

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
Dipartimento Animali Alimenti Risorse Naturali  
e Ambiente

Corso di laurea magistrale in  
Scienze e Tecnologie Alimentari

Le bacche fresche di Goji: analisi di alcuni parametri di  
qualità

Relatore  
Prof. Paolo Carletti

Laureanda  
Anna Esoletti  
Matricola n. 2057739

ANNO ACCADEMICO 2022/2023



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	- 7 -
<b>ABSTRACT</b>	- 9 -
<b>INTRODUZIONE</b>	- 11 -
<b>LA QUALITA'</b>	- 13 -
<b>CAPITOLO 1: IL GOJI</b>	- 17 -
<b>1.1 Origine e aspetti botanici</b>	- 17 -
<b>1.2 Mercato globale delle bacche di goji</b>	- 20 -
<b>1.3 Impiego nell'industria alimentare</b>	- 21 -
<b>1.4 Aspetti nutrizionali</b>	- 23 -
1.4.1 Attività antiossidante	- 24 -
1.4.2 Attività prebiotica	- 25 -
1.4.3 Attività ipoglicemizzante	- 26 -
<b>1.5 Lavorazione delle Bacche di Goji</b>	- 26 -
1.5.1 Disidratazione e liofilizzazione	- 26 -
1.5.2 Incapsulamento di composti bioattivi dalle bacche di Goji	- 28 -
<b>1.6 Composizione chimica del Goji e i parametri della qualità</b>	- 31 -
1.6.1 Polisaccaridi	- 33 -
1.6.2 Carotenoidi	- 35 -
1.6.3 Polifenoli e flavonoidi	- 37 -
1.6.4 Acidi organici	- 40 -
1.6.5 Proteine e aminoacidi	- 41 -
1.6.6 Acidi grassi	- 43 -
1.6.7 Vitamine	- 44 -
1.6.8 Minerali	- 45 -
<b>1.7 Parametri per valutare la qualità</b>	- 46 -
1.7.1 Solidi solubili totali (TSS)	- 46 -
1.7.2 Acidità titolabile (TA)	- 47 -
1.7.3 pH	- 49 -
1.7.4 Colore	- 49 -
1.7.5 Attività antiossidante	- 50 -
<b>CAPITOLO 2: SCOPO DELLA TESI</b>	- 55 -
<b>CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI</b>	- 57 -
<b>3.1 Campioni</b>	- 57 -
<b>3.2 Analisi non distruttive</b>	- 58 -
3.2.1 Calibro	- 58 -
3.2.2 Peso	- 58 -
3.2.3 Analisi del colore	- 59 -
<b>3.3 Preparazione dei campioni</b>	- 59 -
<b>3.4 Analisi distruttive</b>	- 61 -
3.4.1 Solidi solubili totali (TSS)	- 61 -
3.4.2 pH	- 61 -

3.4.3 Acidità titolabile (TA)	- 61 -
3.4.4 Polifenoli totali	- 62 -
3.4.5 Attività antiossidante	- 63 -
<b>3.5 Composizione chimica</b>	<b>- 67 -</b>
<b>3.6 Minerali</b>	<b>- 67 -</b>
<b>3.7 Analisi statistica</b>	<b>- 68 -</b>
<b><i>CAPITOLO 4: ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE</i></b>	<b>- 69 -</b>
4.1 Composizione chimica	- 69 -
4.2 Parametri dimensionali e colore	- 74 -
4.3 Parametri chimici	- 76 -
4.4 Confronto dei risultati dell'estrazione in acetone e metanolo	- 82 -
<b><i>CAPITOLO 5: CONCLUSIONI</i></b>	<b>- 85 -</b>
<b><i>BIBLIOGRAFIA</i></b>	<b>- 87 -</b>
<b><i>SITOGRAFIA</i></b>	<b>- 97 -</b>





## RIASSUNTO

Il presente progetto di tesi cerca di delineare il quadro delle caratteristiche e i parametri di qualità delle bacche di Goji fresche in vendita in Italia.

Le bacche di Goji sono il frutto di una pianta tradizionale cinese, il *Lycium barbarum*. Negli anni questo frutto è diventato sempre più commercializzato, espandendo la sua diffusione dalle regioni della Cina raggiungendo tutti i continenti.

Le bacche di Goji sono conosciute per le loro molteplici proprietà nutrizionali, legate all'elevata presenza di numerosi composti chimici come i polisaccaridi, le vitamine e i composti fenolici, in particolare acidi fenolici, flavonoidi, carotenoidi e tannini che hanno effetti positivi sulla salute dell'uomo.

Sono state effettuate in laboratorio diverse analisi tenendo in considerazione quelli che possono essere gli attributi più influenti sulla determinazione della qualità dei frutti. I campioni di bacche analizzati provenivano da tre aziende del territorio italiano.

In particolare, è stata presa in considerazione la determinazione della dimensione dei frutti, il colore, il valore di pH, il contenuto di minerali, l'acidità titolabile, la quantità di solidi solubili totali, il contenuto fenolico totale e l'attività antiossidante.





## **ABSTRACT**

This thesis aims to outline the characteristics and quality parameters of fresh Goji berries in Italian market.

Goji berries are the fruit of a traditional Chinese plant, *Lycium barbarum*. Over the years, this fruit has become increasingly commercialized, expanding its diffusion from the regions of China to all continents.

Goji berries are known for their multiple nutritional properties, linked to the high presence of numerous chemical compounds such as polysaccharides, vitamins and phenolic compounds, in particular phenolic acids, flavonoids, carotenoids and tannins which have positive effects on human health.

Various analyzes were carried out taking into consideration what may be the most influential attributes on the determination of fruit quality. For this project berries from three companies in Italy were analysed.

In particular, we considered the determination of fruit size, color, pH value, mineral composition, titratable acidity, amount of total soluble solids, total phenolic content and antioxidant activity.



## INTRODUZIONE

Le bacche di goji sono un prodotto tradizionale della cultura e della medicina dell'Asia orientale.

Sin dall'inizio del XXI secolo sono diventate un alimento sempre più popolare in Europa e nel Nord America, in quanto presentano un elevato contenuto di nutrienti che, oltre a soddisfare i fabbisogni metabolici, hanno un impatto positivo sulla salute umana (Pedro et al., 2019). Inoltre, attirano il consumatore per le loro caratteristiche organolettiche come colore, aspetto, sapore e aroma (Pedro et al., 2019).

In particolare, le bacche di goji sono conosciute grazie alla loro capacità antiossidante, resa tale dall'elevata presenza di fenoli al loro interno (Fatchurrahman et al., 2022). Grazie a questa spiccata proprietà sono state inserite nella lista dei "super-food".

Un "super-food" è un alimento ricco di nutrienti, considerato particolarmente benefico per la salute o il benessere dell'uomo (Jatoi et al., 2017; Ma et al., 2019)

Le bacche di goji sono il frutto del *Lycium barbarum* e del *Lycium chinense*; queste due specie strettamente imparentate, hanno una lunga storia come piante alimentari e tradizionali nella cultura cinese. I frutti di questa specie sono intercambiabili anche se, quelli più apprezzati dai consumatori, li troviamo più spesso riferiti alla specie di *L. barbarum* (Dharmananda et al., 2007).

I prodotti di goji venduti al di fuori del continente Asiatico, contengono esclusivamente bacche di *L. barbarum*. Tuttavia, la distinzione delle bacche tra specie e varietà diverse è difficile, di conseguenza non si possono escludere eventuali adulterazioni o sostituzioni nei prodotti commercializzati (Potterat et al., 2010).

Negli anni sono diventati davvero numerosi i prodotti contenenti goji che sono venduti nel mercato globale. Si possono ritrovare sottoforma di bacche essiccate, succhi, ma anche consumati nelle zuppe, porridge o aggiunti a numerosi piatti di carne e verdure (Potterat et al., 2010).



## LA QUALITA'

Gli studi relativi al comportamento dei consumatori indicano che, per quanto riguarda la qualità del prodotto, esiste una limitata e confusa concezione su quali siano gli attributi specifici che contribuiscono effettivamente alla qualità in sé.

Ciò è dovuto al fatto che gran parte dei consumatori possiedono una limitata conoscenza delle caratteristiche relative a qualsiasi prodotto specifico e, inoltre, hanno informazioni non del tutto corrette su ciò che contribuisce effettivamente alla qualità di un prodotto (Alonso et al., 2002). Il concetto di qualità infatti non è univoco, all'interno di questo termine possono rientrare diversi concetti come: la qualità organolettica, la qualità merceologica, la qualità etica, la qualità igienico sanitaria, la qualità tecnologica, la qualità commerciale e quella nutrizionale. In termini utilitaristici, la qualità può essere definita come "idoneità all'uso" o, più appropriatamente per i prodotti alimentari, "idoneità al consumo", il che porta a parlare di "soddisfazione" del cliente o del consumatore (Peri et al., 2006). Pertanto, secondo la definizione della norma ISO 9000, la qualità può essere descritta come "il grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche di quel prodotto soddisfa dei requisiti".

I requisiti dei consumatori includono (Peri et al., 2006):

1. **Requisiti di sicurezza:** solitamente questo concetto è delineato dall'assenza di fattori di rischio. Il mancato soddisfacimento di questi requisiti rappresenta un rischio per la salute del consumatore.
2. **Requisiti merceologici:** sono requisiti stabiliti dalla legge, da regolamenti volontari o da prassi consuetudinarie, il mancato rispetto di tali requisiti è da considerarsi fraudolento. Agli occhi dei consumatori i requisiti di sicurezza e la conformità agli standard merceologici si fondono nella concezione di autenticità e genuinità dei prodotti (Peri et al., 2006).
3. **Fabbisogni nutrizionali:** sono estremamente importanti perché, lo scopo principale del mangiare, è soddisfare i fabbisogni nutrizionali. Il crescente interesse per le proprietà "salutari" di alcuni alimenti si basa sull'osservazione che il loro consumo regolare abbia effetti benefici sulla salute e rafforzi le difese dell'organismo contro numerose malattie croniche. Gli alimenti che hanno queste proprietà sono chiamati alimenti "funzionali". I requisiti che riguardano la sicurezza degli alimenti, insieme a quelli relativi ai fabbisogni nutrizionali, sono "requisiti impliciti" poiché i consumatori li danno per scontati.

Sono misurabili, e quindi verificabili e certificabili, ma non possono essere percepiti e questo li rende di difficile comprensione per i consumatori (Peri et al., 2006).

4. Esigenze sensoriali: il fatto che i requisiti sensoriali vengano percepiti li rende un importante mezzo di interazione tra i prodotti e i consumatori (Peri et al., 2006).
5. Requisiti relativi al contesto produttivo: le indicazioni riguardanti l'origine, la tradizione di un prodotto o l'utilizzo dell'agricoltura biologica, hanno un forte impatto sui consumatori. Si tratta essenzialmente di un effetto psicologico, emotivo e culturale che ci permette di descrivere i requisiti del contesto come i requisiti immateriali della qualità (Peri et al., 2006).
6. Requisiti etici: questi riguardano il sistema di valori che condiziona i comportamenti dei consumatori. I requisiti etici includono ad esempio l'agricoltura biologica, la difesa dell'ambiente, la difesa della biodiversità contro la produzione di massa, il benessere degli animali (Peri et al., 2006).
7. Requisiti di garanzia: le procedure di certificazione e tracciabilità non sono altro che strumenti di garanzia del consumatore. La fiducia non nasce da una relazione tra una persona e un prodotto, ma da una relazione da persona a persona. Ecco perché, dopo i requisiti intrinseci di qualità (il "cosa" di un prodotto) e di contesto (il "dove" e il "come" è stato ottenuto), la percezione da parte del consumatore della qualità di un cibo comporta anche esigenze che riguardano "chi" lo produce (Peri et al., 2006).
8. Requisiti del prodotto/sistema di imballaggio: questi requisiti facilitano il riconoscimento, la commercializzazione e l'uso del prodotto. I requisiti associati al packaging includono anche requisiti estetici relativi alla sua presentazione e alle informazioni date al consumatore veicolate dall'etichetta. (Peri et al., 2006).
9. Requisiti del sistema prodotto/mercato: questi includono la disponibilità del prodotto al momento giusto, nel posto giusto e nella quantità desiderata. Includono anche il suo prezzo, perché il rapporto qualità-prezzo è la sintesi finale delle percezioni del consumatore che determinano le preferenze e la scelta (Peri et al., 2006).

In conclusione, possiamo suddividere i requisiti in due distinte parti, una parte contenente i requisiti del prodotto in quanto alimento che ci coinvolge come consumatori e l'altra parte, contenente le esigenze di un prodotto come oggetto commercializzato che ci coinvolge come clienti.

Tutto ciò che riguarda la qualità si inserisce all'interno di un sistema dinamico in cui nulla rimane uguale a sé stesso, quindi non esaurisce la complessità del concetto "qualità".







# CAPITOLO 1: IL GOJI

## 1.1 Origine e aspetti botanici

Il frutto del *Lycium* si presenta come una bacca rossa, che può essere ottenuta da due piante strettamente imparentate, il *Lycium barbarum* e il *Lycium chinense*, presenti naturalmente in Asia (Dharmananda et al., 2007).

I frutti di queste due specie di *Lycium* possiedono un'anatomia e una struttura tissutale molto simile e la loro differenziazione basata su analisi morfologiche e istologiche è molto difficile (Potterat et al., 2008).

Per la prima volta, la tecnica RAPD (DNA polimorfico amplificato in modo casuale) è stata applicata per distinguere il *Lycium barbarum* da altre specie strettamente imparentate dello stesso genere (Zhang et al., 2001).

Il nome cinese della pianta del *Lycium* è “gouqi” e per i frutti è “gou-qi-zi” (“zi” è usato per descrivere piccoli frutti, più specificatamente indica la “bacca”) da cui deriva la nostra terminologia occidentale di “bacca di goji”. Il nome comune inglese di questo frutto è “wolfberry” e deriva dal fatto che il carattere “gou” significa “wolf” (Dharmananda et al., 2007; Donno et al., 2015). Il nome goji è quindi un'estrapolazione di parole native ed è stato coniato dai ricercatori del Tanaduk Botanical Research Institute, nel 1973.

Nel 1753, Carl Linnaeus fornì il nome del genere *Lycium*. A lui si deve anche il nome della specie *barbarum* mentre, il botanico Philip Miller, descrisse il *Lycium chinense* solo 15 anni dopo (Dharmananda et al., 2007).

Dal punto di vista botanico questa pianta è un arbusto deciduo appartenente alla famiglia delle Solanacee, a cui appartengono numerosi alimenti di origine vegetale, tra cui patate, pomodori, peperoni e melanzane (Beccaro et al., 2015).

La pianta di *Lycium barbarum* germina a temperature di circa 15-25°C; si adatta comunque bene a diverse situazioni climatiche, anche estreme, tollerando temperature che oscillano tra i -15°C fino a 40°C (Kulczynski et al., 2016).

L'altezza della pianta è variabile e va dagli 80 cm ai 3 metri con rami e gambi spinosi. Le foglie sono di colore grigio-verde fascicolate, lanceolate o ellittiche allungate di 3 cm circa, gradualmente strette al picciolo (Amagase et al., 2011).

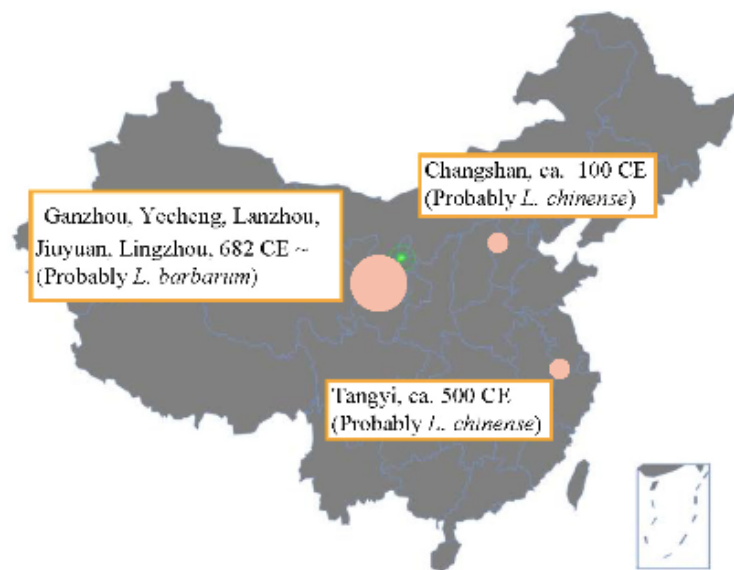
Il frutto matura nel periodo tra giugno e settembre; è di forma fusiforme con apice acuto della lunghezza di circa 1-2 cm (figura 1), è di colore rosso-arancione brillante, può contenere dai 4 ai 20 semi per bacca (Jatoi et al., 2018) e il sapore tende ad essere amaro-dolce.



**Figura 1:** Fiori, frutti e cespugli di *Lycium barbarium* (Amagase et al., 2011)

La prima comparsa di aree coltivate di goji è stata registrata intorno al 100 d.C. nell'attuale regione cinese di Hebei. Questa specie era caratterizzata dal particolare gusto amaro, motivo per cui è stata associata alla specie di *L. chinense*. Intorno al 500 d.C. inoltre, sono state registrate altre coltivazioni di goji, in un'altra area geografica a sud di Hebei (Yao et al., 2018). Nel 682 d.C. è stata rilevata la crescita di goji nelle regioni semi-aride di Ganzhou, Yecheng, Lanzhou, Jiuyuan e Lingzhou.

In questo caso vennero descritte sia le tecnologie di coltivazione utilizzate, nonché il particolare gusto dolce e la qualità superiore di queste bacche rispetto a quelle di altre regioni.



**Figura 2:** Mappa di coltivazione del goji dal 110 d.C. al 700 d.C. (Yao et al., 2018)

La pianta di goji cresce naturalmente in Asia, in particolare nella parte nord-est della Cina. Le zone interessate sono le regioni di Qinghai, Gansu, Ningxia e nella Mongolia interna, per arrivare ad est fino alla regione dello Hebei.

Il *Lycium* è ampiamente coltivato, specialmente nella provincia di Ningxia, grazie all'avviamento di alcuni progetti di produzione iniziati nel 1987 (Amagase et al., 2011).



**Figura 3:** Coltivazioni di goji in Cina (Yao et al., 2018)

Nel 1961, la contea di Zhongning di Ningxia è stata assegnata, dalla Repubblica Popolare Cinese, come unica piantagione nazionale di goji. Su scala più ridotta, il goji è stato introdotto anche nell'Hubei e nel Tibet rispettivamente negli anni '70 e 2000.

Ad oggi, viene ampiamente coltivato anche nel Nord America e in Australia come arbusto da siepe (Potterat et al, 2010).

## 1.2 Mercato globale delle bacche di goji

La Cina è stata il principale esportatore di *Lycium barbarum*. Per rendere l'idea del volume di mercato nel 2004, in questo Paese, le coltivazioni di bacche di goji hanno prodotto circa 95.000 tonnellate generando profitti fino a 1200 milioni di dollari (Potterat et al, 2008). Con il passare degli anni questi dati sono in continuo aumento.

Nel 2017, nella zona del Ningxia, le piantagioni di goji hanno raggiunto una superficie di circa 66.700 ettari e secondo il Ningxia Goji Industry Development Center, la produzione delle bacche in quella zona rappresenta ora il 40% dell'area totale di produzione del goji in Cina.

Per quanto riguarda la produzione totale di goji essiccato, questo ha raggiunto circa le 180.000 tonnellate, con un valore totale superiore a 2,1 miliardi di dollari (Dongmei et al., 2019).

L'industria delle bacche di goji, che si è sviluppata nella regione di Ningxia, ha subito una serie di aggiornamenti per promuovere lo sviluppo economico nella contea di Zhongning, la sua base di produzione originaria.

Cao Youlong, esperto di bacche di goji che lavora presso l'Accademia di Scienze Agrarie e Forestali di Ningxia, ha affermato che Zhongning è un'area adatta per la coltivazione del *Lycium barbarum*, grazie all'abbondante soleggiamento e alle scarse precipitazioni (Dongmei et al., 2022). Queste caratteristiche climatiche hanno permesso di piantare nella contea più di 12.000 ettari di goji.

È una delle industrie più importanti per quei paesi, che determina oltre il 60% del reddito degli agricoltori locali. Il valore della produzione ha raggiunto circa 1,8 miliardi di dollari (Dongmei et al., 2022).

In Cina spiccano due grandi cooperative, Delingha e Qinghai, che producono bacche di goji certificate Fairtrade.

La cooperativa Delingha, fondata nel 2013, prende il nome dalla città in cui sorge ed è un'organizzazione di agricoltori di bacche di goji. È conosciuta per essere una delle organizzazioni che coltiva la migliore qualità di Bacche di Goji della Cina, in più si estende in una delle piantagioni con superficie più grande, che ad oggi ricopre un totale di oltre i 220.000 di ettari, producendo annualmente circa 165 tonnellate di frutti.

La cooperativa Qinghai, situata nella regione dove luce, calore, acqua e risorse del suolo sono essenziali per lo sviluppo del *Lycium barbarum*. Nelle vicinanze non c'è alcun tipo di inquinamento industriale, il clima è secco con uno sbalzo di temperatura tra giorno e notte molto

forte. Le bacche di goji che crescono in questa regione sono conosciute per avere il 30% in più di flavonoidi (importanti per le loro proprietà antiossidanti) rispetto a quelle coltivate in altre regioni (Fairtrade, 2021).

Come abbiamo potuto rilevare ogni zona di coltivazione determina, in base a caratteristiche di clima, terreno e acqua, un tipo di bacca con peculiarità diverse che la rendono più o meno pregiata.

Anche in Italia vi sono state zone dove venivano coltivate le bacche di goji fresco, partendo dall'Alto Adige fino alla Calabria (piana di Sibari): in Alto Adige si coltivavano nella Valle dei Molini nell'Azienda "Suedtirol Goji". Attualmente Torino si occupa della produzione l'Azienda "Italgoji", in Toscana "Bio Fattorie Toscane" e "Toscana goji"; a queste si possono aggiungere numerose altre aziende diffuse in tutta Italia.

In Piemonte sono stati realizzati i primi impianti su una superficie di partenza di circa 3 ettari arrivando fino a 7 ettari di coltivazione ai piedi delle Alpi (Beccaro et al., 2015).

Gli italiani hanno apprezzato le qualità di questo super-food e sono diventati i primi consumatori di goji tra i paesi europei, si parla di circa il 16%. Le produzioni nostrane di goji in Italia si sono sviluppate circa una quindicina di anni fa, questo perché spesso i prodotti provenienti dall'oriente vengono rifiutati alla dogana a causa dell'elevata presenza di residui di pesticidi e sostanze nocive (Manuelli et al., 2017).

### **1.3 Impiego nell'industria alimentare**

Il goji è molto venduto nel mercato globale degli alimenti funzionali, comunemente indicato come "Bacca di goji himalayana" o "Bacca di goji tibetana" (Potterat et al, 2008).

Le esigenze di mercato hanno portato ad una notevole varietà di prodotti commercializzati, oltre ai classici succhi di frutta, vini e birre, le bacche di goji sono molto utilizzate anche nei prodotti come biscotti, barrette, cioccolato, müsli e porridge (Potterat et al, 2008).

Nello specifico, le bacche di goji sono molto utilizzate per la produzione di succo di goji, tè di goji e bevande fermentate come il succo fermentato di goji, vino di goji e bevande kombucha. Questi frutti vengono ampiamente utilizzati con successo anche come ingrediente funzionale in diverse fasi della produzione della birra. La birra ottenuta, oltre che avere un buon potenziale antiossidante, ha un contenuto di fenoli totali maggiore; aumenta inoltre l'accettabilità del gusto della birra apportando delle sensazioni sensoriali specifiche che ricordano la mela rossa, miele, caramello, caffè (Vidovic et al., 2022).

Si è inoltre rilevato che l'aggiunta di estratto di bacche di goji nelle salsicce ha soppresso la lipolisi e l'ossidazione proteica e lipidica, andando a ridurre la carica microbica durante la conservazione, preservando il colore rosso vivo e l'aroma fresco del gusto delle salsicce.

Anche gli hamburger di manzo con diverse percentuali di purea di goji presentavano un contenuto fenolico maggiore, una ridotta ossidazione lipidica e ottime proprietà antiossidanti (Bulambaeva et al., 2014).

Gli estratti di goji o frutti di goji vengono aggiunti anche nei prodotti dolci come marmellate o gelatine apportando delle buone caratteristiche in termini di colore, sapore e consistenza (Vidovic et al., 2022).

Inoltre, sono ampiamente impiegati anche in prodotti da forno come muffin, pane senza glutine, ecc. in quanto incorporare la bacca di *Lycium* nei prodotti a base di farina ne aumenta il contenuto di fibre, i composti fenolici e l'attività antiossidante modificando la consistenza e le proprietà del colore (Jiang et al., 2021).

In Italia, un 30% delle bacche di goji vengono vendute fresche, il restante 70% vengono utilizzate per essere trasformate essendo un frutto estremamente versatile (Manuelli et al., 2017).

Sono legalmente vendute nel mercato degli alimenti o degli integratori alimentari, ma non essendo dei farmaci non possono contenere in etichetta indicazioni di tipo terapeutico.

Per questo motivo, nel 2006 la FDA ha inviato lettere di avvertimento ad alcuni distributori di succo di goji perché le loro indicazioni violavano le regole della Food Drug and Cosmetic Act (Potterat et al, 2008).

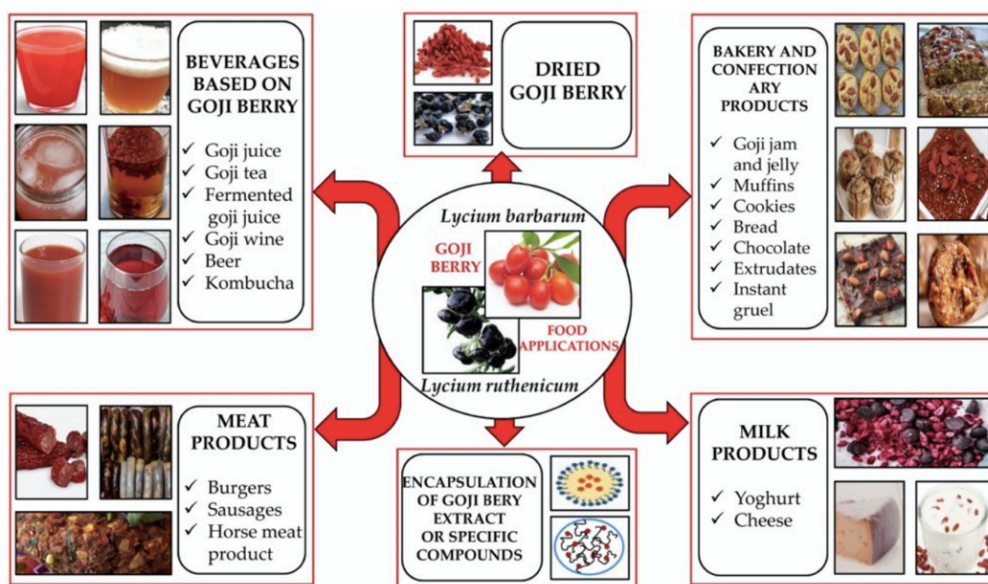


Figura 4: Alimenti a base di bacche di goji (Vidovic et al., 2022).

## 1.4 Aspetti nutrizionali

Le bacche di goji, conosciute principalmente grazie alle loro proprietà nutrizionali, sono state utilizzate per migliaia di anni come erbe medicinali nei paesi asiatici.

Diversi studi hanno evidenziato il loro effetto salutare, in particolare per quel che riguarda il potere antiossidante, antitumorale, antimicrobico, ipoglicemizzante, ecc.

Tutte queste attività biologiche sono correlate alla composizione fenolica di questi frutti, in particolare di polifenoli, flavonoidi, carotenoidi e tannini. Queste correlazioni hanno portato a segnalazioni di effetti benefici per la salute, associati a disturbi al fegato, ai reni, alla vista, al sistema circolatorio, immunitario e della longevità (Teixeira et al., 2023).

Le bacche di goji sono ricche di polisaccaridi coniugati con peptidi idrosolubili (LBP), considerati tra i componenti bioattivi più importanti delle bacche di goji, grazie alla loro attività di perossidazione anti-lipidica e di attività scavenging dei radicali liberi, ossia composti in grado di ritardare o inibire i processi ossidativi (Vidovic et al., 2022). Inoltre, hanno la capacità di potenziare i meccanismi di difesa dell'ospite inibendo la crescita dei tumori, senza danneggiare l'ospite stesso (Ma et al., 2019).

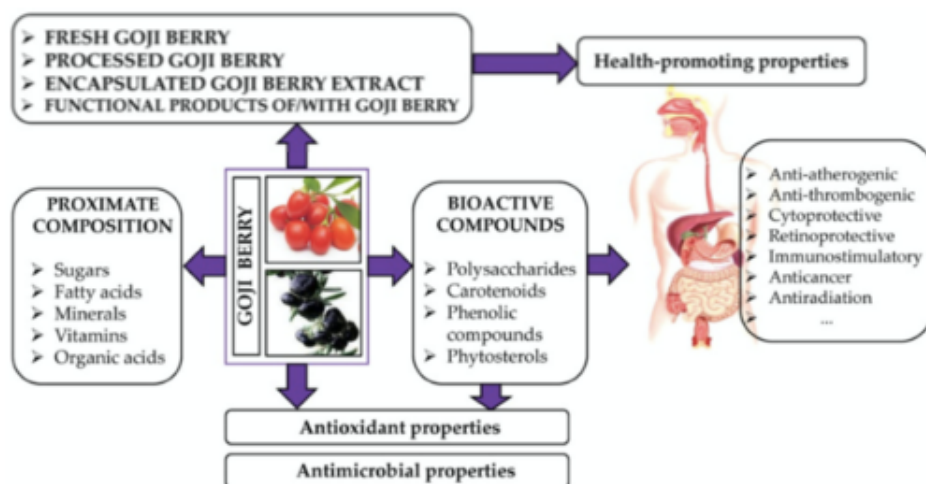


Figura 5: Attività funzionale delle bacche di goji (Vidovic et al., 2022).

### 1.4.1 Attività antiossidante

Lo stress ossidativo è un fenomeno che si verifica a causa di uno squilibrio tra pro-ossidanti e antiossidanti, essendo causato dall'eccessiva produzione di specie reattive.

I principali elementi che possono contribuire alla capacità antiossidante degli alimenti (frutta e verdura) sono i composti fenolici, in particolare acidi fenolici, flavonoidi, carotenoidi, tocoferoli, acido ascorbico e tannini condensati (Teixeira et al., 2023).

Queste molecole aiutano l'organismo a stimolare le difese antiossidanti, andando a ritardare o inibire i radicali liberi impedendo così di danneggiare le proteine, DNA e lipidi.

Hanno il compito di eliminare i radicali liberi mediante il trasferimento di atomi di idrogeno (scavenging), donando elettroni (attraverso la chelazione di metalli) o potenziando le difese antiossidanti esogene (enzimi antiossidanti).

L'effetto antiossidante dei flavonoidi è influenzato dal numero di gruppi idrossilici presenti sull'anello B della loro struttura. I flavonoidi con due gruppi idrossilici nell'anello B in posizione "orto" hanno una maggiore attività scavenging.

Inoltre, i flavonoidi che presentano legami singoli tra i C2 e i C3 hanno mostrato una miglior capacità antiossidante rispetto alle strutture con doppi legami (Pires et al., 2018; Vidovic et al., 2022).

Diversi composti fenolici delle bacche di goji possono avere un effetto antiossidante sinergico; queste interazioni sono dipendenti dalla concentrazione e probabilmente dovute al modo in cui i composti fenolici interagiscono con i radicali liberi.



Per quanto riguarda le funzioni dei composti fenolici, questi potrebbero aumentare l'espressione degli enzimi antiossidanti, come la catalasi, perossidasi e superossido dismutasi, sopprimendo la formazione di specie reattive dell'ossigeno (Jiang et al., 2021).

Anche gli antociani, come i flavonoidi, donano un atomo di idrogeno ai radicali liberi altamente reattivi, quindi agiscono bloccando le reazioni a catena dei radicali liberi. Similmente ad altri flavonoidi, l'attività di scavenging degli antociani è correlata al numero di gruppi carbossilici che si possono ritrovare (Vidovic et al., 2022).

I composti fenolici potrebbero alleviare le malattie causate dallo stress ossidativo, come la cardiotoxicità e il danno polmonare acuto.

#### **1.4.2 Attività prebiotica**

I prebiotici sono sostanze che non sono digeribili dal nostro organismo ma, possono promuovere la crescita di specifici batteri, modulando il microbiota intestinale.

È stato dimostrato che le bacche di goji hanno un effetto modulante positivo nei confronti del microbiota intestinale, effetto dovuto probabilmente ai composti fenolici o ai polisaccaridi presenti, come gli LBP (Teixeira et al., 2023).

Nello studio di Skenderidis et al. (2019), sono stati coltivati dei ceppi di *Bifidobacterium* e di *Lactobacillus*, sia in presenza che in assenza di estratti acquosi di bacche di goji incapsulati.

Questi estratti incapsulati hanno mostrato una stimolazione nella crescita dei ceppi e nell'aumento della produzione di acido organico nel mezzo nutritivo.

Per quel che riguarda la vitalità cellulare in condizioni gastriche simulate, tutti i ceppi testati hanno beneficiato dell'aggiunta di bacche di goji, in particolare i ceppi di *Bifidobacterium* hanno mostrato la massima vitalità. Inoltre, alcuni ceppi sensibili al pH acido, hanno mostrato un mantenimento della popolazione elevata in presenza dell'estratto di goji.

Secondo gli autori di questo lavoro, l'estratto con maggiore quantità di maltodestrine, polifenoli e polisaccaridi ha avuto un effetto stimolante e prebiotico nei confronti dei ceppi utilizzati (Skenderidis et al., 2019).

### **1.4.3 Attività ipoglicemizzante**

Il diabete mellito è caratterizzato da livelli elevati di glucosio nel sangue, noto come iperglicemia.

Il costo elevato degli agenti ipoglicemizzanti ha portato allo studio dell'attività ipoglicemizzante derivante da fonti alimentari. Pertanto, le industrie sono incentivate a trovare dei composti alternativi con proprietà anti-iperglicemiche, derivanti per lo più da fonti naturali, come le bacche di goji.

Una possibile soluzione ricorre all'utilizzo di inibitori enzimatici, che sono dei buoni candidati per il trattamento di pazienti diabetici non insulino-dipendenti (Teixeira et al., 2023).

Nell'uomo, i carboidrati alimentari vengono idrolizzati dall'alfa-amilasi pancreatica e dall'alfa-glucosidasi intestinale, enzimi responsabili della scomposizione degli oligosaccaridi e dei disaccaridi in monosaccaridi, come il glucosio. La capacità delle bacche di goji di inibire l'attività di questi enzimi dimostra l'effetto anti-iperglicemico di questo frutto (Wojdylo et al., 2018).

Secondo lo studio condotto da Wojdylo et al. (2018), la capacità di inibire l'alfa-amilasi pancreatica varia dal 10% all'80% in alcune cultivar, invece la capacità di inibire l'alfa-glucosidasi intestinale varia, in base alla tipologia di cultivar, dal 10% al 15% circa.

Numerosi studi che hanno riportato l'attività anti-iperglicemica delle bacche di goji hanno attribuito questa proprietà all'LBP, dimostrando inoltre che un maggior effetto lo si ha quando è dissociato da farmaci ipoglicemizzanti, quindi non assunto contemporaneamente.

Queste appena descritte sono alcune delle attività benefiche che le bacche di goji possono apportare al nostro corpo, mostrando come questi frutti del *Lycium barbarum* siano un prodotto di interesse alimentare e come sia utile pensare di poter aumentare la produzione nel nostro Paese, garantendo maggior sicurezza, sia dal punto di vista di presenza di pesticidi che di sostanze nocive, rispetto ad un prodotto importato.

## **1.5 Lavorazione delle Bacche di Goji**

### **1.5.1 Disidratazione e liofilizzazione**

La disidratazione, che si basa sulla riduzione del contenuto d'acqua di un alimento, è uno dei processi più utilizzati per poter prolungare la shelf life della frutta. L'essiccazione solare è il

metodo di essiccazione tradizionale per le bacche di goji, questo però risulta essere rischioso perché le condizioni ambientali possono causare una perdita della qualità dei frutti.

Negli ultimi anni, per la disidratazione delle bacche di goji sono state sempre più utilizzate tecniche di essiccazione ad aria in forno, per congelamento oppure con l'utilizzo di tecniche per l'essiccazione avanzata, cercando di andare a ridurre al minimo la contaminazione microbiologica e le reazioni avverse che si possono sviluppare durante la conservazione (Vidovic et al., 2022).

Quando si essiccano i frutti è sempre consigliato procedere prima con un pretrattamento per andare a preservare la qualità del prodotto. Il congelamento viene utilizzato come pretrattamento, condotto solitamente a  $-20^{\circ}\text{C}$  per diverse ore. I frutti vengono poi scongelati e portati a temperatura ambiente. Durante il congelamento, si formano dei grandi cristalli di ghiaccio che provocano una rottura della struttura cellulare e l'indurimento della struttura porosa del frutto, che migliora la migrazione dell'acqua e il trasferimento di massa.

Pertanto, il congelamento viene utilizzato come trattamento di pre-essiccazione di frutta e verdura per accelerare il processo di essiccazione e mantenere la qualità del prodotto (Deng et al., 2019).

Tuttavia, l'essiccazione delle bacche di goji è difficile a causa dello strato di cera che circonda la buccia dei frutti, impedendo la diffusione dell'acqua dalle bacche. Inoltre, questo strato di cera richiede trattamenti svolti a temperature elevate e per tempi prolungati, che possono influire negativamente sulla composizione chimica di alto valore biologico delle bacche di goji (Vidovic et al., 2022).

Pertanto, diversi studi hanno confermato la necessità di utilizzare un pretrattamento prima dell'essiccazione con l'intenzione di accelerare il processo di essiccazione, ridurre il consumo energetico e migliorare la qualità dei prodotti essiccati (Vidovic et al., 2022).

I pretrattamenti che possono essere effettuati, oltre a quella del congelamento già precedentemente proposto, richiedono per esempio l'utilizzo di soluzioni di carbonato di sodio oppure l'impiego della disidratazione osmotica e l'effetto combinato di quest'ultima con il campo elettrico pulsato. Questi pretrattamenti hanno permesso di diminuire il tempo di essiccazione delle bacche di goji, mantenendone il colore rosso vivo, migliorandone la consistenza, trattenendo il potenziale antiossidante e prolungando la durata di conservazione (Dermesonlouoglou et al., 2018; Vidovic et al., 2022).

Inoltre, ricorrendo all'utilizzo della tecnica di liofilizzazione, questa contribuisce a preservare i composti bioattivi e le sostanze nutritive delle bacche di goji. Ciò permette di utilizzare il goji all'interno di snack di alta qualità attribuendogli maggior leggerezza, croccantezza e conservazione della consistenza (Donno et al., 2016; Donno et al., 2019).

### **1.5.2 Incapsulamento di composti bioattivi dalle bacche di Goji**

Come accennato in precedenza, le bacche di goji sono una fonte di numerosi componenti bioattivi come polisaccaridi, carotenoidi e fenoli. Queste molecole possono essere isolate dalle bacche di goji e ulteriormente utilizzate nell'industria alimentare e farmaceutica.

I componenti bioattivi idrosolubili delle bacche di goji vengono tradizionalmente estratti utilizzando acqua calda come solvente (Vidovic et al., 2022).

Al fine di migliorare l'efficienza di estrazione, sono stati sviluppati numerosi nuovi metodi di estrazione, che richiedono l'utilizzo di ultrasuoni o microonde, nonché l'estrazione con acqua subcritica (Vilkhu et al., 2008; Skenderidis et al., 2017; Zhang et al., 2020).

Oltre al metodo, altri fattori che possono influenzare la procedura di estrazione sono l'origine dei frutti, il tipo e il volume di solvente selezionato, il tempo di estrazione e la temperatura (Pedro et al., 2016).

È stata inoltre valutata l'efficienza per l'estrazione di composti bioattivi dalle bacche di goji disidratate, con l'utilizzo di diversi solventi, a diverse concentrazioni, tra cui l'acqua ultrapura, l'acetone, l'etanolo e il metanolo.

La selezione del miglior solvente la si ottiene valutando la presenza della più alta quantità di sostanze fitochimiche negli estratti con elevata attività antiossidante, mediante saggi FRAP, ABTS e DPPH (Pedro et al., 2018).

È stata studiata anche la stabilità degli antociani delle bacche di goji nero, in condizioni di pH variabili. Per estrarre gli antociani viene principalmente utilizzata acqua o solventi acidificati, indicando una maggior stabilità di conservazione dell'estratto di antociani di goji nero grezzo con pH acido (pH di 3-4), rispetto ad un pH alcalino che li rende meno stabili facendo sì che si degradino più velocemente. Pertanto, se si utilizza l'acqua come solvente di estrazione, è necessario prestare particolare attenzione all'influenza del pH sulla stabilità degli estratti ottenuti (Vidana Gamage et al., 2021).

Le bacche di goji (*Lycium barbarum*) sono ricche di carotenoidi, inclusi 7 carotenoidi liberi e 11 esteri di carotenoidi. I carotenoidi delle bacche di goji sono molecole lipofile e instabili, facilmente degradabili sotto l'influenza di luce, calore o ossigeno. La loro scarsa solubilità in acqua si traduce in una bassa digeribilità nel corpo umano e una limitata applicazione negli alimenti (Liu et al., 2021).

Per questo motivo vengono spesso estratti dalle bacche e incorporati in appositi sistemi di trasporto, che ne migliorano la biodisponibilità. Fino ad ora, diversi tipi di olio, come soia, girasole, palma o semi di cotone, sono stati utilizzati come vettori di carotenoidi (Liu et al., 2021).

La natura degli oli è un fattore importante che influenza la bioaccessibilità e la biodisponibilità dei carotenoidi nelle emulsioni O/W. Il grado di insaturazione dell'olio ha avuto un'influenza significativa sulla bioaccessibilità della zeaxantina dipalmitato (ZD).

Le emulsioni di olio ricco di acidi grassi monoinsaturi hanno portato ad una maggiore bioaccessibilità rispetto alle emulsioni di olio ricco di acidi grassi polinsaturi (Kan et al., 2020). Le emulsioni oleose ricche di PUFA hanno determinato una minore bioaccessibilità della ZD rispetto alle emulsioni oleose ricche di MUFA. Secondo i ricercatori, i MUFA presenti nelle emulsioni potrebbero essere più idrofobici dei PUFA, portando alle micelle una maggiore capacità di solubilizzare la ZD idrofobica.

Inoltre, la bioaccessibilità degli esteri dei carotenoidi, principalmente degli esteri della zeaxantina, aumenta significativamente quando le bacche di goji vengono mescolate con un'emulsione O/W, rispetto al semplice frutto di *L. barbarum* (Kan et al., 2020; Vidovic et al., 2022).

Questo rappresenta anche un nuovo modello alimentare per aumentare la bioaccessibilità dei carotenoidi di diversi frutti. Secondo studi recenti, gli esteri di carotenoidi estratti o separati dalle bacche di goji possono essere incorporati in nanoemulsioni (Luo et al., 2020) o incapsulati in nanocapsule formate dalla complessa coacervazione tra gelatina e carbossi-metilcellulosa di sodio, che si mantengono stabili. Rivelando inoltre, che il nanoincapsulamento della zeaxantina potrebbe aumentarne la stabilità termica e rallentare il rilascio di zeaxantina nel processo di digestione gastrica, aumentandone invece il rilascio durante la digestione intestinale per essere assorbite e utilizzate dal corpo (Zhang et al., 2021).

Campo et al. (2018) hanno sfruttato l'uso della mucillagine del cladode di cactus (*Opuntia monacantha*) come nuovo materiale strutturante per la nanoincapsulazione della zeaxantina.

Grazie alle sue proprietà lipofile, l'incapsulamento della zeaxantina da parte dei polisaccaridi della mucillagine può fornire una migliore solubilità in acqua. Inoltre, è stato dimostrato che l'incapsulamento ha preservato il contenuto di zeaxantina, migliorandone la stabilità.

I risultati ottenuti suggeriscono che la degradazione della zeaxantina era maggiore ad elevate temperature; questo parametro poteva essere migliorato proprio grazie alla nanoincapsulazione, dimostrando che l'uso della mucillagine del cladodo di cactus è una promettente alternativa per sostituire i polimeri sintetici all'applicazione delle nanotecnologie nel settore alimentare (Campo et al. 2018; Vidovic et al., 2022).

Infine, gli estratti acquosi delle bacche di goji incapsulati in maltodestrina, possono essere utilizzati come additivi alimentari potenzialmente prebiotici, perché hanno dimostrato di supportare la crescita e la vitalità e stimolare la proliferazione di ceppi batterici probiotici, come *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, in condizioni gastrointestinali simulate. Lo stesso gruppo di ricerca ha anche dimostrato che gli estratti acquosi delle bacche di goji, dove l'incapsulamento è stato eseguito con un contenuto minimo di maltodestrine e un alto contenuto di polifenoli, avevano un'elevata attività antiossidante e antimicrobica. Tali prodotti potrebbero essere utilizzati per la conservazione di alimenti o per la protezione delle piante (Skenderidis et al., 2019; Vidovic et al., 2022).

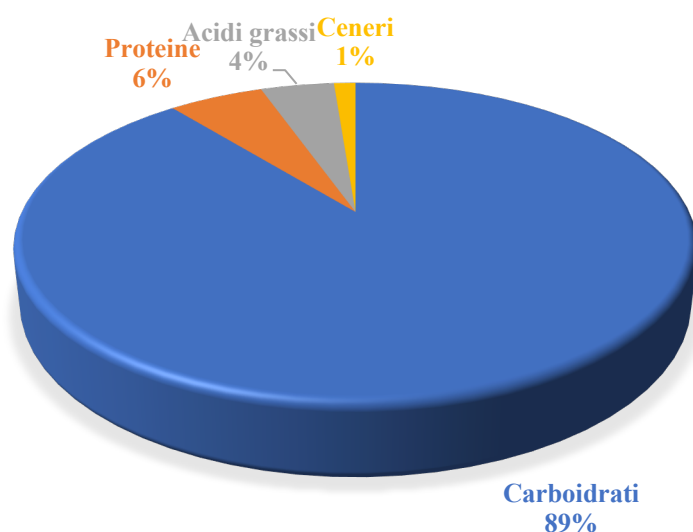
## 1.6 Composizione chimica del Goji e i parametri della qualità

Le bacche di goji contengono molti componenti con un'importante ed elevata attività biologica. I componenti sono, ad esempio, polisaccaridici complessi, aminoacidi, acidi grassi, fenoli, carotenoidi, vitamina C e minerali (Kulczynski et al. 2016).

Inoltre, sono stati identificati dalle piante delle diverse specie di *Lycium*, circa 350 costituenti chimici appartenenti alle classi di glicerogalattolipidi, fenolipropanoidi, cumarine, lignani, amidi, alcaloidi, acidi organici, composti terpenici, steroli e loro derivati e peptidi (Qian et al., (2017).

Secondo Pires et al., (2018) i componenti più abbondanti nelle bacche di goji essiccate sono i carboidrati con valori di circa 87 g/100 g di peso secco, le proteine come secondo macronutriente corrispondono ad un valore di 5,3 g/100 g di peso secco, seguiti dagli acidi grassi e ceneri con valori rispettivamente di 4,1 g/100 g di peso secco e 3,21 g/100 g di peso secco (figura 6).

### Composizione chimica delle bacche di goji su peso secco



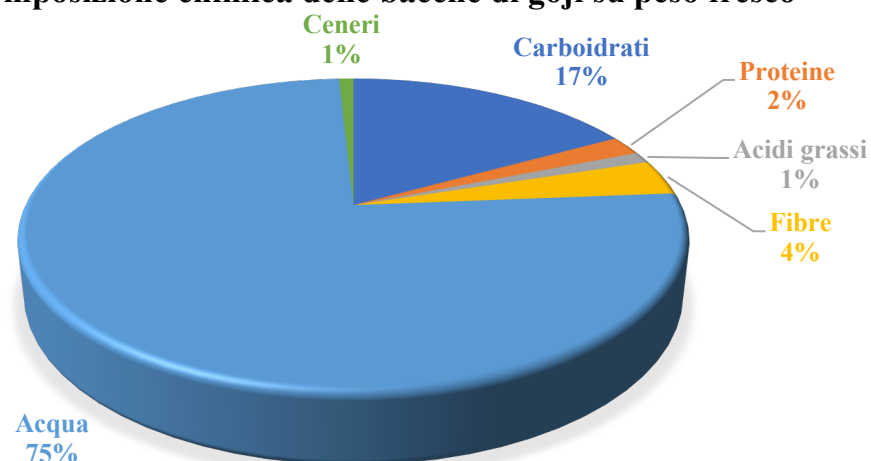
**Figura 6:** Composizione chimica delle bacche di goji secondo lo studio di Pires et al., (2018)

Confrontando questi dati con lo studio di Yan et al., (2014), il contenuto di proteine e acidi grassi riportati in quest'ultimo risultava più elevato, rispettivamente 12,1 g/100 g e 6,89 g/100g di peso secco.

Oltre ai numerosi lavori che riportano valori di composizione chimica calcolati sul peso secco, in letteratura ritroviamo con minor frequenza dati rappresentanti la composizione nutrizionale delle bacche di goji su peso fresco.

Nel lavoro di Ilic et al. (2020), sono riportati i valori di umidità pari al 75,32 g/100 g su peso fresco, carboidrati 16,93 g/100 g su peso fresco, fibra alimentare 3,63 g/100 g su peso fresco, proteine 1,98 g/100 g su peso fresco, acidi grassi 1,15 g/100 g di peso fresco e ceneri 0,84 g/100 g su peso fresco (figura 7).

### Composizione chimica delle bacche di goji su peso fresco



**Figura 7:** Composizione chimica delle bacche di goji secondo lo studio di Ilic et al., (2020).

Montesano et al. (2018), riporta la composizione chimica delle bacche di goji fresche, in ordine decrescente, le bacche contenevano il 78% di acqua, il 16,5% di zuccheri semplici (glucosio, fruttosio, saccarosio), il 2,5% di proteine, lo 0,8% di ceneri e il 2% di altri composti (polisaccaridi digeribili e non digeribili).

Ad ulteriore conferma dei valori riportati in letteratura, dallo studio di Niro et al., (2017), i dati ottenuti dalle analisi svolte sono pari al 77,4% di umidità, l'1,1% di acidi grassi, le proteine di circa 2,5%, 15,3% di carboidrati e il 2,9% di fibre.

Confrontando questi valori, con quelli di Ilic et al. (2020) e di Montesano et al., (2018), osserviamo dei risultati molto simili tra loro a livello di composizione chimica su peso fresco.



	Montesano et al., 2018	Niro et al., 2017	Ilic et al., 2020
<b>Acqua</b>	78 g/100 g fw	77,4 g/100 g fw	75,32 g/100 g fw
<b>Carboidrati</b>	16,5 g/100 g fw	15,3 g/100 g fw	16,93 g/100 g fw
<b>Proteine</b>	2,5 g/100 g fw	2,5 g/100 g fw	1,98 g/100 g fw
<b>Acidi grassi</b>		1,1 g/100 g fw	1,15 g/100 g fw
<b>Fibre</b>			3,63 g/100 g fw
<b>Ceneri</b>	0,8 g/100 g fw		0,84 g/100 g fw

**Tabella 1:** Tabella riassuntiva della composizione chimica delle bacche di goji (su peso fresco) da Montesano et al., 2018, Niro et al., 2017, Ilic et al., 2020.

### 1.6.1 Polisaccaridi

I polisaccaridi rappresentano il gruppo più importante ed abbondante di composti presenti nei frutti di goji. Piante diverse, variano nelle composizioni zuccherine accumulate, non solo in quantità ma anche in tipologia. L'accumulo di zucchero nella frutta mostra regolarità durante le fasi di sviluppo della frutta (Zheng et al., 2010).

I polisaccaridi dei frutti di *L. barbarum* (anche chiamati LBP, *Lycium barbarum polysaccharide*), rappresentano il gruppo più importante ed abbondante di composti presenti al loro interno.

Li troviamo nella forma idrosolubile, altamente ramificata, con un peso molecolare variabile da 8 a 214 kDa e costituiscono il 5–8% della sostanza secca totale dei frutti.

I diversi LBP sono stati isolati e purificati da estratti acquosi di *L. barbarum*, mediante metodi come la cromatografia a scambio ionico, la cromatografia a permeazione di gel e la cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC).

La loro composizione strutturale è stata studiata mediante l'elettroforesi SDS-PAGE, la gascromatografia (GC-MS), l'analisi automatica degli aminoacidi e la spettroscopia di risonanza magnetica nucleare (NMR). Da queste analisi si è evidenziato che sono glicopeptidi complessi costituiti da eteropolisaccaridi, polipeptidi e proteine (Amagase et al., 2011).

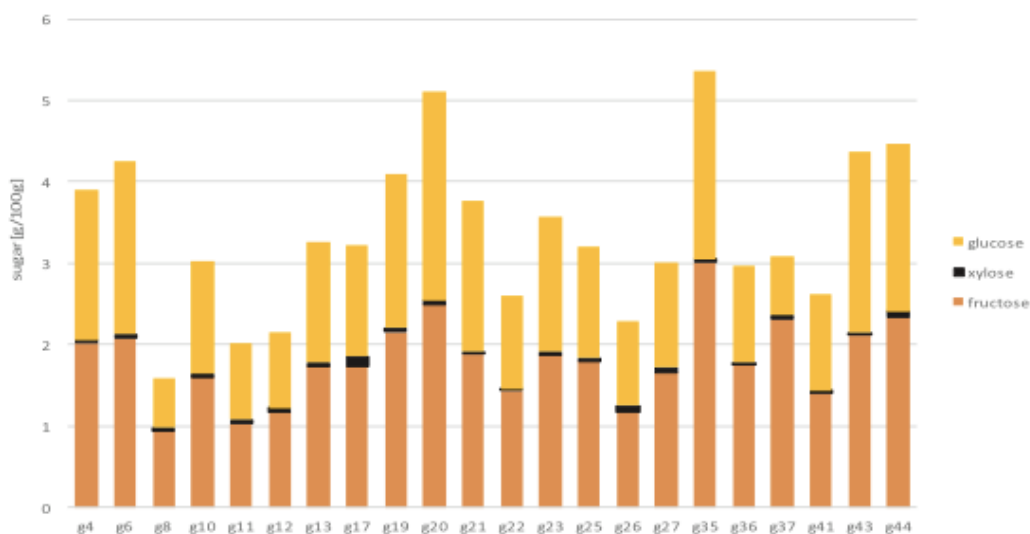
Sebbene differiscano in qualche modo nella composizione, i LBP contengono:

- sei tipi di monosaccaridi (arabinosio, ramnosio, xilosio, mannosio, galattosio, glucosio). I principali sono xilosio e glucosio con minori quantità di arabinosio, ramnosio, mannosio e galattosio.
- acido galatturonico
- 18 amminoacidi

Tutti gli LBP condividono una struttura Glican-O-Ser glicopeptide. Inoltre, è stato evidenziato che le catene principali dei glicani del LBP sono  $\alpha$ -1,6-D-glucano e  $\alpha$ -1,4-D-poligalatturonani. Alcuni studi indicano anche la presenza di fruttosio all'interno dei frutti del *Lycium barbarum* (Qian et al., 2017).

In aggiunta ai polisaccaridi pectici, come composti principali, i LBP sono composti da glucano, xilano e proteine dell'arabinogalattano. Le catene principali dei glicani dei LBP sono composte da (1 $\rightarrow$ 3)- $\beta$ -D-galattopiranosile, (1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-galattopiranosile e (1 $\rightarrow$ 4)- $\alpha$ -D-galattopiranosiluronico residui acidi. Essendo un gruppo di composti molto abbondanti nelle bacche di goji, la resa di LBP è stata proposta come parametro per valutare la qualità di *L. barbarum* e la sua applicabilità per l'uso di alimenti medicinali e funzionali (Vidovic et al., 2022).

Nel lavoro riportato da Wojdylo et al. (2018) è stato studiato il contenuto di glucosio, fruttosio e xilosio riportando valori di zucchero totale che variavano da 3,19 a 10,71 gr/100 gr su peso secco con una concentrazione di fruttosio superiore a quella del glucosio (figura 8).



**Figura 8:** Contenuto di glucosio, fruttosio e xilosio (Wojdylo et al., 2018)

Dallo studio di Zheng et al. (2010), il contenuto zuccherino totale è aumentato lentamente nelle prime fasi di sviluppo del frutto, per poi accumularsi rapidamente nelle fasi successive, circa 23-24 giorni dopo la fioritura, che sono quindi cruciali per l'accumulo di zucchero.

Il contenuto di glucosio aumenta in sincronia con quello di fruttosio durante tutte le fasi di sviluppo. Tuttavia, al contrario, il contenuto di saccarosio ha mostrato una tendenza al ribasso. Considerando le sue significative correlazioni negative con glucosio e fruttosio, ciò indicava che il saccarosio veniva decomposto in larga misura e trasformato in esosio (vale a dire glucosio e fruttosio). Di conseguenza, il contenuto di fruttosio e glucosio della frutta matura

rappresentava circa il 98% del contenuto totale di zucchero (con maggior presenza di fruttosio), mentre il saccarosio solo il 2% (Zheng et al., 2010).

### 1.6.2 Carotenoidi

Il secondo grande gruppo di metaboliti contenuti nelle bacche di *Lycium* sono i carotenoidi.

Sono un gruppo di composti liposolubili, responsabili del colore giallo e rosso di molte piante e prodotti alimentari. È stata inoltre dimostrata una loro efficacia nella prevenzione delle malattie cardiovascolari e del cancro alla pelle (Wang et al., 2010; Potterat et al., 2010).

Sono composti isoprenoidi sintetizzati da tutti gli organismi fotosintetici, da alcuni batteri e funghi non fotosintetici.

Nelle piante, i carotenoidi cloroplastici sono costituenti dei complessi di raccolta della luce e del centro di reazione fotosintetico, dove svolgono il ruolo di protezione dei tessuti dal danno foto-ossidativo. Il loro contenuto aumenta durante il processo di maturazione.

I carotenoidi sono precursori di importanti apocarotenoidi, come i terpeni volatili, responsabili dell'aroma e dell'acido abscissico (ABA), un regolatore della crescita vegetale (Liu et al., 2014). Oltre a queste funzioni biologiche, i carotenoidi fungono da principali micronutrienti nella dieta umana. In particolare, il  $\beta$ -carotene, l' $\alpha$ -carotene e la  $\beta$ -criptoxantina sono precursori della biosintesi della vitamina A, mentre la luteina e la zeaxantina rallentano i danni causati dall'invecchiamento alla retina (Liu et al., 2014).

Il tipico colore rosso-arancione delle bacche di goji deriva da un gruppo di carotenoidi, che costituiscono solo lo 0,03-0,5% del frutto secco (Peng et al., 2005). I risultati di un'analisi spettrofotometrica condotta da Peng et al., (2005), suggerisce che il contenuto di carotenoidi è correlato all'intensità del colore dei frutti delle piante di *Lycium*. La quantità di carotenoidi nei frutti di colore rosso più intenso era significativamente più elevata rispetto ai frutti che apparivano di colore giallastro (Peng et al., 2005).

Negli estratti di *L. barbarum* sono stati rilevati 11 carotenoidi liberi e 7 esteri di carotenoidi. Il carotenoide predominante nei frutti di goji è la zeaxantina dipalmitato (figura 9), un pigmento di colore giallo, isomero della luteina e un derivato del  $\beta$ -carotene, che viene prodotto nelle piante ((Dharmananda et al., 2007; Amagase et al., 2011).

Dallo studio di Potterat et al. (2010), la zeaxantina dipalmitato rappresenta circa il 56% dei carotenoidi totali del frutto, seguito da  $\beta$ -criptoxantina palmitato, zeaxantina monopalmitato, una piccola quantità di zeaxantina libera e  $\beta$ -carotene.

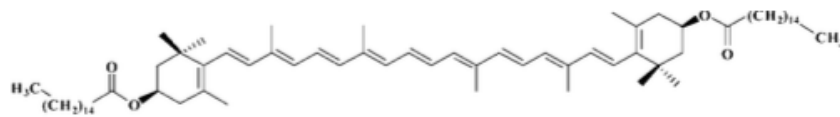


Figura 9: Struttura chimica della zeaxantina dipalmitato (Peng et al., 2005)

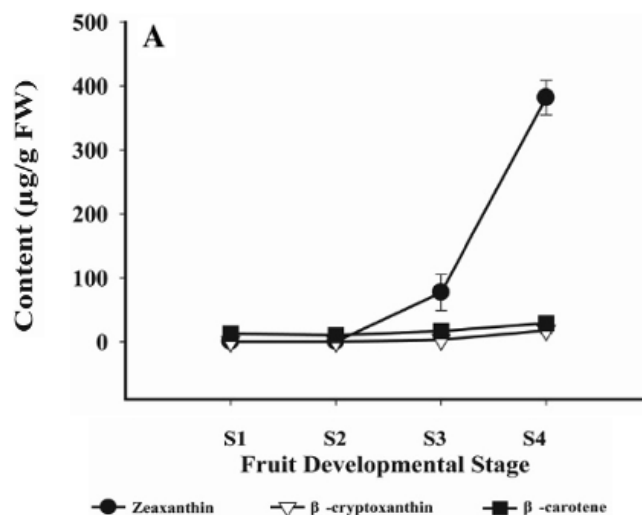
La significativa frazione di carotenoidi presente nelle bacche di goji sappiamo essere responsabile del caratteristico colore rosso-arancio, rendendo le bacche di goji una delle più ricche fonti naturali di carotenoidi (CAR).

La metodica più utilizzata per calcolare il contenuto totale di carotenoidi è il metodo che prevede l'utilizzo dello spettrofotometro, l'assorbanza viene misurata a 450 nm ed il contenuto percentuale di carotenoidi totali espresso come equivalenti di zeaxantina dipalmitato. La zeaxantina dipalmitato (ZEA), molecola con un importante valore biologico, è l'elemento più rappresentativo della frazione dei carotenoidi delle bacche di goji. Questo è stato confermato dal fatto che, dai dati ottenuti dalla letteratura, viene utilizzata come standard di riferimento (Peng et al., 2005; Patsilnakos et al., 2018).

Tenendo conto di questa considerazione, secondo lo studio di Patsilnakos et al. (2018), la ZEA risulta compresa tra valori di 55% e 81%, rispetto ai carotenoidi totali. Questi dati sono coerenti con altri valori citati in letteratura, che hanno riportato la ZEA come componente principale, intorno all'82-87% dei carotenoidi estratti nei campioni di bacche di goji essiccate (Karioti et al., 2014), seguita da  $\beta$ -criptoxantina e  $\beta$ -carotene (Liu et al., 2014).

L'analisi fitochimica dei frutti del *L. barbarum* ha rivelato che l'accumulo di carotenoidi aumenta durante la maturazione dei frutti rossi, raggiungendo valori di circa 508  $\mu\text{g/g}$  di peso fresco.

Dalla figura 10 possiamo osservare un drastico aumento del contenuto di zeaxantina dallo stadio S2 allo stadio S4. In particolare, seguendo l'andamento della  $\beta$ -criptoxantina, precursore della zeaxantina, questo si è accumulato a livelli costantemente bassi durante il processo di maturazione delle bacche di goji, accompagnato da un alto livello di accumulo di zeaxantina (Liu et al., 2014).



**Figura 10:** Contenuto di zeaxantina, β-criptoxantina e β-carotene nelle bacche di goji (grafico riadattato da Liu et al., 2014)

### 1.6.3 Polifenoli e flavonoidi

I composti fenolici sono metaboliti secondari, ampiamente presenti nei tessuti vegetali, tra cui frutta, bacche, ortaggi e cereali come esteri o glicosidi.

Questi composti possono essere classificati in diversi gruppi, come gli acidi fenolici, i flavonoidi, i tannini, le cumarine, i lignani e gli stilbeni ((Rodrigues Sa et al., 2019; Pap et al., 2021).

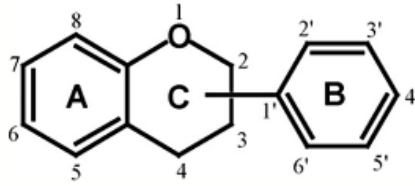
È noto che i composti polifenolici abbiano molte attività biologiche. Le caratteristiche più comuni dei polifenoli sono i loro caratteri antiossidanti e pro-ossidanti. È estremamente importante anche il loro potenziale ruolo nella prevenzione e nel trattamento di malattie croniche, come le malattie cardiovascolari, neurodegenerative ed il cancro.

Le specie reattive dell'ossigeno (ROS) sono caratterizzate da un atomo di ossigeno non stabile ad alta energia. I ROS sono formati principalmente da radicali superossido ( $O_2^-$ ), perossido di idrogeno ( $H_2O_2$ ) e radicali idrossilici ( $OH^\cdot$ ) che in quantità eccessiva causano effetti dannosi (Günes et al., 2019).

Man mano che i ROS si accumulano, la funzione delle cellule e dei tessuti si deteriora e questo accumulo causa condizioni come il cancro, l'aterosclerosi e le malattie neurodegenerative. La produzione di ROS avviene sia nelle piante che negli animali, entrambi i quali utilizzano sistemi simili per rispondere alla produzione di ROS. Le piante producono ROS per proteggersi dagli agenti patogeni e dallo stress esterno. Il corpo umano invece, ha bisogno di antiossidanti endogeni e di antiossidanti esogeni per ridurre al minimo gli effetti dei ROS.

Per questo motivo, i polifenoli che mostrano attività antiossidante sono estremamente importante per la salute umana. I polifenoli proteggono le cellule e i tessuti dal danno ossidativo

agendo come antiossidanti, eliminando i radicali e proteggendo il DNA dal danno ossidativo e l'LDL dalla perossidazione (Günes et al., 2019).



**Figura 11:** struttura di base dei flavonoidi (Cutrim et al., 2018)

Sulla base della struttura dello scheletro di carbonio, i flavonoidi identificati nella bacca di *Lycium barbarum* appartengono a sette sottogruppi: flavan-3-oli, flavanoni, flavoni, isoflavoni, flavonoli, diidrocalconi, antocianidine e antociani (Jiang et al., 2021).

I flavonoidi contenenti uno scheletro carbonioso C6-C3-C6 con due anelli fenilici (anelli A e B) e un anello eterociclico (anello C), rappresentano il gruppo più abbondante dei composti fenolici del *Lycium* (figura 11) (Cutrim et al., 2018).

Secondo lo studio di Zhang et al. (2016), nei frutti di goji sono stati identificati undici composti fenolici, tra cui sei flavonoidi e cinque acidi fenolici.

I flavonoidi individuati sono:

- Quercitina
- Miricetina
- Caempferolo
- Rutina
- Quercitina-ramno-di-esoside
- Quercitina-3-O-rutinoside

Tra questi flavonoidi individuati, la quercetina-rhamno-di-esoside e la quercetina-3-O-rutinoside sono stati individuati come i componenti flavonoidi predominanti.

Per quanto riguarda gli acidi fenolici, ritroviamo (Zhang et al. 2016):

- Acido caffeico
- Acido cumarico
- Acido ferulico
- Acido vanillico
- Acido clorogenico

Dallo studio di Rodrigues Sa et al. (2019), è stato riportato che oltre ai composti fenolici appena menzionati, sono stati ritrovati anche l'acido ellagico e l'acido siringtonico e la presenza di catechina.

La quantificazione dei fenoli totali è particolarmente importante per l'uso nutraceutico degli alimenti (Talay et al., 2021).

Negli ultimi anni, i composti fenolici hanno ricevuto una notevole attenzione per il loro ruolo protettivo contro il cancro e le malattie cardiache. Ciò può essere attribuito alla loro attività antiossidante, che è stata segnalata essere superiore a quella degli antiossidanti vitaminici (Rodrigues Sa et al., 2019).

Il contenuto fenolico totale (TPC) viene solitamente studiato tramite il saggio di Folin-Ciocalteu. In questo saggio viene utilizzato l'acido gallico come standard e, il contenuto totale dei composti fenolici, viene espresso come mg di acido gallico equivalente su grammo di estratto (mg GAE/g) (Ozkan et al., 2018).

Dallo studio di Montesano et al., (2018) il valore medio di TPC rilevato utilizzando il saggio Folin-Ciocalteu era di circa 7,6 mg GAE/g di goji essiccato.

Nel complesso, i risultati riportati da questo studio si adattano a risultati ottenuti da precedenti studi, che analizzavano la composizione fenolica in quattro bacche di goji rosse provenienti dalla Cina. In particolare, da questi ultimi studi è stato evidenziato un valore medio di 3,2 mg GAE/g (Montesano et al., 2018).

Secondo lo studio di Jatou et al. (2017) che analizza gli effetti dell'applicazione post-raccolta della lecitina per migliorare il potenziale di conservazione e la qualità del goji fresco, il tempo di conservazione non influenza significativamente il contenuto totale di polifenoli. I valori ottenuti a distanza di 8 giorni e 16 giorni di conservazione rimaneva abbastanza stabile.

Tuttavia, a seguito di trattamenti effettuati con lecitina in diverse quantità, l'interazione tra il tempo di conservazione e la concentrazione di lecitina utilizzata aveva un significato.

Considerando i valori di TPC dopo 8 giorni di conservazione, il TPC più elevato è stato osservato nel campione di controllo (225,48 mg GAE/ 100 g Fw).

A distanza di 16 giorni di conservazione, le bacche di goji trattate 5 g/L di lecitina hanno mostrato il contenuto di fenoli totale maggiore (249,19 mg GAE/ 100 g Fw). Osservando i risultati riportati nella tabella 2, i trattamenti con lecitina delle bacche di goji possono fornire una certa protezione per i polifenoli, dopo il periodo di conservazione più lungo (tabella 2).

Storage (days)	Treatment	TPC (mg GAE·100 g <sup>-1</sup> Fw)
8	Control	225.48 ± 3.34 a
	Lecithin 1 g·L <sup>-1</sup>	224.6 ± 12.57 a
	Lecithin 5 g·L <sup>-1</sup>	220.68 ± 4.10 a
	Lecithin 10 g·L <sup>-1</sup>	223.22 ± 6.79 a
16	Control	220.46 ± 3.78 b
	Lecithin 1 g·L <sup>-1</sup>	229.12 ± 6.09 b
	Lecithin 5 g·L <sup>-1</sup>	249.19 ± 9.73 a
	Lecithin 10 g·L <sup>-1</sup>	234.07 ± 7.75 ab
	Storage time	0.0046**
	Concentration	0.06 n.s
	Storage time × Concentration	0.0076**

**Tabella 2:** TPC =contenuto totale di polifenoli, dopo 8 e 16 giorni di conservazione con e senza trattamenti con lecitina (tabella riadattata da Jatou et al., 2017)

Valori simili a quelli appena riportati, sono stati ottenuti da Donno et al. (2015) dove il contenuto di TPC negli estratti di bacche di goji variava da 255,87 mg GAE/100 g Fw a 281,91 mg GAE/100 g Fw.

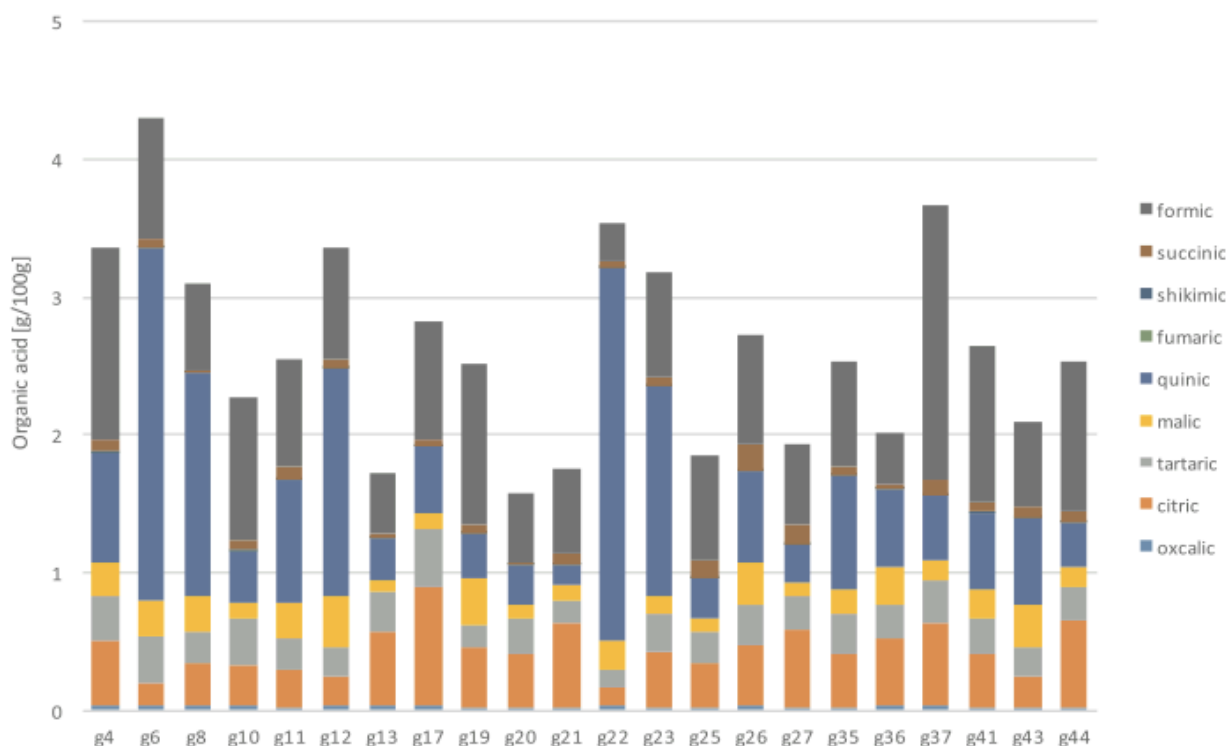
Questi ultimi valori leggermente più alti di TPC probabilmente sono dovuti ai diversi metodi di estrazione utilizzati, Donno et al. (2015) hanno utilizzato una soluzione estraente di metanolo acidificato, mentre Jatou et al. (2017) per l'estrazione hanno utilizzato acqua distillata calda.

#### 1.6.4 Acidi organici

Gli acidi organici e gli zuccheri sono i costituenti che determinano maggiormente gli attributi sensoriali, contribuendo anche a potenziali benefici per la salute.

I risultati dello studio di Wojdylo et al. (2018) riportano che il contenuto di acidi organici nelle bacche di goji variava da 1,58 a 4,30 g/100 g di peso secco in base alla tipologia di cultivar. Gli acidi principali che sono stati rilevati sono l'acido chinico, formico e citrico. Gli acidi rilevati a concentrazioni più basse sono l'acido ossalico, tartarico, malico, fumarico e shikimico e succinico (figura 12).





**Figura 12:** Contenuto di acidi organici (g/100 g dry fesh) (Wojdylo et al., 2018)

Gli acidi organici sono stati rilevati anche nello studio di Pires et al. (2018), riportando valori di acido citrico, succinico e ossalico rispettivamente di 1,29 g/100 g, 0,77 g/100 g e 0,01 g/100 g di peso secco.

### 1.6.5 Proteine e aminoacidi

Secondo Lu et al. (2021) gli studi sul contenuto di proteine nella frutta sono stati in parte ostacolati dalla loro intrinseca bassa concentrazione.

Il contenuto medio di proteine nelle bacche di goji, riportato in letteratura, è di circa 5,49 mg/gr di peso secco.

I risultati dell'analisi del contenuto aminoacidico hanno mostrato che le bacche di goji contenevano 20 aminoacidi liberi, di cui 17 aminoacidi proteici e 3 aminoacidi non proteici.

Dallo studio di Yu et al. (2017) sul contenuto aminoacidico delle bacche di goji, i due aminoacidi presenti in elevata quantità su tutti i campioni furono l'acido aspartico e la glutammina. Per quel che riguarda gli altri aminoacidi riassunti in tabella 3, erano presenti nei diversi campioni, ma il quantitativo variava sulla base dell'area geografica di provenienza.

Amino acid gram/100 g		Wolfberry-producing region in China			
Elution order	Abbreviation	Ningxia Zhongning	Ningxia no-Zhongning	No-Ningxia	Average value
Aspartic acid	Asp	1.445 ± 0.290	1.192 ± 0.251	1.196 ± 0.145	1.278 ± 0.229
Threonine	Thr	0.360 ± 0.052	0.321 ± 0.046	0.295 ± 0.050	0.313 ± 0.049
Serine	Ser	0.424 ± 0.056	0.389 ± 0.055	0.376 ± 0.063	0.396 ± 0.058
Glutamine	Glu	1.380 ± 0.252	1.190 ± 0.233	1.126 ± 0.218	1.232 ± 0.234
Proline	Pro	0.719 ± 0.062	0.660 ± 0.099	0.859 ± 0.175	0.746 ± 0.112
Glycine	Gly	0.274 ± 0.045	0.238 ± 0.034	0.200 ± 0.065	0.237 ± 0.048
Alanine	Ala	0.533 ± 0.068	0.477 ± 0.065	0.466 ± 0.068	0.492 ± 0.067
Cysteine	Cys	0.093 ± 0.030	0.073 ± 0.023	0.054 ± 0.017	0.073 ± 0.023
Valine	Val	0.300 ± 0.049	0.277 ± 0.048	0.271 ± 0.070	0.238 ± 0.056
Methionine	Met	0.037 ± 0.017	0.036 ± 0.014	0.024 ± 0.008	0.032 ± 0.013
Isoleucine	Ile	0.232 ± 0.033	0.215 ± 0.036	0.183 ± 0.063	0.210 ± 0.044
Leucine	Leu	0.435 ± 0.055	0.393 ± 0.066	0.358 ± 0.092	0.359 ± 0.071
Tyrosine	Tyr	0.211 ± 0.065	0.207 ± 0.088	0.196 ± 0.082	0.205 ± 0.078
Phenylalanine	Phe	0.341 ± 0.104	0.238 ± 0.071	0.240 ± 0.147	0.273 ± 0.107
Lysine	Lys	0.254 ± 0.048	0.212 ± 0.032	0.167 ± 0.064	0.211 ± 0.048
Histidine	His	0.151 ± 0.042	0.152 ± 0.024	0.114 ± 0.031	0.139 ± 0.032
Arginine	Arg	0.567 ± 0.085	0.481 ± 0.066	0.487 ± 0.117	0.512 ± 0.089
Total content	7.754 ± 1.063	6.746 ± 0.899	6.607 ± 0.970	7.036 ± 0.977	

**Tabella 3:** Contenuto aminoacidico nelle bacche di goji provenienti da diverse regioni (Yu et al., 2017)

Secondo lo studio di Talay et al. (2021), che riporta un contenuto di 22 aminoacidi nelle bacche, le bacche di goji contengono un elevato numero di aminoacidi, tra cui l'asparagina (11946 pmol/μL), l'arginina (6848 pmol/μL), l'alaina (6182 pmol/μL), la sarcosina (5361 pmol/μL), la serina (5231 pmol/μL) e glutammina (3711 pmol/μL). Il contenuto totale lo si può osservare nella tabella 4.

Amino acids	Averages (pmol/μL)	Amino acids	Averages (pmol/μL)
Alaine	6182±0.51	Leucine	1858±0.05
Arginine	6848±1.40	Lysine	2887±1.63
Asparagine	11946±1.21	Methionine	1134±1.40
Aspartate	3115±0.22	Phenylalanine	1604±0.71
Cysteine	1091±0.93	Proline	68±1.50
Glutamate	1393±1.25	Sarcosine	5361±2.05
Glutamine	3711±1.09	Serine	5231±1.23
Glycine	2582±1.69	Threonine	3286±0.76
Histidine	1858±1.03	Tryptophan	1652±1.22
Hydroxyproline	1036±1.72	Tyrosine	889±1.64
Ísoluecine	1323±1.07	Valine	651±3.07

**Tabella 4:** 22 aminoacidi contenuti nelle bacche di goji (Talay et al., 2021)

### 1.6.6 Acidi grassi

La composizione degli acidi grassi è di fondamentale importanza per determinare le proprietà e i benefici per la salute di un alimento, in particolare per la salute cardiovascolare (Montesano et al., 2018).

Nel lavoro di Skenderidis et al. (2019) è stata studiata la composizione in acidi grassi delle bacche di goji essiccate appartenenti alle specie di *L. barbarum* e *L. chinense* provenienti dalla Tessaglia, dalla Mongolia e da Ningxia. Da una prima analisi si è potuto osservare che in entrambe le specie analizzate l'acido linoleico (C18:2 n-6) (figura 13) era l'acido grasso polinsaturo dominante (PUFA) nei campioni provenienti dalla Tessaglia, variando dal 36,93% contenuto nel campione di *L. chinense* al 43,96% contenuto nel campione di *L. barbarum*. L'acido palmitico invece, aveva la percentuale più bassa tra tutti. I PUFA dell'acido  $\alpha$ -linolenico (n-3) aveva un contenuto nettamente inferiore, in un range di valori compresi tra il 5,39% del campione di *L. barbarum* originario della Mongolia all'8,85% del campione di *L. barbarum* originario della Tessaglia.

Per quel che riguarda il contenuto di acidi grassi monoinsaturi (MUFA) variavano dal 18,61% del campione di *L. barbarum* proveniente dalla Tessaglia al 26,19% del campione proveniente dalla Cina.

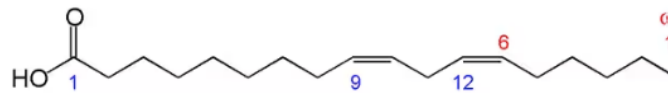


Figura 13: struttura dell'acido linoleico C18:2 n-6

In linea generale, gli acidi grassi polinsaturi (PUFA) sono gli acidi grassi più rappresentativi di questo frutto.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, il rapporto PUFA/SFA e n-6/n-3 sono significativi per la salute umana. In particolare, il rapporto n-6/n-3 dovrebbe essere superiore a 4:1, il rapporto PUFA/SFA dovrebbe essere superiore a 0,4-0,5 (Blasi et al., 2017).

Nello studio di Skenderidis et al. (2019), i rapporti ottenuti erano tutti superiori a 0,5, poiché variavano da 1,38 a 1,95.

In letteratura ritroviamo studi che riportano un contenuto di acidi grassi nelle bacche di goji essiccate compreso tra 0,39–4,1 g/100 g di peso secco, infatti, rilevando più specificatamente

16 acidi grassi, con gli acidi grassi polinsaturi come gruppo predominante. Gli acidi grassi a cui ci si riferisce sono l'acido linoleico (53,4%), l'acido oleico (16,5%) e l'acido palmitico (12,77%) (Teixeira et al., 2023).

### 1.6.7 Vitamine

Le bacche di goji sono un'importante fonte vitaminica, in particolare contengono vitamina C, vitamina B<sub>1</sub> (tiamina), vitamina B<sub>2</sub> (riboflavina), vitamina B<sub>3</sub> e vitamina E (Szot et al., 2020).

Secondo lo studio di Montesano et al. (2018), il contenuto di vitamina C nelle bacche di goji fresche era 35 mg/100 g, per cui 100 gr di bacche di goji fresche contribuiscono al 44% dell'RDA, secondo la RDA riportata nel Reg. 1169/2011.

Altri autori (Potterat et al., 2010; Donno et al., 2015) hanno riportato come contenuto di vitamina C, valori superiori, rispettivamente di 42 mg/100 g e di 48,94 mg/100 g di peso fresco, con un contributo pari approssimativamente al 60% dell'RDA nel secondo caso (Ilic et al., 2020).

Il quantitativo di vitamina C dipende dalla cultivar della pianta e dalla regione di coltivazione, inoltre vanno considerate le condizioni climatiche, procedure di raccolta e manipolazione post-raccolta (Ilic et al., 2020).

Il contenuto di acido ascorbico ha tendenza a calare durante il periodo di conservazione, andando quindi a ridurre le potenzialità antiossidanti del frutto (Fan et al., 2019).

Oltre all'acido ascorbico, il frutto di *Lycium barbarum*, contiene AA-2βG (2-O-β-D-glucopiranosil-L-ascorbico) conosciuto come provitamina C con attività antiossidante. Si stima che l'AA-2βG rappresenti circa lo 0,5% delle bacche di goji essiccate. Nello studio di Ilic et al. (2020), è stato rilevato il contenuto di AA-2βG pari a 0,62 mg/ g di peso fresco e 2,5 mg/ g di peso secco. Essendo il contenuto AA-2βG paragonabile al contenuto di acido ascorbico, i risultati ottenuti di AA-2βG corrispondono ad un contenuto di acido L-ascorbico di 33,4 mg/100 g di peso fresco.

Trattando le bacche di goji con alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> e basse concentrazioni di O<sub>2</sub>, si è visto come le basse temperature e l'atmosfera controllata determinassero una miglior ritenzione di vitamina C, considerata come somma di acido ascorbico (AsA) e acido deidroascorbico. Sebbene in alcuni casi, un'elevata CO<sub>2</sub> (10-30%) abbia determinato un aumento della perdita di vitamina C, probabilmente a causa della stimolazione dell'ossidazione dell'AsA o dell'inibizione della riduzione dell'acido deidroascorbico ad AsA (Kafkaletou et al., 2017).

### 1.6.8 Minerali

Secondo la letteratura (Endes et al., 2015), la composizione minerale degli alimenti di origine vegetale, come le bacche di goji, varia notevolmente a seconda delle condizioni climatiche, dalla provenienza geografica, dal periodo di raccolta, dai trattamenti post-raccolta e dall'uso di fertilizzanti.

La tabella 5 mostra la composizione minerale delle bacche di goji italiane fresche. Il potassio (K) è l'elemento predominante, seguito dal sodio (Na), con valori rispettivamente di 150,8 e 61,4 mg/100 g. La tabella riporta inoltre il contenuto percentuale di RDA (100 g di Goji fresco), secondo il Regolamento 1169/2011 e il LARN (Montensano et al., 2018).

Minerals	mg/100g	% RDA*
Ca	8.9±0.0	1
K	150.8±3.6	8
Mg	21.5±0.2	6
Na	61.4±1.8	4
Fe	0.4±0.0	3
P	4.5±0.0	1

\*calculated for 100g of fresh goji berries, according to Reg. EU 1169/2011 and LARN (2014) for Na.

**Tabella 5:** Composizione minerale delle bacche di goji fresche (mg/100gr) e il loro contributo all'RDA

Dai dati raccolti dallo studio di Montesano et al. (2018), le bacche di goji possono essere considerate una buona fonte di K, infatti 100 g di bacche di goji fresche contribuiscono a circa l'8% dell'RDA.

A conferma di questi valori, Niro et al. (2017) ha riportato come elemento predominante il potassio (K) (276,2 mg/100 g e 881,9 mg/100 g rispettivamente per la frutta fresca e secca, seguito dal sodio (Na). Il potassio e il sodio svolgono un ruolo importante nella regolazione della pressione sanguigna e dell'equilibrio acido-base del corpo.

Il goji potrebbe anche essere una buona fonte di fosforo (P) e calcio (Ca), con un'apprezzabile concentrazione di magnesio (Mg), necessario per prevenire le malattie cardiache e il ritardo della crescita.

Il contenuto di minerali delle bacche, come in tutti gli alimenti di origine vegetale, riflette la composizione del terreno in cui vengono coltivate. La concentrazione di elementi essenziali e non essenziali dipende quindi dalle caratteristiche del suolo, dalla fisiologia della pianta, dalla composizione della fonte idrica e dai fertilizzanti, insetticidi, pesticidi e fungicidi utilizzati nelle piantagioni.

Le piante infatti possono assorbire, trasportare e accumulare elementi chimici; ogni specie ha le proprie esigenze e diversi livelli di tolleranza quando assorbe e accumula un elemento.

## **1.7 Parametri per valutare la qualità**

Come è già stato approfonditamente spiegato, le bacche di goji sono una specie con una ricca composizione nutrizionale. Le principali sostanze attive, inclusi polisaccaridi, flavonoidi e sostanze antiossidanti sono spesso correlate agli attributi di qualità di questi frutti aumentandone il valore di mercato (Ma et al., 2023).

Inoltre, la caratterizzazione dei composti bioattivi nei frutti freschi di *L. barbarum* può essere utile al consumatore per aumentarne la consapevolezza del loro valore nutraceutico (Montesano et al., 2018).

Per questo motivo risulta importante la caratterizzazione dei diversi parametri della qualità sulle bacche di goji. Tali parametri devono essere misurati e monitorati anche durante la conservazione del prodotto.

Oltre alla composizione chimica precedentemente descritta è importante analizzare altri parametri per poter valutare la qualità dei frutti del *Lycium barbarum*, tra cui ad esempio i solidi solubili totali (TSS), l'acidità titolabile (TA), il pH e il colore.

### **1.7.1 Solidi solubili totali (TSS)**

L'indice di rifrazione è correlato alla quantità di solidi solubili (espressa come concentrazione di saccarosio) presenti all'interno del frutto. Per poterne conoscere il contenuto è possibile utilizzare delle apposite tabelle, oppure mediante l'utilizzo di un rifrattometro, grazie al quale si ottiene una lettura diretta dell'indice di rifrazione.

L'indice di rifrazione di una soluzione di prova, misurato tramite il rifrattometro, viene misurato solitamente a  $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  (ISO 2173:2003).

Questo metodo è applicabile in particolare ai prodotti densi, ai prodotti contenenti sostanze in sospensione e ai prodotti ricchi di zucchero. Se i campioni contengono altre sostanze disciolte, i risultati ottenuti saranno solo approssimativi; tuttavia, per comodità, il dato ottenuto con questo metodo può essere considerato convenzionalmente come il contenuto di solidi solubili.

Per la determinazione dei solidi solubili di un succo invece si fa riferimento alla ISO 2172:1983 dove, per convenzione, si considera la concentrazione di saccarosio di una soluzione acquosa avente la stessa densità relativa del succo analizzato in determinate condizioni di preparazione e temperatura.

Il contenuto di solidi solubili del succo di frutta può anche essere espresso in grammi per 100 g o in grammi per 100 ml (ISO 2172:1983).

I TSS del frutto di goji sono composti principalmente da zuccheri, acidi, pectina e tannini, di cui il principale è lo zucchero. Pertanto, il contenuto di TSS può essere utilizzato come indicatore per valutare la qualità e la freschezza delle bacche di goji (Fan et al., 2019).

Da questo studio, il contenuto di TSS delle bacche di goji inizialmente era pari al 22% con un leggero aumento durante le prime fasi di maturazione, per poi diminuire durante la conservazione fino a raggiungere il 16%.

Ciò è dovuto al fatto che durante la conservazione, nella frutta, l'amido inizialmente si trasforma in zucchero e successivamente lo zucchero viene perso a causa della continua respirazione e fermentazione (Fan et al., 2019).

Secondo lo studio di Pedro et al. (2019) il contenuto di TSS è risultato circa di 15 °Brix, in relazione al grado di maturazione e agli zuccheri totali e riduttori presenti nei frutti. Risultati più variabili sono stati riportati dal lavoro di Ilic et al. (2020), nel quale il valore di °Brix che riflette il contenuto di TSS nei frutti, variava da 9,43 a 16,73 °Brix.

Kafkaletou et al. (2017) ha misurato il contenuto di TSS utilizzando un rifrattometro digitale, calibrandolo con acqua deionizzata ed esprimendo il valore in °Brix, ottenendo dei risultati compresi nel range 21 °Brix e 25 °Brix, ovvero maggiori di quelli precedentemente riportati.

In questo studio si è inoltre verificato che, a seguito di trattamenti con alta CO<sub>2</sub> e basso O<sub>2</sub> eseguiti sui frutti, con l'aumentare del tempo di conservazione i valori di TSS rimanevano invariati.

### **1.7.2 Acidità titolabile (TA)**

L'acidità titolabile totale è la somma degli acidi organici e dei loro sali contenuti all'interno dei frutti. La neutralizzazione dell'acido titolabile viene determinata con l'utilizzo di una soluzione alcalina, solitamente NaOH, in presenza di un indicatore di viraggio del colore come la fenolftaleina e il blu di bromotimolo (Tanase et al., 2016) oppure controllando il punto di viraggio del pH.

Questo parametro può essere convenzionalmente espresso in g di acido per 100 g o per 100 mL di prodotto. A seconda dei casi, si utilizza il fattore di conversione appropriato corrispondente all'acido che risulta presente in quantità maggiore nel campione, assumendo quindi, che tutta la quantità trovata corrisponda ad un unico acido (AOAC metodo 942.15).

In letteratura troviamo principalmente valori di acidità titolabile espressi in percentuale di acido citrico (fattore di conversione: 0,070) o di acido malico (fattore di conversione: 0,067).

Secondo lo studio di Fan et al. (2019), il contenuto iniziale di acidità titolabile delle bacche di goji era di circa il 2,59% di acido citrico con tendenza a diminuire rapidamente durante la conservazione, arrivando ad un valore di 0,5% (Fan et al., 2019).

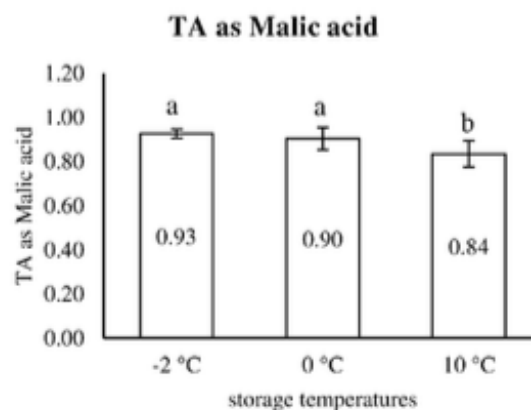
Valori inferiori di acidità titolabile sono stati ottenuti nello studio di Ilic et al. (2020), dove i dati riportati variavano da 0,63% ad un 0,77%, espressi come percentuale di acido citrico nelle bacche di goji.

La formula utilizzata nello studio di Jatoi et al. (2018) per calcolare l'acidità titolabile è:

$$\text{Malic acid} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{mEq} \times 10}{\text{mL di succo}}$$

dove è stato utilizzato NaOH 0,1 M per eseguire la titolazione ed assumendo che l'acido malico fosse quello principale.

Durante questo lavoro è stata misurata la quantità di TA dei frutti di goji conservati a diverse temperature. Dalla figura 14 si può osservare che durante la conservazione sono state riscontrate solo piccole variazioni in termini di TA nei frutti conservati a  $-2^{\circ}\text{C}$  (0,93) e  $0^{\circ}\text{C}$  (0,90), mentre erano significativamente differenti da quelli conservati a  $10^{\circ}\text{C}$  (0,84) (Jatoi et al., 2018).



**Figura 14:** TA dei frutti di goji conservati a tre diverse temperature ( $-2^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ) (Jatoi et al., 2018)

I valori TSS, TA, il loro rapporto (TSS/TA) sono degli importanti indicatori della qualità sensoriale delle bacche di goji e della loro commerciabilità (Habibi et al., 2020).



### 1.7.3 pH

Com'è noto, il pH è la concentrazione degli ioni  $H^+$  all'interno di una soluzione; nello studio di Kafkaletou et al. (2017), il pH è stato misurato in succo diluito con acqua deionizzata (1:10 v/v).

Sui campioni analizzati, i valori di pH sono rimasti pressoché stabili, a parte in alcuni campioni dove si è notata una diminuzione che potrebbe essere spiegata dalla solubilità della  $CO_2$  nel succo e dalla produzione di  $HCO_3^-$  e  $H^+$ . Sono stati registrati valori di pH variabili da 4,88 a 5,35 (Kafkaletou et al., 2017). Questi dati sono in accordo con quelli rilevati da Ilic et al. (2020), che riportano valori di pH compresi nel range 4,67 e 4,75.

Confrontando questi valori con la letteratura leggiamo alcuni dati che si discostano leggermente da quelli appena riportati, come nel lavoro di Fatchurrahman et al. (2022), dove si registrano pH leggermente più elevati, in un range compreso tra 5,35 e 5,66 (tabella 6).

	<b>Kafkaletou et al., 2017</b>	<b>Pedro et al., 2019</b>	<b>Fan et al., 2019</b>	<b>Ilic et al., 2020</b>	<b>Fatchurrahman et al., 2022</b>
<b>TSS</b>	Tra 22,53 e 23,77 °Brix	15 °Brix	22%	Tra 9,43 e 16,73° Brix	23%
<b>TA</b>	Tra 0,33% e 0,40% (acido citrico)	4,60 meq NaOH/100g	Da 2,59% a 0,5% (acido citrico)	Tra 0,63% e 0,77% (acido citrico)	Tra 0,47% a 0,55% (acido citrico)
<b>pH</b>	Tra 4,88 a 5,35	Tra 5,27 a 5,35		Tra 4,67 e 4,75	Tra 5,35 e 5,66

**Tabella 6:** Tabella riassuntiva sui diversi valori di TSS, TA e pH riportati in letteratura.

### 1.7.4 Colore

Il colore è uno degli attributi più importante nell'industria alimentare, in quanto è un parametro di qualità che influenza l'accettazione del prodotto da parte del consumatore. Questo parametro è associato alla qualità e alla genuinità delle bacche di goji e potrebbe essere correlato alla presenza di un profilo chimico caratteristico, dato dalla pigmentazione. La colorazione del frutto di goji è attribuibile alla grande quantità di carotenoidi, importanti pigmenti responsabili del colore giallo, arancione e rosso, presenti in molti frutti e ortaggi.

La determinazione del colore negli alimenti viene eseguita con l'utilizzo di un colorimetro che fornisce delle coordinate colorimetriche secondo lo standard internazionale CIE L\*, a\* e b\* (Patsilinakos et al., 2018; Pedro et al., 2019).

Il parametro L\* (0 = nero e 100 = bianco) rappresenta la luminosità del campione, mentre gli altri si occupano di evidenziare la cromaticità. Il parametro a\* indica il colore verde o rosso (negativo = verde; positivo = rosso) e il parametro b\* rappresenta il colore blu o giallo (negativo = blu; positivo = giallo) (Silva et al., 2017).

Per quanto riguarda il colore, dallo studio di Jatoi et al. 2017, si è potuto evidenziare come il tempo di conservazione influisse leggermente sul cambiamento dei valori riguardanti tale parametro; è inoltre influenzato dalle temperature di conservazione e dalla tipologia di cultivar in analisi (Jatoi et al., 2017; Jatoi et al., 2018).

### 1.7.5 Attività antiossidante

Le sostanze antiossidanti vengono chiamate “scavenger” e servono per difendere dalla tossicità dei radicali liberi dell'ossigeno. In particolare, questa loro capacità di scavenging, trasforma i radicali liberi dell'ossigeno in composti non radicalici privi di reattività, quindi di tossicità.

L'attività antiossidante è influenzata da diverse componenti, tra cui il contenuto di carotenoidi, flavonoidi, composti fenolici, acido ascorbico e polisaccaridi presenti nei frutti del *Lycium barbarum*.

Inoltre, la capacità antiossidante di un campione può dipendere anche da quale tecnologia e da quale generatore di radicali liberi o ossidante viene utilizzato nella misurazione.

Di conseguenza, il confronto tra diversi metodi analitici per la determinazione del TAC (capacità antiossidante totale) è un fattore chiave per aiutare i ricercatori a scegliere il metodo migliore ed a comprenderne i risultati ottenuti (Zulueta et al., 2009).

Per misurare quindi l'attività antiossidante, possono essere utilizzati diversi saggi:

- FRAP

Il nome del saggio “FRAP”, acronico di “Ferric Reducing Antioxidant Power”, è stato sviluppato da Benzie e Strain per misurare il potere riducente del plasma, successivamente utilizzato anche per valutare la capacità antiossidante di prodotti botanici.

Il principio si basa sulla capacità degli antiossidanti di ridurre il complesso di Fe(III) 2,4,6-tripiridil-s-triazina (anche chiamato come  $[\text{Fe(III)-(TPTZ)}_2]^{3+}$ ) a Fe(II), (anche chiamato come  $[\text{Fe(II)-(TPTZ)}_2]^{2+}$ ) (figura 15). Quando il complesso viene ridotto, si forma un composto

colorato, per cui la reazione può essere monitorata spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di assorbimento di 593nm (Prior et al., 2005; Matteucci Pietro 2012).

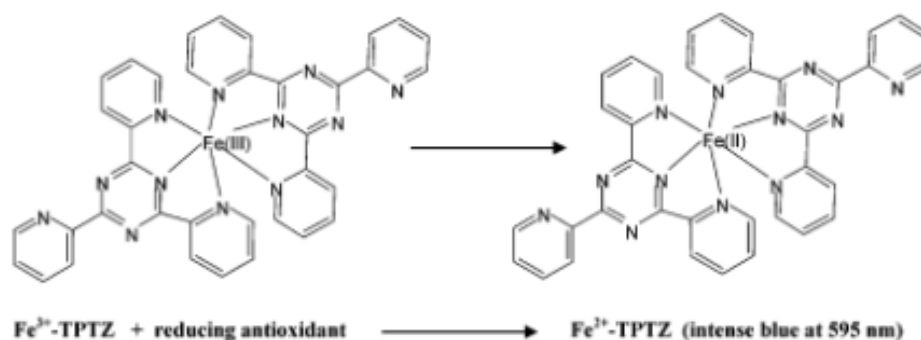


Figura 15: riduzione del  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  (Prior et al., 2005)

- DPPH

Il radicale DPPH è un radicale azotato organico stabile che presenta un colore viola intenso. Il saggio per valutare la capacità antiossidante utilizzando questa metodica si basa sulla capacità riducente degli antiossidanti nei confronti del DPPH. Infatti, il campione in analisi viene fatto reagire con una soluzione di DPPH [2,2-difenil-1-picrylhydrazyl,  $C_{18}H_{72}N_5O_6$ ] e la reazione viene monitorata, mediante la perdita del colore, con lo spettrofotometro ad una lunghezza d'onda pari a 517 nm. (Prior et al., 2005)

I composti antiossidanti (A-OH) capaci di trasferire un atomo di idrogeno al radicale, causano una decolorazione della soluzione. Si analizza quindi all'UV-Vis la diminuzione del picco a 517 nm del radicale (DPPH) dopo un tempo di incubazione prestabilito. Questa diminuzione, visibile grazie alla decolorazione, è proporzionale alla carica antiossidante presente nel campione.

- ABTS

Un altro metodo per lo screening dell'attività antiossidante è un saggio di decolorazione ABTS (acido 2,2-azinobis-(acido 3-etil-benzotiazolina-6-solfonico), utilizzabile sia per composti lipofili e idrofili. Questo saggio si basa sulla generazione di un radicale ( $ABTS^+$ ) direttamente in una forma stabile, prima dell'aggiunta alla reazione degli agenti antiossidanti.

La formazione di  $ABTS^+$  avviene tramite la reazione di ossidazione dell'ABTS con persolfato di sodio o di potassio ( $K_2S_2O_8$  o  $Na_2S_2O_8$ ). Il catione radicalico formato è di colore blu/verde e ha massimi di assorbimento a lunghezze d'onda di 415 nm, 645 nm, 734 nm e 815 nm.

L'aggiunta di antiossidanti al catione radicalico preformato ne riduce l'ABTS, in misura e su scala temporale dipendente dall'attività antiossidante, dalla concentrazione dell'antiossidante e

dalla durata della reazione. Si determina quindi l'entità della decolorazione come percentuale di inibizione del catione radicalico ABTS<sup>+</sup> in funzione della concentrazione e del tempo e si calcola rispetto alla reattività del Trolox come standard, nelle stesse condizioni (Re et al., 1999; Miliauskas et al., 2004).

- ORAC

Il saggio ORAC, sviluppato inizialmente da Cao, Alessio e Cutler (1993), consiste nel misurare la diminuzione della fluorescenza di una proteina a seguito della perdita della sua conformazione quando subisce un danno ossidativo, causato da una fonte di radicali perossilici (ROO).

Il metodo misura la capacità degli antiossidanti contenuti nel campione di proteggere la proteina dal danno ossidativo. Nel metodo originale la proteina utilizzata come sonda fluorescente era la b-ficoeritrina (b-PE), ma presentava innumerevoli svantaggi, tra cui la fotosensibilità e l'interazione con i composti fenolici a causa del legame proteico non specifico. Per risolvere queste problematiche è stato proposto di utilizzare la fluoresceina ((3', 6'- diidrossispiro [isobenzofuran-1[3H], 9'[9H] -xanten]-3-one) come proteina target.

Il saggio ORAC fornisce una misura diretta della capacità antiossidante di rottura della catena idrofila contro il radicale perossilico (Ou et al., 2001; Zulueta et al., 2009).

In letteratura, i valori di attività antiossidante studiati, sono quasi esclusivamente su campioni di bacche di goji essiccate. Per l'appunto, come riportato dallo studio di Protti et al. (2017) condotto su frutti essiccati, l'attività antiossidante delle bacche di goji è stata valutata utilizzando quattro diversi saggi: DPPH, ABTS, ORAC e OH-RSC. Questo al fine di avere una stima dei meccanismi che coinvolgono le diverse specie molecolari che agiscono come scavenger di radicali.

Come già spiegato in precedenza, DPPH e ABTS sono saggi che misurano la capacità del campione di disattivare le specie radicaliche attraverso reazioni di trasferimento elettronico. Il saggio ORAC stima invece la capacità di rimuovere i radicali perossilici attraverso reazioni di trasferimento di idrogeno. Il saggio OH-RSC fornisce valori strettamente correlati alla capacità dei campioni di rimuovere i radicali OH.

Ad oggi, in letteratura, esistono pochi studi che riportino esiti di analisi eseguite sulle bacche fresche, risulta quindi difficile avere dati paragonabili a quelli ottenuti da analisi sui frutti freschi.

Nello lavoro di Skenderidis et al. (2019), le attività di scavenging dei radicali liberi, determinate da DPPH e ABTS sono espresse come valore IC50, ovvero la concentrazione effettiva dei campioni richiesta per inibire il 50% del radicale libero iniziale.

In questo lavoro, è stata valutata la capacità di rimozione dei radicali liberi dei frutti di goji essiccati. Con il metodo DPPH i valori variavano da 784 a 1254 µg/ml, mentre i valori di ABTS variavano da 192 a 407 µg/ml (Skenderidis et al., 2019).

Per quel che riguarda l'attività antiossidante, secondo lo studio di Kafkaletou et al. (2018), i flavonoidi delle bacche di goji mostrano un effetto più importante nell'eliminazione dei radicali liberi, mentre la zeaxantina è risultata più efficace nella rimozione degli specifici radicali liberi idrossilici e superossido.

Dalla letteratura sappiamo inoltre che l'attività antiossidante può dipendere dalla temperatura di conservazione dei frutti. Valutandola con il metodo del DPPH, l'attività antiossidante risulta inferiore nei frutti che vengono conservati a 0 °C (227,53 µmol TE/100 g di Fw) rispetto ai frutti conservati a 10 °C (283,33 µmol TE/100 g di Fw) e a -2 °C (263,25 µmol TE/100 g di Fw).

Tuttavia, in termini di attività antiossidante analizzata con il metodo ABTS, non sono state rilevate differenze significative tra le temperature di -2 °C (1165,5 µmol TE/100 g di Fw) e 0 °C (1173,95 µmol TE/100 g di Fw), entrambi erano significativamente diversi e più bassi rispetto a 10 °C (1438,66 µmol TE/100 g di Fw) (Jatoi et al., 2018).

Per testare la riproducibilità dei metodi per valutare l'attività antiossidante, Thaipong et al. (2006) hanno misurato le attività antiossidanti utilizzando quattro test diversi: ABTS, DPPH, FRAP e ORAC; da un singolo estratto sono state ripetute tre volte le analisi per testare la riproducibilità dei test. I test DPPH e FRAP non hanno mostrato differenze tra le determinazioni, mentre i test ABTS e ORAC differivano tra i test.



## CAPITOLO 2: SCOPO DELLA TESI

L'obiettivo di questa tesi è quello di analizzare la variabilità dei campioni di frutti di goji freschi, testando alcuni parametri che possono rientrare all'interno della valutazione della qualità delle bacche di goji fresche. I parametri monitorati in questo studio sono il calibro, il peso, il colore, il pH, i solidi solubili totali (TSS), l'acidità titolabile (TA), il contenuto fenolico totale (TPC), l'attività antiossidante, il contenuto di minerali e la composizione chimica.

Sebbene il frutto del *Lycium barbarum* sia una coltura molto importante in termini di valore nutritivo, non sono ancora stati effettuati studi sufficienti per poter delineare dei parametri e delle metodiche che possano essere applicate in maniera univoca.

Si riscontra anche la mancata definizione di specifici standard commerciali che possano armonizzare il più possibile la filiera commerciale. L'intera filiera è quindi interessata da una assenza di un sistema strutturato per la valutazione dei parametri della qualità.

In letteratura si ritrovano alcuni lavori che riportano lo studio di modelli di crescita dei frutti e dell'accumulo di nutrienti in ogni fase dello sviluppo. Questo è un punto di partenza fondamentale per la gestione del campo e della produzione di cultivar di bacche di goji di alta qualità.

Inoltre, in letteratura si possono ritrovare molti studi che riguardino la valutazione della qualità del goji essiccato, ossia la modalità più commercializzata al mondo di questo frutto; i dati così ottenuti non sono però confrontabili e paragonabili agli studi sulla qualità delle bacche di goji fresche, studi che ad oggi sono molto limitati.





## CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI

### 3.1 Campioni

I campioni di bacche di goji fresche sono stati acquistati, in quantità diverse, da tre diversi produttori situati sul territorio italiano (tabella 7).

PRODUTTORI	PROVENIENZA	QUANTITA' ACQUISTATA	COSTO AL KG
Azienda Agricola "Favella Spa"	Sibari, Calabria	300 gr	55 €/kg
Azienda Agricola "Fabio Bragaglia"	Magliano in Toscana, Grosseto	500 gr	40 €/kg
Italgoji	Villareggia (TO), Piemonte	100 gr	

**Tabella 7:** Tabella riassuntiva dei produttori italiani dai quali sono state acquistate le bacche di goji fresche.

Le bacche acquistate sono state raccolte nel mese di luglio 2023 e durante il trasporto sono state raggruppate in vaschette di plastica (figura 16). Dovendo svolgere tutte le analisi sui frutti freschi, e non essendo sufficiente un'unica giornata per eseguirle tutte, appena ricevute le bacche una parte è stata stoccata in frigorifero a 4°C per poter conservarle e permettere lo svolgimento delle prime analisi; l'altra parte è stata congelata a -80°C per poter analizzare i frutti anche a distanza di qualche settimana dal loro arrivo.

Le prime analisi eseguite sono analisi non distruttive, quindi sui frutti freschi integri: misurazione del calibro, del peso e dell'analisi del colore. Dopo aver raccolto questi dati si procede con le analisi di tipo distruttivo, che richiedono quindi il pretrattamento del campione.



**Figura 16:** Bacche di goji fresche

## 3.2 Analisi non distruttive

Le analisi non distruttive che sono state eseguite comprendono:

### 3.2.1 Calibro

La dimensione dei frutti è stata misurata mediante l'utilizzo di un calibro elettronico che si può osservare nella figura 17 (Garant Digitaler Messschieber HCT) (Fatchurrahman et al., 2022).

Per ogni campione, sono state misurate in maniera casuale circa 50 gr di bacche, scartando i frutti che presentavano muffa o erano deteriorati.

È stata effettuata la misurazione della lunghezza (in mm) e della larghezza (in mm) dei frutti. I dati riportati rappresentano la media e la deviazione standard delle misure effettuate.

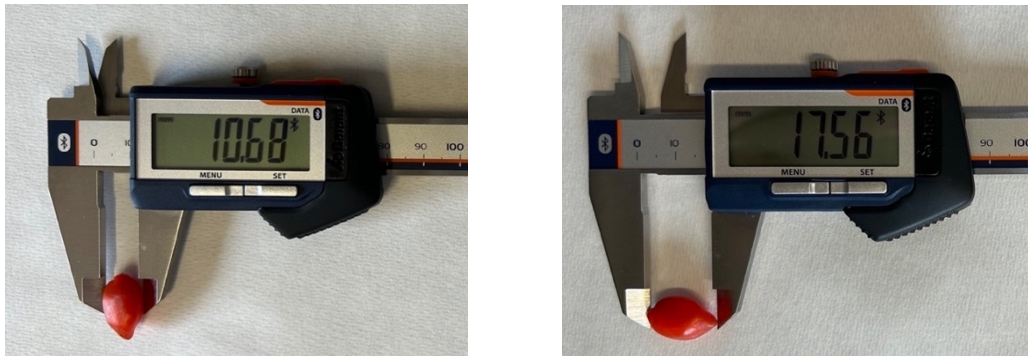


Figura 17: Larghezza e lunghezza di una bacca di goji

### 3.2.2 Peso

Il peso delle singole bacche di goji è stato misurato utilizzando una bilancia analitica (Sigma Precision, Adventurer) (Fatchurrahman et al., 2022). Sono state pesate assieme circa 60/70 bacche per ogni campione, utilizzando quelle che precedentemente erano state misurate con il calibro. Il valore totale del peso per ogni campione è stato diviso per il numero di bacche pesate, risalendo così il peso medio di una singola bacca ed esprimendolo in grammi (figura 18).



Figura 18: pesata delle bacche di goji fresche

### 3.2.3 Analisi del colore

Per ottenere le misure sul colore dei campioni di bacche di goji sono state utilizzati i frutti interi, inseriti all'interno di una piastra Petri (diametro 60 mm), per avere una superficie più omogenea evitando così di avere zone “vuote” dove la luce potesse passare senza incontrare il campione. Lo strumento utilizzato per la misura del colore è il colorimetro (Konica Minolta – CM-600d) che secondo il metodo CIElab (figura 19), permette di ottenere istantaneamente i valori di  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  dove  $L^*$  indica la luminosità e  $a^*$  e  $b^*$  indicano i valori di cromaticità. Queste coordinate sono state poi utilizzate per calcolare il parametro “Angolo di Hue” che è un indicatore della tonalità o tinta del frutto (da Silva et al., 2017).

Per il calcolo di questo parametro ci si avvale della formula:

$$Hue = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

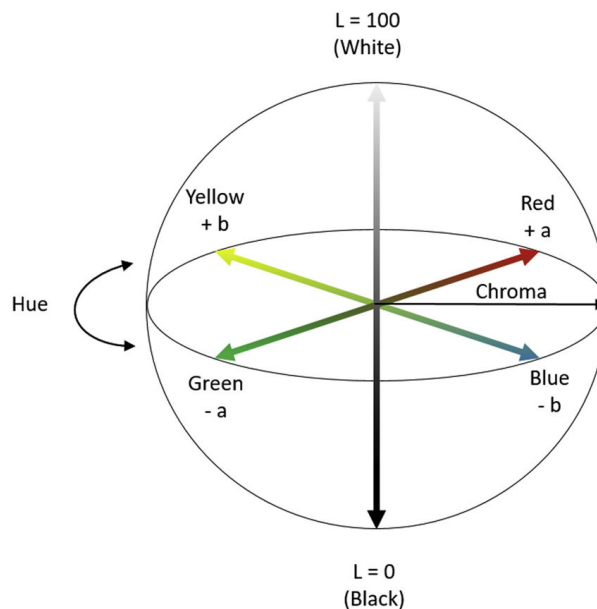


Figura 19: Il diagramma dello spazio colore CIELAB (Ly et al., 2019)

Per ogni campione sono state eseguite 5 letture con il colorimetro. I dati riportati rappresentano la media e la deviazione standard delle misure effettuate.

### 3.3 Preparazione dei campioni

Per poter svolgere le analisi sulle bacche di goji, i frutti sono stati preparati per essere resi idonei alle analisi seguendo il metodo di Kafkaletou et al., (2017) con alcune modifiche.

In particolare, gli estratti delle bacche di goji sono stati ottenuti utilizzando un blender per ridurre i frutti ad un composto liquido omogeneo. Sono stati quindi pesati circa 50/60 gr di bacche di goji ed inserite all'interno di un mixer con il quale sono state omogeneizzate per 45

secondi in tre passaggi da 15 secondi, mantenendo il campione pre-raffreddato a temperatura ambiente.

A seguito dell'omogeneizzazione, i campioni ottenuti sono stati suddivisi in due aliquote.

La prima aliquota (circa 40 gr) è stata utilizzata per svolgere le analisi di pH, acidità titolabile e solidi solubili totali (TSS).

Per lo svolgimento di queste analisi, il campione, dopo essere stato omogeneizzato, viene centrifugato per 5 minuti a 12000 giri (centrifuga Beckman Coulter - modello "Avanti J-E") alla temperatura di 25°C.

Il surnatante ottenuto (circa 20 mL) viene filtrato per trattenere i semi e le piccole impurità rimaste; sul succo filtrato vengono quindi svolte le analisi di pH, acidità titolabile e solidi solubili totali.

La seconda aliquota, composta da circa 5/10 gr di campione omogeneizzato, viene utilizzata per eseguire le analisi sui polifenoli e per la misura dell'attività antiossidante.

Per l'estrazione di questo campione si procede utilizzando come solvente d'estrazione l'acetone 80% (v/v) in acqua deionizzata (3 mL g<sup>-1</sup> di tessuto) (Kafkaletou et al., 2018).

Nelle provette da centrifuga sono stati inseriti il campione omogeneizzato e la soluzione di solvente acetone in acqua deionizzata, alla concentrazione di 3 mL/g peso fresco. Si consideri quindi che per 5 gr di tessuto da estrarre sono necessari 15 mL di solvente.

Le provette vanno poi mantenute alla temperatura di 4°C e inserite in un bagnetto ultrasonico per 15 minuti. Si procede poi con la centrifugazione dei campioni a 12000 giri per 5 minuti (T=4°C). Il surnatante ottenuto è filtrato e tenuto da parte; il precipitato deve essere nuovamente estratto utilizzando gli stessi passaggi svolti per la prima estrazione per tre volte.

L'estratto con solvente è conservato in congelatore a -20°C.

Con alcune modifiche della metodica appena descritta, altri 5 gr di bacche fresche intere sono stati estratti utilizzando il metanolo come solvente di estrazione, permettendo così di fare un confronto su quale estraente fosse più idoneo all'estrazione della matrice in analisi.

Si procede utilizzando come solvente di estrazione il metanolo 80% (v/v) in acqua deionizzata (3 mL g<sup>-1</sup> di tessuto).

Inserito il campione omogeneizzato nelle provette da centrifuga con la soluzione estraente, i campioni sono inseriti in un bagnetto ultrasonico alla temperatura di 4°C per 15 minuti. Si procede poi con la centrifugazione dei campioni a 12000 giri per 5 minuti (T=4°C).

Il surnatante deve essere filtrato e tenuto da parte; il precipitato deve essere nuovamente estratto utilizzando gli stessi passaggi svolti per la prima estrazione per tre volte. L'estratto è conservato in congelatore a -20°C.

### **3.4 Analisi distruttive**

Le analisi distruttive che sono state eseguite comprendono:

#### **3.4.1 Solidi solubili totali (TSS)**

Per la misurazione dei solidi solubili totali è stato utilizzato un rifrattometro ottico portatile all'interno del quale è stata inserita una goccia di succo ottenuto a seguito dell'omogeneizzazione delle bacche e della successiva centrifugazione (Jatoi et al., 2017).

Si assume che i solidi solubili siano per la maggior parte costituiti da zuccheri, esprimendo il valore in °Brix. La misura è stata eseguita cinque volte per ogni campione.

#### **3.4.2 pH**

Il pH dei campioni omogeneizzati è stato calcolato mediante l'utilizzo di un pH-metro, svolgendo l'analisi sul surnatante ottenuto dalla centrifugazione.

Il succo è stato diluito 1:10 (v/v) con acqua deionizzata e mantenuto in agitazione per la misurazione del pH. La lettura di ogni campione è ripetuta tre volte (Kafkaletou et al., 2017).

#### **3.4.3 Acidità titolabile (TA)**

I campioni sono stati titolati con una soluzione di NaOH 0,1 M. Il succo (5 mL) è stato diluito 1:10 (v/v) con acqua deionizzata. Il punto di neutralizzazione della soluzione lo si controlla con l'utilizzo del pH-metro, che deve raggiungere un valore di pH pari a 8,1. La titolazione è stata replicata tre volte per ogni campione (Fatchurrahman et al., 2022).

A seguito della titolazione, l'acidità titolabile è stata calcolata utilizzando il fattore di conversione dell'acido citrico (Nielsen Suzanne S., 2017)

$$\% \text{ Citric acid} = \frac{N \times V_1 \times Eq \text{ wt}}{V_2 \times 10}$$

- N = normalità del titolante (NaOH) in mEq/mL
- V<sub>1</sub> = volume del titolante (mL)
- Eq. wt. = peso equivalente dell'acido predominante (mg/ mEq)
- V<sub>2</sub> = volume del campione (mL)

### 3.4.4 Polifenoli totali

Il contenuto totale dei polifenoli è stato determinato secondo il metodo colorimetrico Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999) con alcune modifiche.

Per ogni replica, il contenuto di polifenoli totali è stato determinato utilizzando i campioni omogeneizzati ed estratti con il solvente acetone e metanolo.

Per lo svolgimento di questa analisi è necessario preparare due soluzioni (soluzione 1 e soluzione 2) da miscelare assieme per preparare il campione del bianco, necessario per costruire la retta di taratura, e la soluzione contenente l'estratto del campione dei frutti.

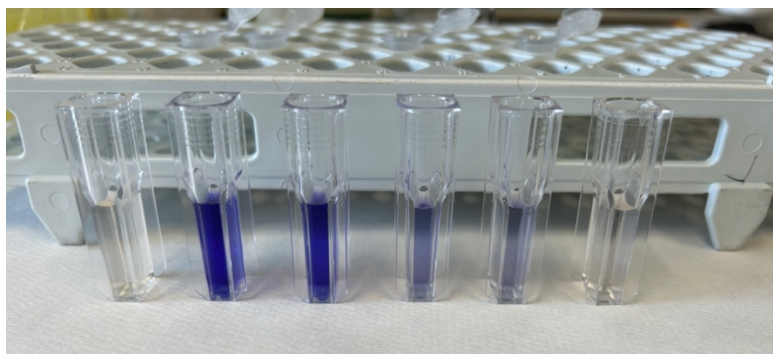
Per preparare la soluzione 1 bisogna utilizzare 10 gr di  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e scioglierli in 100 ml di NaOH 1M. Invece, per preparare la soluzione 2 è necessario miscelare 1 ml di Folin-Ciocalteu con 2 ml di acqua demineralizzata.

Soluzione 1	10 gr di $\text{Na}_2\text{CO}_3$ da sciogliere in 100 ml di NaOH
Soluzione 2	1 ml di Folin-Ciocalteu con 2 ml di acqua demineralizzata.

Il bianco, quindi, è stato ottenuto miscelando 1 mL di solvente usato per l'estrazione dei frutti di goji (acetone 80% (v/v)) in acqua deionizzata) con 5 mL di soluzione 1 e 0,5 mL di soluzione 2. Il campione invece è stato preparato unendo 1 mL di estratto (in acetone o metanolo) con 5 mL di soluzione 1 e 0,5 mL di soluzione 2. L'estratto ottenuto con il solvente acetone, prima di essere miscelato con le due soluzioni, è stato diluito 1:2 con il solvente di estrazione poiché la quantità dei polifenoli contenuti nelle bacche di goji è molto elevata (figura 20). L'estratto ottenuto con il solvente metanolo è stato utilizzato puro.

Questo determina una reazione immediata con il reagente Folin-Ciocalteu, facendo virare il colore della soluzione ad un blu molto intenso.

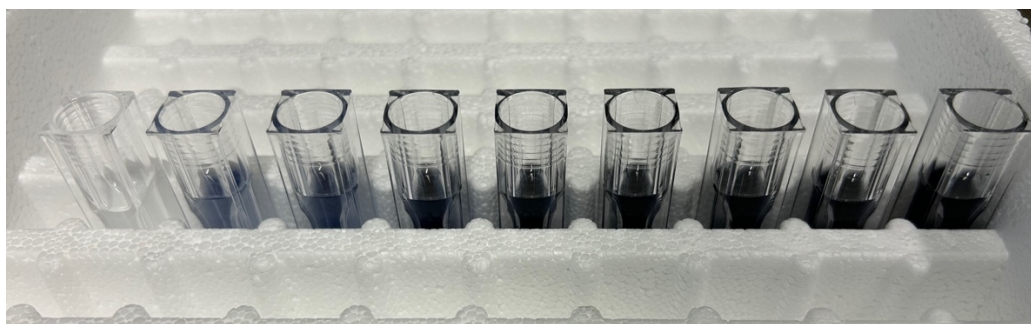
Trascorsi 30 minuti a temperatura ambiente affinché la reazione possa avvenire, si forma un precipitato e si sviluppa il colore blu. Successivamente trasferire il bianco e i campioni nelle cuvette da inserire in centrifuga a 12000 giri per 5 minuti. Trasferire il centrifugato nelle cuvette per lo spettrofotometro e leggere l'assorbanza a 650 nm. Per ogni campione sono state effettuate cinque letture, di cui si riporta media e deviazione standard.



**Figura 20:** Diluizioni dei campioni per il rilevamento dei polifenoli

La curva standard (figura 21) è stata preparata utilizzando acido gallico (100 mg / 250 mL di acetone/metanolo).

Le diluizioni di acido gallico utilizzate per la retta di taratura sono: 5, 10, 25, 50, 60, 70, 80, 90, 100.



**Figura 21:** curva di taratura per la misura dei polifenoli con acido gallico a diverse concentrazioni.

### 3.4.5 Attività antiossidante

Per ottenere una misurazione dell'attività antiossidante più precisa, sono stati eseguiti due saggi:

#### - Valutazione del FRAP

Per lo svolgimento di questo saggio per la valutazione dell'attività antiossidante i reagenti necessari sono: la soluzione utilizzata per l'estrazione del campione, acetone o metanolo 80% v/v, il tampone Na-Acetato 0,3 M a pH 3,6 (da conservare a temperatura ambiente), l'acido cloridrico 40 mM (PM = 36,46 g/mol; d= 1,18 g/ml; 37%), il cloruro di ferro ( $\text{FeCl}_3$ ) 20 mM (PM= 162,20 g/mol) e il 2,4,6-tripiridil-s-triazina 10 mM (TPTZ, PM =312,33 g/ml).

Per la preparazione del tampone Na-acetato 0,3M a pH 3,6:

	Formula chimica	Peso molecolare	Quantità necessaria
Sodio acetato	$C_2H_3NaO_2$	PM: 82.03 g/mol	3.1 gr/L
Acido acetico		PM: 60.05 g/mol	16 mL
Portare a volume con acqua demineralizzata			

Per la preparazione della soluzione di TPTZ 10mM in HCl 40mM:

	Formula chimica	Peso molecolare	Quantità necessaria
Acido cloridrico 37%	HCl	PM: 36.46 g/mol	3.34 mL/L di acqua distillata
TPTZ		PM: 312.33 g/mol	3.12 g/L di HCl 40 mM

Per la preparazione della soluzione di  $FeCl_3$  20 mM:

	Formula chimica	Peso molecolare	Quantità necessaria
Cloruro di ferro (20 mM)	$FeCl_3$	PM: 162.2 g/mol	3,24 g/L di acqua distillata

Il FRAP è stato preparato miscelando 25 mL di tampone Na-Acetato 0,3 M pH 3,6 + 2.5 mL di soluzione di TPTZ 10 mM in HCl 40 mM + 2.5 mL di soluzione di  $FeCl_3$  20 mM in acqua distillata.

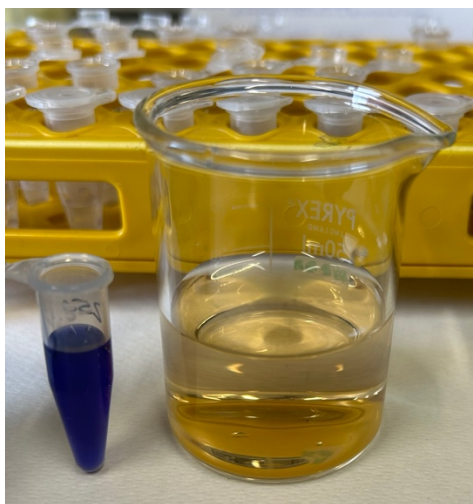
Questo reagente va preparato sempre fresco prima di svolgere l'analisi e deve essere coperto con un foglio di alluminio. Il colore della soluzione FRAP deve essere di colore arancione chiaro (figura 22).

Si procede poi con la preparazione del bianco unendo 100  $\mu$ L di solvente di estrazione a 900  $\mu$ L di reagente FRAP. Per la preparazione del campione bisogna diluire l'estratto 1:5 (40  $\mu$ L di estratto + 160  $\mu$ L di solvente). Prelevare una aliquota di 100  $\mu$ L di estratto diluito ed unirli con 900  $\mu$ L di reagente FRAP. Ripetere per tre/cinque volte il passaggio per ogni campione, in modo da avere tre ripetizioni per ognuno di essi.



Miscelare le soluzioni separatamente e coprire con alluminio tenendo in bagno termostato a 37 °C per 30 minuti.

Inserire le cuvette nello spettrofotometro e leggere il dato ad una lunghezza d'onda di 593 nm a T=25°C. A seguito della reazione, il colore del campione vira da arancione (meno presenza di antiossidanti) a viola (presenza di antiossidanti).



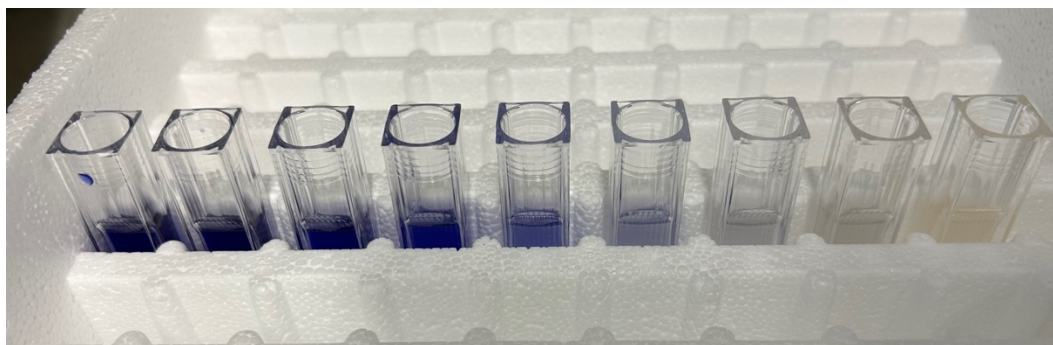
**Figura 22:** Viraggio della soluzione FRAP (a destra), da arancione chiaro a viola quando viene a contatto con il campione ricco di antiossidanti

I risultati letti dallo spettrofotometro devono essere confrontati con la retta di taratura che si ottiene utilizzando una soluzione standard di Trolox, che si ottiene facendo sciogliere 10 mg di Trolox in 10 mL di acetone. Si preleva 1 mL di FRAP che va miscelato con 10 µL di Trolox a diverse concentrazioni.

Acetone	500µL	498µL	495µL	490µL	480µL	450µL	400µL	250µL	0µL
Trolox	0 µL	2 µL	5 µL	10 µL	20µL	50µL	100µL	250µL	500µL

**Tabella 8:** Diluizioni effettuate per realizzare la curva di taratura

La curva standard (figura 23) è stata preparata utilizzando il Trolox (10 mg/ 10 mL di acetone/metanolo) a diverse concentrazioni: 0, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250 (tabella 8).

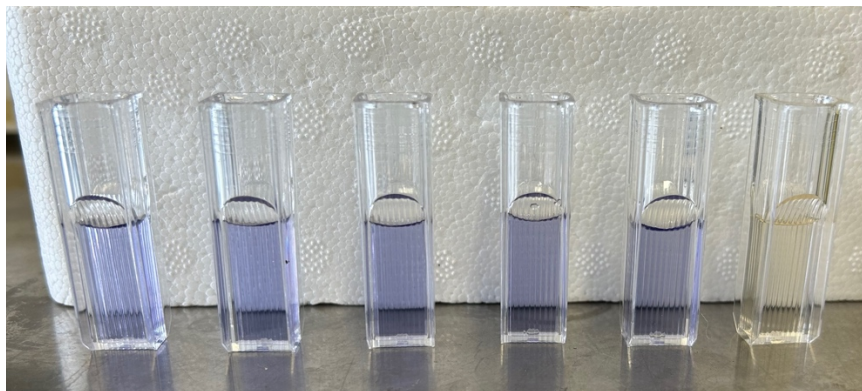


**Figura 23:** curva di taratura FRAP con Trolox a diverse concentrazioni

Per il campione estratto con il metanolo la prova si svolge nella medesima maniera.

Il risultato si esprime in mg TE /gr di peso fresco (FW).

Per ogni campione sono state effettuate cinque letture, di cui si riporta media e deviazione standard (figura 24).



**Figura 24:** campioni per la lettura allo spettrofotometro degli antiossidanti con il saggio FRAP

#### - **Valutazione del DPPH**

Per svolgere questo saggio è richiesto l'utilizzo della soluzione DPPH.

Per la preparazione di questa soluzione stock è necessario solubilizzare 25 mg di DPPH in 10 mL di metanolo puro. Usare la soluzione stock che deve essere portata a volume 1:10 con metanolo.

In particolare, per le analisi svolte sono stati prelevati 0,5 mL di soluzione stock in 50 mL di metanolo.

Il campione da analizzare è stato diluito 1:2 (v/v) con il solvente di estrazione acetone/metanolo.

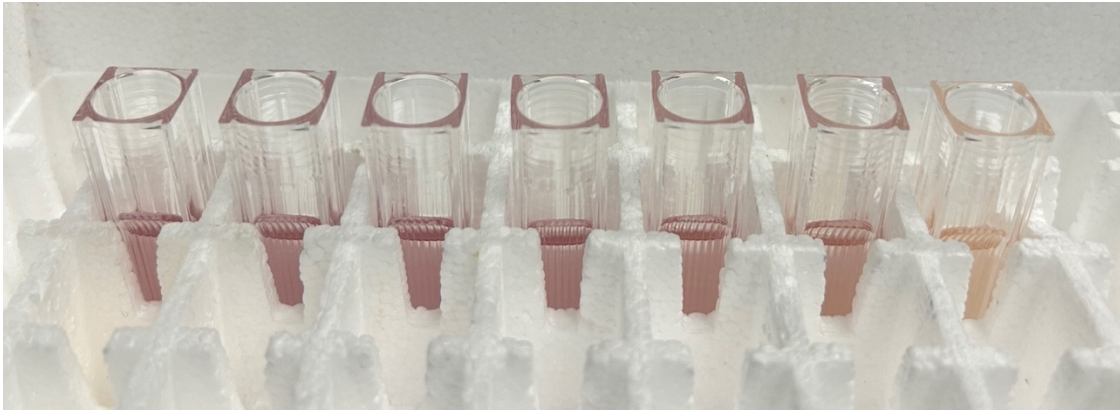
Per lo svolgimento dell'analisi è necessario preparare una soluzione di bianco con 1 mL di DPPH e 10 microlitri di acetone. Per la preparazione del campione da analizzare nello spettrofotometro si utilizza 1 mL di DPPH e 10  $\mu$ L di campione diluito 1:2, attendere 10 minuti prima di inserire i campioni nello spettrofotometro. Effettuare tre repliche per ogni campione.

Per la lettura allo spettrofotometro tarare lo strumento alla lunghezza d'onda di 517 nm. I risultati ottenuti devono essere confrontati con la retta di taratura ottenuta utilizzando una soluzione standard di Trolox, realizzata nella medesima maniera spiegata nel saggio FRAP. Si prelevano 900  $\mu$ L di DPPH da miscelare con 100  $\mu$ L di Trolox a diverse concentrazioni.

In particolare, la curva standard (figura 25) è stata preparata utilizzando il Trolox (10 mg/10 mL) soluzioni a concentrazioni note: 0, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250.

La particolarità di questa reazione è che il reagente DPPH, nel momento in cui entra in contatto con un campione ricco di antiossidanti si decolora, creando una retta di taratura inversa rispetto alle precedenti. I campioni con meno antiossidanti sono più colorati rispetto ai campioni ricchi di antiossidanti.

Il risultato si esprime in mg TE/ gr di peso fresco (FW). Per ogni campione sono state effettuate cinque letture, di cui si riporta media e deviazione standard.



**Figura 25:** curva di taratura DPPH con Trolox a diverse concentrazioni

### **3.5 Composizione chimica**

Sono state eseguite le analisi per l'umidità, la sostanza secca totale, le ceneri, la proteina e l'estratto etereo (lipidi grezzi).

Per la ricerca di ogni parametro sono stati utilizzati i metodi ufficiali (AOAC) sui campioni di bacche di goji fresche omogeneizzate effettuando tre repliche per ogni campione.

Nel dettaglio, per la ricerca dell'umidità il metodo di riferimento utilizzato è l'AOAC metodo 934.00, la sostanza secca totale con il metodo AOAC 934.01, le ceneri secondo il metodo 942.05, le proteine secondo il metodo AOAC 2001.11 e l'estratto etereo con il metodo AOAC 2003.05.

### **3.6 Minerali**

Le analisi per i minerali sono state eseguite utilizzando le bacche fresche di goji omogeneizzate. Per ogni campione sono state eseguite tre repliche ed il risultato è stato espresso in mg /100 g tal quale.

Per lo svolgimento di questa analisi sono stati seguiti i metodi ufficiali AOAC 2006.03 (17th ED. 2000) per la mineralizzazione in microonde e i metodi AOAC 999.10 e 985.01 (17th ED. 2000) per la lettura ICP.

I minerali che sono stati analizzati per i campioni di bacche di goji sono il sodio, il magnesio, il fosforo, lo zolfo, il potassio, il calcio, il manganese, il ferro, il rame, lo zinco e il selenio.

### **3.7 Analisi statistica**

Per le analisi statistiche i dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) tramite il software IBM® SPSS® Statistics (Version 28). Le medie sono state considerate significativamente differenti per  $p < 0,05$ . Per eseguire i confronti di più di due medie è stato eseguito un test post-hoc di Duncan.

## CAPITOLO 4: ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

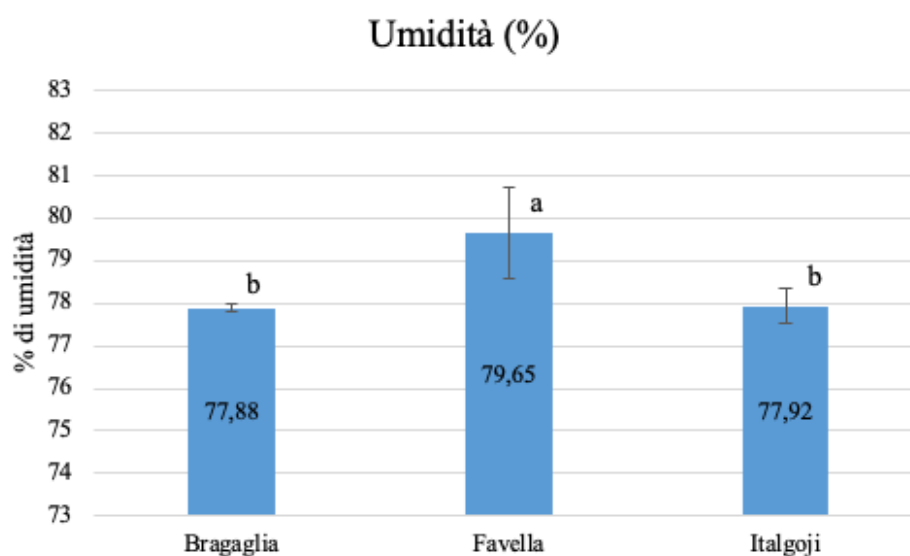
### 4.1 Composizione chimica

Le caratteristiche qualitative delle bacche di goji fresche studiate in questo progetto sono riportate in tabella 9.

	BRAGAGLIA	FAVELLA	ITALGOJI
Umidità (%)	77,88 ± 0,08 <sup>b</sup>	79,65 ± 1,08 <sup>a</sup>	77,92 ± 0,41 <sup>b</sup>
Sostanza secca totale (%)	22,12 ± 0,08 <sup>a</sup>	20,35 ± 1,08 <sup>b</sup>	22,08 ± 0,41 <sup>a</sup>
Ceneri (%)	0,71 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,75 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,94 ± 0,04 <sup>a</sup>
Proteina (%)	2,95 ± 0,17 <sup>a</sup>	2,52 ± 0,15 <sup>b</sup>	2,70 ± 0,23 <sup>ab</sup>
Lipidi grezzi (%)	1,18 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,27 ± 0,15 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,07 <sup>a</sup>

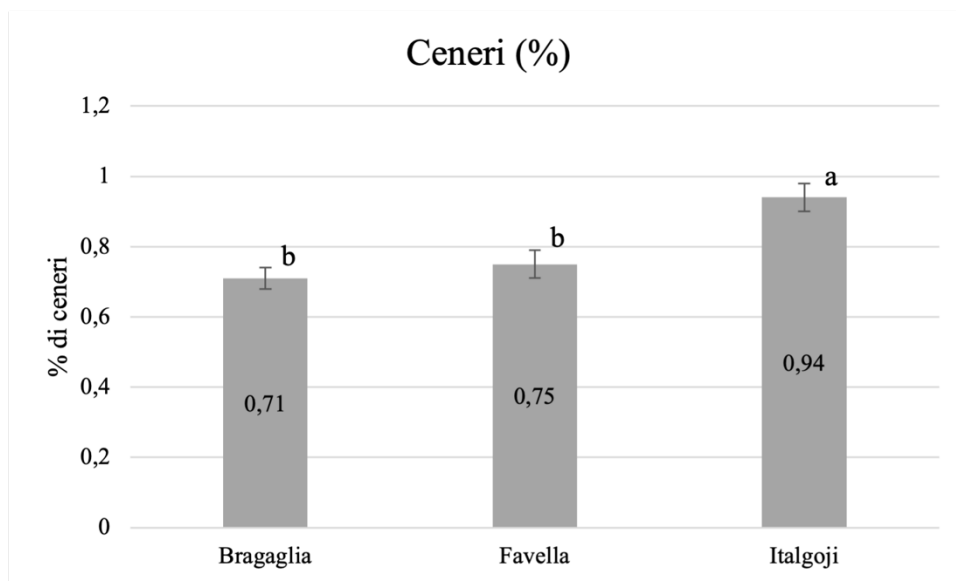
**Tabella 9:** Contenuto di umidità (%), sostanza secca totale (%), ceneri (%), proteina (%) e lipidi grezzi (%) nei campioni di bacche di goji fresche (media, DS; n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Il contenuto di umidità risulta in linea con i valori riportati in letteratura (77,4% - 78%) (Niro et al., 2017; Montesano et al., 2018). Analizzando le differenze tra i tre campioni, il campione dell'azienda Favella ha mostrato una differenza significativa rispetto ai campioni di Bragaglia e Italgoji (figura 26). Questo dato potrebbe indicare che il campione dell'azienda Favella potrebbe essere stato sottoposto ad una irrigazione più intensa.



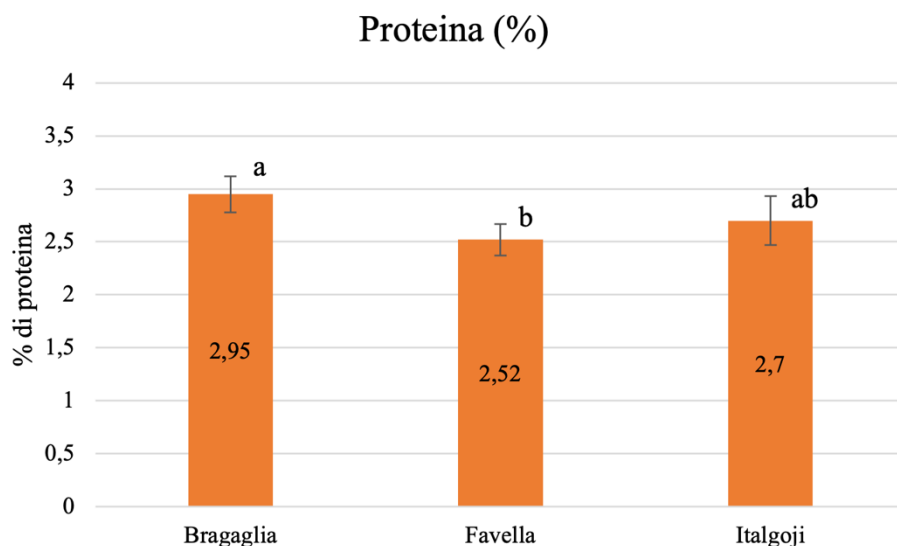
**Figura 26:** Media ± deviazione standard del contenuto di umidità nei tre campioni analizzati (%) (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Il contenuto medio di ceneri rilevato per ogni campione è stato di 0,71% per il campione Bragaglia, 0,75% per il campione Favella e 0,94% per il campione Italgoji. Questi valori, confrontati con quelli in letteratura che riportano dati compresi tra 0,8% e 0,84%, sono leggermente inferiori per i campioni di Bragaglia e Favella e leggermente superiore per il campione di Italgoji (Montesano et al., 2018; Ilic et al., 2020). A conferma di ciò che è stato appena descritto il campione di Italgoji è significativamente diverso rispetto ai campioni delle aziende Bragaglia e Favella (figura 27). Il contenuto in ceneri può dipendere da numerosi fattori, tra cui la varietà, le condizioni pedologiche e la fertilizzazione minerale. Il dato relativo al campione dell'azienda Italgoji è confermato dai dati dell'analisi dei minerali (tabella 10).



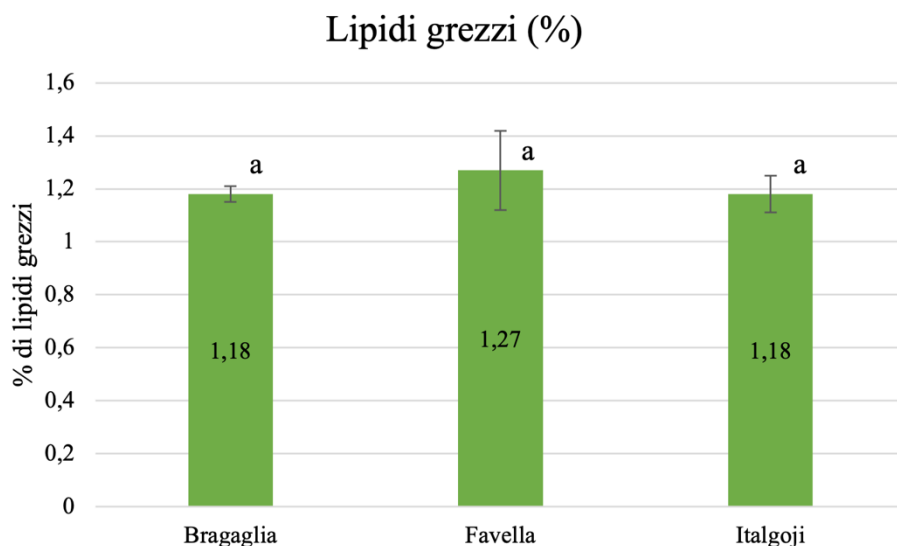
**Figura 27:** Media  $\pm$  deviazione standard del contenuto di ceneri nei tre campioni analizzati (%) (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Per quanto riguarda il contenuto proteico delle bacche di goji, i valori medi di proteina per i campioni analizzati sono stati di 2,95% per il campione di Bragaglia, 2,52% per il campione di Favella e 2,70% per il campione Italgoji. Questi dati sono abbastanza in linea con i valori riportati in letteratura, ma con delle leggere variazioni (1,98% - 2,5%) (Ilic et al., 2020; Montesano et al., 2018). Il campione dell'azienda agricola Bragaglia è risultato significativamente diverso rispetto al campione di Favella, mentre il valore del campione i Italgoji non risultava differente dagli altri due (figura 28). Malgrado contengano tutti gli aminoacidi indispensabili, i frutti di goji hanno un basso contenuto proteico e non sono, quindi, considerati una fonte ottimale di aminoacidi (Pedro et al., 2019).



**Figura 28:** Media  $\pm$  deviazione standard del contenuto di proteina nei tre campioni analizzati (%) (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Infine, il contenuto di lipidi grezzi analizzato è risultato in media di 1,18% per il campione di Bragaglia, 1,27% per il campione di Favella e 1,18% per il campione di Italgoji. Risultati confrontabili con la letteratura che riporta valori di lipidi compresi tra 1,1% e 1,15% circa (Niro et al., 2017; Ilic et al., 2020). I tre campioni non hanno mostrato differenze significative per il contenuto dei lipidi all'interno dei campioni di bacche di goji (figura 29).



**Figura 29:** Media  $\pm$  deviazione standard del contenuto di lipidi grezzi nei tre campioni analizzati (%) (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

## MINERALI

Il contenuto di minerali dei frutti dipende dalle proprietà del terreno in cui vengono coltivati, dalla fisiologia della pianta, dalla composizione delle fonti d'acqua e dai fertilizzanti, insetticidi, pesticidi e fungicidi utilizzati nei campi (Talay et al., 2021).

La tabella 10 riporta il contenuto dei minerali presenti nei tre campioni di bacche di goji fresche analizzati.

Minerali (mg/ 100 g peso fresco)	Bragaglia	Favella	Italgoji
<b>K</b>	266,08 ± 6,31 <sup>c</sup>	335,72 ± 3,42 <sup>b</sup>	406,95 ± 1,49 <sup>a</sup>
<b>Na</b>	75,90 ± 4,84 <sup>a</sup>	19,19 ± 0,38 <sup>b</sup>	26,64 ± 0,22 <sup>c</sup>
<b>P</b>	60,72 ± 3,22 <sup>a</sup>	48,28 ± 1,75 <sup>b</sup>	49,35 ± 0,56 <sup>b</sup>
<b>S</b>	23,65 ± 0,76 <sup>b</sup>	23,83 ± 0,38 <sup>b</sup>	27,01 ± 0,17 <sup>a</sup>
<b>Mg</b>	19,85 ± 0,73 <sup>b</sup>	19,76 ± 0,7 <sup>b</sup>	23,75 ± 0,48 <sup>a</sup>
<b>Ca</b>	19,62 ± 1,37 <sup>a</sup>	20,30 ± 0,54 <sup>a</sup>	11,75 ± 0,26 <sup>b</sup>
<b>Mn</b>	0,35 ± 0,018 <sup>a</sup>	0,15 ± 0,009 <sup>c</sup>	0,27 ± 0,012 <sup>b</sup>
<b>Fe</b>	0,67 ± 0,025 <sup>a</sup>	0,48 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,55 ± 0,016 <sup>b</sup>
<b>Cu</b>	0,55 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,002 <sup>b</sup>	0,27 ± 0,002 <sup>c</sup>
<b>Zn</b>	0,72 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,007 <sup>c</sup>
<b>Se</b>	<0,2	<0,2	<0,2

**Tabella 10:** Media ± deviazione standard della composizione dei minerali presenti nei tre campioni di bacche di goji fresche (mg/100 g peso fresco) (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

I minerali che sono risultati essere maggiormente presenti in tutti e tre i campioni sono il potassio (K) e il sodio (Na). Per il potassio, la quantità maggiore riscontrata è presente nel campione di Italgoji (406,95 mg/100 g), seguito dal campione di Favella e Bragaglia, rispettivamente con 335,72 mg/100 g e 266,08 mg/100 g. Il contenuto di potassio mostra differenze significative per tutti e tre i campioni analizzati.

Il campione di Bragaglia invece, risulta contenere una maggior quantità di sodio, pari al 75,9 mg/100 g, seguito da Italgoji e Favella che hanno una quantità decisamente inferiore. Tutti e tre i campioni mostrano differenze significative per la quantità di sodio contenuta al loro interno.

A conferma dei risultati appena descritti, nello studio di Niro et al. (2017), il potassio risulta essere l'elemento predominante (276,2 mg/100 g per il frutto fresco), seguito dal sodio. Questi



due minerali svolgono un ruolo importante nella regolazione della pressione sanguigna e dell'equilibrio acido-base dell'organismo.

Per quanto riguarda il fosforo, i tre campioni risultano avere una quantità simile, pari a 60,72 mg/100 g per il campione di Bragaglia, 49,35 mg/100 g per il campione di Italgoji e 48,28 mg/100 g per il campione di Favella.

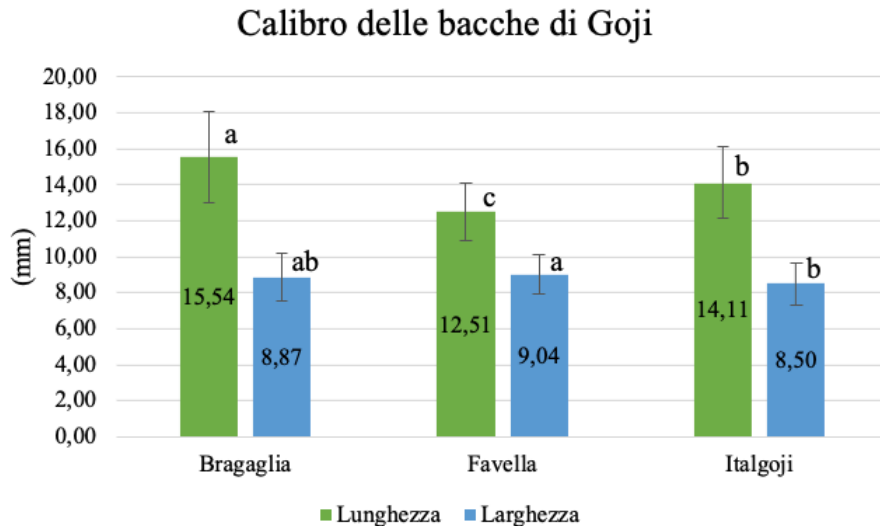
Questi risultati confermano che il goji potrebbe anche essere una buona fonte di fosforo (P) e calcio (Ca), con un'apprezzabile concentrazione di magnesio (Mg), necessario per prevenire malattie cardiache e ritardi della crescita. Sono state rinvenute anche discrete quantità di rame (Cu), ferro (Fe) e manganese (Mn) (Niro et al., 2017).

Come in qualsiasi altro alimento vegetale, il contenuto di minerali delle bacche riflette il terreno in cui vengono coltivate. È importante sottolineare che la concentrazione degli elementi essenziali e non essenziali dipende quindi dalle caratteristiche del suolo, dalla fisiologia della pianta, dalla composizione della fonte d'acqua e dai fertilizzanti, insetticidi, pesticidi e fungicidi utilizzati nelle piantagioni. Le piante possono assorbire, trasportare e accumulare elementi chimici. Ogni specie ha le proprie esigenze e diversi livelli di tolleranza nell'assorbimento e nell'accumulo di un elemento. Il movimento dei costituenti inorganici è controllato selettivamente dalla pianta, alcuni vengono facilmente assorbiti e altri vengono ostacolati in misura diversa (Niro et al., 2017). Le variazioni della quantità di minerali sono attribuibili anche alle diverse varietà di goji (Ilic et al., 2020).

## 4.2 Parametri dimensionali e colore

### CALIBRO

La dimensioni dei frutti di *Lycium barbarum* è stata misurata con il calibro elettronico. Dalla misura sono stati rilevati i dati riportati nella figura 30.



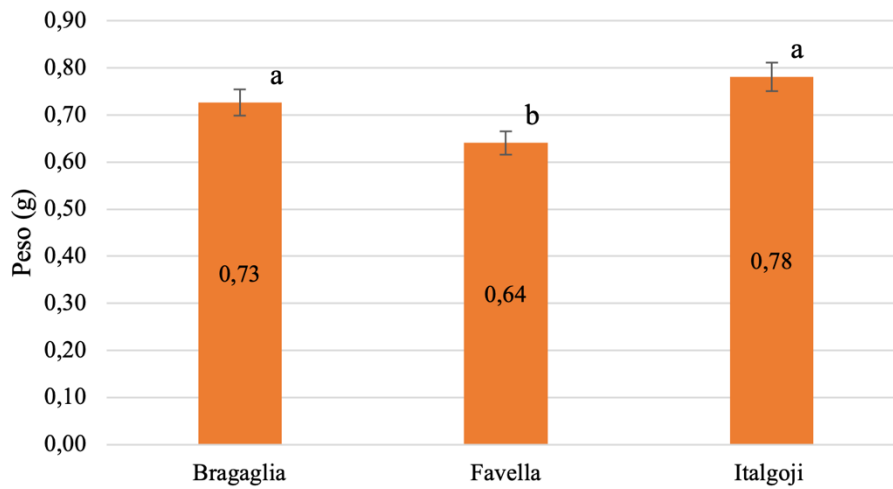
**Figura 30:** Media  $\pm$  deviazione standard del calibro dei frutti di goji delle tre aziende in analisi (mm) (n=70). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

I valori ottenuti dal nostro studio sono in linea con la letteratura che riporta valori di lunghezza variabile dai 14,19 mm a 16,26 mm, i valori di larghezza sono invece variabili in un range compreso tra 8,2 mm e 13,15 mm, a seconda dello stadio di maturazione della bacca (Fatchurrahman et al., 2022). Per il parametro lunghezza tutti e tre i campioni sono risultati significativamente diversi tra loro, per il parametro larghezza invece i campioni dell'azienda agricola Favella e Italgoji sono risultati significativamente diversi. Il campione dell'azienda Favella risulta più tondeggiante rispetto alle altre. La forma dei frutti di goji è molto dipendente dalla varietà di pianta. Le varietà importate in Italia spesso non sono caratterizzate geneticamente e possono risultare molto diverse tra loro.

### PESO

I valori ottenuti dalle pesate dei campioni delle singole aziende variano da 0,64 g a 0,78 g; le bacche dell'azienda Favella sono risultate significativamente minori rispetto ai frutti dell'azienda agricola Bragaglia e Italgoji (figura 31). Questi valori sono in accordo con quelli riportati in letteratura che erano compresi in un range da 0,27 g a 1,29 g (Fatchurrahman et al., 2022). Questo dato conferma l'ipotesi di una diversa varietà, con frutti più piccoli nell'azienda Favella.

### Peso delle singole bacche



**Figura 31:** Media  $\pm$  deviazione standard del peso delle bacche di goji dei tre campioni analizzati (n=15). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

### COLORE

La tabella 11 riporta i risultati ottenuti dall'analisi colorimetrica eseguita sui campioni di bacche di goji fresche appartenenti alle tre diverse aziende in analisi. Confrontando i dati con quelli riportati in letteratura si possono evidenziare delle piccole differenze, ad esempio dallo studio di Kafkaletou et al. (2017) i valori riportati di  $L^*$ ,  $C^*$  e  $H^\circ$  sono rispettivamente di 35, 37 e 49, i quali risultano essere più elevati di quelli riportati nella nostra tesi.

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H^\circ (D65)$
<b>Bragaglia</b>	$29,39 \pm 0,58^a$	$34,11 \pm 0,94^a$	$36,27 \pm 2,1^a$	$49,82 \pm 1,17^a$	$46,72 \pm 2,31^a$
<b>Favella</b>	$31,08 \pm 2,55^a$	$34,99 \pm 4,61^a$	$33,99 \pm 7,61^a$	$48,86 \pm 8,48^a$	$43,72 \pm 3,41^{ab}$
<b>Italgoji</b>	$26,245 \pm 2,45^b$	$24,46 \pm 5,52^b$	$22,60 \pm 7,26^b$	$33,375 \pm 8,79^b$	$42,04 \pm 4,17^b$

**Tabella 11:** Media  $\pm$  deviazione standard dei parametri ottenuti dall'analisi colorimetrica eseguita sui tre campioni di bacche di goji fresche (n=5). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

I risultati ottenuti dall'analisi del colore non mostrano differenze significative tra i campioni dell'azienda agricola Bragaglia e Favella per tutti i parametri del colore; sono invece risultati significativamente diversi i parametri dell'azienda Italgoji rispetto ai campioni delle altre due aziende in analisi (tabella 11).

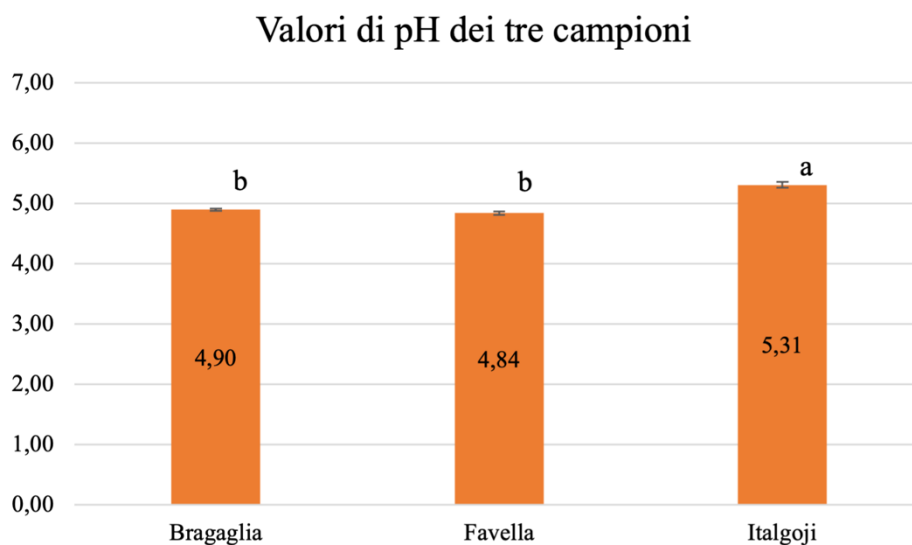
Dai dati ottenuti infatti si può notare che il campione di Italgoji sia di un colore rosso più scuro, rispetto ai campioni di Bragaglia e Favella. Questi ultimi due hanno un colore rosso più acceso, brillante e intenso. Probabilmente questo è dovuto alla zona di coltivazione delle bacche di goji,

l'azienda Favella si trova in Calabria, regione dove l'esposizione al sole gioca un ruolo fondamentale per la pigmentazione dei frutti.

### 4.3 Parametri chimici

#### pH

Il valore di pH ottenuto dalle analisi sui campioni di bacche di goji fresche è riportato nella figura 32.



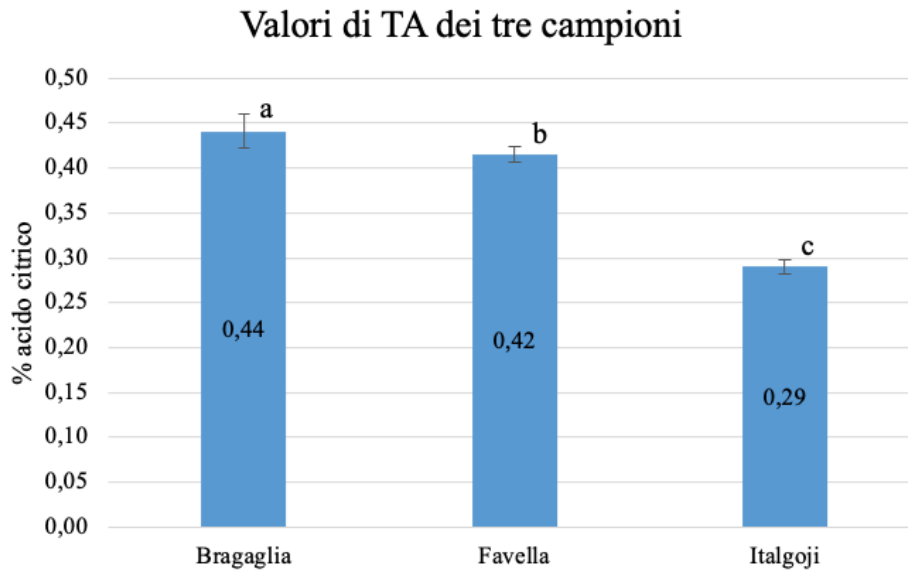
**Figura 32:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di pH ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Osservando i dati ottenuti si è potuto notare che fossero leggermente più bassi per i campioni di Bragaglia e Favella; Italgoji era in linea con quelli riportati in letteratura che variavano in un range da 5,28 a 6,20 (Fatchurrahman et al., 2022). Le aziende agricole Bragaglia e Favella hanno dei valori di pH non significativamente differenti tra loro, al contrario dell'azienda Italgoji che risulta significativamente diversa dai due campioni precedenti (figura 32).

Dalle nostre analisi il campione di Italgoji risulta quello con una acidità minore, caratteristica importante per l'accettazione del prodotto da parte del consumatore (Pedro et al., 2019).

## ACIDITA' TITOLABILE (TA)

Il valore di acidità titolabile analizzata sui tre campioni è riportato nella figura 33.

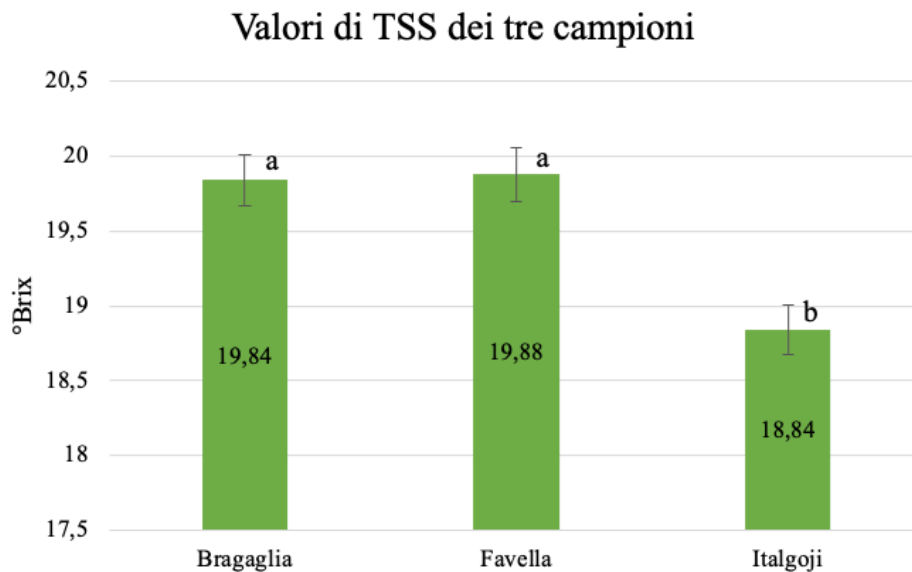


**Figura 33:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di acidità titolabile ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate (n=3). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

I valori di acidità titolabile ottenuti dalle analisi sui tre campioni hanno riportato valori tutti significativamente diversi tra di loro (figura 33). I dati ottenuti dalle analisi dei campioni di Bragaglia e Favella, rispettivamente 0,44% di acido citrico e 0,42% di acido citrico, sono risultati in linea con i valori riportati in letteratura (0,119% – 0,552% acido citrico) (Fatchurrahman et al., 2022; Kafakaletou et al., 2017). I valori di acidità titolabile sono così variabili perché dipendono dal genotipo e dalle tipologie di varietà dei frutti (Oguz et al., 2021; Fatchurrahman et al., 2022). Inoltre, il valore di acidità titolabile dei frutti varia durante il tempo di conservazione, decrescendo rapidamente (Fan et al., 2019).

## SOLIDI SOLUBILI TOTALI (TSS)

I valori di TSS rilevato dalle analisi sui tre campioni è riportato nella figura 34.



**Figura 34:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di TSS ottenuti sui tre campioni di bacche di Goji fresche analizzate. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

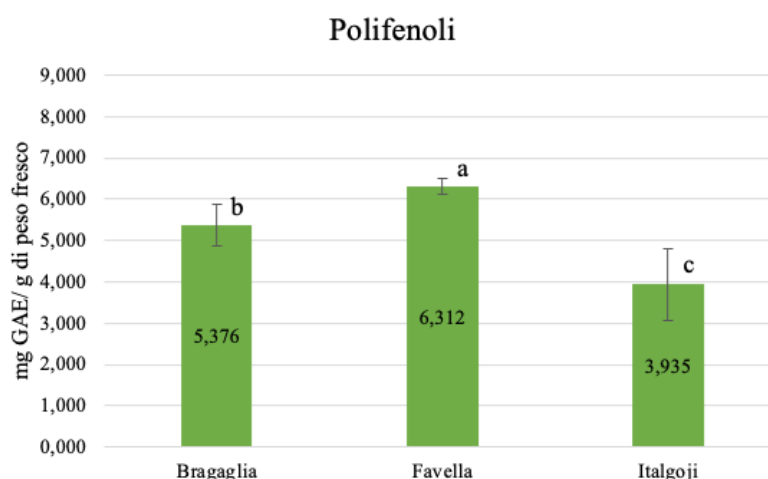
I valori ottenuti dall'analisi dei solidi solubili totali sono risultati in linea con i range riportati in letteratura, che riportano valori compresi tra 16 – 22,5 °Brix (Jatoi et al., 2017; Kafkaletou et al., 2017). L'azienda agricola Bragaglia e Favella hanno dato entrambi risultati pari a 19,8 °Brix, non sono quindi significativamente diversi tra loro; i campioni di Italgoji invece hanno un valore pari a 18,8 °Brix, quest'ultima azienda quindi è significativamente diversa dalle due precedenti (figura 34).

Il contenuto di TSS è in relazione al grado di maturazione e al contenuto di zuccheri totali e riducenti, acidi e tannini. Queste caratteristiche influenzano attributi come gusto, dolcezza, acidità e sapore, possono quindi essere utilizzati come indicatori per valutare la freschezza e la qualità dei frutti (Fan et al., 2019; Pedro et al., 2019).

## POLIFENOLI

Il contenuto totale dei polifenoli rilevato all'interno dei tre campioni analizzati per il nostro progetto di tesi è riportato nella figura 35.

Si può evidenziare da una prima analisi che il campione dell'azienda agricola Favella sia il più ricco in polifenoli, registrando un valore medio di 6,312 mg GAE/ g di peso fresco e il valore più basso per l'azienda Italgoji con un valore medio di 3,935 mg GAE/ g peso fresco. Tutti e tre i campioni risultano significativamente diversi tra loro.



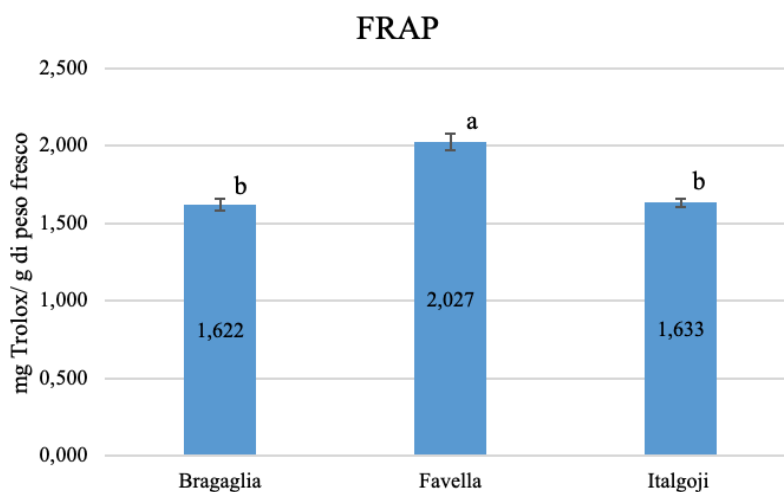
**Figura 35:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di polifenoli in acetone (mg GAE/ g peso fresco) (n=5), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

Questi valori sono superiori a quelli riportati in letteratura, dove il contenuto di polifenoli nelle bacche di goji fresche riscontrato è compreso in un range tra 2,1 e 3,35 g GAE/kg di peso fresco (Fatchurrahman et al., 2022). Questo range di variazione è dovuto allo stadio di maturazione che avanzando nel tempo comporta una diminuzione del contenuto fenolico. Sappiamo inoltre che, la varietà e l'abbondanza di composti fenolici nella frutta variano a seconda della posizione geografica, della variazione genetica, della regione, delle pratiche agricole, del metodo di coltivazione, del periodo di crescita e delle condizioni di conservazione (Jing et al., 2012; Fatchurrahman et al., 2022). Le differenze osservate nel contenuto di polifenoli rispetto ai dati della letteratura, potrebbero essere spiegate da diversi fattori climatici e del suolo che hanno influenzato lo sviluppo della pianta, così come le procedure di estrazione del campione che sono state utilizzate (Ilic et al., 2020). Lo studio di Wang et al. (2020) ha evidenziato che, le elevate temperature del suolo e dell'aria, la bassa altitudine, l'intensità della luce e l'umidità moderata del suolo sono le condizioni climatiche favorevoli per la produzione di frutti di goji con un alto contenuto di metaboliti nutrienti. I composti fenolici, come flavonoidi, acidi fenolici e tannini condensati, sono generalmente considerati i principali contributori alle capacità antiossidanti delle piante, potrebbero quindi anche in questo caso contribuire in modo importante all'attività antiossidante delle bacche di goji (Islam et al., 2017).

## ATTIVITA' ANTIOSSIDANTE

### • FRAP

L'attività antiossidante rilevata all'interno dei tre campioni analizzati, secondo il saggio FRAP, è riportata nella figura 36. Il campione con un'attività antiossidante maggiore evidenziata dal saggio FRAP corrisponde all'azienda agricola Favella (2,027 mg Trolox/ g peso fresco); i campioni di Bragaglia e Italgoji hanno valori di attività antiossidante simile tra loro, rispettivamente 1,622 e 1,633 mg Trolox/ g peso fresco. L'analisi statistica ha evidenziato infatti che i campioni dell'azienda Bragaglia e Italgoji non sono significativamente diversi tra loro, al contrario del campione Favella che risulta significativamente differente dagli altri. I valori ottenuti risultano lievemente superiori rispetto ai dati riportati in letteratura (Ilic et al., 2020). I dati di attività antiossidante FRAP sono in linea con i contenuti di polifenoli (Figura 35). Dallo studio di Jing et al. (2012), è stato possibile osservare una correlazione molto elevata tra il contenuto di polifenoli e l'attività antiossidante, mostrando così che i polifenoli possono essere i principali potenziali antiossidanti negli estratti di bacche di goji fresche.



**Figura 36:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di attività antiossidante con metodo FRAP in acetone (mg Trolox/ g peso fresco), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate (n=5). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

### • DPPH

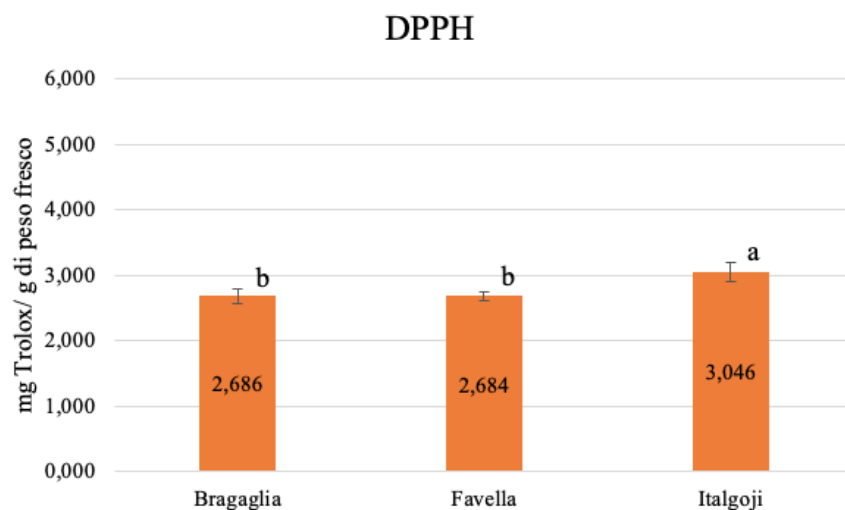
L'attività antiossidante rilevata all'interno dei tre campioni analizzati, secondo il saggio DPPH, è riportata nella figura 37.

I risultati dei singoli campioni ottenuti dal saggio DPPH sono abbastanza simili tra loro, evidenziando un valore leggermente superiore per il campione Italgoji (3,046 mg Trolox/ g



peso fresco), i campioni di Bragaglia e Favella invece hanno valori di attività antiossidante pressoché uguali, rispettivamente 2,686 e 2,684 mg Trolox/ g peso fresco.

La statistica in questo caso non evidenzia differenze significative tra i campioni dell'azienda agricola Bragaglia e Favella; i campioni di Italgoji invece risultano essere significativamente diversi dagli altri due.



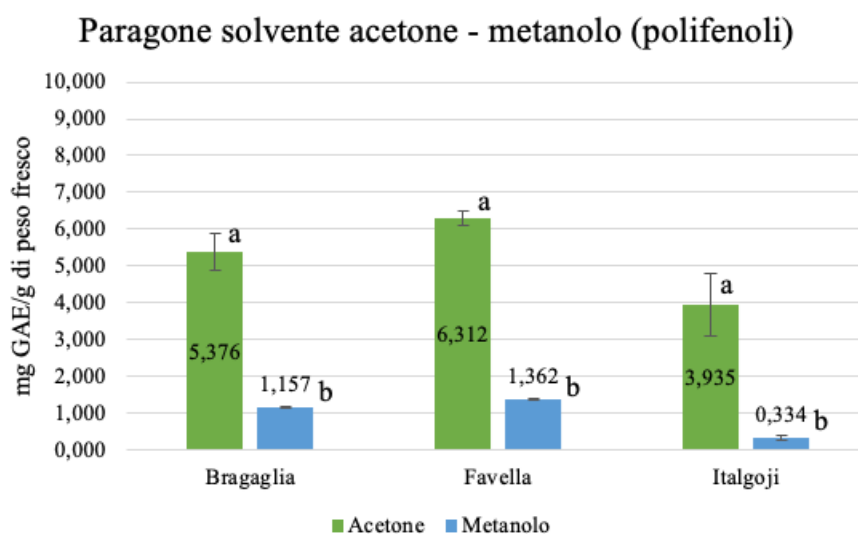
**Figura 37:** Media  $\pm$  deviazione standard dei valori di attività antiossidante con metodo DPPH in acetone (mg Trolox/ g peso fresco), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate (n=5). Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan.

In letteratura i valori di attività antiossidante ottenuti a seguito del saggio DPPH, sono compresi in un range tra 2,12 a 3,12 g Trolox /kg di peso fresco. I risultati dei nostri campioni sono quindi in linea con i dati riscontrabili in letteratura (Fatchurrahman et al., 2022).

#### 4.4 Confronto dei risultati dell'estrazione in acetone e metanolo

- **POLIFENOLI**

Per le analisi in cui è stata effettuata l'estrazione del campione con l'acetone abbiamo ripetuto le analisi estraendo i campioni con un altro estraente, il metanolo. Questa prova è stata effettuata per capire quale sia l'estrattore migliore al fine di analizzare al meglio i campioni per la ricerca dei polifenoli e dell'attività antiossidante. Nella figura 38 è riportato il confronto dei risultati ottenuti a seguito dell'analisi dei polifenoli effettuata con i campioni estratti in acetone e in metanolo. Dai risultati ottenuti si può osservare che l'acetone ha estratto una quantità maggiore di polifenoli rispetto al metanolo.



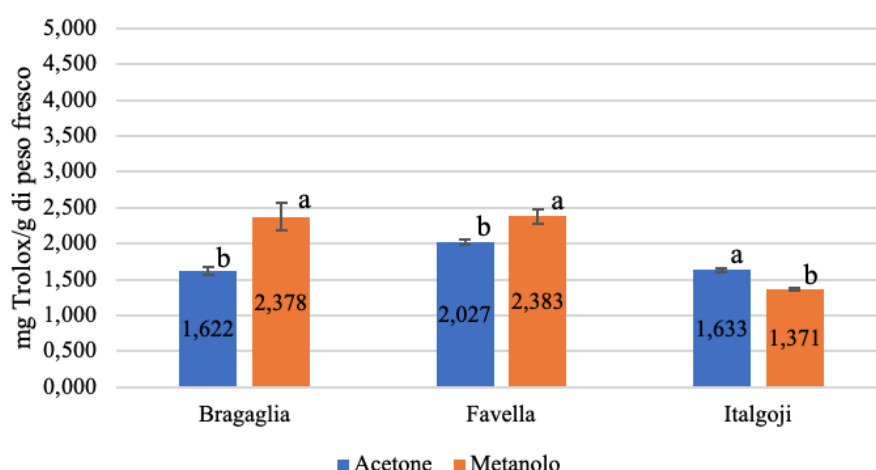
**Figura 38:** Confronto delle medie  $\pm$  deviazione standard dei valori di polifenoli, ottenuti con il saggio di Folin-Ciocalteu, tra l'estrazione in acetone e metanolo (mg GAE/ g peso fresco), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan all'interno della medesima azienda.

- **FRAP**

Nella figura 39 sono riportati i risultati a confronto ottenuti a seguito del saggio FRAP per rilevare l'attività antiossidante dei singoli campioni, estratti in metanolo e in acetone.

I dati ottenuti mostrano risultati simili tra l'estrazione con acetone e metanolo, con delle leggere differenze; per i campioni Bragaglia e Favella l'estrattore metanolo ha dato risultati migliori, al contrario del campione di Italgoji nel quale l'acetone come estraente è risultato leggermente più efficiente del metanolo.

### Paragone solvente acetone - metanolo (FRAP)



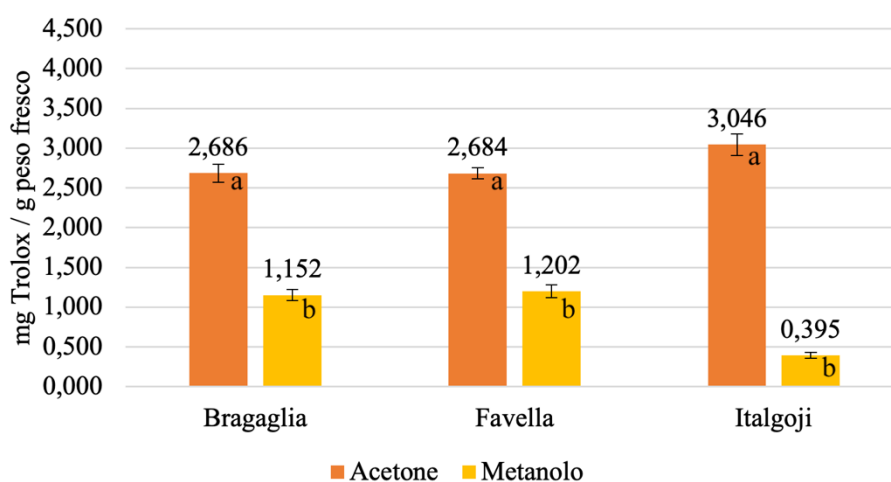
**Figura 39:** Confronto delle medie  $\pm$  deviazione standard dei valori di attività antiossidante, con il saggio FRAP, tra l'estrazione in acetone e metanolo (mg Trolox/ g peso fresco), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan all'interno della medesima azienda.

- **DPPH**

Nella figura 40 è riportato il confronto ottenuto a seguito del saggio DPPH per rilevare l'attività antiossidante dei singoli campioni, estratti in metanolo e in acetone.

I dati ottenuti mostrano risultati diversi tra l'estrazione con acetone e metanolo, con delle differenze; per tutti e tre i campioni, Bragaglia, Favella e Italgoji, l'acetone è risultato il miglior estraente, ottenendo dei valori più elevati di attività antiossidante.

### Paragone solvente acetone - metanolo (DPPH)



**Figura 40:** Confronto delle medie  $\pm$  deviazione standard dei valori di attività antiossidante, con il saggio DPPH, tra l'estrazione in acetone e metanolo (mg Trolox/ g peso fresco), ottenuti sui tre campioni di bacche di goji fresche analizzate. Lettere diverse indicano differenze significative secondo il test Duncan all'interno della medesima azienda.

Nell'insieme i valori rilevati sono sempre significativamente differenti confrontando l'estraente nei campioni della medesima azienda.

Nel caso dei campioni di goji analizzati l'estrattore acetone è risultato quello a maggior efficienza di estrazione rispetto al metanolo, tranne per il dato di capacità antiossidante FRAP. Il confronto tra estraenti diversi su campioni di goji freschi non è presente in letteratura, questo studio rappresenta perciò il primo risultato in questo senso. Lavori precedenti su altri frutti (ad esempio Guava) confermano le differenze riportate (Thaipong et al. 2006).

## CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Le bacche di goji fresche non sono un frutto molto diffuso e commercializzato in Italia. A conferma di ciò, ad oggi, esistono pochi studi che riportano delle analisi con i relativi risultati sui frutti freschi

Dalle analisi che abbiamo eseguito nella tesi sono emerse notevoli differenze tra i tre campioni provenienti dall'Italia. I risultati ottenuti ci hanno permesso di evidenziare che i frutti provenienti dall'azienda agricola Favella e Bragaglia risultavano abbastanza simili, ottenendo i risultati migliori per quasi tutti i parametri. Per quanto riguarda la composizione chimica e il quantitativo dei minerali, tutte le caratteristiche sono risultate diverse tra loro, evidenziando una differenza significativa proprio nei campioni. Il contenuto più elevato in ceneri appartiene all'azienda Italgoji, a conferma di questo dato, anche il contenuto totale dei minerali è risultato più alto per questa azienda.

Dai parametri del calibro e del peso è emerso che il campione di frutti dell'azienda Bragaglia e Italgoji risultano essere di forma più oblunga, rispetto al campione dell'azienda Favella i cui frutti avevano una forma più sferica. Il parametro del colore ha confermato invece che il colore rosso più acceso e brillante, corrispondeva ai campioni di Favella e Bragaglia, al contrario di Italgoji che presentava un colore più scuro e cupo. Il livello di zuccheri e di acidità sono maggiori per il campione di Favella, seguito da Bragaglia, il che conferisce al sapore del frutto una miglior gradevolezza. Il contenuto di polifenoli del campione Favella è risultato più elevato rispetto agli altri due, il che evidenzia una miglior capacità antiossidante di tali frutti; a conferma di ciò i saggi FRAP e DPPH hanno evidenziato una attività antiossidante più elevata rispetto agli altri due campioni analizzati.

Inoltre, a seguito del confronto sulla tipologia di estraente da utilizzare nella preparazione dei campioni per le analisi sui polifenoli e sull'attività antiossidante, è emerso che l'acetone fosse il più efficace, permettendo quindi di estrarre una maggior quantità di composti.

Complessivamente, osservando i risultati ottenuti, le bacche di goji analizzate hanno una qualità che può essere considerata da buona a ottima rispetto ai parametri esaminati.

L'esiguo numero di campioni non permette di estendere queste considerazioni alla realtà italiana. Si auspica quindi un ulteriore studio che prenda in esame altri produttori e nuovi parametri.



## BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Ma Aranzazu Sule, Jean-Paul Paquin, e Jean-Pierre Levy Mangin. «Modelling Perceived Quality in Fruit Products: Their Extrinsic and Intrinsic Attributes». *Journal of Food Products Marketing* 8, fasc. 1 (marzo 2002): 29–48. [https://doi.org/10.1300/J038v08n01\\_03](https://doi.org/10.1300/J038v08n01_03).
- Amagase, Harunobu, e Norman R. Farnsworth. «A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of Lycium barbarum fruit (Goji)». *Exotic Fruits: their Composition, Nutraceutical and Agroindustrial Potential* 44, fasc. 7 (1 agosto 2011): 1702–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.027>.
- AOAC. (2016) Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 20th ed.
- Blasi, F., D. Montesano, M. S. Simonetti, e L. Cossignani. «A Simple and Rapid Extraction Method to Evaluate the Fatty Acid Composition and Nutritional Value of Goji Berry Lipid». *Food Analytical Methods* 10, fasc. 4 (aprile 2017): 970–79. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0652-x>.
- Bulambaeva, AA, DB Vlahova-Vangelova, SG Dragoev, DK Balev, e YM Uzakov. «Development of new functional cooked sausages by addition of goji berry and pumpkin powder». *American Journal of Food Technology* 9, fasc. 4 (2014): 180–89.
- Campo, Camila de, Melina Dick, Priscilla Pereira dos Santos, Tania Maria Haas Costa, Karina Paese, Silvia Stanisçuaski Guterres, Alessandro de Oliveira Rios, e Simone Hickmann Flôres. «Zeaxanthin nanoencapsulation with Opuntia monacantha mucilage as structuring material: Characterization and stability evaluation under different temperatures». *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 558 (5 dicembre 2018): 410–21. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.09.009>.
- Cao, Guohua, Helaine M. Alessio, e Richard G. Cutler. «Oxygen-Radical Absorbance Capacity Assay for Antioxidants». *Free Radical Biology and Medicine* 14, fasc. 3 (marzo 1993): 303–11. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(93\)90027-R](https://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90027-R).
- Cutrim, Camila Sampaio, e Marco Antonio Sloboda Cortez. «A Review on Polyphenols: Classification, Beneficial Effects and Their Application in Dairy Products». *International Journal of Dairy Technology* 71, fasc. 3 (agosto 2018): 564–78. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12515>.

- Deng, Li-Zhen, Arun S. Mujumdar, Qian Zhang, Xu-Hai Yang, Jun Wang, Zhi-An Zheng, Zhen-Jiang Gao, e Hong-Wei Xiao. «Chemical and Physical Pretreatments of Fruits and Vegetables: Effects on Drying Characteristics and Quality Attributes – a Comprehensive Review». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59, fasc. 9 (15 maggio 2019): 1408–32. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>.
- Dermesonlouoglou, E., A. Chalkia, G. Dimopoulos, e P. Taoukis. «Combined effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pre-treatments on mass transfer and quality of air dried goji berry». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 49 (1 ottobre 2018): 106–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.08.003>.
- Donno, D., G.L. Beccaro, M.G. Mellano, A.K. Cerutti, e G. Bounous. «Goji berry fruit (*Lycium* spp.): antioxidant compound fingerprint and bioactivity evaluation». *Natural Antioxidants* 18 (ottobre 2015): 1070–85. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.05.020>.
- Donno, D., M. G. Mellano, E. Raimondo, A. K. Cerutti, Z. Prgomet, e G. L. Beccaro. «Influence of Applied Drying Methods on Phytochemical Composition in Fresh and Dried Goji Fruits by HPLC Fingerprint». *European Food Research and Technology* 242, fasc. 11 (ottobre 2016): 1961–74. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2695-z>.
- Donno, Dario, Maria Gabriella Mellano, Isidoro Riondato, Marta De Biaggi, Harilala Andriamaniraka, Giovanni Gamba, e Gabriele Loris Beccaro. «Traditional and Unconventional Dried Fruit Snacks as a Source of Health-Promoting Compounds». *Antioxidants* 8, fasc. 9 (13 settembre 2019): 396. <https://doi.org/10.3390/antiox8090396>.
- Endes, Züleyha, Nurhan Uslu, Mehmet Musa Özcan, e Fatif Er. «Physico-chemical properties, fatty acid composition and mineral contents of goji berry (*Lycium barbarum* L.) fruit». *Journal of agroalimentary processes and technologies* 21, fasc. 1 (2015): 36–40.
- Fan, XJ, B Zhang, H Yan, JT Feng, ZQ Ma, e X Zhang. «Effect of lotus leaf extract incorporated composite coating on the postharvest quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) fruit». *POSTHARVEST BIOLOGY AND TECHNOLOGY* 148 (febbraio 2019): 132–40. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.020>.
- Fatchurrahman, D, ML Amodio, MLV De Chiara, L Mastrandrea, e G Colelli. «Characterization and postharvest behavior of goji berry (*Lycium barbarum* L.) during ripening». *Postharvest biology and technology* 191 (settembre 2022). <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111975>.



- Güneş Bayir, Ayşe, Ayşe Nur Aksoy, e Abdurrahim KoçyiĖiT. «The Importance of Polyphenols as Functional Food in Health». *Bezmialem Science* 7, fasc. 2 (13 maggio 2019): 157–63. <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2018.2486>.
- Habibi, Fariborz, Asghar Ramezani, Fabián Guillén, María Serrano, e Daniel Valero. «Blood Oranges Maintain Bioactive Compounds and Nutritional Quality by Postharvest Treatments with  $\gamma$ -Aminobutyric Acid, Methyl Jasmonate or Methyl Salicylate during Cold Storage». *Food Chemistry* 306 (febbraio 2020): 125634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125634>.
- Ilic, Tijana, Margarita Dodevska, Mirjana Marcetic, Dragana Božić (former Vučićević), Igor Kodranov, e Bojana Vidović. «Chemical Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Goji Berries Cultivated in Serbia». *Foods* 9 (6 novembre 2020): 1614. <https://doi.org/10.3390/foods9111614>.
- Islam, T, XM Yu, TS Badwal, e BJ Xu. «Comparative studies on phenolic profiles, antioxidant capacities and carotenoid contents of red goji berry (*Lycium barbarum*) and black goji berry (*Lycium ruthenicum*)». *CHEMISTRY CENTRAL JOURNAL* 11 (24 giugno 2017). <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0287-z>.
- ISO 2173:2003 “Fruit and vegetable products — Determination of soluble solids — Refractometric method”
- ISO 2172:1983 “Fruit juice — Determination of soluble solids content — Pycnometric method”
- Jatoi, MA, M Fruk, J Buhin, M Vincekovic, M Vukovic, e T Jemric. «Effect of Different Storage Temperatures on Storage Life, Physico-chemical and Sensory Attributes of Goji Berry (*Lycium barbarum* L.) Fruits». *ERWERBS-OBSTBAU* 60, fasc. 2 (giugno 2018): 119–26. <https://doi.org/10.1007/s10341-017-0344-8>.
- Jatoi, MA, S Juric, R Vidrih, M Vincekovic, M Vukovic, e T Jemric. «The effects of postharvest application of lecithin to improve storage potential and quality of fresh goji (*Lycium barbarum* L.) berries». *Food Chemistry* 230 (1 settembre 2017): 241–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.039>.
- Jiang, Yuqin, Zhongxiang Fang, William Leonard, e Pangzhen Zhang. «Phenolic compounds in Lycium berry: Composition, health benefits and industrial applications». *Journal of Functional Foods* 77 (1 febbraio 2021): 104340. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104340>.
- Jing Z. Dong. «Analysis on the Main Active Components of Lycium Barbarum Fruits and Related Environmental Factors». *Journal of Medicinal Plants Research* 6, fasc. 12 (30 marzo 2012). <https://doi.org/10.5897/JMPR10.780>.

- Kafkaletou, M, MV Christopoulos, G Tsaniklidis, I Papadakis, D Ioannou, C Tzoutzoukou, e E Tsantili. «Nutritional value and consumer-perceived quality of fresh goji berries (*Lycium barbarum* L. and *L. chinense* L.) from plants cultivated in Southern Europe». *Fruits* 73, fasc. 1 (2018): 5–12.
- Kafkaletou, Mina, Miltiadis V Christopoulos, e Eleni Tsantili. «Short-term treatments with high CO<sub>2</sub> and low O<sub>2</sub> concentrations on quality of fresh goji berries (*Lycium barbarum* L.) during cold storage». *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97, fasc. 15 (2017): 5194–5201.
- Kan, Xuhui, Yamei Yan, Linwu Ran, Lu Lu, Jia Mi, Zhijuan Zhang, Xiaoying Li, Xiaoxiong Zeng, e Youlong Cao. «Evaluation of bioaccessibility of zeaxanthin dipalmitate from the fruits of *Lycium barbarum* in oil-in-water emulsions». *Food Hydrocolloids* 105 (agosto 2020): 105781. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105781>.
- Karioti, Anastasia, Maria Camilla Bergonzi, Franco F. Vincieri, e Anna Rita Bilia. «Validated Method for the Analysis of Goji Berry, a Rich Source of Zeaxanthin Dipalmitate». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, fasc. 52 (31 dicembre 2014): 12529–35. <https://doi.org/10.1021/jf503769s>.
- Kulczynski, B, e A Gramza-Michalowska. «Goji Berry (*Lycium barbarum*): Composition and Health Effects - a Review». *POLISH JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION SCIENCES* 66, fasc. 2 (giugno 2016): 67–75. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0040>.
- Liu, Yang, Caiyue Zhang, Baozhong Cui, Meiqian Wang, Hongfei Fu, e Yunyang Wang. «Carotenoid-enriched oil preparation and stability analysis during storage: Influence of oils' chain length and fatty acid saturation». *LWT* 151 (1 novembre 2021): 112163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112163>.
- Liu, Yongliang, Shaohua Zeng, Wei Sun, Min Wu, Weiming Hu, Xiaofei Shen, e Ying Wang. «Comparative analysis of carotenoid accumulation in two goji (*Lycium barbarum* L. and *L. ruthenicum* Murr.) fruits». *BMC Plant Biology* 14, fasc. 1 (2014): 1–14.
- Lu, Youyuan, Sheng Guo, Fang Zhang, Hui Yan, Da-wei Qian, Er-xin Shang, Han-qing Wang, e Jinao Duan. «Nutritional Components Characterization of Goji Berries from Different Regions in China». *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 195 (febbraio 2021): 113859. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113859>.
- Luo, Yeming, Yang Liu, Hui Guo, e Hongfei Fu. «Evaluation of the bioaccessibility of carotenoid esters from *Lycium barbarum* L. in nano-emulsions: A kinetic approach». *Food Research International* 136 (1 ottobre 2020): 109611. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109611>.

- Ly, Bao, Ethan Dyer, Jessica Feig, Anna Chien, e Sandra Bino. «Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement». *The Journal of investigative dermatology* 140 (1 gennaio 2020): 3-12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>.
- Ma, YP, ZJ Wang, YM Li, XR Feng, LH Song, HD Gao, e B Cao. «Fruit morphological and nutritional quality features of goji berry (*Lycium barbarum* L.) during fruit development». *SCIENTIA HORTICULTURAE* 308 (27 gennaio 2023). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111555>.
- Ma, ZF, HX Zhang, SS Teh, CW Wang, YT Zhang, F Hayford, LY Wang, et al. «Goji Berries as a Potential Natural Antioxidant Medicine: An Insight into Their Molecular Mechanisms of Action». *OXIDATIVE MEDICINE AND CELLULAR LONGEVITY* 2019 (2019). <https://doi.org/10.1155/2019/2437397>.
- Matteucci Pietro, «Sviluppo di un metodo elettrochimico per la determinazione della Capacità Antiossidante» (2012).
- Miliauskas, G., P.R. Venskutonis, e T.A. van Beek. «Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts». *Food Chemistry* 85, fasc. 2 (aprile 2004): 231–37. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007>.
- Montesano, Domenico, Gabriele Rocchetti, Lina Cossignani, Luigi Lucini, Maria Stella Simonetti, e Frances Blasia. «Italian *Lycium barbarum* L. berry: Chemical characterization and nutraceutical value». *Natural Product Communications* 13, fasc. 9 (2018): 1934578X1801300913.
- Nielsen, S. Suzanne, a c. di. *Food Analysis*. Food Science Text Series. Cham: Springer International Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>.
- Niro, S, A Fratianni, G Panfili, L Falasca, L Cinquanta, e MR Alam. «Nutritional evaluation of fresh and dried goji berries cultivated in Italy». *Italian journal of food science* 29, fasc. 3 (2017): 398–408.
- Oğuz, İlbilge, Halil İbrahim Oğuz, e Nesibe Ebru Kafkas. «Evaluation of fruit characteristics of various organically-grown goji berry (*Lycium barbarum* L., *Lycium chinense* Miller) species during ripening stages». *Journal of Food Composition and Analysis* 101 (1 agosto 2021): 103846. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103846>.
- Ou, Boxin, Maureen Hampsch-Woodill, e Ronald L. Prior. «Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, fasc. 10 (1 ottobre 2001): 4619–26. <https://doi.org/10.1021/jf010586o>.

- Ozkan, Esra Eroglu, Tugba Yilmaz Ozden, Gizem Gulsoy Toplan, e Afife Mat. «Phenolic Content and Biological Activities of *Lycium Barbarum L* (Solanaceae) Fruits (Goji Berries) Cultivated in Konya, Turkey». *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 17, fasc. 10 (19 marzo 2018): 2047. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v17i10.22>.
- Pap, Nora, Marina Fidelis, Luciana Azevedo, Mariana Araújo Vieira Do Carmo, Dongxu Wang, Andrei Mocan, Eliene Penha Rodrigues Pereira, et al. «Berry Polyphenols and Human Health: Evidence of Antioxidant, Anti-Inflammatory, Microbiota Modulation, and Cell-Protecting Effects». *Current Opinion in Food Science* 42 (dicembre 2021): 167–86. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
- Patsilnakos, A, R Ragno, S Carradori, S Petralito, e S Cesa. «Carotenoid content of Goji berries: CIELAB, HPLC-DAD analyses and quantitative correlation». *FOOD CHEMISTRY* 268 (dicembre 2018): 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.013>.
- Pedro, Alessandra Cristina, Daniel Granato, e Neiva Deliberati Rosso. «Extraction of anthocyanins and polyphenols from black rice (*Oryza sativa L.*) by modeling and assessing their reversibility and stability». *Advances in Rice Chemistry, Nutrition and Technology* 191 (15 gennaio 2016): 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.045>.
- Pedro, Alessandra Cristina, Juliana Bello Baron Maurer, Selma Faria Zawadzki-Baggio, Suelen Ávila, Giselle Maria Maciel, e Charles Windson Isidoro Haminiuk. «Bioactive compounds of organic goji berry (*Lycium barbarum L.*) prevents oxidative deterioration of soybean oil». *Industrial Crops and Products* 112 (1 febbraio 2018): 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.052>.
- Pedro, Alessandra Cristina, María-Cortes Sánchez-Mata, María Luisa Pérez-Rodríguez, Montaña Cámara, José Luis López-Colón, Fabiane Bach, Marcelo Bellettini, e Charles Windson Isidoro Haminiuk. «Qualitative and nutritional comparison of goji berry fruits produced in organic and conventional systems». *Scientia Horticulturae* 257 (17 novembre 2019): 108660. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108660>.
- Peng, Yong, Chen Ma, Yawei Li, Kelvin Sze-Yin Leung, Zhi-Hong Jiang, e Zhongzhen Zhao. «Quantification of Zeaxanthin Dipalmitate and Total Carotenoids in *Lycium* Fruits (*Fructus Lycii*)». *Plant Foods for Human Nutrition* 60, fasc. 4 (dicembre 2005): 161–64. <https://doi.org/10.1007/s11130-005-9550-5>.

- Peri, Claudio. «The universe of food quality». *The First European Conference on Sensory Science of Food and Beverages: "A Sense of Identity"* 17, fasc. 1 (1 gennaio 2006): 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.03.002>.
- Pires, Tânia C.S.P., Maria Inês Dias, Lillian Barros, Ricardo C. Calhelha, Maria José Alves, Celestino Santos-Buelga, e Isabel C.F.R. Ferreira. «Phenolic compounds profile, nutritional compounds and bioactive properties of *Lycium barbarum* L.: A comparative study with stems and fruits». *Industrial Crops and Products* 122 (15 ottobre 2018): 574–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.046>.
- Potterat, Olivier. «Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity». *Planta medica* 76, fasc. 01 (2010): 7–19.
- Potterat, Olivier, e Matthias Hamburger. «Goji juice: a novel miraculous cure for longevity and well-being? A review on composition, pharmacology, health-related claims and benefits». *Schweizerische Zeitschrift für Ganzheitsmedizin* 20, fasc. 7–8 (2008): 399–405.
- Prior, Ronald L., Xianli Wu, e Karen Schaich. «Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, fasc. 10 (1 maggio 2005): 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>.
- Protti, Michele, Isacco Gualandi, Roberto Mandrioli, Sergio Zappoli, Domenica Tonelli, e Laura Mercolini. «Analytical profiling of selected antioxidants and total antioxidant capacity of goji (*Lycium* spp.) berries». *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 143 (5 settembre 2017): 252–60. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.05.048>.
- Qian, Dan, Zhao Yaxing, Guang Yang, e Luqi Huang. «Systematic Review of Chemical Constituents in the Genus *Lycium* (Solanaceae)». *Molecules* 22 (8 giugno 2017): 911. <https://doi.org/10.3390/molecules22060911>.
- Re, Roberta, Nicoletta Pellegrini, Anna Proteggente, Ananth Pannala, Min Yang, e Catherine Rice-Evans. «Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay». *Free radical biology and medicine* 26, fasc. 9–10 (1999): 1231–37.
- Rodrigues Sá, Ramon, Jamile da Cruz Caldas, Débora de Andrade Santana, Mariângela Vieira Lopes, Walter Nei Lopes dos Santos, Maria Graças Andrade Korn, e Aníbal de Freitas Santos Júnior. «Multielementar/centesimal composition and determination of bioactive phenolics in dried fruits and capsules containing Goji berries (*Lycium barbarum* L.)».

- 8th Brazilian Workshop of Chemometrics: Application of Chemometrics techniques in food chemistry* 273 (1 febbraio 2019): 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.124>.
- Silva, Pamela G da, Amanda Cr Koike, Flavio T Rodrigues, e Anna Lch Villavicencio. «Analysis of physical properties of color and texture in Goji-Berry processed by ionizing radiation» (2017).
- Singleton, Vernon L., Rudolf Orthofer, e Rosa M. Lamuela-Raventós. «Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent». In *Methods in Enzymology*, 299:152–78. Academic Press, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- Skenderidis, Prodromos, Dimitrios Lampakis, Ioannis Giavasis, Stefanos Leontopoulos, Konstantinos Petrotos, Christos Hadjichristodoulou, e Andreas Tsakalof. «Chemical properties, fatty-acid composition, and antioxidant activity of goji berry (*Lycium barbarum* L. and *Lycium chinense* Mill.) fruits». *Antioxidants* 8, fasc. 3 (2019): 60.
- Skenderidis, Prodromos, Kostantinos Petrotos, Ioannis Giavasis, Christos Hadjichristodoulou, e Andreas Tsakalof. «Optimization of Ultrasound Assisted Extraction of of Goji Berry (*Lycium Barbarum*) Fruits and Evaluation of Extracts' Bioactivity». *Journal of Food Process Engineering* 40, fasc. 5 (2017). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12522>.
- Szot, Iwona, Mykhailo Zhurba, e Svitlana Klymenko. «Pro-health and functional properties of goji berry (*Lycium* spp.)». *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, fasc. 4 (2020).
- Talay, Rabia, Ümmügülsüm Erdoğan, e Metin Turan. «Physico-Chemical Properties, Mineral Matter, Organic Acid, Amino Acid, and Plant Hormones Content of Goji Berry (*Lycium Barbarum* L.) Grown in Turkey». *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 9, fasc. 10 (2 novembre 2021): 1889–94. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i10.1889-1894.4566>.
- Tănase, Elisabeta Elena, Vlad Ioan Popa, Mona Elena Popa, Mihaela Geicu-Cristea, Paul Popescu, Mihaela Drăghici, e Amalia Carmen Mitelut. «Identification of the Most Relevant Quality Parameters for Berries—A review». *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies* 20 (2016): 222–33.
- Teixeira, F, AM Silva, C Delerue-Matos, e F Rodrigues. «*Lycium barbarum* Berries (Solanaceae) as Source of Bioactive Compounds for Healthy Purposes: A Review». *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES* 24, fasc. 5 (marzo 2023). <https://doi.org/10.3390/ijms24054777>.

- Thaipong, Kriengsak, Unaroj Boonprakob, Kevin Crosby, Luis Cisneros-Zevallos, e David Hawkins Byrne. «Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC Assays for Estimating Antioxidant Activity from Guava Fruit Extracts». *Journal of Food Composition and Analysis* 19, fasc. 6–7 (settembre 2006): 669–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>.
- Vidana Gamage, Gayan Chandrajith, Yau Yan Lim, e Wee Sim Choo. «Black Goji Berry Anthocyanins: Extraction, Stability, Health Benefits, and Applications». *ACS Food Science & Technology* 1, fasc. 8 (17 settembre 2021): 1360–70. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.1c00203>.
- Vidović, Bojana B., Danijel D. Milinčić, Mirjana D. Marčetić, Jelena D. Djuriš, Tijana D. Ilić, Aleksandar Ž. Kostić, e Mirjana B. Pešić. «Health Benefits and Applications of Goji Berries in Functional Food Products Development: A Review». *Antioxidants* 11, fasc. 2 (2022). <https://doi.org/10.3390/antiox11020248>.
- Vilkhu, Kamaljit, Raymond Mawson, Lloyd Simons, e Darren Bates. «Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review». *Food Innovation: Emerging Science, Technologies and Applications (FIESTA) Conference* 9, fasc. 2 (1 aprile 2008): 161–69. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014>.
- Wang, C.C., S.C. Chang, B. Stephen Inbaraj, e B.H. Chen. «Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity». *Food Chemistry* 120, fasc. 1 (1 maggio 2010): 184–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.005>.
- Wang, Yajun, Xiaojie Liang, Yuekun Li, Yunfang Fan, Yanlong Li, Youlong Cao, Wei An, Zhigang Shi, Jianhua Zhao, e Sujuan Guo. «Changes in Metabolome and Nutritional Quality of *Lycium barbarum* Fruits from Three Typical Growing Areas of China as Revealed by Widely Targeted Metabolomics». *Metabolites* 10, fasc. 2 (2020). <https://doi.org/10.3390/metabo10020046>.
- Wojdyło, Aneta, Paulina Nowicka, e Przemysław Bąbalewski. «Phenolic and carotenoid profile of new goji cultivars and their anti-hyperglycemic, anti-aging and antioxidant properties». *Journal of Functional Foods* 48 (1 settembre 2018): 632–42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.061>.
- Yan, Yamei, Linwu Ran, Youlong Cao, Kefeng Qin, Xin Zhang, Qing Luo, Dr. Saqib Jabbar, e Muhammad Abid. «Nutritional, Phytochemical Characterization and Antioxidant Capacity of Ningxia Wolfberry (*Lycium barbarum* L.)». *Journal- Chemical Society of Pakistan* 36 (26 maggio 2014): 1079–87.

- Yao, RY, M Heinrich, YF Zou, E Reich, XL Zhang, Y Chen, e CS Weckerle. «Quality Variation of Goji (Fruits of *Lycium* spp.) in China: A Comparative Morphological and Metabolomic Analysis». *Frontiers in pharmacology* 9 (26 febbraio 2018). <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00151>.
- Yu, Xiuzhu, Yuan Gao, Zhong Zhao, e Jin-Ming Gao. «Rapid Determination of Amino Acids in Chinese Wolfberry (*Lycium Bararum* L.) Fruit by Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Partial Least Square Regression». *Food Analytical Methods* 10, fasc. 7 (luglio 2017): 2436–43. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0802-9>.
- Zhang, Jiaying, Guoliang Jia, Zhao Wanbin, Jiang Minghao, Yulong Wei, Jingyi Hao, Xiaolin Liu, Zhilin Gan, e Aidong Sun. «Nanoencapsulation of zeaxanthin extracted from *Lycium barbarum* L. by complex coacervation with gelatin and CMC». *Food Hydrocolloids* 112 (1 marzo 2021): 106280. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106280>.
- Zhang, Jixian, Chaoting Wen, Haihui Zhang, Yuqing Duan, e Haile Ma. «Recent advances in the extraction of bioactive compounds with subcritical water: A review». *Trends in Food Science & Technology* 95 (1 gennaio 2020): 183–95. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.018>.
- Zhang, Kalin YB, HW Leung, HW Yeung, e Ricky NS Wong. «Differentiation of *Lycium barbarum* from its related *Lycium* species using random amplified polymorphic DNA». *Planta medica* 67, fasc. 04 (2001): 379–81.
- Zhang, QY, WW Chen, JH Zhao, e WP Xi. «Functional constituents and antioxidant activities of eight Chinese native goji genotypes». *Food Chemistry* 200 (giugno 2016): 230–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.046>.
- Zheng, Guo-Qi, Zi-Yan Zheng, Xing Xu, e Zheng-Hai Hu. «Variation in Fruit Sugar Composition of *Lycium Barbarum* L. and *Lycium Chinense* Mill. of Different Regions and Varieties». *Biochemical Systematics and Ecology* 38, fasc. 3 (giugno 2010): 275–84. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2010.01.008>.
- Zulueta, Ana, Maria J. Esteve, e Ana Frígola. «ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products». *Food Chemistry* 114, fasc. 1 (1 maggio 2009): 310–16. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033>.



## SITOGRAFIA

Beccaro, G.L. & Carli, C. & Cerutti, A.K. & Donno, Dario & Giordano, R. & Mellano, Maria Gabriella. (2015). Goji, un nuovo "superfruit"? Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura. 6, 48-51.

Dharmananda, S. LYCIUM FRUIT. (2007, August). Portland, Oregon: Food and Medicine, Institute for Traditional Medicine. <http://www.itmonline.org/arts/lycium.htm>

Dongmei Hu and Xiaodong Wang (2019). Picking the profits from a sweet little earner. China Daily, 1-3.

Dongmei Hu and Zhao Yimeng (2022). Upgrades help goji berries lift people out of poverty in Ningxia. China Daily.

Fairtrade Italia (2021) “La storia delle bacche di goji Fairtrade”. <https://www.fairtrade.it/blog/storie/la-storia-delle-bacche-di-goji-fairtrade/>

Manuelli, M. T., (2017). Avete mai assaggiato l’hamburger di Goji? I mille usi delle bacche supervitaminiche (e le migliori sono italiane). Il Sole 24 Ore.