri del panel, i punteggi più alti e, quindi, la migliore qualità dei campioni sono stati determinati per i formulati con il contenuto più elevato di sansa di mela in entrambe le forme. Il campione più votato è stato lo yogurt con il 4% di vinaccia di mela essiccata all'aria dove i membri del panel hanno apprezzato, tra gli altri caratteri, la consistenza, che coincideva con l'analisi strutturale e reologica fornita.

In generale, la vinaccia di mela liofilizzata è un materiale che mantiene il suo sapore originale: per lo yogurt aromatizzato, le aspettative dei membri del panel erano principalmente incentrate sul sapore di mela, che non è risultato così forte nel caso dei campioni liofilizzati.

Al contrario, l'essiccazione all'aria può causare un cambiamento nell'aroma generando sostanze volatili indotte dal calore, che possono supportare il gusto fruttato (Abouelenein et al, 2021). Colore e sapore erano i due descrittori che sono stati significativamente ( $p>0,05$ ) influenzati dal periodo di conservazione. Il sapore del campione valutato meglio dopo 1 e 2 settimane di conservazione può indicare il migliore sviluppo del gusto dopo l'idratazione e anche un effetto di supporto della vinaccia di mela sulla crescita delle colture microbiche.

Questo studio ha presentato un promettente utilizzo della sansa di mele nella produzione di prodotti caseari fermentati, in particolare yogurt.

L'incorporazione della sansa di mele offre proprietà chimico-fisiche migliorate dei gel di yogurt: in generale, i campioni arricchiti con concentrazioni più elevate di polvere di vinaccia di mele hanno mostrato gel più sodi ed elastici. Un'altra scoperta importante è il fatto che queste proprietà sono state determinate per campioni arricchiti da polvere di vinaccia di mele essiccata all'aria. In particolare, l'aggiunta del 4% di vinaccia di mele nella forma essiccata all'aria può essere consigliata per la riduzione della sineresi (separazione del siero per far addensare lo yogurt) e una maggiore elasticità del gel di yogurt. Inoltre, questi campioni sono stati i più apprezzati dai membri del panel durante la valutazione sensoriale e il sapore votato maggiormente è stato osservato alla fine del periodo di conservazione, il che può indicare un'interazione positiva con la coltura dello yogurt. Per qualsiasi futura produzione industriale di questi prodotti, l'essiccazione all'aria è molto meno costosa della liofilizzazione: ciò può contribuire a passi importanti nella filiera alimentare sostenibile e alla produzione di cibo di qualità con un elevato profilo nutrizionale.

## CONSIDERAZIONI FINALI

Con questo elaborato si è voluta rimarcare l'importanza della valorizzazione dei sottoprodotti dell'industria di trasformazione delle mele. Lo scopo non è solamente quello di ridurre gli sprechi alimentari in un'ottica di economia circolare, ma anche quello di favorire l'utilizzo di ingredienti naturali (o trattati con tecniche sostenibili) per la formulazione di alimenti funzionali.

Fra le varie informazioni raccolte si sottolinea l'elaborato profilo nutrizionale di bucce e semi che, se implementati in alimenti come biscotti o yogurt, sono in grado di conferire un profilo organolettico interessante oltre a migliorare le caratteristiche reologiche dell'impasto e del gel. Tra i composti analizzati spiccano le pectine ed i polifenoli, che grazie alla struttura e alla loro bioattività sono in grado di apportare effetti benefici all'organismo umano.

Grazie all'analisi del profilo nutrizionale, delle tecniche di estrazione emergenti e dell'applicazione pratica dei sottoprodotti delle mele è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- L'utilizzo di sottoprodotti delle mele per la formulazione di alimenti funzionali è possibile e, in alcuni casi, anche conveniente;
- L'odierna tendenza nel consumo di alimenti funzionali e di ingredienti naturali incentiva notevolmente il riutilizzo di scarti dell'industria alimentare;
- Le tecniche di estrazione moderne rendono il sistema di valorizzazione dei sottoprodotti ancora più efficiente.

In linea generale si può dire che le aziende alimentari dovrebbero, viste le moderne tendenze all'economia circolare, adottare dei sistemi di valorizzazione dei sottoprodotti alimentari, interni allo stabilimento oppure in un'ottica di collaborazione con altre imprese. Questo spingerebbe il mercato verso un'idea di sostenibilità alimentare basata non sul singolo utilizzo del prodotto a cui consegue la produzione di scarti, ma sullo sfruttamento totale dell'alimento, valorizzandone ogni singola componente.

## **BIBLIOGRAFIA**

Barbosa, C.H., Andrade, M.A., Séndon, R., Silva, A.S., Ramos, F., Vilarinho, F., Khwaldia, K., Barbosa-Pereira, L. **Industrial fruits by-products and their antioxidant profile: Can they be exploited for industrial food applications?**

Umme Asma, Ksenia Morozova, Giovanna Ferrentino, Matteo Scampicchi. **Apples and Apple By-Products: Antioxidant Properties and Food Applications**

Jameel M Al-Khayri, Ramakrishnan Rashmi, Varsha Toppo, Pranjali Bajrang Chole, Akshatha Banadka, Wudali Narasimha Sudheer, Praveen Nagella, Wael Fathi Shehata, Muneera Qassim Al-Mssallem, Fatima Mohammed Alessa, Mustafa Ibrahim Almaghasla, Adel Abdel-Sabour Rezk. **Plant Secondary Metabolites: The Weapons for Biotic Stress Management**

Mario G. Ferruzzi **The influence of beverage composition on delivery of phenolic compounds from coffee and tea**

Wilhelm Stahl, Henk van den Berg, John Arthur, Aalt Bast, Jack Dainty, Richard M Faulks, Christine Gärtner, Guido Haenen, Peter Hollman, Birgit Holst, Frank J Kelly, M Cristina Polidori, Catherine Rice-Evans, Susan Southon, Trinette van Vliet, José Viña-Ribes, Gary Williamson, Siân B Astley. **Bioavailability and metabolism**

Leila Arfaoui. **Dietary Plant Polyphenols: Effects of Food Processing on Their Content and Bioavailability**

Strinati M. **Ingredienti funzionali dagli scarti della mela, ma attenzione ai pesticidi**

Weber, A.M., Pascale, N., Gu, F., Ryan, E.P., Respondek, F. **Nutrition and health effects of pectin: A systematic scoping review of human intervention studies**

Kumar, M. **Apple (*Malus domestica* Borkh.) seed: A review on health promoting bioactivities and its application as functional food ingredient**



Kumar, M. **Non-edible fruit seeds: nutritional profile, clinical aspects, and enrichment in functional foods and feeds**

Jaszczak-Wilke, E., Polkowska, Ż., Koprowski, M., Owsianik, K., Mitchell, A.E., Bałczewski, P. **Amygdalin: Toxicity, anticancer activity and analytical procedures for its determination in plant seeds(Review)**

Jian-bing Ji, Xiang-hong Lu, Mei-qiang Cai, Zhi-chao Xu. **Improvement of leaching process of Geniposide with ultrasound**

Alessandro A. Casazza, Bahar Aliakbarian, Stefano Mantegna, Giancarlo Cravotto, Patrizia Perego. **Extraction of phenolics from Vitis vinifera wastes using non-conventional techniques**

Ivana Novak, Patricia Janeiro, Marijan Seruga, Ana Maria Oliveira-Brett. **Ultrasound extracted flavonoids from four varieties of Portuguese red grape skins determined by reverse-phase high-performance liquid chromatography with electrochemical detection**

Sabrina Moret. **Estrazione assistita con microonde (MAE)**

Farid Chemat, Giancarlo Cravotto. **Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds**

M. Letellier and H. Budzinski. **Microwave assisted extraction of organic compounds**

Vivekananda Mandal, Yogesh Mohan, Siva Hemalatha. **Microwave Assisted Extraction - An Innovative and Promising Extraction Tool for Medicinal Plant Research**

Kashif Ghafoor, Fahad Y Al-Juhaimi, Yong Hee Choi. **Supercritical fluid extraction of phenolic compounds and antioxidants from grape (Vitis labrusca B.) seeds**

M. Prausnitz, John P. O'Connell. **The Properties of Gases and Liquids, Fifth Edition**

Phillip E. Savage, Sudhama Gopalan, Thamid I. Mizan, Christopher J. Martino, Eric E. Brock. **Reactions at supercritical conditions: Applications and fundamentals**

H. Sovová, J. Kučera, J. Jez. **Rate of the vegetable oil extraction with supercritical CO<sub>2</sub>—II. Extraction of grape oil**

Uğur Salgın. **Extraction of jojoba seed oil using supercritical CO<sub>2</sub>+ethanol mixture in green and high-tech separation process**

Luna Barrera-Chamorro, África Fernandez-Prior, Fernando Rivero-Pino, Sergio Montserrat-de la Paz. **A comprehensive review on the functionality and biological relevance of pectin and the use in the food industry**

Mirela Marić, Antonela Ninčević Grassino, Zhenzhou Zhu, Francisco J. Barba, Mladen Brnčić, Suzana Rimac Brnčić. **An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction**

Zahid, H.F., Ranadheera, C.S., Fang, Z., Ajlouni, S. **Utilization of mango, apple and banana fruit peels as prebiotics and functional ingredients**

García-Pérez, P. & Gallego, P. P. **Plant phenolics as dietary antioxidants: insights on their biosynthesis, sources, health-promoting effects, sustainable production, and effects on lipid oxidation**

Iveta Klojdova, Nujamee Ngasakul, Ali Kozlu, Diana Karina Baigts Allende. **Apple pomace as a functional component of sustainable set-type yogurts**

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il mio relatore prof. Simone Vincenzi per l'attenzione dedicata alla correzione, per i preziosi consigli e per la sua grande passione per l'insegnamento.

Grazie alla mia famiglia: i miei genitori Iuri e Renata, Melania e Patrick, le zie e tutti coloro che hanno visto in me un grande potenziale, spronandomi a non mollare mai e dare sempre il massimo. Formalmente diventerò la prima laureata in casa Bianchin!

Grazie alla mia compagna di vita, Laura, a cui devo tutto il lavoro svolto in questi 3 anni di università. Sei la mia motivazione più grande.

Grazie ai miei amici di sempre: Asya, Camilla, Leonardo, Dario, Fabio, Otman ed Emanuela.

Grazie ai miei compagni d'arrampicata, lo sport che mi ha cambiato la vita: Jacopo, Nicola, Simone, Alessandro, Diego, Giulia.

Grazie alle amicizie conosciute tra i banchi universitari, che ho frequentato sporadicamente. La mia tendenza ad essere uno spirito libero mi ha sempre allontanata da questo ambiente, ma i vostri sorrisi e le vostre rassicurazioni sono stati il motivo per cui, quando mettevo piede all'Agripolis, ero sempre di buon umore. Di questo percorso universitario voi sarete il mio più caro ricordo.

*“Tu, non temere, perché io son teco; non ti smarrire, perché io sono il tuo Dio;  
io ti fortifico, io ti soccorro, io ti sostengo con la destra della mia giustizia”.*

Isaia 41:10

Al prossimo capitolo di questa vita straordinaria.