UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI
FACOLTÀ DI BIOLOGIA E FARMACIA
Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente

Corso di laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche

Caratterizzazione biochimica e nutrizionale di tuberi di patate rosse e viola

Relatore
Dott.ssa Giorgia Sarais

Laureanda
Alessia Matta

Anno Accademico 2023/2024

Indice

1. Introduzione 3

1.1. Cenni storici 3

1.2. Produzione 5

1.3. Varietà di patate 8

1.4. Caratteristiche Chimiche 10

1.4.1 Glucidi 11

1.4.2 Protidi 12

1.4.3 Lipidi 13

1.4.4 Micronutrienti 13

1.4.4.a Vitamine 14

1.4.4.b Minerali 15

1.4.5 Fitocomposti 15

1.4.5.a Polifenoli 16

1.4.5.b Carotenoidi 18

1.4.5.c Glicoalcaloidi 18

1.5. Metodi di cottura 20

1.5.1 Effetti sui macronutrienti 20

1.5.2. Effetti sui micronutrienti 22

1.5.3. Effetti sui fitocomposti 23

2. Obiettivo della tesi 25

3. Materiali e Metodi 26

3.1. Cultivar Analizzate 26

3.2. Metodi di cottura 26

3.3. Reagenti e standards 27

3.4. Determinazione del Contenuto Totale di Antociani 27

3.5. Determinazione dei Singoli Antociani e dell'Acido Clorogenico 28

3.6. Determinazione dell'Acido Ascorbico (Vitamina C) 29

3.7. Determinazione dei Glicoalcaloidi: α-Caconina e α-Solanina 29

3.8. Preparazione degli Standards e delle Curve di Calibrazione 30

4. - Risultati e Discussioni 31

5. - Conclusioni 43

Bibliografia 45

1. Introduzione

1.1. Cenni storici

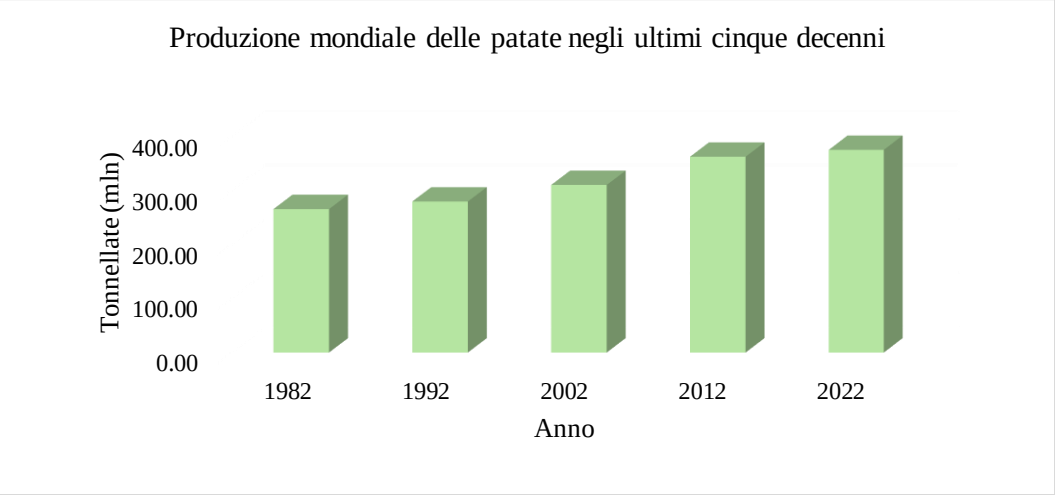
La patata (Solanum tuberosum) è una specie appartenente alla famiglia delle Solanacee originaria delle Ande del Sud America: ha i suoi centri d'origine in Perù, Bolivia, e Messico dove venne coltivata fin dai tempi della civiltà azteca e incaica, e giunse in Europa nella seconda metà del XVI secolo. Si ipotizza il primo approdo in Spagna tra il 1560 e il 1564, per proseguire temporalmente in Italia (1564), Francia (1598), Europa centrale e orientale (1620-1730) [1,2]. La sua coltivazione, dapprima marginale e a fini ornamentali, si diffuse a scopi alimentari nel corso dei decenni, con l'esponenziale richiesta di viveri in seguito a guerre e carestie. A questo proposito fu molto importante il lavoro svolto da agronomi, scienziati e re per promuoverne la produzione e l'utilizzo, in quanto la popolazione considerava questo tubero un alimento non appropriato all'uso umano, e potenzialmente nocivo [2]. Di fatto solo nella seconda metà dell'Ottocento la patata entrò nella produzione agricola del nostro Paese, superando quella del frumento e del mais, e nel secolo successivo l'effetto dell'ammodernamento dell'agricoltura ebbe l'effetto di aumentare la quantità di prodotto immessa nel mercato. Inoltre, lo sviluppo economico, sociale e demografico, determinò un forte cambiamento che, anche in un Paese povero di risorse naturali come l'Italia a quel tempo, portò a enormi progressi e alla diversificazione produttiva e commerciale. Si pensi al mais, dapprima destinato alla nutrizione umana e successivamente diventato la principale fonte per il bestiame, a sua volta cresciuto a dismisura per l'imponente aumento della domanda di carni, latte e uova. Similmente anche per la patata si manifestò una tendenza analoga: la produzione finalizzata all'allevamento animale ha sopravanzato quella "fetta" destinata per la nutrizione umana, che attualmente è stimata pari alla metà di quella zootecnica [3]. Il successo della diffusione della patata a livello mondiale è legato sia alla sua versatilità, in termini di adattamento alle diverse condizioni pedoclimatiche, sia alle sue potenzialità nutrizionali. Il 2008 è stato proclamato l'Anno della patata, e la FAO (*Food and Agriculture Organization*), grazie a una fitta serie di eventi e ricerche, è riuscita ad attirare l'attenzione globale in modo marcato. Il rapporto uscito quell'anno dal titolo "New light on the hidden treasure" è ancora oggi considerato una Bibbia sulla patata, e mostra con

capitoli scientifici e non, che la patata è la principale coltivazione non cerealicola al mondo [1]. Il rapporto ha contribuito ad aumentare la consapevolezza dell'importanza di questa coltura, e dell'agricoltura in generale, affrontando temi di interesse globale quali la fame, la povertà e le minacce all'ambiente, dando enfasi alle sue qualità biologiche e nutrizionali, col fine di promuoverne la produzione, il consumo, il marketing ed il commercio. Così, il direttore generale della FAO, Jacques Diouf, ha descritto la coltura nel pubblicato del 2008: "*The potato is on the frontline in the fight against world hunger and poverty*" [1]. Pertanto, la patata, descritta anche come "cibo del futuro", dovrebbe essere una componente importante in quelle strategie volte a fornire alimenti ai poveri. Riconosciuto il ruolo rilevante rivestito dalla patata, il Perù ha presentato una proposta all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite atta a promuovere una ricorrenza annuale. Così, nel 2023, la FAO ha accolto con favore la decisione dell'ONU di designare il 30 maggio come Giornata Internazionale della Patata [4]. Secondo i dati raccolti per l'elaborato "New light on the hidden treasure", la FAO ha stimato che circa i due terzi della produzione vengano consumati dall'uomo come fonte alimentare, sottoforma di patate fresche, fritte o come prodotti processati industrialmente [1]. Ci sono però altre destinazioni d'uso non alimentari, che derivano alcune dalla polpa della patata, altre invece dalla buccia. Sono tutte accumunate da una caratteristica molto importante, soprattutto al giorno d'oggi, la biodegradabilità, contribuendo in questo modo alla sostenibilità energetica e ambientale, a ridurre gli sprechi e a promuovere un'economia circolare. Ad esempio, la fecola di patate (amido), è ampiamente utilizzata dalle industrie farmaceutiche, tessili, del legno e della carta; tra le varie applicazioni troviamo la produzione di stoviglie usa e getta, carta da stampa, colla, derivati alcolici da fermentazione, biopolimeri, fertilizzanti. Anche gli scarti "senza valore", derivati da varie lavorazioni, sono ricchi in amido che può essere liquefatto e fermentato per produrre bioetanolo, usato come carburante [5,3]. Uno studio canadese condotto nella provincia di New Brunswick ha stimato che da 440000 tonnellate di scarti sia possibile ottenere da 4 a 5 milioni di litri di etanolo [1].

1.2. Produzione

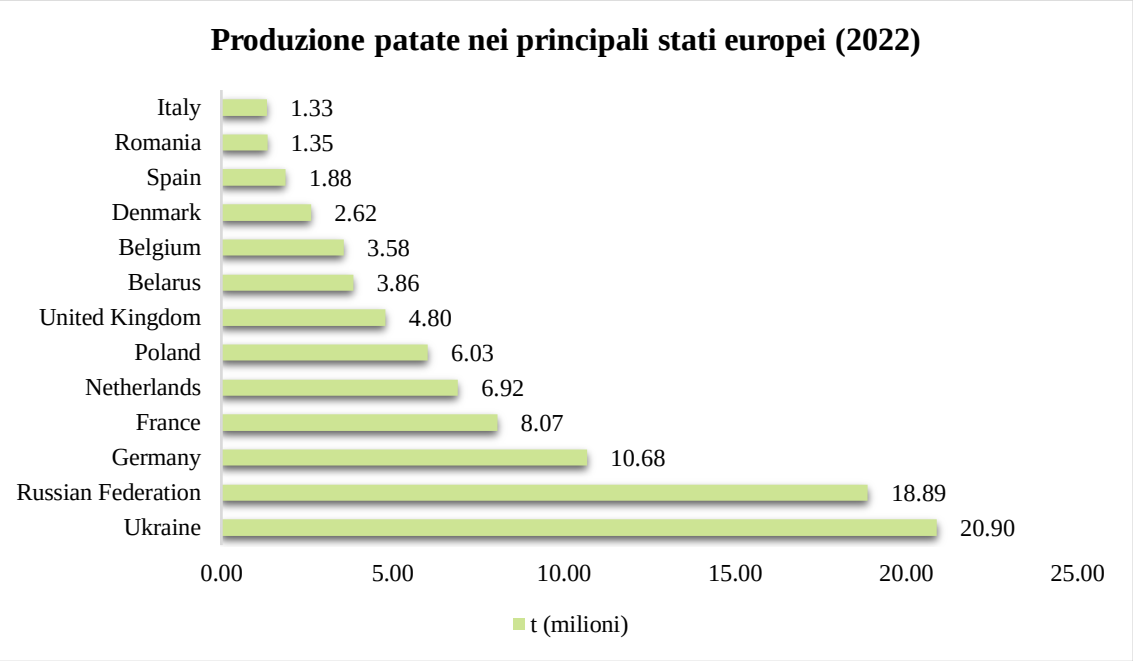
La patata è coltivata in oltre cento Paesi distribuiti su tutte le altitudini e con condizioni climatiche molto diverse, il che giustifica le numerosissime varietà esistenti [3]. È la quarta coltura più consumata al mondo, dopo mais, riso e grano. A livello mondiale sono prodotte 375 milioni di tonnellate di patate (dati FAOSTAT 2022), valore che è cresciuto del 10% nell'ultimo ventennio, concentrandosi soprattutto in Africa e Asia. Al contempo, in alcuni paesi si è manifestata una riduzione delle superfici destinate alla coltivazione (Stati Uniti ed alcuni Paesi Europei), che non ha determinato un proporzionale calo del raccolto; questo è potuto accadere grazie al continuo progresso tecnico e al miglioramento genetico del materiale riproduttivo. Nel continente asiatico la Cina è la maggiore produttrice con 95,5 milioni di tonnellate nel 2022, segue l'India con 56 milioni di tonnellate.

Figura 1. FAOSTAT



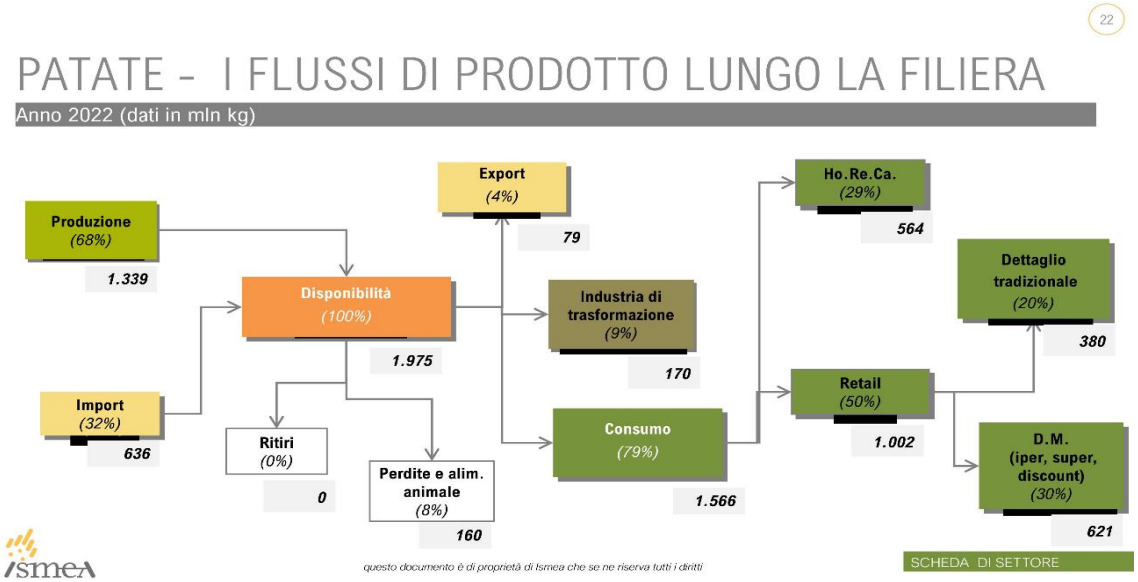
L'Europa si colloca al secondo posto tra i continenti per la produzione, con un totale di 98 milioni di tonnellate, e possiede anche il più alto livello di consumo di patate nel mondo (quasi 64 kg pro capite all'anno. FAOSTAT DATA 2022), concentrato prevalentemente nell'Europa Orientale.

Figura 2. FAOSTAT 2022



L'Italia contribuisce per circa il 3% della produzione europea con oltre 1,3 milioni di tonnellate annue e un'aerea di circa 61000 ha (FAOSTAT DATA 2022). La penisola, per la sua conformazione, consente di disporre di aree particolarmente vocate per la pataticoltura: la specifica conformazione del territorio nazionale genera situazioni pedo-climatiche diversificate in grado di assicurare una disponibilità pressoché ininterrotta del prodotto durante l'intero arco dell'anno, ne sono la prova le diverse tipologie di prodotto (patate precoci, bisestili, comuni) ed il vasto panorama varietale (a pasta gialla o rossa, buccia rossa, etc). Secondo i dati raccolti dall'ISTAT nel 2023 le prime tre regioni produttrici di patata comune sono l'Abruzzo, la Campania e il Veneto. La produzione pataticola nazionale, però, non è sufficiente rispetto alla domanda e al consumo: per soddisfare la domanda interna, soprattutto durante i periodi di bassa produzione, l'Italia importa dai 5 ai 7 milioni di quintali all'anno di patate provenienti principalmente da Francia e Germania [6]. Al contempo, l'Italia esporta patate di alta qualità verso altri paesi europei, sfruttando la reputazione delle sue varietà locali (Figura 3).

Figura 3. Dati Patate 2022 ISMEA



Le superfici complessive destinate alla pataticoltura sono calate negli ultimi due decenni, passando da 70 a 50mila ettari [7], ciò è dovuto a una combinazione di fattori climatici, economici, tecnologici e di mercato. Nel sud Italia negli ultimi anni, però, si sta verificando una ripresa con un progressivo aumento della produzione e delle superfici totali adibite a questa coltivazione, in particolare per le isole. La Sardegna ha seguito questo trend positivo, incrementando le produzioni in maniera regolare dal 2020 ad oggi, passando da 96,4 a quasi 154 quintali (registrato nel 2023) [8]. In questa regione si coltivano le patate sia nelle zone oltre gli 800 m., le cosiddette patate di montagna, soprattutto a Nuoro e dintorni, sia nelle pianure irrigue del cagliaritano e dell'oristanese. Le cultivar spaziano da quelle più comuni commercialmente, sino ad alcune cultivar storiche, come la tonda di Gavoi, la patata di Fonni e la patata viola di Scano di Montiferro. La patata di Gavoi [9], ad esempio, è un ortaggio particolarmente rappresentativo del territorio gavoese, conosciuta e utilizzata sin dal 1800 e fino ai giorni nostri. Numerose testimonianze citano la "patata gavoesa" come un tubero distinguibile dagli altri, riconoscendone il valore sia come agrobiodiversità sarda che per le pregiate caratteristiche organolettiche, per le quali è gradita dai consumatori di tutta la regione. La caratterizzazione molecolare, affidata allo Science and Advice for Scottish Agriculture (SASA), ha evidenziato che il profilo genetico di questa patata è unico rispetto ai circa 1000 presenti nella propria banca dati [9]. Un'altra cultivar tipica è la antica "*Patata 'e*

Moru" di Scano di Montiferro, caratterizzata da una rilevante componente antocianica che le conferisce una colorazione bluastra, caratteristica molto apprezzata dagli chef per gli effetti cromatici nel piatto, oltre che per il buon sapore [10]. La tendenza attuale per la produzione di patate in Italia sembra puntare più sull'eccellenza che sulla quantità e, a fronte di minori consumi, le persone scelgono la qualità [11]. Diversi studi hanno messo in evidenza un fenomeno che ha interessato la popolazione italiana, soprattutto dopo la pandemia di Covid-19 [12]: il consumo pro capite di tuberi, ma più in generale di ortaggi freschi, è nettamente incrementato. Dalle analisi emergono un cambiamento dello stile alimentare, volto al benessere e alla salute della persona, una maggiore attenzione alla scelta delle fonti alimentari, alla loro provenienza, alle proprietà nutritive del cibo e all'impatto ambientale. Complice di questo fenomeno l'Era Digitale, capace di influenzare le scelte del consumatore, dando origine anche a dei trends come quello del "bio", dei "free from" o del "superfood".

La medicina ufficiale contemporanea si è occupata sia delle proprietà nutrizionali, oramai approfonditamente studiate, sia delle attività biologiche della patata e delle relative applicazioni cliniche. Una rassegna di Camire et al. del 2009 [3,13] ha preso in considerazione la presenza di composti nutritivi e bioattivi nelle patate e il loro impatto sulla salute umana, dimostrando come il consumatore, erroneamente, la consideri più calorica rispetto a cereali come pasta e riso, limitandone pertanto l'uso. Nonostante non ci siano molti dati sugli effetti di un'assunzione abituale di patate, quelli disponibili, svolti su animale e uomo, sembrano suggerire effetti benefici sul diabete [14], sull'obesità [15,16] e sulla prevenzione delle malattie cardiovascolari [17], sebbene vi siano differenze significative nei profili nutrizionali e nei contributi di diverse cultivar sul corpo umano. L'impatto del consumo di patate sui fattori di rischio delle malattie può dipendere inoltre dagli altri alimenti con cui le patate vengono associate come parte di un modello alimentare; pertanto, la letteratura scientifica deve essere interpretata con attenzione.

1.3. Varietà di patate

Sono circa 5000 i tipi di patate catalogate a livello mondiale e le loro caratteristiche morfologiche, agronomiche e genetiche sono reperibili all'interno di database come "The European Cultivated Potato" [18]. Nell'uso comune le patate vengono classificate in base al colore della polpa distinguendo così varietà a polpa bianca, color crema, gialla, rossa e

blu/viola, che a loro volta si diversificano per l'intensità di colore o la presenza di venature. Le informazioni relative a questa differenziazione trovano supporto nei siti dei principali coltivatori e produttori pataticoli quali Selenella, Romagnoli, Citterio Patate [19,20,21] ed in seguito ad una loro attenta lettura è stato possibile riassumere le caratteristiche di ciascuna classe come segue.

- Patate a polpa bianca: sono tra le più comuni in tutto il mondo e si caratterizzano per i bassi quantitativi di acqua, la polpa molto chiara e la consistenza farinosa. Con la cottura la polpa di queste patate tende a sfaldarsi facilmente, difatti vengono impiegate spesso come addensante in numerose preparazioni.

- Patate a polpa gialla: costituiscono la categoria di patate più ricche di acqua e sono caratterizzate da una polpa molto compatta e soda anche dopo cottura. Il profilo nutrizionale è sovrapponibile a quello delle patate a polpa bianca, ma si distingue per la presenza di fitocomposti, i carotenoidi, che conferiscono il colore giallo a queste varietà e contribuiscono all'azione antiossidante. Rientrano in questa categoria anche le patate novelle, più piccole e tendenzialmente tondeggianti, così chiamate perché vengono raccolte e commercializzate prima di giungere a piena maturazione.

- Patate a pasta gialla e buccia rossa: presentano caratteristiche simili a quelle delle patate a polpa gialla per quanto riguarda usi e consistenza, ma si contraddistinguono per la componente antocianica della buccia.

- Patate rosse: sono caratterizzate da una polpa soda e compatta che le rende ideali per svariati utilizzi. In questa varietà, sia la buccia che la polpa sono pigmentate, segno della presenza della componente antocianica. La polpa può essere di colore uniforme o presentare venature.

- Patate viola: nate in Perù, sono meno diffuse nel nostro Paese, nonostante alcune varietà vengano coltivate proprio in Italia. Presentano una polpa fine e farinosa e hanno di solito dimensioni inferiori rispetto alle patate comuni, una buccia più sottile e un gusto leggermente più dolce. Ricchissime di antiossidanti, si caratterizzano per la buccia e la polpa di colore viola (che può presentare venature), dovuto alla presenza di antocianine, che in alcune varietà tende a colorazioni bluastre.

L'elevato numero di varietà disponibili è anche il risultato dell'ibridazione, una pratica agricola naturale o artificiale che prevede l'incrocio di due o più varietà differenti per ottenerne una sola che conservi le migliori caratteristiche di entrambe. Quella artificiale, nello specifico, mostra quindi una maggiore resistenza alle malattie, una migliore resa e qualità organolettica. Anche i progressi tecnologici e ingegneristici hanno contribuito all'espansione numerica delle cultivar di patate con la produzione di varietà geneticamente modificate (OGM) che rappresentano una nuova frontiera per il futuro dell'agricoltura. Oltre a modificare la resa e ad aumentare la resistenza ai patogeni, permettono di plasmare il profilo nutrizionale migliorando la qualità delle patate, aumentando, ad esempio la concentrazione di vitamina C, carotenoidi e antociani, per ottenere maggiori benefici in termini salutistici. Tuttavia, l'introduzione di patate OGM non è priva di controversie: la questione della sicurezza alimentare, la potenziale perdita di biodiversità e gli effetti sull'ambiente sono temi di dibattito [22].

1.4. Caratteristiche chimiche

Le patate rappresentano un'importante fonte di energia per l'uomo, caratteristica che giustifica il loro largo consumo a livello mondiale; infatti, 100 grammi di tubero a pasta gialla, il più comune, forniscono circa 75 kcal, un valore non elevato poiché l'80% è composto da acqua (Tabella 1). I glucidi costituiscono la seconda componente più abbondante (16-18%), rappresentando così il principale macronutriente da cui deriva l'apporto energetico delle patate; seguono i protidi (2%) ed i lipidi, questi ultimi presenti solamente in tracce (0,1%). Di grande rilevanza è la classe dei micronutrienti che comprende vitamine e minerali, fondamentali perché l'organismo possa svolgere correttamente le sue funzioni, e composti fitochimici.

La composizione nutrizionale delle patate riportata in Tabella 1 può presentare delle variazioni direttamente dipendenti da fattori quali le caratteristiche del suolo e della tecnica agronomica utilizzata, lo stadio di maturazione, la cultivar, il tipo di conservazione e la cottura [16].

Tabella 1. Composizione Chimica Patata a Pasta Gialla, Fonte: CREA (https://www.alimentinutrizione.it/tabelle-nutrizionali/006500)

Etichetta Nutrizionale delle patate	
	Valore per 100g di prodotto
Acqua (g)	80.6
Energia (kcal)	72
Energia (kJ)	303
Proteine (g)	2.0
Lipidi (g)	0.1
Colesterolo (mg)	0
Carboidrati (g)	16.0
Amido (g)	13.5
Zuccheri solubili (g)	1.0
Alcool (g)	0
Fibra totale (g)	1.8
Fibra solubile (g)	0.8
Fibra insolubile (g)	0.96

1.4.1. Glucidi

L'energia fornita dalle patate deriva principalmente dai glucidi, in particolare dall'amido, un carboidrato definito complesso costituito da una miscela di amilosio (polimero di glucosio a catena lineare) e amilopectina (polimero di glucosio a catena ramificata) in un rapporto approssimativo di 1:3. A questa macrocategoria appartengono inoltre i carboidrati semplici, o zuccheri, presenti intorno all'1%, e le fibre (1,8%) (Tabella1). L'amido di patate crudo ha una struttura cristallina in granuli che a temperatura ambiente lo rende quasi totalmente insolubile in acqua e resistente all'idrolisi da parte degli enzimi dell'apparato digerente umano. Attraverso la cottura subisce però la cosiddetta gelatinizzazione, con rigonfiamento dei granuli, che ne aumenta la solubilità in acqua permettendo la scissione in molecole di glucosio semplici, utilizzate dal nostro organismo per la produzione di energia. Questo processo è strettamente collegato al rapporto quantitativo tra i due polimeri dell'amido: specificamente, minore è la percentuale di amilosio, maggiore è la gelatinizzazione, e di conseguenza la facilità della digestione [3].

Da alcuni studi emerge come il rapporto sopra menzionato possa variare tra le differenti cultivar. In particolare, Gumul et al. [23] hanno evidenziato che le varietà di patate colorate presentano dei granuli più grandi e che la loro solubilità in acqua è maggiore rispetto ai granuli delle patate a polpa chiara, soprattutto a temperature più alte. Una parte di amido però non è in grado di essere digerita, per questo viene definita amido resistente, ed insieme alle fibre, le quali sono composte prevalentemente da cellulosa, emicellulosa e pectina, raggiungono inalterate il colon ove vengono degradate dalla flora batterica intestinale [24]. A queste componenti non solubili sono ascritte proprietà benefiche per la salute dell'uomo, dalla regolazione dei livelli di glicemia e di colesterolo, alla motilità del tratto intestinale, all'azione antinfiammatoria locale [24,25].

1.4.2. Protidi

Il quantitativo di proteine nelle patate è abbastanza ridotto e corrisponde a soli 2 g per 100 g di sostanza secca (DW, pari a 1%-1,5% del peso fresco) (Tabella 1) [13], ma la loro composizione in amminoacidi permette di definirle ad alto valore biologico. Questa valutazione viene effettuata misurando la quantità di proteine derivanti da uno specifico alimento che può essere impiegata per sintetizzare proteine nell'organismo "ricevente", utilizzando parametri come il punteggio chimico (CS). Il CS si basa sul profilo degli aminoacidi essenziali (EAA), ovvero quegli aminoacidi che devono essere necessariamente introdotti con la dieta: lisina, treonina, metionina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, triptofano e istidina. Con un valore di CS compreso tra 90 e100, le proteine della patata presentano una composizione di EAA completa se confrontata con quella dell'albume d'uovo, considerato l'alimento di riferimento con un CS pari a 100 [13]. Tra le comuni fonti glucidiche, le patate si differenziano per l'alto tenore di lisina [13,26,27], un EAA importante per l'assorbimento intestinale del calcio, per la sintesi proteica, per il metabolismo degli acidi grassi e per la funzione immunitaria [28]. Tuttavia, nel tubero si trovano in minore quantità gli amminoacidi contenenti zolfo come metionina e cisteina. Le proteine presenti nel tubero sono divise in tre classi: la patatina, gli inibitori della proteasi e altre proteine ad alto peso molecolare [26,29]. La patatina è la principale proteina di riserva e rappresenta il 40% delle proteine solubili del tubero [29]; per alcuni individui può rappresentare un allergene ma il rischio di reazione viene ridotto drasticamente previa cottura [13]. Gli inibitori della proteasi rappresentano il 30-

40% delle proteine totali, sono suddivisi in diverse famiglie e, come suggerisce il loro nome, svolgono azione inibitoria su vari enzimi deputati all'idrolisi di proteine. L'intera famiglia delle proteine è associata a diversi benefici per la salute umana come una minore risposta allergica [30], effetti antimicrobici [31], potenziale antiossidante [29,32], regolazione della pressione sanguigna, controllo del colesterolo nel siero sanguigno [32,33] e comportamento anticancerogeno [34,35]. Il lavoro di Blanco et al. del 1998 [34] ha evidenziato il potenziale antitumorale dell'inibitore della carbossipeptidasi della patata (PCI), un inibitore delle proteasi. Mediante test *in vitro* e su topi con adenocarcinoma umano trapiantato, PCI si è dimostrato essere capace di legare competitivamente il recettore per il fattore di crescita epidermico (EGFR) coinvolto nella genesi e nella progressione della neoplasia pancreatica.

1.4.3. Lipidi

Il contenuto lipidico totale (TL) della patata è di circa lo 0,15%-0,5% del peso fresco (FW) ed è composto principalmente da fosfolipidi (47%) e glicolipidi (22%) che costituiscono i lipidi di membrana, e in misura minore da acidi grassi e trigliceridi (15%) [36,37,38]. Tra i lipidi di membrana il fosfolipide maggiormente espresso è la fosfatidilcolina, rappresentando circa il 30% del totale, a cui seguono la fosfatidiletanolammina, il fosfatidilinositolo e altri minoritari [39]. Mentre, all'interno della famiglia dei glicolipidi, il digalattosildiacilglicerolo è l'elemento più abbondante nelle varie cultivar di patate. Le analisi sugli acidi grassi hanno messo in evidenza l'alta concentrazione di quelli polinsaturi (PUFA) con numero di doppi legami che varia da 1 a 3, tra i quali costituiscono la porzione maggioritaria gli acidi linoleico (49%), linolenico (14%) e palmitico (10%). Dagli acidi α-linolenico e α-linoleico derivano inoltre le ossilipine, acidi grassi ossigenati dall'enzima lipossigenasi, che nella pianta svolgono importanti ruoli come quello antimicrobico e di regolazione dei meccanismi di difesa [39].

1.4.4. Micronutrienti

Le patate contengono una molteplicità di micronutrienti che vengono suddivisi in due grandi categorie: vitamine e minerali. Sono delle sostanze essenziali non coinvolte nella

produzione di energia come i macronutrienti, ma comunque fondamentali per il corretto funzionamento del nostro organismo.

1.4.4.a Vitamine

Le vitamine sono dei composti organici che regolano numerose reazioni metaboliche nel corpo umano, e sulla base delle loro caratteristiche chimiche vengono classificate in idrosolubili (B e C) e liposolubili (A, D, E e K). Le patate costituiscono una fonte di vitamine del gruppo B e in particolare di folati (o vitamina B9, importanti nella sintesi del DNA e dell'RNA) che presenta concentrazioni variabili da 15 a 416 ng/g $_{FW}$ e della tiamina (o vitamina B1, cofattore di molti enzimi) con concentrazioni comprese tra 490-2325ng/g $_{FW}$ [40]. Contengono inoltre uno dei più potenti e conosciuti antiossidanti, la vitamina C o acido ascorbico, la cui carenza provoca lo scorbuto che nei casi gravi è caratterizzato da perdita di denti, macchie epatiche e indebolimento capillare [41, 42, 43]. Le sue funzioni sono collegate alla formazione di collagene, all'assorbimento del ferro, all'immunomodulazione e al mantenimento della normale funzione nervosa. L'acido ascorbico si trova nel tubero in quantità di circa 20 mg/100g $_{FW}$, rappresentando fino al 13% della capacità antiossidante totale [44] ma la sua concentrazione è soggetta a variazioni in seguito, ad esempio, alla conservazione a freddo [45, 46], al taglio [47] e alla cottura. Le vitamine liposolubili nei tuberi di patata non mostrano concentrazioni significative, ma tra tutte quella maggioritaria è la vitamina E (0,01 mg/100 g_{FW} fonte USDA), in particolare il suo isomero α-tocoferolo, la quale svolge un ruolo importante nella prevenzione della perossidazione lipidica, una reazione a catena causata dai radicali liberi dell'ossigeno (ROS), che può portare a danni significativi nella membrana delle cellule [48, 49]. La vitamina K è quasi assente e si trova in concentrazioni approssimative di 2 µg/100 g $_{FW}$ (fonte USDA, https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170026/nutrients), mentre la vitamina A viene misurata in quantità di retinolo equivalente in quanto deriva dai carotenoidi e raggiunge i 3 µg/100 g $_{FW}$ (CREA, https://www.alimentinutrizione.it/tabelle-nutrizionali/006500).

1.4.4.b Minerali

I minerali sono sostanze inorganiche introdotte con alimenti e acqua, fondamentali nel corpo umano per la regolazione dell'equilibrio idrosalino, per la formazione di denti e ossa, per il funzionamento di enzimi e di organi. In base ai livelli di assunzione raccomandati dalla Società Italiana di Nutrizione Umana (SINU), la patata rappresenta una buona fonte di minerali essenziali, tra i quali potassio, rame, fosforo, ferro, zinco, magnesio e manganese. Il tubero contiene infatti una quantità di potassio in un intervallo compreso tra 300 e 800 mg/100 g su peso fresco [44,50], mostrando un contenuto addirittura maggiore rispetto alle banane, nota fonte di questo minerale. Importante è il suo ruolo nella regolazione del ritmo cardiaco e nella contrazione muscolare [50]; inoltre, insieme al sodio il cui contenuto è di circa 8 mg/100 g $_{FW}$, contribuisce a mantenere in equilibrio la pressione sanguigna. Oltre al potassio, nel tubero sono presenti altri minerali fondamentali: il fosforo, il ferro ed il magnesio. Il fosforo è presente in quantità pari a 30–70 mg/100 g $_{FW}$ [50] e svolge un ruolo cruciale nel corpo umano: un apporto inadeguato porta a livelli sierici di fosfato bassi, che provocano perdita di appetito, anemia, perdita di peso, dei muscoli, formicolio alle estremità e difficoltà a camminare [44]. Il ferro è contenuto in concentrazioni variabili da 0,8 a 4 mg/100 g $_{FW}$ [50], e la sua deficienza colpisce un gran numero di persone, tanto da essere stata definita dall'Organizzazione Mondiale della Sanità uno dei problemi di salute più diffusi al mondo. Il magnesio è un altro minerale essenziale nel nostro corpo, contenuto nelle cultivar di patate nell'intervallo compreso tra 142 e 370 μg/g $_{FW}$ [44] e partecipa come cofattore in numerose reazioni, quali ad esempio il normale funzionamento muscolare, la sintesi proteica, il controllo della glicemia e la trasmissione nervosa. La concentrazione di questi micronutrienti è strettamente dipendente non solo dal genotipo ma anche dai contenuti metallici dei terreni di coltivazione e dai di quelli dell'acqua per l'irrigazione [51].

1.4.5. Fitocomposti

Un'altra grande famiglia di molecole contenute nei tuberi di patata è quella dei fitocomposti o fitonutrienti, che comprende polifenoli e carotenoidi, composti chimici naturali che svolgono importanti funzioni per la crescita e la difesa della pianta e anche

diversi effetti benefici sul corpo umano [52,53]. Le patate sono inoltre conosciute per la presenza dei glicoalcaloidi, fitocomposti presenti in quantità minoritarie che possono risultare tossici per l'uomo, motivo per cui vengono definiti anche anti-nutrienti [54].

1.4.5.a Polifenoli

I polifenoli sono composti bioattivi largamente diffusi nel regno vegetale, essenziali per preservare l'integrità della pianta in risposta all'esposizione ambientale. La patata contiene diversi composti fenolici generalmente suddivisi in due grandi famiglie: acidi fenolici e flavonoidi. Il contenuto totale è notevolmente superiore nelle cultivar a polpa colorata rispetto a quelle a polpa bianca e gialla; questa differenza è legata alla presenza degli antociani, un gruppo di composti appartenenti alla famiglia dei flavonoidi, che conferisce il colore caratteristico al tubero [55, 56, 57]. I principali acidi fenolici nelle patate sono l'acido clorogenico e l'acido caffeico, seguiti dagli acidi protocatecuico, p-cumarico, ferulico, vanillico, gallico, acido siringico e dall'acido salicilico [58]. Da alcuni lavori condotti su diverse cultivar di *Solanum Tuberosum* risulta che l'acido clorogenico (CGA) sia il più abbondante rappresentando l'80% degli acidi fenolici totali [41,59], con concentrazioni variabili da 2,06 a 79,91 mg/100 g $_{DW}$, a cui segue l'acido caffeico (da 1,07 a 16,19mg/100g $_{DW}$) [59]. L'importanza attribuita all'acido clorogenico deriva dai numerosi studi che hanno fatto emergere i suoi potenziali effetti nella riduzione del rischio di cancro, malattie cardiache, ictus, Alzheimer e Parkinson [60,61], nel ridurre il rischio di diabete di tipo 2 e nel rallentare l'ingresso del glucosio nel flusso sanguigno [62,63]. La variazione quantitativa degli acidi fenolici è strettamente legata al genotipo, a fattori ambientali come esposizione solare, temperature o l'attacco di agenti patogeni, al metodo di lavorazione post-raccolta (ad esempio la pelatura [64]) ed alla scelta del metodo di cottura [65, 66].

I flavonoidi costituiscono una famiglia variegata di molecole, generalmente legate a zuccheri e distribuite in tutte le parti della pianta. In virtù della loro struttura chimica vengono classificate in flavoni, flavonoli, flavanoni, antocianine e isoflavoni. Nel tubero di patata il principale costituente dei flavonoidi è la catechina, la cui concentrazione è variabile da 43 mg/100 g $_{DW}$ a 157 mg/100 g $_{DW}$ [67], ed in minor misura sono stati identificati anche epicatechina, quercetina, kaempferolo rutinoside e rutina [67,68].

Diversi lavori dimostrano che queste molecole possiedono molteplici effetti benefici per la salute come quello neuroprotettivo [69,70]; determinano inoltre un minore rischio di malattie cardiache [67] e di alcune malattie respiratorie, come l'asma e la bronchite, e un rischio ridotto di alcuni tumori, tra cui il cancro alla prostata e ai polmoni [71,72]. Il colore delle varietà di patate pigmentate è dovuto alla presenza di molecole fenoliche specifiche chiamate antocianine, composte da uno scheletro di antocianidina con sostituenti zuccherini e acilici (acidi p -cumarico o ferulico solitamente), di cui le sei più diffuse sono delfinidina, petunidina, malvidina, cianidina, peonidina e pelargonidina [73]. La loro espressione sembrerebbe essere superiore nelle cultivar a polpa viola rispetto a quelle con polpa rossa, come riportano i risultati dello studio di Jansen et al. condotto su oltre 25 cultivar con buccia e/o polpa colorata [74]. Un gruppo di ricercatori [75] si è occupato di determinare il profilo antocianico in 20 cultivar andine autoctone caratterizzate da quattro differenti colori. È stata identificata come antocianina predominante la petunidina-3-cumaroilrutinoside-5-glucoside nelle varietà viola e la pelargonidina-3-coumaroilrutinoside-5-glucoside nelle varietà rosse [52,75]. La concentrazione totale delle antocianine, e dunque la loro sintesi, è influenzata particolarmente da alcuni fattori come le condizioni ambientali di coltivazione: l'esposizione luminosa e le basse temperatura ne aumentano la produzione, determinando dunque una maggiore pigmentazione del tubero [55]. Anche per questa classe di composti ci sono evidenze scientifiche sul potenziale effetto anticancerogeno [76,77], sugli effetti antiossidanti, ipoglicemizzanti [78] e antinfiammatori. Uno studio crossover di Vinson et al. [79] svolto su 18 soggetti ipertesi sottoposti all'assunzione quotidiana di patate viola, ha dimostrato un rilevante effetto ipotensivo con un calo della pressione diastolica del 4,3% e di quella sistolica del 3,5%. Un lavoro di Kaspar et al. [80] condotto sottoponendo un gruppo di uomini adulti sani al consumo quotidiano di 150g di patate a polpa bianca, gialla e viola per sei settimane, ha provato una diminuzione dell'infiammazione e del danno al DNA in coloro che consumavano patate a polpa gialla e viola rispetto al gruppo che consumava quelle a polpa bianca.
Le antocianine contribuiscono a ridurre inoltre la sindrome infiammatoria e varie altre malattie croniche del tratto intestinale [81,82], riducono i livelli di proteina C-reattiva ad alta sensibilità nel plasma e aumentano significativamente la riparazione delle ferite nelle cellule epiteliali intestinali [83].

1.4.5.b Carotenoidi

I carotenoidi sono pigmenti vegetali di natura lipidica con le funzioni di assorbire l'energia luminosa per utilizzarla nella fotosintesi e quella di proteggere l'organismo per resistere allo stress foto-ossidativo. Non vengono biosintetizzati nelle cellule umane pertanto, essendo fondamentali, devono essere integrati nella dieta. Data la loro struttura chimica vengono suddivisi in due classi ovvero xantofille e caroteni: la prima è la più abbondante ed è caratterizzata dalla presenza di ossigeno nelle molecole, la seconda è composta da idrocarburi puri; entrambe si accumulano nei tuberi di patata conferendogli un tipico colore giallo-arancione. In letteratura i dati sul contenuto totale dei carotenoidi (TC) delle patate variano da 50 a 100 µg per 100 g di peso fresco (FW) nelle varietà a polpa bianca, fino a raggiungere i 2000 µg per 100 g_{FW} nelle cultivar a polpa gialla intensa o arancione [68]. La valutazione del TC in varie cultivar di patate è stata oggetto di studio in diversi lavori, tra i quali vi è quello di Hamouz et al. [84] che ha confrontato undici cultivar a polpa bianca, rossa e viola con una a polpa gialla. I dati ottenuti hanno messo in evidenza che quelle con polpa gialla contenevano un quantitativo di carotenoidi nettamente superiore rispetto alle altre, con concentrazioni da 2 a 12 volte superiori [84]. Hamouz et al. hanno inoltre studiato i livelli individuali dei singoli carotenoidi nelle cultivar e la luteina è stata identificata come la molecola maggiormente espressa in tutte le dodici varietà con concentrazioni da 0,62 mg/kg_{DW} a 4,66 mg/kg_{DW}, a cui seguono quantità variabili di violaxantina, neoxantina, zeaxantina e β-carotene [55, 84, 85]. La famiglia dei carotenoidi è comunemente conosciuta per avere attività provitamina A e quindi ridurre il rischio di diverse malattie, tra cui la degenerazione maculare legata all'età e l'insorgenza di cataratta [86,87,88]. È inoltre coinvolta nella modulazione del sistema immunitario, nella differenziazione cellulare e nella salute della pelle [41,89,90].

1.4.5.c Glicoalcaloidi

I glicoalcaloidi (GA) sono dei composti chimici naturali la cui presenza contraddistingue diverse piante della famiglia delle Solanacee, tra cui anche le patate. Sono costituite da una struttura steroidea a cui è legata una porzione zuccherina (glico-) e una porzione alcaloidea e giocano un ruolo importante per le piante in quanto costituiscono una difesa contro parassiti e patogeni. Nelle patate la distribuzione dei glicoalcaloidi non è uniforme:

sono particolarmente presenti nella buccia e il quantitativo dipende da diversi fattori [91,92]. Il genotipo delle singole cultivar rappresenta uno di quelli maggiormente influenti sul contenuto totale di glicoalcaloidi (TGA); ma anche il luogo di coltivazione ha una forte rilevanza sul TGA, in particolare incidono le condizioni climatiche a cui le patate sono esposte e il tipo di terreno in cui vengono coltivate. A tal proposito si cita un lavoro di Hamouz et al. [93] che hanno analizzato 14 cultivar coltivate in due siti differenti per tre anni consecutivi. I dati hanno dimostrato che i livelli più elevati di TGA sono stati individuati nei tuberi coltivati nel sito che presentava clima più caldo e più secco [94]. Infine, alcuni studi hanno dimostrato che anche la conservazione post-raccolta dei tuberi rappresenta un fattore importante per la concentrazione dei glicoalcaloidi: lo stoccaggio per periodi prolungati (oltre 14 giorni) ha determinato notevoli aumenti di GA, raggiungendo valori particolarmente elevati in condizioni di continua esposizione alla luce rispetto allo stoccaggio in stanze buie e con temperature < 6°C [94].

Sono stati identificati oltre 80 diversi steroidi glicoalcaloidei nelle varie specie, ma quelli più abbondanti nelle patate sono la solanina e la caconina, entrambi trisaccaridi del comune aglicone solanidina, la cui ingestione può rappresentare per l'uomo un rischio per la salute [95]. La concentrazione dei TGA nelle cultivar commercialmente coltivate è compresa tra 1,1 e 3,5 mg/kg $_{FW}$, ma può raggiungere e superare i 400 mg/kg $_{FW}$ [96]. Il livello minimo a cui si manifestano gli effetti tossici, con sintomi gastrointestinali quali nausea, vomito e diarrea, è pari a 1mg di GA per kg di peso corporeo, come indicato dal gruppo di esperti scientifici dell'EFSA sui contaminanti nella catena alimentare (CONTAM) [97]. Nell'Unione Europea non sono stati stabiliti dei livelli massimi di GA negli alimenti, ciò nonostante, alcuni Paesi dell'UE raccomandano un'assunzione di GA non oltre i 100 mg/kg $_{FW}$ di tubero [97]. Considerato che i glicoalcaloidi sono prevalentemente concentrati nella buccia, una strategia per minimizzare il loro contenuto nelle patate ed evitare pericolose conseguenze salutari è la pelatura, che comporta una riduzione variabile dal 25% al 75%, dipendentemente dalla profondità e dalla tecnica di pelatura utilizzata (coltello, pelatrici) [98].

1.5. Metodi di Cottura

La cottura è spesso indispensabile nella preparazione degli alimenti non solo per esaltarne i sapori, ma anche per modificarne la consistenza, migliorarne il valore nutritivo e garantirne la sicurezza alimentare. Gli effetti della cottura delle patate sono stati approfonditamente studiati in letteratura e dipendono dal metodo di cottura scelto e dalla componente nutritiva presa in esame; tuttavia, i dati sono spesso tra loro discordanti e non permettono di individuare univocamente gli effetti dei singoli trattamenti, in quanto ognuno causa variazioni differenti delle proprietà chimico-fisiche [99]. Tra i metodi più comuni vi sono la bollitura, la cottura al forno, al vapore, nel forno a microonde, la frittura tradizionale e quella ad aria, tecnica, quest'ultima, che si sta diffondendo negli ultimi anni in quanto permette di ottenere cibi simili a quelli fritti ma con un quantitativo di olio decisamente minore (o addirittura nullo), rappresentando così un'alternativa molto più salutare.

1.5.1 Effetti sui macronutrienti

Carboidrati, proteine e, in maniera minore, i lipidi subiscono delle alterazioni in seguito alla cottura che si rivelano fondamentali per migliorare la disponibilità energetica e la digestione. Per quanto riguarda i glucidi, il trattamento termico promuove la gelatinizzazione della frazione solubile di amido, il quale crudo non risulterebbe digeribile, aumentando dunque la sua disponibilità. Da diversi lavori pubblicati in letteratura emerge inoltre che i vari metodi di cottura provocano un calo della quantità totale di amido (TS), in misura variabile a seconda del metodo usato e dei tempi e temperature utilizzati. Nello studio di Yang et al. [100] sono state analizzate quattro cultivar di patate cotte con le tecniche di bollitura, forno e microonde, ed è stato dimostrato che i vari metodi hanno indotto una variazione della consistenza delle patate (dipendente dal diverso grado di gelatinizzazione, dalla rottura della barriera cellulare e altri fattori) che ha causato un cambiamento del profilo amidaceo su tutte le cultivar: si è riscontrato infatti un significativo calo di amido resistente (RS) rispetto alla matrice cruda, approssimativamente del 95% [100], mentre, rispetto al tubero crudo, TS è risultato leggermente ridotto. In particolare, la diminuzione è stata osservata in tutte le quattro cultivar per quanto riguarda la cottura al forno e quella nel forno a microonde, mentre la bollitura ha causato una diminuzione più significativa in sole due cultivar. Ikanone et al.

[101] hanno invece analizzato gli effetti della bollitura e della frittura in olio su tuberi tagliati, osservando una diminuzione pari al 2% per la bollitura e al 2,7% per la frittura rispetto alla matrice cruda; pertanto, la perdita di carboidrati è molto limitata.

In merito alla componente proteica, la cottura consente un miglioramento della digeribilità poiché le proteine, quando sottoposte al calore, subiscono denaturazione della loro struttura complessa. È stato dimostrato che il contenuto proteico nelle patate cotte non subisce variazioni, ma addirittura aumenta dopo la cottura al forno e, soprattutto, dopo la frittura, effetto che però può essere ricondotto all'evaporazione dell'acqua e ad un maggiore contenuto di sostanza secca [102]. Questa ipotesi è stata confermata da un recente studio di Baley et al. [103] che hanno analizzato l'impatto dei metodi di cottura al forno, bollitura, microonde e frittura (per quest'ultima sono state valutati tempi di cottura differenti), sulle proteine di una varietà di patata a polpa bianca. Il contenuto proteico dopo la bollitura era rimasto invariato, mentre aumentava significativamente con la cottura nel forno a microonde, al forno e la frittura, tecniche per l'appunto che portano all'evaporazione di acqua, confermando che il tenore di proteine è tempo-dipendente.

Per quanto riguarda l'effetto della cottura sui lipidi, gli studi in letteratura non sono numerosi; tuttavia, è stato evidenziato che la quantità di grassi nelle patate dopo la frittura in olio aumenti notevolmente fino a raggiungere e superare i 35 g/100 g_{FW} di patata [104, 105]. Durante questo processo le patate assorbono l'olio di cottura in maniera tempo-temperatura dipendente, ma è determinante anche il tipo di olio utilizzato. Lo studio di Kita et al. [106] ha determinato gli effetti dell'uso di diversi oli e dei tempi di frittura a temperature differenti (150,170,190 °C) su patate tagliate a fettine: i dati ottenuti hanno mostrato che la quantità di grasso nel prodotto finale era maggiore per temperature di cottura più alte e l'assorbimento più significativo è stato ottenuto in seguito all'uso di olio di oliva, con l'aumento del 41%. A causa di questi notevoli quantitativi l'uso frequente della frittura è stato associato ad un maggior rischio di obesità, diabete e malattie cardiache; per questo motivo le varie linee guida dietetiche raccomandano di prediligere altri metodi di cottura. La frittura ad aria costituisce un'ottima alternativa, come dimostrato dal recente studio di Fang et al. [107] condotto su tre cultivar di Solanum Tuberosum. Il gruppo di ricerca ha infatti messo in evidenza che con questa tecnica solo un sottile strato di olio ricopre la superficie delle patate, probabilmente a causa dell'azione

dell'aria calda che provoca la formazione di una crosta più dura, provocando così dei cambiamenti strutturali che inibiscono la penetrazione dell'olio nel cibo.

1.5.2. Effetti sui micronutrienti

Gli studi scientifici si sono inoltre concentrati sulla valutazione dell'impatto dei metodi di cottura sui micronutrienti e in particolare sull'acido ascorbico, la vitamina più abbondante nei tuberi. Avendo caratteristiche di idrosolubilità e termoinstabilità ci si aspetta che possa essere facilmente ossidata in acido deidroascorbico durante la cottura, in particolare con la bollitura, processo in cui si verifica la lisciviazione. Diversi studi in letteratura ne danno conferma, tra cui quello di Thomas et al. [108], i quali hanno riferito che il contenuto di vitamina C nelle patate di diverse varietà è diminuito in modo significativo dopo la frittura e la bollitura, con concentrazioni tra il 12 e il 51% dopo la frittura e tra il 57 e il 91% dopo la bollitura. Controcorrente è il lavoro di Navarre et al. [109], in cui tre cultivar di patate novelle intere sono state sottoposte a bollitura (18'), cottura al forno (375°C per 30'), cottura in padella con olio (18'), al vapore (15') e al microonde (2'30" a 1.100 watt) utilizzando condizioni ottimizzate dopo vari test per evitare una cottura eccessiva. È stato provato in questo modo un aumento generale del contenuto finale di acido ascorbico con tutti i metodi di cottura e per tutti i campioni. Nello specifico la cottura al forno ha causato un incremento del 20% in tutte le cultivar analizzate. Il gruppo di ricercatori ha inoltre sottoposto una delle cultivar a ulteriore cottura in microonde per 2' e al forno per altri 15': mentre la cottura in microonde non ha provocato variazioni nel contenuto di vitamina C, quella al forno ha causato una diminuzione del 36%. Questo studio prova che la differenza nella stabilità della vitamina C che emerge tra i numerosi lavori scientifici, è sicuramente correlabile alle condizioni in cui vengono cucinate le patate come la durata della cottura, la temperatura, l'utilizzo di patate intere o tagliate.
Per quanto riguarda i minerali, si riporta un lavoro di Bethke et al. [110] che hanno utilizzato sei cultivar sbucciate e tagliate in cubetti per determinare gli effetti della lisciviazione e della bollitura sui livelli di potassio e altri minerali nei tuberi di patata. La sola lisciviazione per una notte in acqua distillata fredda non aveva provocato significative perdite di minerali. I campioni sono stati successivamente cotti con bollitura

sia come tali sia dopo lisciviazione e i risultati hanno dimostrato un calo del contenuto pari al 75% e 50% rispettivamente per le due analisi.

1.5.3. Effetti sui fitocomposti

In letteratura i dati relativi all'effetto della cottura sui fitonutrienti sono discordanti: da alcuni lavori emerge un incremento della concentrazione, probabilmente come conseguenza di una alterazione della matrice del tubero che ne facilita l'estrazione, ma più numerosi sono quelli che ne dimostrano un calo dopo cottura. Tra i primi possiamo citare quello di Navarre et al.[109] menzionato pocanzi a proposito del lavoro sulla variazione della vitamina C. Nello stesso studio le tre cultivar di patate novelle sono state analizzate dopo cottura per valutare il cambiamento quantitativo dei fenoli totali (TP), dimostrando un importante aumento per tutti i metodi e le cultivar esaminate. Spiccano prevalentemente le cotture al forno e al vapore che hanno mostrato valori di TP oltre il 60% superiori rispetto alla concentrazione iniziale. Al contrario, nello studio di Perla et al. [111] i risultati sui TP ottenuti dalla bollitura, dalla cottura al microonde e da quella al forno di 14 cultivar di patate, hanno dimostrato una riduzione del 44%, 52% e 53% rispettivamente per ciascun metodo. Queste variazioni sono estremamente significative, ma potrebbero essere dovute ai trattamenti termici più prolungati a cui sono state sottoposte le patate, che ne hanno dunque causato la degradazione: un'ora per la bollitura, 20' per la cottura in microonde, un'ora per quella in forno a 200°C.
Gli studi hanno valutato inoltre la componente antocianica, conosciuta per il forte potere antiossidante, che mostra caratteristiche di idrosolubilità e termoinstabilità; pertanto, potrebbe essere altamente influenzata dai metodi di cottura domestici. Lachman et al. [112] hanno valutato varie cultivar con polpa viola e rossa che sono state cotte intere con i metodi a vapore e bollitura per 15', mentre sono state tagliate a metà per la cottura in forno, eseguita a 180°C per 40', e quella al microonde, a 900W per 9'. Il contenuto totale di antociani (TAC) dopo la cottura (prevalentemente con la bollitura) ha mostrato un notevole aumento rispetto al tubero fresco, e l'incremento maggiore di circa undici volte è stato rilevato per le cultivar che mostravano TAC più bassi da crude. Nel lavoro di Tian et al. [113] sono stati confrontati diversi metodi di cottura compresa la frittura, su una varietà a polpa viola, ma i risultati ottenuti sono contrapposti a quelli di Lachman et al. [112], infatti sono state registrate perdite significative del TAC rispetto alla matrice cruda.

Per la bollitura (20'), la cottura a vapore (15'), la cottura al forno (30' a 210°C) e al microonde (6' a 1000W), sono stati utilizzati tuberi interi; mentre le patate sono state tagliate per la cottura con friggitrice (2' a190°C), frittura ad aria (18' a 180°C) e la frittura in padella (3' a 160°C). Le perdite maggiori sono state osservate dopo le varie fritture e più precisamente ammontano al 57% per quella in friggitrice, 44% per quella ad aria e addirittura al 83% per quella in padella. In misura minore anche le altre tecniche hanno mostrato una riduzione del TAC, e la cottura al vapore ha rappresentato quella meno significativa (7%).

Per quanto riguarda i glicolalcaloidi, essendo distribuiti prevalentemente nella buccia dei tuberi, anche solo con la pelatura subiscono una importante riduzione, ma alcuni lavori affermano che i trattamenti termici contribuiscono alla loro parziale eliminazione. Lachman et al. [114] hanno studiato l'impatto della pelatura e di tre metodi di cottura (bollitura con tuberi sbucciati; cottura al forno e al microonde con tuberi non sbucciati) su cultivar differenti. La pelatura si è rivelata un metodo molto efficace per diminuire la concentrazione dei GA, con una riduzione del 44% per l'α-solanina, 31% per l'α-caconina; questi dati si allineano a quelli di Tajner-Czopek [115] e di altri studi. Dopo il processo di pelatura, Lachman et al. [114] hanno valutato anche l'effetto della bollitura sullo stesso campione dimostrando un'ulteriore riduzione dei livelli di GA del 26%. Simile effetto è stato evidenziato anche per i tuberi cotti con la buccia al forno e al microonde, che hanno mostrato una perdita di GA pari al 49% con la cottura al forno e pari al 51% con la cottura in microonde.

2. Obiettivo della tesi

La pandemia Covid-19 ha avuto un forte impatto sulla vita delle persone determinando un rilevante cambiamento positivo nelle abitudini degli italiani. Come emerge dall'indagine Nomisma del 2021, sempre più numerosi sono gli italiani che rivolgono maggiore interesse alla propria salute e che associano le scelte nutrizionali al mantenimento del proprio benessere. Le scelte alimentari, dunque, si fanno sempre più consapevoli e si pone maggiore attenzione alla qualità dei cibi e alla loro lavorazione, prediligendo il consumo di prodotti freschi e biologici. Tra questi trovano spazio gli ortaggi e i frutti colorati come le bacche di goji e acai, il cavolo, le patate viola e altri, considerati ormai "superfood" per la loro spiccata azione antiossidante. In questo contesto si inseriscono le patate a polpa e buccia colorata per le quali negli ultimi anni, seppur rappresentando ancora un prodotto di nicchia, si è registrato un aumento nei consumi. Infatti, sebbene le patate costituiscano la quarta coltura più consumata al mondo, le varietà pigmentate rappresentano solo una piccola parte della produzione pataticola mondiale. Anche dal punto di vista scientifico, gli studi relativi alla composizione nutrizionale dei tuberi a polpa colorata sono molto scarsi. Anche gli effetti della cottura sul profilo nutrizionale non sono stati sufficientemente approfonditi, e i dati attualmente disponibili in letteratura si dimostrano essere piuttosto discordanti.
Questo lavoro di tesi, che si inserisce in un più ampio lavoro di ricerca, si pone quindi l'obiettivo di determinare la composizione della componente fitochimica di alcune cultivar di patate colorate, e di valutare l'impatto delle principali tecniche di cottura sulla loro composizione.

3. Materiali e Metodi

3.1. Cultivar Analizzate

In questo lavoro di tesi oggetto di studio sono state due cultivar di patate colorate e una cultivar a polpa gialla gentilmente offerte da un'azienda di produzione pataticola sarda. Nello specifico sono state analizzate una varietà di patata a polpa viola tipica di Scano di Montiferro "Patata 'e Moru", una a polpa rossa "Magenta Love" e una cultivar a polpa gialla "Musica", quest'ultima utilizzata come riferimento. I tuberi analizzati sono stati raccolti nel momento in cui il produttore le ha ritenute idonee alla commercializzazione.

3.2. Metodi di cottura

Dopo la raccolta, le patate sono state selezionate in base a peso e dimensioni simili e portate in laboratorio dove sono state conservate a temperatura ambiente e al riparo dalla luce. Ciascuna cultivar è stata suddivisa in due aliquote: una è stata destinata all'analisi senza alcuna trasformazione (patate crude), mentre la seconda è stata sottoposta a cottura. I tuberi crudi sono stati tagliati longitudinalmente al fine di ottenere fette dello spessore di 2 mm, che sono state congelate con azoto liquido immediatamente dopo il taglio. Questi campioni crudi sono stati analizzati sia con la buccia e indicati come "crudo non pelato", sia senza buccia e indicati come "crudo pelato". Per i campioni cotti sono stati scelti quattro tra i metodi di cottura tradizionali più comuni ovvero bollitura, microonde, cottura al forno e frittura. Per la bollitura e la frittura le patate fresche sono state sbucciate con un pelapatate da cucina ottenendo bucce spesse 1 mm, il cui peso fresco variava dal 10 al 15% del peso totale e sono state cucinate rispettando le seguenti condizioni:

- Bollitura: le patate sono state sbucciate e cotte in 800 mL di acqua per 15 minuti dopo che l'acqua ha iniziato a bollire; i campioni sono stati indicati come "bollito".
- Frittura: le patate sono state sbucciate e tagliate a cubetti uniformi, in seguito sono state poste in una friggitrice domestica contenente 2 L di olio di arachidi a 170 °C per 2 minuti; i campioni sono stati indicati come "fritto".

Per i metodi di cottura al forno e al microonde, le patate sono state cotte senza pelatura.

- Microonde: le patate non sbucciate sono state tagliate in piccoli cubetti di dimensioni uniformi e cotte in forno a microonde per 10 minuti a 800 W; i campioni sono stati indicati come "microonde".
- Al forno: le patate non sbucciate sono state tagliate in piccoli cubetti di dimensioni uniformi e cotte in un forno ad aria calda per 45 minuti a 180 °C; i campioni sono stati indicati come "al forno".

Dopo la cottura tutti i campioni sono stati liofilizzati e destinati alle analisi chimiche.

3.3. Reagenti e standards

L'acetonitrile di grado HPLC è stato acquistato da Sigma Aldrich (Merck, Milano, Italia). L'acido ortofosforico (ACS ISO, per analisi, 85%) ed etanolo (ACS-Reag. Ph. Eur.) sono stati acquistati da Carlo Erba Reagents S.r.l (Milano, Italia). L'acqua è stata distillata e filtrata attraverso il sistema di depurazione dell'acqua Milli-Q (Millipore, Merck, Milano, Italia). Gli standards analitici di malvidina-3-O-glucoside, cianidina, acido ascorbico, acido clorogenico, α-solanina e α-caconina sono stati acquistati da Sigma Aldrich (Merck, Milano, Italia). Sono state inoltre utilizzate delle colonne C18 SPE (500 mg/ 3 mL, Supelco, Bellefonte, PA, USA).

3.4. Determinazione del Contenuto Totale di Antociani

Il contenuto totale di antociani (TAC) è stato determinato utilizzando un protocollo spettrofotometrico a pH differenziale come riportato da Giusti e Wrolstad [116] che permette di determinare il contenuto totale di antociani monomerici sulla base di cambiamenti strutturali reversibili nel cromoforo antocianico tra pH 1.0 e pH 4.5. La concentrazione totale degli antociani viene calcolata misurando la differenza nell'assorbanza a 520 nm dei pigmenti presenti nelle due soluzioni tampone a pH 1.0 e pH 4.5, ed è direttamente proporzionale a questo valore. Per condurre questa analisi, i tuberi freschi sono prima stati tagliati in piccoli pezzi e omogeneizzati attraverso un normale frullatore domestico per tre minuti, e successivamente estratti con una soluzione etanolica al 70%. Dopo 12 ore, l'estratto alcolico è stato separato per filtrazione. Questa

soluzione è stata divisa in due aliquote uguali: la prima è stata miscelata con una soluzione tampone di cloruro di potassio fino ad ottenere pH=1, e la seconda è stata miscelata con una soluzione tampone di acetato di sodio per ottenere un pH=4,5. Le soluzioni sono state centrifugate a 4000rpm per eliminare la torbidità, e successivamente è stata registrata l'assorbanza di queste soluzioni a 520nm usando il solvente come bianco.
Il contenuto totale di antociani, espresso come mg di cianidina equivalente/kg di sostanza secca (DM= dry matter), è stato calcolato usando l'equazione:

$$TAC = [(A1 - A2) \times MW_{Cyan} \times DF] / W$$

dove A1 è l'assorbanza in soluzione tampone di cloruro di potassio (pH 1), A2 è l'assorbanza in soluzione tampone di acetato di sodio (pH 4,5), MW è il peso molecolare della cianidina, DF è il fattore di diluizione e W il peso del campione.

3.5. Determinazione dei Singoli Antociani e dell'Acido Clorogenico

L'estrazione e la determinazione quantitativa dei singoli antociani e dell'acido clorogenico sono state svolte con il metodo sviluppato da Sarais et al. [117]. In breve, un'aliquota di campioni finemente polverizzati è stata estratta con una soluzione acquosa di metanolo al 70% utilizzando un sistema ultrasonico per 60 minuti (Ultracleaner 040S, be-Right (Medical) Co., LTD, Foshan, China), avendo cura di mantenere la temperatura al di sotto dei 25°C per evitare la degradazione dei polifenoli. Successivamente i campioni sono stati centrifugati a 4000 rpm, e i surnatanti, dopo diluizione con acido fosforico 0.22 M, sono stati utilizzati per determinare il contenuto di antociani e acido clorogenico. Per sviluppare questo metodo cromatografico è stato impiegato un HPLC Agilent 1100 costituito da una pompa quaternaria (G1311A), un autocampionatore (G1313A), un compartimento della colonna termostatato (G1416A), un degasatore (G1322A), e un rilevatore DAD UV 6000 (Thermo Finnigan, Milan, Italy). L'analisi è stata condotta usando una colonna Kinetex (5u, C18, 100A; Phenomenex, Torrance, CA, USA), e come fase mobile l'acetonitrile (A) e H_2O con 0.22 M di acido fosforico (B). La separazione cromatografica è stata ottenuta seguendo il seguente programma che prevedeva un gradiente lineare con flusso 0.4 mL/min: 0-30 min dal 5 al 10% (A); 30-35 min dal 10 al 15% (A); 35-70 min dal 15 al 30% (A); 70-100 min dal 30% al 90% (A), fino al 100%

(A) fino a 120 min. Al termine di ciascuna corsa cromatografica, la colonna è stata riequilibrata mantenendola per 20 minuti nelle condizioni iniziali.
L'identificazione dei principali polifenoli è stata effettuata settando il detector alla lunghezza d'onda di 280 nm per l'acido clorogenico e 520 nm per gli antociani.

3.6. Determinazione dell'Acido Ascorbico (Vitamina C)

Per la determinazione dell'acido ascorbico una porzione di 1 g di patate finemente polverizzate è stata pesata ed è stata estratta due volte con 10 mL di acqua distillata utilizzando un sistema ultrasonico per 15 minuti (Ultracleaner 040S, be-Right (Medical) Co., LTD, Foshan, China). Dopo il primo ciclo di estrazione con 10mL di acqua distillata, il campione viene separato e si ripete l'estrazione aggiungendo altri 10 mL di acqua distillata alla stessa porzione solida. I surnatanti sono stati riuniti e successivamente fatti evaporare sottovuoto. I residui ottenuti sono stati risospesi in una soluzione acquosa di acido fosforico 0.22 M. Prima dell'iniezione nell' HPLC-DAD la soluzione è stata filtrata attraverso un filtro di nylon da 0,45 μm (Millipore). La separazione cromatografica per l'analisi quali-quantitativa dell'acido ascorbico è stata eseguita secondo il metodo descritto per gli antociani e l'acido clorogenico [117], e la rilevazione è stata effettuata a 254 nm, la lunghezza d'onda di massima assorbanza per l'acido ascorbico. I risultati ottenuti per la concentrazione di acido ascorbico sono stati espressi come mg/kg del peso secco. Tutte le analisi sono state eseguite in triplicato ed è stata calcolata la deviazione standard per tutti i dati.

3.7. Determinazione dei Glicoalcaloidi: α-Caconina e α-Solanina

L'estrazione dei glicoalcaloidi è stata eseguita utilizzando il metodo sviluppato da Bodart et al. [118] opportunamente modificato. I campioni finemente polverizzati sono stati estratti tre volte con una miscela bollente di metanolo e cloroformio (95:5, v/v) per 15 minuti sotto agitazione continua. Dopo l'estrazione la soluzione è stata trasferita su una colonna Kinetex C18 SPE precedentemente attivata e condizionata con 3 mL di metanolo. I due analiti, α-solanina e α-caconina, sono state eluiti con 3 mL di una soluzione acquosa di acetonitrile al 70% e successivamente iniettati nell'HPLC-DAD. La separazione dei due glicoalcaloidi è stata ottenuta mediante un gradiente lineare in cui il flusso è tenuto

costante a 0.4 mL/min: 0-10 min dal 25% al 30% (A); 10-20 min dal 30% al 35% (A). Al termine dell'analisi è seguito un tempo di ricondizionamento (post-time) di 5 min. Una volta separati gli analiti, si è proceduto con la rilevazione a 205 nm e i risultati sono stati espressi come mg/kg di peso secco per entrambi i glicoalcaloidi. Le analisi sono state eseguite in triplicato ed è stata calcolata la deviazione standard per tutti i dati.

3.8. Preparazione degli Standards e delle Curve di Calibrazione

Le soluzioni madre dei singoli standards sono state preparate sciogliendo 10 mg di ogni composto in 10 mL di metanolo per ottenere una concentrazione finale di 1000 mg/L. Successivamente sono state create due curve di calibrazione: la prima è stata impiegata per quantificare gli antociani, l'acido clorogenico e l'acido ascorbico, la seconda per la quantificazione dei glicoalcaloidi. Nello specifico, le soluzioni standard di lavoro sono state preparate facendo una serie di diluizioni delle due soluzioni standard madre. Volumi noti di ogni soluzione madre sono stati trasferiti nei matracci tarati e portati a volume aggiungendo una soluzione acquosa di acido fosforico 0.22 M, per ottenere soluzioni di riferimento nell'intervallo 0.02-20 mg/L. Tutte le soluzioni standard sono state conservate al buio a -20°C fino all'utilizzo. La determinazione quantitativa è stata effettuata seguendo il metodo dello standard esterno alla lunghezza d'onda di massima assorbanza per tutti gli analiti. Le curve sono state registrate mettendo in relazione le concentrazioni nominali degli analiti e l'area del picco. A causa della mancanza di standards, le concentrazioni degli antociani sono state calcolate usando la malvidina 3-O-glucoside come riferimento e sono state espresse come suo equivalente. Tutte le analisi sono state eseguite in triplicato e il risultato è stato espresso come valore medio (n=3) ± la deviazione standard.

4. Risultati e Discussioni

I consumatori pongono sempre più attenzione ad uno stile di vita sano e alla scelta di fonti alimentari di qualità; infatti, i cibi arricchiti in noti composti fitochimici salutari sono oggi particolarmente apprezzati. Un esempio rappresentativo è dato dalle patate colorate nelle quali la presenza di vitamine, minerali, acidi fenolici ed antociani, che svolgono un ruolo importante sulla salute umana, contribuisce a considerarle come "cibo funzionale" [119,120]. Le scelte alimentari dei consumatori hanno influenzato lo scenario produttivo degli ultimi anni, determinando un aumento dell'interesse e delle risorse investite da parte dei produttori per le coltivazioni di patate colorate. Questo incremento della richiesta e, dunque, della produzione, non è accompagnato da un corrispondente aumento degli studi su queste cultivar e sulla loro composizione nutrizionale: ad oggi, infatti, i lavori scientifici a riguardo sono ancora pochi. È proprio in questo contesto che si inserisce il presente lavoro di tesi con il quale si intende dare un contributo allo studio delle varietà a polpa colorata approfondendo le conoscenze sulla composizione fitochimica. Con il fine di evidenziare le loro peculiarità e rinforzare la loro posizione nel mercato, la ricerca si è improntata sullo studio di due cultivar pigmentate coltivate in Sardegna i cui dati sono stati confrontati con quelli di una varietà a polpa gialla della quale sono ormai ben note le proprietà nutrizionali e gli importanti benefici legati loro consumo.

La caratterizzazione chimica della frazione fenolica è stata realizzata attraverso l'impiego di un cromatografo liquido accoppiato a un detector a serie di diodi che ha permesso l'identificazione e la quantificazione dei principali polifenoli presenti negli estratti idroalcolici analizzati. Dai dati riportati nella Tabella 2, si evince che i composti fenolici più abbondanti appartenevano alla classe degli acidi fenolici in particolare l'acido clorogenico (CGA), noto anche con il nome di acido 3-caffeilchinico, e i suoi derivati.

Il contenuto di CGA variava notevolmente tra le varietà analizzate (Tabella 2) e le cultivar pigmentate hanno mostrato concentrazioni notevolmente superiori rispetto alla cultivar di riferimento a polpa gialla. In particolare, tra i campioni interi (crudo non pelato), Magenta Love è risultata quella più ricca di CGA con valori pari a 3724,8 ± 152,5 mg/kg $_{DW}$, seguita da Patata 'e Moru con 1685,6 ± 57,9 mg/kg $_{DW}$. La varietà a polpa gialla, Musica, mostrava invece un contenuto di CGA pari a 81,1 ± 4,3 mg/kg $_{DW}$. Questa significativa differenza può essere giustificata con i risultati riportati nel lavoro di Rommens et al. [121], nel quale viene evidenziata una diversa espressione del fattore di trascrizione

R2R3-MYB che codifica per la sintesi di antociani e CGA che risulta meno espresso nelle cultivar non colorate.

Dal confronto dei risultati dei campioni interi non sbucciati e quelli sbucciati si può notare che la pelatura ha determinato una riduzione considerevole del contenuto di CGA per le cultivar a polpa colorata, con i campioni sbucciati che mostravano una concentrazione inferiore del 30% rispetto ai primi. Questi dati sono in accordo con i risultati ottenuti da de Andrade Lima et al. [122] che ha valutato l'estrazione dei polifenoli dalla polpa e dalla buccia delle patate mediante CO2 supercritica. Nella varietà Musica invece non sono state rilavate variazioni significative di CGA tra i tuberi pelati e non pelati, suggerendo che la quantità di CGA determinata era contenuta prevalentemente nella polpa (Tabella 2).

I risultati ottenuti dalle analisi condotte sui campioni sottoposti a cottura evidenziano che il contenuto di CGA aumenta in tutte e tre le cultivar anche se in maniera differente per i quattro metodi di cottura (Tabella 2), con incrementi particolarmente significativi per Magenta Love e Patata 'e Moru. Tra i vari metodi di cottura, il forno a microonde è quello che ha determinato l'aumento maggiore di CGA in tutte le varietà, raggiungendo valori da 4 a 7 volte più concentrati (Tabella 2). La frittura, invece, ha determinato una diminuzione del contenuto di CGA per le cultivar colorate, con una notevole riduzione in Patata 'e Moru pari al 20%. I campioni di Musica dopo la frittura hanno invece mostrato un comportamento opposto alle altre cultivar. Questi risultati sono in accordo con i dati di Furrer et al. [123] in cui è stata riportata una riduzione media del 35% delle diverse frazioni di CGA (3-CQA, 4-CQA e 5-CQA) dopo la frittura.

Tabella 2. Contenuto di acido clorogenico e isomeri (CGA) nelle patate crude e cotte espresso come mg/kg di sostanza secca (DM). I valori sono espressi come medie ± deviazione standard (SD) (n = 3).

Campioni	Varietà		
	Musica	Magenta Love	Patata 'e Moru
Crudo non pelato	81.1 ± 4.3 [(a)]	3724.8 ± 152.5 [(b)]	1685.6 ± 57.9 [(c)]
Crudo pelato	83.5 ± 12.2 [(a)]	2615.6 ± 198.6 [(b)]	1059.9 ± 31.2 [(c)]
Bollito	15.2 ± 1.9 [(a)]	8074.8 ± 221.5 [(b)]	2119.8 ± 14.2 [(e)]
Microonde	595.7 ± 16.4 [(a)]	13,530.3 ± 315.6 [(b)]	5785.7 ± 66.4 [(e)]
Al forno	121.7 ± 18.9 [(a)]	3668.8 ± 88.7 [(b)]	1594.3 ± 109.7 [(e)]
Fritto	226.3 ± 21.2 [(a)]	2776.1 ± 51.8 [(b)]	865.0 ± 11.2 [(c)]

* Le medie indicate dalla stessa lettera non differivano significativamente per valori di $p \leq 0,05$ secondo il test di Tukey.

Essendo la frazione antocianica un elemento caratterizzante la componente fenolica delle cultivar pigmentate, la caratterizzazione fitochimica degli estratti è proseguita con la determinazione degli antociani, in particolare si è iniziato con la valutazione della loro concentrazione totale nelle cultivar colorate crude, sia intere che sbucciate.

Patata 'e Moru è risultata essere la cultivar con la maggiore concentrazione di antociani, il cui valore rilevato nel campione intero era pari a 984.5 ± 37.5 mg/kg $_{DW}$. Non è stato possibile determinare la componente antocianica nella cultivar di controllo, Musica, in quanto essendo una varietà a pasta gialla è priva della componente antocianica (Tabella 3).

È particolare l'aumento della concentrazione degli antociani nelle patate sbucciate, variazione che è stata riscontrata in entrambe le cultivar, Patata 'e Moru e Magenta Love. Nonostante non ci sia una spiegazione chiara, questi risultati sono in linea con quelli riportati da Lachman et al. [114] che ha condotto uno studio per valutare l'effetto della

pelatura e di tre differenti metodi di cottura sui principali composti fitochimici in cultivar di patate bianche, gialle, rosse e viola.

Tabella 3. Contenuto totale di antociani nelle patate crude espresso come mg/kg di sostanza secca (media + SD; n = 3).

Varietà	Campioni	
	Crudo non pelato	Crudo pelato
Musica	nd	nd
Magenta Love	471.2 ± 30.1	1054.1 ± 1.4
Patata ‘e Moru	984.5 ± 37.5	1213.0 ± 50.1

nd= non rilevabile

Il lavoro è quindi proseguito con l’identificazione e la quantificazione delle singole antocianine sui campioni crudi “crudo non pelato” e “crudo pelato” delle cultivar Patata ‘e Moru e Magenta Love i cui risultati sono stati riportati rispettivamente nella Tabella 4 e nella Tabella 5.

Tabella 4. Contenuto dei singoli antociani nei tuberi di patata viola cruda. I valori sono espressi come mg/kg di sostanza secca (media + SD; n = 3).

Varietà: Patata 'e Mou		
	Crudo non pelato	Crudo pelato
Petunidina 3-O rutinoside*	31.3 ± 1.8[c]	36.7 ± 2.0 c
Petunidina 3-O-caffeoil-rutinoside-5-O-glucoside*	16.2 ± 1.0[a]	21.9 ± 1.1 [a]
Petunidina 3-O-p-cumaroil-rutinoside-5-O-glucoside*	13.3 ± 1.0 [a]	42.3 ± 1.4 [a]
Petunidina 3-O-feruloil-rutinoside-5-O-glucoside*	nd [a]	nd [a]
Malvidina 3-O-p-cumaroil-rutinoside-5-O-glucoside*	350.1 ± 15.5 [c]	443.1 ± 17.3 [c]
Malvidina 3-O-p-feruloil-rutinoside-5-O-glucoside*	29.5 ± 1.9 [c]	34.8 ± 1.9 [c]

* Le concentrazioni di antociani sono state espresse come malvidina 3-O-glucoside equivalenti; a-c: I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey)

Tabella 5. Contenuto dei singoli antociani nei tuberi di patata rossa cruda. I valori sono espressi come mg/kg di sostanza secca (media + SD; n = 3).

Varietà: Magenta Love		
	Crudo non pelato	Crudo pelato
Petunidina 3-O-rutinoside-5-glucoside*	<0.5 mg/kg	54.0 ± 4.1
Pelargonidina-3-O-rutinoside*	<0.5 mg/kg	19.4 ± 1.9
Pelargonidina-3-O-p-caffeoilrutinoside-5-O-glucoside*	23.8 ± 1.1	39.0 ± 2.5
Pelargonidina-3-O-cis-pcumaroilrutinoside-5-O-glucoside*	26.7 ± 2.4	82.3 ± 6.5
Pelargonidina-3-O-p-cumaroilrutinoside-5-O-glucoside*	129.1 ± 9.0	573.6 ± 21.8
Peonidina-3-O-p-cumaroilrutinoside-5-O-glucoside*	30.0 ± 2.0	90.2 ± 6.8
Pelargonidina-3-O-p-feruloilrutinoside-5-O-glucoside*	25.3 ± 1.0	42.6 ± 2.9
Peonidina-3-O-p-feruloilrutinoside-5-O-glucoside*	20.6 ± 1.0	16.2 ± 0.6

* Le concentrazioni di antociani sono state espresse come malvidina 3-O-glucoside equivalente

Come si osserva dalle Tabelle 4 e 5, i singoli antociani identificati non differivano quantitativamente tra tuberi interi e tuberi sbucciati, suggerendo una distribuzione omogenea del pool enzimatico deputato alla loro sintesi tra i diversi tessuti della stessa varietà. In Patata 'e Moru la concentrazione degli antociani era principalmente attribuibile alla presenza di malvidina 3-O-p-cumaroilrutinoside-5-O-glucoside che ha mostrato valori pari a 350,1 ± 15,5 mg/kg $_{DW}$ per i campioni interi e 443.1 ± 17.3 mg/kg $_{DW}$ per quelli sbucciati. In misura secondaria sono stati rilevati anche la petunidina e suoi derivati (Tabella 4). Le due principali antocianidine contenute nella cultivar Patata 'e Moru, ovvero petunidina e malvidina, derivano della delfinidina e differiscono tra loro per una sola metilazione: la malvidina, oltre alla metilazione in 3' che condivide con la petunidina, presenta un'ulteriore metilazione in 5'. In alcuni studi come quello di Hugueney et al. [124] è stato ipotizzato che le metilazioni di entrambe le posizioni siano catalizzate dalla stessa metiltransferasi. Pertanto, le differenze osservate nel profilo antocianico potrebbero essere dovute a una diversa efficienza enzimatica delle metiltransferasi, presenti in diverse isoforme, tra le diverse varietà di patate.

Per Magenta Love è stato evidenziato un profilo antocianico differente caratterizzato da una maggiore concentrazione dei derivati della pelargonidina. In particolare, la concentrazione maggiore è stata determinata per la pelargonidina 3-O-p-cumaroil-rutinoside-5-O-glucoside, i cui valori per i campioni interi e sbucciati sono pari rispettivamente a 129,1 ± 9,0 mg/kg $_{DW}$ e 573.6 ± 21.8 mg/kg $_{DW}$ (Tabella 5). Lo studio è continuato con la valutazione dei trattamenti di cottura e i relativi effetti sui singoli componenti antocianici nelle due cultivar pigmentate. In entrambe è possibile osservare un generale aumento degli antociani dopo tutte le tecniche di cottura (Tabelle 6 e 7), ma gli incrementi per Magenta Love spiccano particolarmente. La cottura in microonde ha avuto un impatto considerevole, determinando un aumento estremamente significativo per la pelargonidina 3-O-p-coumaroyl-rutinoside-5-O-glucoside, la cui concentrazione ha raggiunto una concentrazione pari a 2433.2 ± 71.1 mg/kg $_{DW}$. In Patata 'e Moru non sono state riscontrate variazioni così significative, ma anche per questa cultivar i massimi incrementi sono stati registrati con la cottura in microonde. Per entrambe le varietà la cottura al forno e la bollitura sono state responsabili di minimi incrementi di concentrazione per i singoli antociani. Questi risultati, insieme a studi precedenti [112,125], accreditano la tesi per la quale le antocianine potrebbero non degradarsi

facilmente durante il processo termico. Inoltre, i risultati ottenuti in questo lavoro di tesi, si allineano con quelli riportati da Lachman et al.[112], che hanno evidenziato nelle patate a polpa colorata un aumento della concentrazione totale di antociani dopo cottura. Come osservato da Lemos et al. [125], ciò potrebbe essere spiegato da una modifica della texture della polpa del tubero correlata alla rottura delle pareti cellulari durante i trattamenti di cottura. Ciò consentirebbe una migliore e più facile estrazione di antocianine e composti fenolici dai tuberi.

Tabella 6. Profilo delle antocianine nelle patate crude e cotte nella cultivar Patata 'e moru. I dati sono espressi in mg/kg di sostanza secca. I valori sono espressi come medie ± SD (n = 3). Le analisi statistiche sono state effettuate confrontando il contenuto di antocianine tra le varietà.

Varietà: Patata 'e Moru					
	Petunidin 3-O rutinoside	Petunidin 3-O-caffeoyl-rutinoside-5-O-glucoside	Petunidin 3-O-p-coumaroyl rutinoside 5-O-glucoside	Malvidin 3-O-p-coumaroyl-rutinoside-5-O-glucoside	Malvidin 3-O-p-feruloyl-rutinoside-5-O-glucoside
Crudo non pelato	31.3 ± 1.8 (c)	16.2 ± 1.0 (b)	13.3 ± 1.0 (a)	350.1 ± 15.5 (c)	29.5 ± 1.9 (b)
Crudo pelato	36.7 ± 2.0 (c)	21.9 ± 1.1 (b)	42.3 ± 1.4 (a)	443.1 ± 17.3 (c)	34.8 ± 1.9 (c)
Bollito	45.5 ± 2.8 (c)	16.8 ± 1.0 (a)	172.2 ± 6.4 (b)	690.1 ± 22.9 (c)	66.2 ± 3.6 (c)
Microonde	104.4 ± 4.9 (c)	53.8 ± 3.9 (a)	284.2 ± 11.7 (a)	892.5 ± 17.9 (c)	103.7 ± 2.8 (c)
Al forno	42.5 ± 1.9 (c)	30.7 ± 1.9 (a)	125.1 ± 7.0 (b)	344.8 ± 18.9 (c)	38.3 ± 2.0 (c)
Fritto	27.2 ± 0.9 (c)	12.9 ± 0.8 (a)	77.1 ± 4.9 (b)	217.7 ± 11.6 (c)	17.9± 1.0 (c)

* I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey).

Tabella 7. Profilo delle antocianine nelle patate crude e cotte espresso in mg/kg di sostanza secca. I valori sono espressi come medie ± SD (n = 3). Le analisi statistiche sono state effettuate confrontando il contenuto di antocianine tra le varietà.

Varietà: Magenta Love						
	Crudo non pelato	Crudo pelato	Bollito	Microonde	Al forno	Fritto
Petunidin 3-O-rutinoside-5-glucoside	< 0.5	54.0 ± 4.1	103.9 ± 5.9	217.5 ± 9.1	44.2 ± 3.6	34.6 ± 2.0
Petunidin 3-O-rutinoside-5-glucoside	< 0.5	19.4 ± 1.9	31.4 ± 2.8	<0.5	13.9 ± 1.2	8.9 ± 1.1
Pelargonidin 3-O-p-caffeoyl-rutinoside-5-O-glucoside	23.8 ± 1.1	39.0 ± 2.5	90.9 ± 7.6	151.0 ± 6.9	27.0 ± 2.8	26.5 ± 3.1
Pelargonidin 3-O-cis-p-coumaroyl-rutinoside-5-O-glucoside	26.7 ± 2.4	82.3 ± 6.5	125.3 ± 7.9	378.8 ± 12.7	107.6 ± 8.5	63.0 ± 5.3
Pelargonidin 3-O-p-coumaroyl-rutinoside-5-O-glucoside	129.1 ± 9.0	573.6 ± 21.8	1255.0 ± 84.5	2433.2 ± 71.1	353.1 ± 22.6	410.2 ± 18.9
Peonidin 3-O-p-coumaroyl-rutinoside-5-O-glucoside	30.0 ± 2.0	90.2 ± 6.8	158.2 ± 10.0	449.6 ± 21.8	114.5 ± 5.1	68.8 ± 4.8
Pelargonidin 3-O-p-feruloyl-rutinoside-5-O-glucoside	25.3 ± 1.0	42.6 ± 2.9	92.0 ± 7.0	118.8 ± 7.3	33.2 ± 1.9	28.3 ± 1.8
Peonidin 3-O-p-feruloyl-rutinoside-5-O-glucoside	20.6 ± 1.0	16.2 ± 0.6	28.8 ± 1.0	40.3 ± 2.5	15.7 ± 0.8	9.1 ± 0.5

* I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey).

Ulteriori analisi sono state condotte per la determinazione del livello di vitamina C, dapprima sui campioni crudi "crudo non pelato" e "crudo pelato", e successivamente su quelli cotti. Il contenuto più elevato è stato riscontrato nella varietà Musica per la quale è stato misurato un valore pari a 597,8 ± 14,1 mg/kg $_{DW}$ per il tubero intero (Tabella 8). Le due varietà pigmentate presentavano un contenuto di vitamina C paragonabile tra loro ma parecchio inferiore rispetto a quello della cultivar di riferimento. Nel dettaglio, il campione intero di Patata 'e Moru e Magenta Love hanno mostrato un tenore di vitamina C pari a rispettivamente 307.0 ± 12.6mg/kg $_{DW}$ e 382,9 ± 21,6 mg/kg $_{DW}$. Il confronto quantitativo dell'acido ascorbico misurato tra i campioni interi e i campioni di sola polpa (crudo pelato) mette in luce che il contributo delle bucce rispetto al contenuto totale è minimo, dunque, si può supporre che la vitamina C sia distribuita quasi completamente nella polpa (Tabella 8). Le analisi svolte per valutare gli effetti della cottura sul contenuto di acido ascorbico hanno evidenziato in tutte le tre cultivar un calo significativo, particolarmente marcato in seguito alla frittura. Questa tecnica ha causato una perdita rispettivamente dell'85%, 75% e 89% per Musica, Magenta Love e Patata 'e Moru. La bollitura e la cottura con il forno a microonde hanno determinato la perdita minore di vitamina C in tutti i campioni analizzati.

Tabella 8. Contenuto di vitamina C in patate crude e cotte espresso come mg/kg di sostanza secca. I valori sono espressi come medie ± SD (n = 3). Le analisi statistiche sono state effettuate confrontando il contenuto di vitamina C tra le varietà.

	Varietà		
	Musica	Magenta Love	Patata 'e Moru
Crudo non pelato	597.8 ± 14.1 [(a)]	382.9 ± 21.6 [(b)]	307.0 ± 12.6 [(c)]
Crudo pelato	524.7 ± 22.7 [(a)]	387.9 ± 8.0 [(b)]	316.9 ± 12.6 [(c)]
Bollito	345.1 ± 22.3 [(a)]	291.9 ± 4.1 [(b)]	204.5 ± 5.4 [(d)]
Microonde	311.1 ± 9.9 [(a)]	233.1 ± 4.7 [(b)]	135.8 ± 7.2 [(e)]
Al forno	299.0 ± 8.2 [(a)]	167.1 ± 9.2 [(b)]	100.7 ± 2.0 [(c)]
Fritto	82.7 ± 2.4 [(a)]	91.2 ± 3.5 [(b)]	33.1 ± 2.7 [(b)]

* I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey).

Oltre ai composti responsabili degli effetti benefici delle patate appena discussi, i tuberi accumulano molecole bioattive con potenziali effetti avversi sugli esseri umani, come i glicolalcaloidi α-caconina e α-solanina. Le analisi sono state eseguite valutando separatamente i due glicoalcaloidi, prima sui campioni crudi e poi su quelli cotti. La determinazione di α-caconina e α-solanina sui campioni crudi ha evidenziato che le bucce contribuiscono significativamente all'ammontare totale di questi alcaloidi. Infatti, tutti i campioni sbucciati contenevano circa il 90% in meno di glicoalcaloidi rispetto alle patate intere, confermando i dati riportanti in letteratura [126]. È emerso inoltre che l'α-caconina presentava quantitativi più abbondanti rispetto all'α-solanina in tutte le tre cultivar (Tabelle 9A, 9B). I quattro metodi di cottura hanno determinato, alcuni più di altri, un generale calo dei glicoalcaloidi e le perdite maggiori sono state riscontrate con la bollitura e la frittura. In particolare, dopo la bollitura si è registrata una riduzione media dell'80% per l'α-solanina e del 65% per l'α-caconina; mentre, la frittura ha avuto un impatto più significativo causando un calo di circa il 90% per entrambi i glicoalcaloidi. Questo è in linea con quanto osservato da Nie et al. [127], che hanno rilevato una riduzione del contenuto di glicoalcaloidi di circa il 94% nelle patatine fritte rispetto ai tuberi crudi. Anche in questo caso, la cottura in microonde e la cottura al forno hanno causato gli effetti meno marcati: il microonde ha ridotto solo del 30% il contenuto di α-caconina nella polpa del tubero di Musica (da 141 mg/kg $_{DW}$ a 99 mg/kg $_{DW}$), mentre la cottura al forno ha ridotto del 35% il contenuto di α-solanina in Patata 'e Moru (da 51 mg/kg $_{DW}$ a 33 mg/kg $_{DW}$).

Tabella 9A. Contenuto di α-caconina in patate crude e cotte, espresso in mg/kg di peso secco (media ± DS; n=3). Le analisi statistiche sono state effettuate confrontando il contenuto di α-caconina tra le diverse varietà.

	Varietà		
	Musica	Magenta Love	Patata 'e Moru
Crudo non pelato	141.3 ± 5.5 [(a)]	105.2 ± 5.2 [(b)]	166.3 ± 3.4 [(e)]
Crudo pelato	9.2 ± 0.6 [(a)]	10.6 ± 0.5 [(a)]	38.2 ± 1.7 [(d)]
Bollito	8.6 ± 0.5 [(a)]	7.6 ± 0.6 [(b)]	42.6 ± 1.8 [(d)]
Microonde	99.3 ± 2.8 [(a)]	84.7 ± 3.3 [(b)]	80.8 ± 2.1 [(d)]
Al forno	62.6 ± 2.4 [(a)]	70.6 ± 3.7 [(b)]	74.5 ± 3.9 [(b)]
Fritti	6.6 ± 0.5 [(a)]	8.3 ± 0.6 [(a)]	12.3 ± 1.5 [(b)]

* I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey).

Tabella 9B. Contenuto di α-solanina in patate crude e cotte, espresso in mg/kg di peso secco (media ± DS; n=3). Le analisi statistiche sono state effettuate confrontando il contenuto di α-solanina tra le varietà.

	Varietà		
	Musica	Magenta Love	Patata 'e Moru
Crudo non pelato	98.3 ± 2.0 [(a)]	66.8 ± 3.0 [(b)]	51.1 ± 3.7 [(d)]
Crudo pelato	7.6 ± 0.4 [(a)]	12.9 ± 0.6 [(b)]	19.2 ± 1.5 [(d)]
Bollito	7.1 ± 0.2 [(a)]	7.5 ± 0.6 [(a)]	16.5 ± 1.1 [(d)]
Microonde	50.8 ± 2.0 [(a)]	30.0 ± 1.9 [(b)]	31.0 ± 1.4 [(d)]
Al forno	53.0 ± 2.7 [(a)]	34.1 ± 1.2 [(b)]	33.3 ± 1.5 [(d)]
Fritti	6.1 ± 0.4 [(a)]	3.8 ± 0.4 [(b)]	6.9 ± 0.6 [(a)]

* I valori indicati dalla stessa lettera non differivano significativamente per $p \leq 0,05$ (Test di Tukey).

4. Conclusioni

Oltre a essere una fonte incredibile di energia, i tuberi di patata contengono diversi micronutrienti e fitochimici che contribuiscono a soddisfare le esigenze dietetiche raccomandate per vitamine e, seppur meno noti, per gli antiossidanti. In quest'ottica, le patate viola e rosse, grazie alla loro spiccata componente fitochimica, costituiscono rispetto alle comuni varietà a pasta gialla una scelta ancora migliore. Gli effetti benefici e il potenziale contributo dei fitonutrienti nella prevenzione e cura di alcune patologie sono stati ampiamente studiati nel mondo della letteratura scientifica e lo sono tutt'ora; pertanto, alla luce delle evidenze scientifiche, le patate pigmentate vengono considerate un alimento funzionale. I risultati ottenuti in questo lavoro di tesi mettono in evidenza che le patate colorate, rispetto a quella a polpa gialla utilizzata come confronto, mostrano una concentrazione molto più elevata di acidi fenolici, in particolare di acido clorogenico. e presentano elevate concentrazioni di antociani. La concentrazione dei principi attivi delle cultivar analizzate è stata fortemente influenzata dalla cottura del campione e sembra essere tempo/temperatura dipendente: la cottura in forno a microonde ha determinato la massima resa di acido clorogenico nelle tre cultivar e di antociani nei due tuberi pigmentati. Diversamente, con la frittura, tecnica tra quelle scelte che raggiunge alte temperature, si è osservata una diminuzione generale delle concentrazioni di tutti i principi attivi. Per quanto riguarda il contenuto di vitamina C, i tuberi con polpa colorata hanno mostrato valori nettamente inferiori rispetto alla cultivar di riferimento con polpa gialla, e anche in questo caso la scelta del metodo di cottura si è rivelata fondamentale per preservarne il contenuto. Tutti i quattro metodi di cottura scelti per le analisi hanno confermato l'estrema labilità di questa vitamina e le riduzioni più significative sono state registrate con la frittura.

Dalle analisi condotte sul contenuto di glicoalcaloidi è emerso che i campioni sbucciati presentavano concentrazioni considerevolmente più basse rispetto ai tuberi interi, confermando i dati della letteratura scientifica per i quali la pelatura rappresenterebbe la tecnica migliore per limitare il contenuto di α-solanina e α-caconina. Ulteriori diminuzioni sono state riscontrate con la cottura delle patate, e la frittura ha determinato quella più significativa pari a circa il 90% rispetto al campione intero per entrambi i glicoalcaloidi. Questi risultati sono sovrapponibili per le tre cultivar prese in esame.

Dalle analisi condotte è emerso inoltre che le bucce delle patate pigmentate hanno mostrato contenuti apprezzabili di CGA e antociani, tali da poterle considerare un sottoprodotto prezioso piuttosto che uno scarto [128]. Tenuto presente che la lavorazione domestica e, ancor di più, quella industriale dei tuberi comporta solitamente la pelatura, le ingenti quantità di bucce prodotte possono essere sfruttate nell'ottica dell'economia circolare come una interessante fonte di antiossidanti, trovando numerose possibili applicazioni [128,129,130]. In conclusione, alla luce dei risultati ottenuti in questo lavoro di tesi, è possibile affermare che le cultivar con polpa colorata da me analizzate presentano un profilo fitochimico particolarmente ricco e dei requisiti ottimali affinché possano acquisire nel mercato uno spazio sempre più ampio.

Bibliografia

[1] Mackay GR. New Light on a Hidden Treasure. Rome: FAO (2009), pp. 136, ISBN 978-92-5-106142-8. Experimental Agriculture. 2009;45(3):376-376. doi:10.1017/S0014479709007686.

[2] Haan, Stef & Rodriguez, Flor. (2016). Potato Origin and Production. 10.1016/B978-0-12-800002-1.00001-7.

[3] G. Roversi, La patata Collana Coltura&Cultura, ideata e coordinata da R. Angelini, Bayer CropScience, Ed. Script, Bologna. Coordinamento scientifico di L. Frusciante. La patata, 2011, ISBN 978-88-506-5538-0.

[4] https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-welcomes-decision-to-celebrate-international-day-of-potato-annually-on-may-30/en

[5] Ahsan Javed, Awais Ahmad, Ali Tahir, Umair Shabbir, Muhammad Nouman, Adeela Hameed. Potato peel waste-its nutraceutical, industrial and biotechnological applications. AIMS Agriculture and Food, 2019. doi: 10.3934/agrfood.2019.3.807.

[6] https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4909

[7] https://www.qualivita.it/wp-content/uploads/2023/01/Consortium212204_Patate.pdf

[8] http://dati.istat.it/

[9] https://www.biodiversitasardegna.it/laore/it/agrobiodiversita/repertorio-regionale/risorsa/Patata-di-Gavoi/

[10] https://www.biodiversitasardegna.it/laore/it/agrobiodiversita/repertorio-regionale/risorsa/Patata-e-Moro/

[11] https://www.qualivita.it/news/da-nord-a-sud-il-patrimonio-delle-patate-dop-igp-italiane/

[12] Federica Grant, Luisa Scaveldi, Umberto Scognamiglio, Aida Turrini, Laura Rossi. Special Issue, O-ERSA 2020, L'impatto dell'emergenza COVD 19 sulle abitudini alimentari degli Italiani nel periodo della quarantena di marzo-aprile 2020, a cura di Crea, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Alimenti e Nutrizione.

[13] Camire ME, Kubow S, Donnelly DJ. Potatoes and human health. Crit Rev Food Sci Nutr. 2009 Nov;49(10):823-40. doi: 10.1080/10408390903041996.

[14] Farhadnejad H, Teymoori F, Asghari G, Mirmiran P, Azizi F. The Association of Potato Intake With Risk for Incident Type 2 Diabetes in Adults. Can J Diabetes. 2018 Dec;42(6):613-618. doi: 10.1016/j.jcjd.2018.02.010.

[15] Mozaffarian D, Hao T, Rimm EB, Willett WC, Hu FB. Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. N Engl J Med. 2011 Jun 23;364(25):2392-404. doi: 10.1056/NEJMoa1014296.

[16] King JC, Slavin JL. White potatoes, human health, and dietary guidance. Adv Nutr. 2013 May 1;4(3):393S-401S. doi: 10.3945/an.112.003525.

[17] Erik Kristoffer Arnesen, Ida Laake, Monica H Carlsen, Marit B Veierød, Kjetil Retterstøl, Potato Consumption and All-Cause and Cardiovascular Disease Mortality – A Long-Term Follow-Up of a Norwegian Cohort, The Journal of Nutrition, Volume 154, Issue 7, 2024, Pages 2226-2235, ISSN 0022-3166. doi: 10.1016/j.tjnut.2024.05.011.

[18] https://www.europotato.org/characters

[19] https://www.selenella.it/il-blog-di-selenella/prodotti/tipi-di-patate/

[20] https://www.romagnolipatate.it/it/patate-da-seme

[21] https://www.citteriopatate.it/wp-citterio/le-varieta/

[22] Savi, Giovannelli, Rastelli, Staiano, Quaderno Botanico Agronomico: La Patata - Con riferimento alle cultivar geneticamente modificate, APAT 2006, ISBN 88-448-0205-8

[23] D. Gumul, A. Areczuk, W. Berski, L. Juszczak, G. Khachatryan, Selected Physicochemical Properties of Starch Isolated from Colored Potatoes (Solanum tuberosum L.) as Compared to Starch from Yellow Flesh Potatoes. Starch Stärke 2022, 74.doi: 10.1002/star.202100158.

[24] Higgins JA. Resistant starch: metabolic effects and potential health benefits. J AOAC Int. 2004 May-Jun;87(3):761-8. PMID: 15287677

[25] Lockyer, S. e Nugent, AP (2017), Health effects of resistant starch. Nutr Bull, 42: 10-41. https://doi.org/10.1111/nbu.12244

[26] Pęksa A, Miedzianka J, Nemś A. Amino acid composition of flesh-coloured potatoes as affected by storage conditions. Food Chem. 2018 Nov 15; 266:335-342. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.06.026.

[27] Chulaporn Kamnerdpetch, Martina Weiss, Cornelia Kasper, Thomas Scheper, An improvement of potato pulp protein hydrolyzation process by the combination of protease enzyme systems, Enzyme and Microbial Technology, Volume 40, Issue 4, 2007, Pages 508-514, ISSN 0141-0229, doi: 10.1016/j.enzmictec.2006.05.006

[28] Hall, C. J., & da Costa, T. P. S. (2018). Lysine: Biosynthesis, catabolism and roles. WikiJournal of Science, 1(1), Wikidata Q55120301. ISSN 2470-6345. doi:10.15347/WJS/2018.004

[29] Amanda Waglay, Salwa Karboune, Chapter 4 - Potato Proteins: Functional Food Ingredients, Editor(s): Jaspreet Singh, Lovedeep Kaur, Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition), Academic Press, 2016, Pages 75-104, ISBN 9780128000021, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00004-2

[30] Fu TJ, Abbott UR, Hatzos C. Digestibility of food allergens and nonallergenic proteins in simulated gastric fluid and simulated intestinal fluid-a comparative study. J Agric Food Chem. 2002 Nov 20;50(24):7154-60. doi: 10.1021/jf020599h. PMID: 12428975

[31] Kim JY, Park SC, Kim MH, Lim HT, Park Y, Hahm KS. Antimicrobial activity studies on a trypsin-chymotrypsin protease inhibitor obtained from potato. Biochem Biophys Res Commun. 2005 May 13;330(3):921-7. doi: 10.1016/j.bbrc.2005.03.057. PMID: 15809084

[32] Pihlanto A, Akkanen S, Korhonen HJ. ACE-inhibitory and antioxidant properties of potato (Solanum tuberosum). Food Chem. 2008 Jul 1;109(1):104-12. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.023. Epub 2007 Dec 23. PMID: 26054270.

[33] Liyanage R, Han KH, Watanabe S, Shimada K, Sekikawa M, Ohba K, Tokuji Y, Ohnishi M, Shibayama S, Nakamori T, Fukushima M. Potato and soy peptide diets modulate lipid metabolism in rats. Biosci Biotechnol Biochem. 2008 Apr;72(4):943-50. doi: 10.1271/bbb.70593. Epub 2008 Apr 7. PMID: 18391469

[34] Blanco-Aparicio C, Molina MA, Fernández-Salas E, Frazier ML, Mas JM, Querol E, Avilés FX, de Llorens R. Potato carboxypeptidase inhibitor, a T-knot protein, is an epidermal growth factor antagonist that inhibits tumor cell growth. J Biol Chem. 1998 May 15;273(20):12370-7. doi: 10.1074/jbc.273.20.12370. PMID: 9575190

[35] Marta Sitjà-Arnau, Miguel A. Molina, Carmen Blanco-Aparicio, Laura Ferrer-Soler, Julia Lorenzo, Francesc X. Avilés, Enrique Querol, Rafael de Llorens, Mechanism of action of potato carboxypeptidase inhibitor (PCI) as an EGF blocker, Cancer Letters, Volume 226, Issue 2, 2005, Pages 169-184, ISSN 0304-3835, https://doi.org/10.1016/j.canlet.2005.01.025

[36] Lal, M.K. et al. (2020). Lipids in Potato. In: Raigond, P., Singh, B., Dutt, S., Chakrabarti, S.K. (eds) Potato. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_5

[37] Ramadan MF, Oraby HF. Fatty Acids and Bioactive Lipids of Potato Cultivars: An Overview. J Oleo Sci. 2016;65(6):459-70. doi: 10.5650/jos. ess16015. PMID: 27250559.

[38] Galliard, T. Lipids of potato tubers. 1. Lipid and fatty acid composition of tubers from different varieties of potato. J. Sci. Food Agric. 24, 617-622 (1973).

[39] Sirpa O. Kärenlampi, Philip J. White, Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals, Editor(s): Jaspreet Singh, Lovedeep Kaur, Advances in Potato Chemistry and

Technology, Academic Press, 2009, Pages 99-125, ISBN 9780123743497, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.00005-2.

[40] Goyer, Aymeric and Kortney Sweek. Genetic diversity of thiamin and folate in primitive cultivated and wild potato (Solanum) species. Journal of agricultural and food chemistry 59 24 (2011): 13072-80.

[41] Hellmann H, Goyer A, Navarre DA. Antioxidants in Potatoes: A Functional View on One of the Major Food Crops Worldwide. Molecules. 2021 Apr 22;26(9):2446. doi: 10.3390/molecules26092446. PMID: 33922183; PMCID: PMC8122721.

[42] Love, S.L., Pavek, J.J. Positioning the Potato as a Primary Food Source of Vitamin C. Am. J. Pot Res 85, 277–285 (2008). https://doi.org/10.1007/s12230-008-9030-6

[43] Duroy A. Navarre, Aymeric Goyer, Roshani Shakya, Chapter 14 - Nutritional Value of Potatoes: Vitamin, Phytonutrient, and Mineral Content, Editor(s): Jaspreet Singh, Lovedeep Kaur, Advances in Potato Chemistry and Technology, Academic Press, 2009, Pages 395-424, ISBN 9780123743497, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374349-7.00014-3.

[44] Xu J, Li Y, Kaur L, Singh J, Zeng F. Functional Food Based on Potato. Foods. 2023 May 26;12(11):2145. doi: 10.3390/foods12112145. PMID: 37297391; PMCID: PMC10253093

[45] Effects of Genotype, Environment, and Postharvest Storage on the Total Ascorbate Content of Potato (Solanum tuberosum) Tubers M. Finlay B. Dale, D. Wynne Griffiths, and Drummond T. Todd Journal of Agricultural and Food Chemistry 2003 51 (1), 244-248 DOI: 10.1021/jf020547s

[46] Kaundal, Bandana & Sharma, Vineet & Raigond, Pinky & Singh, Brajesh & Kaushik, Surinder. (2015). Ascorbic acid losses during storage of potato tubers. 42. 76-79.

[47] N.I. Mondy, M. Leja.Effect of mechanical injury on the ascorbic acid content of potatoes Journal of Food Science, 51 (1986), pp. 355-357

[48] Wallert M, Ziegler M, Wang X, Maluenda A, Xu X, Yap ML, Witt R, Giles C, Kluge S, Hortmann M, Zhang J, Meikle P, Lorkowski S, Peter K. α-Tocopherol preserves cardiac function by reducing oxidative stress and inflammation in ischemia/reperfusion injury. Redox Biol. 2019 Sep; 26:101292. doi: 10.1016/j.redox.2019.101292. Epub 2019 Aug 6. PMID: 31419755; PMCID: PMC6831864.

[49] Chun J., Lee J., Ye L., Exler J., Eitenmiller R.R. Tocopherol and tocotrienol contents of raw and processed fruits and vegetables in the United States diet. J. Food Compos. Anal. 2006; 19:196–204. doi: 10.1016/j.jfca.2005.08.001

[50] Niekerk, C., Schönfeldt, H., Hall, N. and Pretorius, B. (2016) The Role of Biodiversity in Food Security and Nutrition: A Potato Cultivar Case Study. Food and Nutrition Sciences, 7, 371-382. doi: 10.4236/fns.2016.75039.

[51] Ricardo Casañas Rivero, Pablo Suárez Hernández, Elena M.Rodríguez Rodríguez, Jacinto Darias Martín, Carlos Díaz Romero, Mineral concentrations in cultivars of potatoes, Food Chemistry, Volume 83, Issue 2, 2003,Pages 247-253, ISSN 0308-8146,https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00087-6.

[52] Leo L, Leone A, Longo C, Lombardi DA, Raimo F, Zacheo G. Antioxidant compounds and antioxidant activity in "early potatoes". J Agric Food Chem. 2008 Jun 11;56(11):4154-63. doi: 10.1021/jf073322w. Epub 2008 May 14. PMID: 18476702.

[53] Brown, C.R. Breeding for Phytonutrient Enhancement of Potato. Am. J. Pot Res 85, 298–307 (2008). https://doi.org/10.1007/s12230-008-9028-0

[54] Reddivari, L., Hale, A.L. & Miller, J.C. Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. Amer J of Potato Res 84, 275–282 (2007). https://doi.org/10.1007/BF02986239

[55] Rasheed H, Ahmad D, Bao J. Genetic Diversity and Health Properties of Polyphenols in Potato. Antioxidants (Basel). 2022 Mar 22;11(4):603. doi: 10.3390/antiox11040603. PMID: 35453288; PMCID: PMC9030900.

[56] Lewis, Christine E et al. “Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: Coloured cultivars of Solanum tuberosum L.” Journal of the Science of Food and Agriculture 77 (1998): 45-57.

[57] Lewis CE, JRL Walker, JE Lancaster, and KH Sutton. 1998a. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: Coloured cultivars ofSolanum tuberosum L. J Sci Food Agric 77:45–57.

[58] Valiñas MA, Lanteri ML, Ten Have A, Andreu AB. Chlorogenic acid, anthocyanin and flavan-3-ol biosynthesis in flesh and skin of Andean potato tubers (Solanum tuberosum subsp. andigena). Food Chem. 2017 Aug 15; 229:837-846. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.02.150. Epub 2017 Mar 2. PMID: 28372251.

[59] Ru W, Pang Y, Gan Y, Liu Q, Bao J. Phenolic Compounds and Antioxidant Activities of Potato Cultivars with White, Yellow, Red and Purple Flesh. Antioxidants (Basel). 2019 Sep 20;8(10):419. doi: 10.3390/antiox8100419. PMID: 31547004; PMCID: PMC6827044.

[60] Lu H, Tian Z, Cui Y, Liu Z, Ma X. Chlorogenic acid: A comprehensive review of the dietary sources, processing effects, bioavailability, beneficial properties, mechanisms of action, and future directions. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2020 Nov;19(6):3130-3158. doi: 10.1111/1541-4337.12620. Epub 2020 Sep 4. PMID: 33337063.

[61] Bender O., Atalay A. Chapter 28-Polyphenol chlorogenic acid, antioxidant profile, and breast cancer. In: Preedy V.R., Patel V.B., editors. Cancer. 2nd ed. Academic Press; San Diego, CA, USA: 2021. pp. 311–321.

[62] Kumar R, Sharma A, Iqbal MS, Srivastava JK. Therapeutic Promises of Chlorogenic Acid with Special Emphasis on its Anti-Obesity Property. Curr Mol Pharmacol. 2020;13(1):7-16. doi: 10.2174/1874467212666190716145210. PMID: 31333144.

[63] Bassoli BK, Cassolla P, Borba-Murad GR, Constantin J, Salgueiro-Pagadigorria CL, Bazotte RB, da Silva RS, de Souza HM. Chlorogenic acid reduces the plasma glucose peak in the oral glucose tolerance test: effects on hepatic glucose release and glycaemia. Cell Biochem Funct. 2008 Apr;26(3):320-8. doi: 10.1002/cbf.1444. PMID: 17990295.

[64] Rytel E, Tajner-Czopek A, Kita A, Aniołowska M, Kucharska AZ, Sokół-Łętowska A, Hamouz K. Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. Food Chem. 2014 Oct 15; 161:224-9. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.04.002. Epub 2014 Apr 12. PMID: 24837944

[65] Hamouz K, Lachman J, Dvořák P, Jůzl M, Pivec V. The effect of site conditions, variety and fertilization on the content of polyphenolsin potato tubers. CAAS Agricultural Journals. 2006;52(9):407-412. doi: 10.17221/3459-PSE.

[66] Dite Hunjek D, Pelaić Z, Čošić Z, Pedisić S, Repajić M, Levaj B. Chemical constituents of fresh-cut potato as affected by cultivar, age, storage, and cooking. J Food Sci. 2021 May;86(5):1656-1671. doi: 10.1111/1750-3841.15712. Epub 2021 Apr 21. PMID: 33884628.

[67] Kawai Y, Nishikawa T, Shiba Y, Saito S, Murota K, Shibata N, Kobayashi M, Kanayama M, Uchida K, Terao J. Macrophage as a target of quercetin glucuronides in human atherosclerotic arteries: implication in the anti-atherosclerotic mechanism of dietary flavonoids. J Biol Chem. 2008 Apr 4;283(14):9424-34. doi: 10.1074/jbc.M706571200. Epub 2008 Jan 16. PMID: 18199750.

[68] Brown, C.R. Antioxidants in potato. Am. J. Pot Res **82**, 163–172 (2005). https://doi.org/10.1007/BF02853654

[69] Shirai, M., Kawai, Y., Yamanishi, R., Kinoshita, T., Chuman, H., Terao, J., Terao, J. (2006). Effect of a conjugated quercetin metabolite, quercetin 3-glucuronide, on lipid hydroperoxide-dependent formation of reactive oxygen species in differentiated PC-12 cells. Free Radical Research, 40(10), 1047–1053. https://doi.org/10.1080/10715760600794287

[70] Holland TM, Agarwal P, Wang Y, Leurgans SE, Bennett DA, Booth SL, Morris MC. Dietary flavonols and risk of Alzheimer dementia. Neurology. 2020 Apr 21;94(16): e1749-e1756. doi: 10.1212/WNL.0000000000008981. Epub 2020 Jan 29. PMID: 31996451; PMCID: PMC7282875.

[71] Wang, Q., Chen, Q., He, M., Mir, P., Su, J., & Yang, Q. (2011). Inhibitory Effect of Antioxidant Extracts from Various Potatoes on the Proliferation of Human Colon and Liver Cancer Cells. Nutrition and Cancer, 63(7), 1044–1052. https://doi.org/10.1080/01635581.2011.597538

[72] Lavanya Reddivari, Jairam Vanamala, Sudhakar Chintharlapalli, Stephen H. Safe, J.Creighton Miller, Anthocyanin fraction from potato extracts is cytotoxic to prostate cancer cells through activation of caspase-dependent and caspase-independent pathways, Carcinogenesis, Volume 28, Issue 10, October 2007, Pages 2227–2235, https://doi.org/10.1093/carcin/bgm117

[73] Liu Y, Tikunov Y, Schouten RE, Marcelis LFM, Visser RGF, Bovy A. Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. Front Chem. 2018 Mar 9; 6:52. doi: 10.3389/fchem.2018.00052. PMID: 29594099; PMCID: PMC5855062.

[74] Jansen G., Flamme W. Coloured potatoes (Solanum tuberosum L.) —Anthocyanin content and tuber quality. Genet. Resour. Crop Evol. 2006; 53:1321–1331. doi: 10.1007/s10722-005-3880-2.

[75] Giusti MM, Polit MF, Ayvaz H, Tay D, Manrique I. Characterization and quantitation of anthocyanins and other phenolics in native Andean potatoes. J Agric Food Chem. 2014 May 14;62(19):4408-16. doi: 10.1021/jf500655n. Epub 2014 May 1. PMID: 24745827

[76] Ombra MN, Fratianni F, Granese T, Cardinale F, Cozzolino A, Nazzaro F. In vitro antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of purple potato extracts (Solanum tuberosum cv Vitelotte noire) following simulated gastro-intestinal digestion. Nat Prod Res. 2015;29(11):1087-91. doi: 10.1080/14786419.2014.981183. Epub 2014 Nov 25. PMID: 25420792.

[77] Charepalli V, Reddivari L, Radhakrishnan S, Vadde R, Agarwal R, Vanamala JK. Anthocyanin-containing, purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells. J Nutr Biochem. 2015 Dec;26(12):1641-9. doi: 10.1016/j.jnutbio.2015.08.005. Epub 2015 Aug 14. PMID: 26383537.

[78] De Masi L, Bontempo P, Rigano D, Stiuso P, Carafa V, Nebbioso A, Piacente S, Montoro P, Aversano R, D'Amelia V, Carputo D, Altucci L. Comparative Phytochemical Characterization, Genetic Profile, and Antiproliferative Activity of Polyphenol-Rich Extracts from Pigmented Tubers of Different Solanum tuberosum Varieties. Molecules. 2020 Jan 6;25(1):233. doi: 10.3390/molecules25010233. PMID: 31935970; PMCID: PMC6983029.

[79] Vinson JA, Demkosky CA, Navarre DA, Smyda MA. High-antioxidant potatoes: acute in vivo antioxidant source and hypotensive agent in humans after supplementation to hypertensive subjects. J Agric Food Chem. 2012 Jul 11;60(27):6749-54. doi: 10.1021/jf2045262. Epub 2012 Feb 6. PMID: 22224463

[80] Kaspar KL, Park JS, Brown CR, Mathison BD, Navarre DA, Chew BP. Pigmented potato consumption alters oxidative stress and inflammatory damage in men. J Nutr. 2011 Jan;141(1):108-11. doi: 10.3945/jn.110.128074. Epub 2010 Nov 24. PMID: 21106930.

[81] Reddivari L., Wang T., Wu B., Li S. Potato: An anti-inflammatory food. Am. J. Potato Res. 2019; 96:164–169. doi: 10.1007/s12230-018-09699-z.

[82] Bibi S., Navarre D.A., Sun X., Du M., Rasco B., Zhu M.-J. Beneficial effect of potato consumption on gut microbiota and intestinal epithelial health. Am. J. Potato Res. 2019; 96:170–176. doi: 10.1007/s12230-018-09706-3.

[83] Basilicata MG, Pepe G, Rapa SF, Merciai F, Ostacolo C, Manfra M, Di Sarno V, Autore G, De Vita D, Marzocco S, Campiglia P. Anti-Inflammatory and Antioxidant Properties of Dehydrated Potato-Derived Bioactive Compounds in Intestinal Cells. Int J Mol Sci. 2019 Dec 3;20(23):6087. doi: 10.3390/ijms20236087. PMID: 31816826; PMCID: PMC6928682.

[84] Hamouz K, Pazderů K, Lachman J, Čepl J, Kotíková Z. Effect of cultivar, flesh colour, locality and year on carotenoid content in potato tubers. Plant Soil Environ. 2016;62(2):86-91. doi: 10.17221/731/2015-PSE

[85] Hejtmánková K., Kotíková Z., Hamouz K., Pivec V., Vacek J., Lachman J. (2013): Influence of flesh colour, year and growing area on carotenoid and anthocyanin content in potato tubers. Journal of Food Composition and Analysis, 32: 20–27.

[86] Abdel-Aal el-SM, Akhtar H, Zaheer K, Ali R. Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health. Nutrients. 2013 Apr 9;5(4):1169-85. doi: 10.3390/nu5041169. PMID: 23571649; PMCID: PMC3705341.

[87] Chucair AJ, Rotstein NP, Sangiovanni JP, During A, Chew EY, Politi LE. Lutein and zeaxanthin protect photoreceptors from apoptosis induced by oxidative stress: relation with docosahexaenoic acid. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2007 Nov;48(11):5168-77. doi: 10.1167/iovs.07-0037. PMID: 17962470.

[88] Stahl W., Sies H. (2005): Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. Biochimica et Biophysica Acta, 1740: 101–107

[89] Fraser PD, Bramley PM. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. Prog Lipid Res. 2004 May;43(3):228-65. doi: 10.1016/j.plipres.2003.10.002. PMID: 15003396

[90] Wilhelm Stahl, Helmut Sies, Bioactivity and protective effects of natural carotenoids, Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease, Volume 1740, Issue 2, 2005, Pages 101-107, ISSN 0925-4439, https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2004.12.006

[91] Papathanasiou, F.; Mitchell, S. H.; Watson, S.; Harvey, B. M. R. Effect of environmental stress during tuber development on accumulation of glycoalkaloids in potato J. Sci. Food Agric. 1999, 79, 1183– 1189

[92] Kozukue, N.; Mizuno, S. Effects of light exposure and storage-temperature on greening and glycoalkaloid content in potato-tubers J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 1990, 59, 673– 677

[93] Hamouz K, Pazderů K, Lachman J, Orsák M, Pivec V, Hejtmánková K, et al. Effect of cultivar, flesh colour, location and year of cultivation on the glycoalkaloid content in potato tubers. Plant Soil Environ. 2014;60(11):512-517. doi: 10.17221/596/2014-PSE

[94] Kasnak, C., Artik, N. Change in Some Glycoalkaloids of Potato under Different Storage Regimes. Potato Res. 61, 183–193 (2018). https://doi.org/10.1007/s11540-018-9367-2

[95] Ginzberg, I., Tokuhisa, J.G. & Veilleux, R.E. Potato Steroidal Glycoalkaloids: Biosynthesis and Genetic Manipulation. Potato Res. 52, 1–15 (2009). https://doi.org/10.1007/s11540-008-9103-4

[96] Milner, Sinead Eileen, et al. "Bioactivities of glycoalkaloids and their aglycones from Solanum species." Journal of agricultural and food chemistry 59.8 (2011): 3454-3484.

[97] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), et al. "Risk assessment of glycoalkaloids in feed and food, in particular in potatoes and potato-derived products." EFSA Journal 18.8 (2020): e06222.

[98] Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, et al. Risk assessment of glycoalkaloids in feed and food, in particular in potatoes and potato-derived products. EFSA J. 2020 Aug 11;18(8): e06222. doi: 10.2903/j.efsa.2020.6222. PMID: 32788943; PMCID: PMC7417869

[99] Jinhu Tian, Jianchu Chen, Xingqian Ye, Shiguo Chen, Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review, Food Chemistry, Volume 202, 2016, Pages 165 175, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.120.

[100] Yang Y, Achaerandio I, Pujolà M. Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers. Food Chem. 2016 Apr 15;197 Pt B:1301-10. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.11.028. Epub 2015 Nov 10. PMID: 26675872.

[101] C.E.O. Ikanone, P.O. Oyekan, Effect of Boiling and Frying on the Total Carbohydrate, Vitamin C and Mineral Contents of Irish (Solanun tuberosum) and Sweet (Ipomea batatas) Potato Tubers, Nigerian Food Journal, Volume 32, Issue 2, 2014, Pages 33-39, ISSN 0189-7241, https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30115-6.

[102] Irisa Murniece, Daina Karklina, Ruta Galoburda, Dace Santare, Ilze Skrabule, Helena S. Costa, Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato

(Solanum tuberosum L.) varieties depending on traditional cooking methods, Journal of Food Composition and Analysis, Volume 24, Issues 4–5, 2011, Pages 699-710, ISSN 0889-1575, https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.09.005

[103] Bailey T, Franczyk AJ, Goldberg EM, House JD. Impact of cooking on the protein quality of Russet potatoes. Food Sci Nutr. 2023 Oct 3;11(12):8131-8142. doi: 10.1002/fsn3.3734. PMID: 38107092; PMCID: PMC10724643.

[104] Chao Zhao, Yuanyuan Liu, Shanshan Lai, Hui Cao, Yi Guan, Wai San Cheang, Bin Liu, Kewei Zhao, Song Miao, Céline Riviere, Esra Capanoglu, Jianbo Xiao, Effects of domestic cooking process on the chemical and biological properties of dietary phytochemicals, Trends in Food Science & Technology, Volume 85, 2019, Pages 55-66, ISSN 0924-2244, https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.004.

[105] Decker EA, Ferruzzi MG. Innovations in food chemistry and processing to enhance the nutrient profile of the white potato in all forms. Adv Nutr. 2013 May 1;4(3):345S-50S. doi: 10.3945/an.112.003574. PMID: 23674803; PMCID: PMC3650506.

[106] A. Kita, G. Lisińska, G. Gołubowska, The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps, Food Chemistry, Volume 102, Issue 1, 2007, Pages 1-5, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.038

[107] Fang H, Yin X, He J, Xin S, Zhang H, Ye X, Yang Y, Tian J. Cooking methods affected the phytochemicals and antioxidant activities of potato from different varieties. Food Chem X. 2022 May 21; 14:100339. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100339. PMID: 35634223; PMCID: PMC9133768

[108] Thomas S, Vásquez-Benítez JD, Cuéllar-Cepeda FA, Mosquera-Vásquez T, Narváez-Cuenca CE. Vitamin C, protein, and dietary fibre contents as affected by genotype, agro-climatic conditions, and cooking method on tubers of Solanum tuberosum Group Phureja. Food Chem. 2021 Jul 1; 349:129207. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129207. Epub 2021 Feb 2. PMID: 33601282.

[109] Navarre, D.A., Shakya, R., Holden, J. et al. The Effect of Different Cooking Methods on Phenolics and Vitamin C in Developmentally Young Potato Tubers. Am. J. Pot Res 87, 350–359 (2010). https://doi.org/10.1007/s12230-010-9141-8

[110] Bethke, P.C. and Jansky, S.H. (2008), The Effects of Boiling and Leaching on the Content of Potassium and Other Minerals in Potatoes. Journal of Food Science, 73: H80-H85. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841

[111] Venu Perla, David G. Holm, Sastry S. Jayanty, Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers, LWT - Food Science and Technology, Volume 45, Issue 2, 2012, Pages 161-171, ISSN 0023-6438, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.005.

[112] Jaromír Lachman, Karel Hamouz, Matyáš Orsák, Vladimír Pivec, Kateřina Hejtmánková, Kateřina Pazderů, Petr Dvořák, Jaroslav Čepl, Impact of selected factors – Cultivar, storage, cooking and baking on the content of anthocyanins in coloured-flesh potatoes, Food Chemistry, Volume 133, Issue 4, 2012, Pages 1107-1116, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.077.

[113] Jinhu Tian, Jianle Chen, Feiyan Lv, Shiguo Chen, Jianchu Chen, Donghong Liu, Xingqian Ye, Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes, Food Chemistry, Volume 197, Part B, 2016, Pages 1264-1270, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.049.

[114] Jaromír Lachman, Karel Hamouz, Janette Musilová, Kateřina Hejtmánková, Zora Kotíková, Kateřina Pazderů, Jaroslava Domkářová, Vladimír Pivec, Jiří Cimr, Effect of peeling and three cooking methods on the content of selected phytochemicals in potato tubers with various colour of flesh, Food Chemistry, Volume 138, Issues 2–3, 2013, Pages 1189-1197, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.114

[115] A. Tajner-Czopek, M. Jarych-Szyszka, G. Lisińska, Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption, Food Chemistry, Volume 106, Issue 2, 2008, Pages 706-711, ISSN 0308-8146, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.034

[116] Giusti, M.M.; Wrolstad, R.E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. CPFAC 2001, 1, F1–F2.

[117] Sarais, G.; D'Urso, G.; Lai, C.; Pirisi, F.M.; Pizza, C.; Montoro, P. Targeted and untargeted mass spectrometric approaches in discrimination between Myrtus communis cultivars from Sardinia region. J. Mass Spectrom. 2016, 51, 704–715

[118] Bodart, P.; Kabengera, C.; Noirfalise, A.; Hubert, P.; Angenot, L. Determination of α -Solanine and α -Chaconine in Potatoes by High-Performance Thin-Layer Chromatography/Densitometry. J. AOAC Int. 2000, 83, 1468–1473.

[119] Lachman, J.; Hamouz, K.; Šulc, M.; Orsak, M.; Pivec, V.; Hejtmankova, A.; Dvorak, P.; Cepl, J. Cultivar differences of total anthocyanins and anthocyanidins in red and purple-fleshed potatoes and their relation to antioxidant activity. Food Chem. 2009, 114, 836–843.

[120] Ezekiel, R.; Singh, N.; Sharma, S.; Kaur, A. Beneficial phytochemicals in potato—A review. Food Chem. 2013, 50, 487–496

[121] Rommens, C.M.; Richael, C.M.; Yan, H.; Navarre, D.A.; Ye, J.; Krucker, M.; Swords, K. Engineered native pathways for high kaempferol and caffeoylquinate production in potato. Plant. Biotechnol. J. 2008, 6, 870–886

[122] de Andrade Lima, M.; Andreou, R.; Charalampopoulos, D.; Chatzifragkou, A. Supercritical carbon dioxide extraction of phenolic compounds from potato (Solanum tuberosum) peels. Appl. Sci. 2021, 11, 3410.

[123] Furrer, A.N.; Chegeni, M.; Ferruzzi, M.G. Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. Crit. Rev. Food. Sci. Nutr. 2018, 58, 146–168.

[124] Hugueney, P.; Provenzano, S.; Verriès, C.; Ferrandino, A.; Meudec, E.; Batelli, G.; Merdinoglu, D.; Cheynier, V.; Schubert, A.; Ageorges, A. A novel cation-dependent O-methyltransferase involved in anthocyanin methylation in grapevine. Plant. Physiol. 2009, 150, 2057–2070.

[125] Lemos, M.A.; Aliyu, M.M.; Hungerford, G. Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in purple majesty potato observed via chemical and spectroscopic means. Food Chem. 2015, 173, 462–467.

[126] Friedman, M.; Huang, V.; Quiambao, Q.; Noritake, S.; Liu, J.; Kwon, O.; Chintalapati, S.; Young, J.; Levin, C.E.; Tam, C.; et al. Potato peels and their bioactive glycoalkaloids and phenolic compounds inhibit the growth of pathogenic trichomonads. J. Agric. Food Chem. 2018, 66, 7942–7947.

[127] Nie, X.; Zhang, G.; Lv, S.; Guo, H. Steroidal glycoalkaloids in potato foods as affected by cooking methods. Int. J. Food Prop.2018, 21, 1875–1887.

[128] Gebrechristos, H.Y.; Chen, W. Utilization of potato peel as eco-friendly products: A review. Food Sci. Nutr. 2018, 6, 1352–1356.

[129] Sampaio, S.L.; Petropoulos, S.A.; Alexopoulos, A.; Heleno, S.A.; Santos-Buelga, C.; Barros, L.; Ferreira, I.C. Potato peels as sources of functional compounds for the food industry: A review. Trends Food Sci. Technol. 2020, 103, 118–129.

[130] Oliveira Filho, J.G.; Braga, A.R.C.; de Oliveira, B.R.; Gomes, F.P.; Moreira, V.L.; Pereira, V.A.C.; Egea, M.B. The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: A review. Food Res. Int. 2021, 142