

**O. MACCIONI, V. TOLAINI,
S. PROCACCI, L. BACCHETTA**

Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al
Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Sistemi Agroalimentari sostenibili
Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa
Centro Ricerche Casaccia

APPLICAZIONE DI METODI ESTRATTIVI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE IN PRODOTTI E SOTTOPRODOTTI DEL MELOGRANO

RT/2026/3/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

O. MACCIONI, V. TOLAINI,
S. PROCACCI, L. BACCHETTA

Dipartimento Sostenibilità, Circolarità e Adattamento al
Cambiamento Climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Sistemi Agroalimentari sostenibili
Laboratorio Bioeconomia Circolare Rigenerativa
Centro Ricerche Casaccia

APPLICAZIONE DI METODI ESTRATTIVI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE IN PRODOTTI E SOTTOPRODOTTI DEL MELOGRANO

RT/2026/3/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

APPLICAZIONE DI METODI ESTRATTIVI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE IN PRODOTTI E SOTTOPRODOTTI DEL MELOGRANO

Oliviero Maccioni, Valentina Tolaini, Silvia Procacci, Loretta Bacchetta

Riassunto

Il melograno (*Punica granatum* L), diffuso in tutto il bacino del Mediterraneo, ha avuto negli ultimi decenni una ingente crescita produttiva e delle superfici investite grazie alle ricerche scientifiche che ne hanno dimostrato gli effetti benefici sulla salute umana, a seguito del consumo di frutti freschi o dei succhi. Diversi sono infatti i lavori scientifici che illustrano i numerosi fitochimici che compongono sia la parte edibile che non edibile del frutto. Il presente lavoro ha come obiettivo generale la valutazione del contenuto totale di polifenoli e dell'attività antiossidante del succo e di alcuni sottoprodotti come le foglie, le bucce e i semi che rappresentano lo scarto dell'industria di trasformazione. I risultati ottenuti attraverso i saggi Folin-Ciocalteu e DDPH, mettono in evidenza la qualità del succo il cui contenuto totale di polifenoli è risultato pari a $5,17 \pm 0,02$ mgGAE/mL (+ 56% rispetto a quello commerciale). Dal confronto tra le diverse modalità di estrazione applicate ai sottoprodotti esaminati (foglie, bucce e semi) è emerso che l'estrazione assistita con ultrasuoni è particolarmente efficace nell'estrazione di polifenoli dalle foglie. Inoltre, ciò che abbiamo confermato è che i valori dei polifenoli estratti sono maggiori nelle bucce, seguite dalle foglie e, quindi, dai semi. Relativamente alla capacità antiossidante, gli estratti da bucce e da semi ottenuti per macerazione in acqua a caldo (60°C per un'ora) esprimono una discreta attività antiossidante ($75,67 \pm 0,04$ mmolTE e $64,37 \pm 0,65$ mmolTE rispettivamente) mentre l'estrazione assistita con ultrasuoni ha consentito di ottenere estratti dalle foglie caratterizzati da una capacità antiossidante pari a $77,27 \pm 0,14$ mmolTE. I risultati ottenuti aprono quindi interessanti prospettive per la diversificazione del prodotto, ad esempio considerando il positivo trend delle bevande fermentate e dello sviluppo di bio-prodotti da scarti per l'industria agroalimentare e nutraceutica.

Parole chiave: *Punica granatum* (L), succo, bucce, arilli, foglie di melograno, bioprodotti.

INDICE

RIASSUNTO	3
INTRODUZIONE	7
MATERIALI E METODI	9
Materiale vegetale	9
Preparazione dei campioni vegetali e modalità di estrazione	10
Contenuto in polifenoli totali ed attività antiossidante nel succo e negli estratti da sottoprodotti	11
Analisi statistiche	12
RISULTATI E DISCUSSIONI	12
Contenuto di polifenoli totali ed attività antiossidante nei succhi di melograno	12
Contenuto di polifenoli totali ed attività antiossidante in estratti da sottoprodotti del melograno	15
CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	17
REFERENZE	18



**Agricoltura
Agroalimentare
Cosmetica
Nutraceutica
Farmaceutica**



INTRODUZIONE

Il melograno (*Punica granatum*. L), una specie appartenente alla famiglia delle *Punicaceae*, è nativo dell'Iran e centro Asia ed è una delle piante edibili più antiche, domesticata più di 5000 anni fa. Pianta arborea e frutticola apprezzata per la sua resistenza alla siccità e alla salinità è oggi diffusa in tutto il bacino del Mediterraneo, inclusa l'Italia dove la sua coltivazione è in forte espansione. Soprattutto in Sicilia questa coltura, considerata fino a poco tempo fa 'di nicchia', è ormai una realtà produttiva che copre più di 500 ettari nelle provincie di Trapani, Agrigento, Ragusa e Catania. La coltivazione si estende in maniera significativa anche in Puglia, Calabria, Campania e Lazio ed è in espansione anche in regioni più settentrionali quali Toscana, Emilia Romagna, Marche e Veneto. Negli ultimi 10 anni la coltivazione del melograno in Italia è passata da circa 37 ettari nel 2012 a 1845 nel 2023 con una produzione di circa 26.796 tonnellate (Raimondo et al, 2025). A livello europeo l'Italia risulta essere il secondo produttore di melograni dopo la Spagna. L'incremento produttivo, registrato in soli 10 anni (nel 2010 il melograno non era presente nelle statistiche italiane, data la produzione a livello familiare) è una conseguenza di diversi fattori, tra cui la messa a punto di tecniche di gestione innovative e la divulgazione della valenza nutrizionale e nutraceutica del frutto, che ne ha incrementato il consumo a livello globale. Le previsioni 2021-2026 indicano un ulteriore aumento della tendenza positiva, a causa della spinta data dal mercato verso prodotti salutistici come appunto il frutto del melograno, che è stato recentemente definito un 'superfood' (Mancuso et al, 2021). Nell'ultimo decennio, infatti, le ricerche scientifiche hanno dimostrato che i frutti e i suoi estratti possiedono un'azione preventiva e attenuativa contro numerose patologie croniche e malattie genetiche quali cancro, diabete di tipo 2, arteriosclerosi e malattie cardiovascolari (Pande and Akoh, 2016; Di Stefano et al, 2019; Pierdomenico et al, 2023). Molti composti polifenolici, tra cui antocianine, flavanoli, tannini idrolizzabili (ellagitannini e gallotannini) sono presenti nel succo di melograno (Topalovic et al, 2020; Montefusco et al, 2021). È interessante notare che le proprietà farmacologiche e nutraceutiche non si limitano solo alla parte edibile della pianta: la frazione non edibile come buccia, semi, fiori, corteccia e foglie, considerati solitamente scarti di coltivazione e produzione, contengono una quantità maggiore di nutrienti specifici e sostanze biologicamente attive rispetto alla frazione commestibile (Fig, 1).

I fitocomposti sono contenuti maggiormente nella buccia e nel mesocarpo, i quali contengono biomolecole dotate di un'attività antiossidante superiore a quella della parte edibile del frutto (Li et al, 2016; Kazemi et al, 2016). Pertanto, l'uso di prodotti a base di estratti di buccia nell'industria alimentare e nutraceutica è in continuo aumento; essi comprendono integratori alimentari, nutraceutici e alimenti specifici per diete ricche di polifenoli. Oltre alla loro rilevanza nutraceutica, possono fungere anche da ottimi additivi naturali per la conservazione e il miglioramento degli alimenti (Akhtar et al, 2015). La spremitura del frutto per la produzione del succo porta alla produzione di due tipi di scarti: la buccia e i semi. La buccia (esocarpo) rappresenta circa il 50% del peso fresco dell'intero frutto, non è edibile, e contiene numerosi composti bioattivi: tannini idrosolubili

(pedunculagina, punicalina, punicalagina), insieme agli acidi fenolici da essi derivati, quali l'acido ellagico e l'acido gallico, in un range da 27 a 172 g/kg (Fisher et al, 2013; Dimou and Koutelidakis, 2017; Canuti, et al, 2020), flavonoidi (catechina, antocianine e altri flavonoidi complessi), polisaccaridi e minerali come fosforo, magnesio, calcio, potassio e azoto (Ismail et al, 2012). Dal punto di vista quantitativo i principali polifenoli presenti in questa parte del frutto sono acido gallico (14,2 %), acido protocatechico (14,5%), acido clorogenico (2,4 %), acido vanillico (3,8 %), cumarina (3,5%), acido caffeico (2,8%), oleuropeina (0,6%), acido ferulico (1,9%) e quercitina (0,95 %), oltre all'alcaloide caffeina (6,4%) (Farag et al, 2014). È stata riportata anche la presenza di lisina, leucina e aminoacidi aromatici (fenilalanina e tirosina). La parte edibile del frutto è composta per il 78% dal succo e per il restante 22% dai chicchi (arilli) con una certa variabilità tra le diverse varietà di melograno (Montefusco et al, 2021). I semi in essi contenuti sono in numero molto variabile (da 40 a 100g/kg di frutto) e sono ricchi di lipidi (dal 12 al 20% p/p del seme) in particolare acidi grassi polinsaturi (n-3) con proprietà benefiche per la salute umana (Viladomiu et al, 2013; Durante et al, 2017). L'olio che si ricava dai semi è costituito principalmente da acido grasso octadecatrienoico (circa 80%) con un'alta percentuale dell'isomero 9 cis, 11 trans, 13 cis, ossia l'acido punico (Dimou and Koutelidakis, 2017). Il contenuto totale di acidi grassi è di circa il 95%, dei quali circa il 99% è esterificato sotto forma di trigliceridi. In minore quantità l'olio del melograno contiene steroli, steroidi, tocoferoli e cerebrosidi (Fadavi et al, 2006), mentre sono stati caratterizzati aminoacidi essenziali, come la leucina e isoleucina, in discreti quantitativi (Syed et al, 2007). L'epicarpo dei semi contiene lignina, alcuni derivati antiossidanti della lignina, come gli acidi idrossibenzoico e cinnammico, e isoflavonoidi. Anche le foglie, come scarto non-edibile, rappresentano una risorsa interessante per lo sviluppo di bio-prodotti essendo ricche di composti bioattivi a spiccata attività antimicrobica, contro patogeni clinici e alimentari, e citotossica contro alcune linee cellulari cancerogene (Marcelino et al, 2023). Recenti studi hanno dimostrato la presenza, nelle foglie di melograno, di alte concentrazioni di flavan-3-oli, come catechina, epicatechina, gallo catechina, e glucosidi flavonoidi come kaempferolo, quercitina, apigenina (Eghbali et al, 2021).

La composizione chimica dei frutti e, quindi, dei sottoprodotti, dipende comunque dal genotipo, dalla regione di coltivazione, dalle condizioni ambientali, dalle pratiche di coltivazione e dalle condizioni di conservazione (Viuda-Martos et al, 2010; Sreekumar et al, 2014; Ilahy, et al, 2019). Inoltre, lo sviluppo di metodi di estrazione efficaci e sicuri per ottenere composti bioattivi con elevata purezza senza l'utilizzo di solventi chimici, questi ultimi spesso tossici, diviene un prerequisito importante per l'ottenimento di prodotti ad alto valore aggiunto.

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di valutare alcune caratteristiche chimiche del succo e degli estratti di sottoprodotti come l'esocarpo, gli arilli, e le foglie, ricorrendo all'utilizzo di diversi metodi di estrazione green. Nell'ottica della bioeconomia circolare, i risultati preliminari del presente lavoro potrebbero aprire la strada per possibili diversificazioni commerciali e per lo sviluppo di nuovi

bio-prodotti in grado di contribuire ad una integrazione del reddito delle aziende dedite alla coltivazione del melograno.

Fig. 1 Prodotti e sottoprodotti del melograno



MATERIALI e METODI

Materiale vegetale

I campioni sono stati forniti da un'azienda biologica situata ad Anguillara Sabazia (RM) dove il melograno (cultivar Wonderful) copre circa il 40% della SAU aziendale ed è condotto in biologico secondo il modello israeliano (Bacchetta et al, 2021). Si tratta di piante forzate su strutture di sostegno a Y trasversale in densità variabile (da 6x3,5 m; 6x3 m a 5x3 m fino a 5x2 m) (fig 2). Per questo tipo di sistema di allevamento la potatura invernale è sempre affiancata da una potatura primaverile-estiva per rimuovere i germogli in eccesso e garantire una struttura produttiva aperta, con una adeguata penetrazione della luce e circolazione dell'aria. Un impianto intensivo di questo tipo necessita di diverse attenzioni colturali: una baulatura per ridurre i danni da eccessi idrici; l'utilizzo di un telo bianco pacciamante utile per il contenimento delle erbe infestanti e per ridurre l'evapotraspirazione; l'irrigazione a goccia e la fertirrigazione. In particolare, l'azienda adotta un sistema di sensori per il monitoraggio della capacità di campo idrica e la fertirrigazione con ferro e zinco che incrementa il livello di antocianine e di zuccheri nei frutti; adeguate concentrazioni di calcio e potassio sono utilizzate per limitare la spaccatura e quindi il deprezzamento dei frutti. L'azienda, inoltre, utilizza il sistema dello stress idrico assistito che, come è noto, permette di anticipare la raccolta, di risparmiare acqua di irrigazione, favorendo un maggior contenuto di composti bioattivi (antociani, punicalagina e acido ellagico e altri composti fenolici,) e una migliore colorazione del frutto. I frutti, una volta raccolti, vengono conservati per un massimo di 4-8 settimane in cella

frigorifera e commercializzati. Fra di essi quelli di pezzatura minore o difettati vengono inviati alla trasformazione industriale in succhi pastorizzati a caldo.



Fig. 2 Allevamento del melograno secondo il modello israeliano.

Preparazione dei campioni vegetali e modalità di estrazione

L'azienda ha fornito due tipi di succhi: puro (succo P) e succo addizionato per il 20% di succo d'uva (succo commerciale P dell'azienda) che sono stati analizzati confrontandoli con un succo commerciale acquistato in un supermercato CONAD (succo Pfanner biologico). I sottoprodotti (bucce, semi, foglie) freschi e omogenizzati sono stati estratti con differenti metodi sostenibili ed analizzati. Le foglie sono state raccolte in modo casuale la mattina e subito analizzate. Come solvente è stata utilizzata acqua corrente sempre in un rapporto 1: 20 (p/v). Per stimare l'efficacia di estrazione, i risultati così ottenuti sono stati comparati con i risultati di una estrazione con una soluzione idroalcolica di etanolo al 70% (v/v) che, come è noto, è il solvente ideale per l'estrazione di questo tipo di molecole. I succhi tal quali sono stati analizzati per la determinazione di polifenoli ed attività antiossidante, mentre dai sottoprodotti sono stati ottenuti degli estratti secondo le modalità riportate nella tabella 1.

Tabella 1 Descrizione delle modalità di estrazione di polifenoli dai differenti scarti di melograno.

Tipo di campione e modalità di estrazione
Foglie spezzettate a mano: 1 g macerate in 20 mL acqua a 60°C per 60 min
Foglie spezzettate a mano: 1 g in infusione in 20 mL acqua bollente lasciando raffreddare per 60 min
Foglie spezzettate a mano: 1 g macerate in 20 mL acqua a 60°C in ultrasuoni per 60 min; freq. US 40 kHz; potenza 140 W
Bucce omogeneizzate: 2 g macerate in 40 mL acqua a 60°C per 60 min
Bucce omogeneizzate: 2 g in infusione in 40 mL acqua bollente lasciando raffreddare per 60 min

Bucce omogeneizzate: 2 g macerate in 40 mL acqua a 60°C in ultrasuoni per 60 min; freq. US 40 kHz; potenza 140 W
Semi omogeneizzati: 2 g macerati in 40 mL acqua a 60°C per 60 min
Semi omogeneizzati: 2 g in infusione in 40 mL acqua bollente lasciando raffreddare per 60 min
Semi omogeneizzati: 2 g macerati in 40 mL acqua a 60°C in ultrasuoni per 60 min freq. US 40 kHz; potenza 140 W
Bucce, semi, foglie spezzettate a mano: 1 g in 20 mL in 70% etanolo poste a 60°C in ultrasuoni per 60 min; freq. US 40 kHz; potenza 140 W

Gli estratti così ottenuti sono stati centrifugati a 12.000 rpm per 20 minuti, filtrati su filtri di cellulosa acetato e conservati a -20°C fino alle analisi chimiche successive.

Contenuto in polifenoli totali ed attività antiossidante nel succo e negli estratti da sottoprodotti

Mediante saggi spettrofotometrici sono stati determinati il contenuto in polifenoli totali e l'attività antiossidante del succo di melograno tal quale e dei vari estratti ottenuti dagli scarti.

I polifenoli totali sono stati quantificati con il reattivo Folin-Ciocalteu ed espressi in mg GAE/g peso secco (GAE = "Gallic Acid Equivalents"). Sono stati preparati il reattivo di ossido riduzione, per diluizione 1:10 del reattivo Folin-Ciocalteu 2N (Sigma), ottenendo una soluzione di Folin-Ciocalteu 0,2 N, e una soluzione di sodio carbonato anidro 60 g/L al fine di creare l'ambiente alcalino necessario per lo sviluppo della reazione. Quest'ultima è stata eseguita aggiungendo 0,2 mL di campione a 5 mL del reattivo di Folin-Ciocalteu 0,2N, quest'ultimo costituito da una miscela di acidi fosfotungstici e fosfomolibdici con i quali i composti fenolici, in ambiente alcalino, effettuano una reazione di ossido riduzione dando luogo allo sviluppo di una colorazione blu. L'intensità di tale colorazione è direttamente proporzionale al quantitativo di polifenoli presenti nel campione. Dopo 5 minuti di incubazione, sono stati aggiunti 1,5 mL di sodio carbonato, che produce il pH alcalino favorevole allo sviluppo della reazione. I campioni vengono quindi conservati al buio per 30 min e successivamente analizzati mediante spettrofotometro (Lambda 2 Perkin Elmer) per la lettura dell'assorbanza alla lunghezza d'onda di 725 nm. La retta di taratura viene elaborata riportando il valore dell'assorbanza a 725 nm in funzione della concentrazione di una serie di soluzioni a concentrazione nota (10, 20, 50, 100, 250, 500 µg/mL) dello standard di riferimento (acido gallico). La concentrazione di polifenoli totali nel succo e negli estratti espressa in mgGAE/mL viene determinata per interpolazione di questa retta dopo lettura dell'assorbanza relativa al campione. Conoscendo il volume di estrazione ed il peso del campione, tale concentrazione (p/v) viene poi ricalcolata come mgGAE/g di biomassa (p/p). Un bianco, preparato con 0,2 mL del solo solvente in cui è disciolto l'estratto, viene letto prima dei campioni azzerando su di esso il valore dell'assorbanza.

L'attività antiossidante del succo tal quale e degli estratti è stata determinata utilizzando il radicale DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) come substrato ossidante. A tale scopo, è stata preparata una soluzione 60 µM in etanolo del radicale DPPH. Tale soluzione, di colore blu, presenta un massimo di assorbimento a 515 nm. La neutralizzazione del radicale da parte di agenti riducenti, porta alla decolorazione della soluzione e, quindi, a una diminuzione dell'assorbanza proporzionale all'entità della reazione. Il Trolox (analogo sintetico della vitamina E, con forte potere riducente), viene utilizzato come standard di riferimento per la misura dell'attività antiossidante. A tale scopo, dunque, viene preparata una serie di soluzioni a concentrazione nota di Trolox (100, 250, 500, 750, 1000 µM) e 100 µL di ciascuna di esse vengono addizionati a 2,9 mL di DPPH 60 µM facendo, quindi, trascorrere un intervallo temporale di 60 minuti per il decorso della reazione al riparo dalla luce. Al termine della reazione, i campioni vengono analizzati allo spettrofotometro leggendo l'assorbanza a 515 nm. In tal modo, si ottiene la retta di taratura dell'attività antiossidante, la quale definisce la percentuale di inibizione del DPPH in funzione della concentrazione del Trolox assunto come standard di riferimento. La percentuale di inibizione è stata calcolata con la seguente formula:

$$\% \text{ inib.} = (1 - A_c / A_0) \times 100$$

dove A_c è l'assorbanza del campione e A_0 quella del DPPH 60 µM.

La % inibizione del campione si determina aggiungendo 100 µL di questo a 2,9 mL di DPPH 60 µM. Per interpolazione della retta si risale alla concentrazione mM equivalente di Trolox, esprimendo così l'attività antiossidante in mmolTE/g peso fresco (Trolox Equivalents).

Analisi statistiche

L'analisi statistica descrittiva è stata realizzata con il programma SSPT Statistics for Data Analysis versione 28. I dati sono espressi come medie ± deviazione standard. Il confronto delle medie è stato effettuato mediante test di Tukey. Tutti gli esperimenti sono stati condotti in triplicato. Le letture allo spettrometro sono state ripetute tre volte per ciascun campione.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Contenuto di polifenoli totali ed attività antiossidante nei succhi di melograno

Il succo di melograno è ricco di polifenoli e molecole antiossidanti, anche in quantità superiori al tè verde e al vino rosso (Catania et al, 2020), caratteristiche che hanno destato negli ultimi anni un crescente interesse nei confronti di questo prodotto da parte dei consumatori. Diversi studi hanno dimostrato gli effetti benefici del consumo di succo di melograno nella prevenzione di malattie cardiovascolari, diabete e tumori (Aviram et al, 2000; Aviram and Dornfeld, 2001; Facial and Calhau, 2011; Johanningsmeier and Harris, 2011; Giménez-Bastida et al, 2021; Zhang et al, 2025). Il succo di melograno contiene diverse classi di fitochimici inclusi antocianine, tannini idrolizzabili (punicalina, punicalagina, gallotannini) proantocianidine (es., (+) gallocatechin-(4α→8)-(+) catechina), flavonoidi

(es., catechina) e acidi fenolici (es., acido gallico ed ellagico) (Fahmya et al, 2020; Zhang et al, 2025). Alcuni autori hanno dimostrato l'effetto antimicrobico del succo di melograno contro vari batteri, come ad esempio *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori* e *Vibrio parahaemolyticus* (Haghighayeghi et al, 2013) e virus (Howell A B and D. H. D'Souza, 2013). Effetti positivi sono stati dimostrati anche sull'inibizione dello stress ossidativo e dell'infiammazione imputabile all'azione sinergica della punicalagina (Rios et al, 2014; Akter et al, 2023) e dell'acido ellagico, che sembra influenzare anche il metabolismo del colesterolo LDL riducendone la formazione. Il recente lavoro di Pierdomenico e altri (2023) ha dimostrato (mediante ELISA, AssaY). come il trattamento di estratti di succo su cellule HepG2 di carcinoma epatocellulare induce una significativa diminuzione di tre citochine chiave proinfiammatorie come interluchina-8(IL-8) interluchina-1 β e il fattore di necrosi tumorale α -alpha(TNF- α) sia a livello di espressione genica che di secrezione.

I risultati relativi al contenuto totale di polifenoli ed all'attività antiossidante da noi ricavati nel succo commerciale (Pfanter), nel succo addizionato di succo d'uva o in quello puro, sono riportati nelle figure 3 e 4, rispettivamente. Il contenuto di polifenoli totali (Fig 3) è risultato pari a $2,18 \pm 0,01$, $4,48 \pm 0,02$ e $5,17 \pm 0,02$ mgGAE/mL rispettivamente nei tre tipi di succo elencati. Farag et al (2020) hanno riportato che il contenuto totale di polifenoli nel succo di melograno varia da 1.385 a 2.899 mgGAE/L in relazione al metodo di estrazione, come riportato anche da Mphahlele et al (2016) che non hanno invece osservato variazioni nel contenuto di polifenoli totali. I nostri dati dimostrano che, mentre il prodotto commerciale (Pfanter) è in linea con quanto riportato dalla letteratura, il contenuto totale di polifenoli è decisamente più alto nel succo puro analizzato (+44%) così come in quello addizionato di succo d'uva (+36%). Come è stato già discusso, le condizioni pedoclimatiche e le tecniche colturali sono in grado di influenzare il contenuto di fitochimici presenti nel frutto (Bou Dargham et al, 2022) così come le modalità di estrazione del succo possono contribuire alla qualità del prodotto finale. Catania et al (2020) hanno infatti dimostrato che applicando pressioni di estrazione progressivamente crescenti mediante l'utilizzo di una pressa pneumatica, i polifenoli totali estratti aumentano in proporzione alla pressione applicata tuttavia, tra questi, le antocianine si ritrovano in proporzione maggiore durante la prima fase dell'esperimento con pressioni di spremitura più basse. Allo stesso modo Mphahlele et al (2016) hanno riportato che il contenuto di composti fenolici e tannini era superiore quando l'estrazione veniva condotta su frutti tagliati a metà. Inoltre, anche alcuni composti volatili sono allo stesso modo influenzati dalla pressione di estrazione che, se alta, porta ad un incremento nell'estratto di molecole come (Z) cis 3-esen-1-olo, α -terpineolo, e fenil acetaldeide; e a un decremento di composti come 2-metil-2-buten-1-olo e β -myrcene. In pratica il succo presentava un aroma più intenso se gli arilli venivano macinati (Esposito e al, 2021) o se gli arilli più i semi venivano spremuti con un frullatore oppure se metà frutti venivano pressati su uno spremiagrumi manuale commerciale (Arendse et al, 2021).

Quindi se modulando i parametri fisici di processo è possibile sviluppare prodotti secondo la destinazione d'uso è anche vero che è possibile spiegare la variabilità nei profili chimici dei succhi ottenuti tenendo conto del processo di estrazione impiegato.

La figura 4 riporta l'attività antiossidante che caratterizza i fitochimici presenti nei succhi analizzati. Mentre c'è una significativa differenza tra il succo commerciale e quelli prodotti in azienda (rispettivamente $12,73 \pm 0,2$, $24,20 \pm 0,2$ e $28,08 \pm 0,10$ MTE) l'attività antiossidante nel succo di melograno addizionato di succo d'uva risulta di poco inferiore rispetto a quella del succo puro (-14%). Come discusso, l'estratto dagli arilli è ricco di diverse classi di antiossidanti come le antocianine, l'acido ellagico, gli ellagitannini, vitamina C e vitamina E. Inoltre alcuni tannini metabolizzati, come le urolitine, esprimono anch'essi un alto potere antiossidante (Viladomiu et al 2013; Cortés-Martín et al 2024). Studi precedenti, che hanno riportato come il succo di melograno esprima una attività antiossidante correlata negativamente con i gradi Brix (come riportato da Chater et al, 2018), riportano un'attività maggiore rispetto a succhi o bevande come quelli ricavati da altri frutti come la mela, il mirtillo nero e rosso, il succo di arancia, il tè verde o il sambuco (Gil et al, 2000; Seeram et al 2008; Novak et al 2017; Jahidul Islam, Yearul Kabir, 2019).

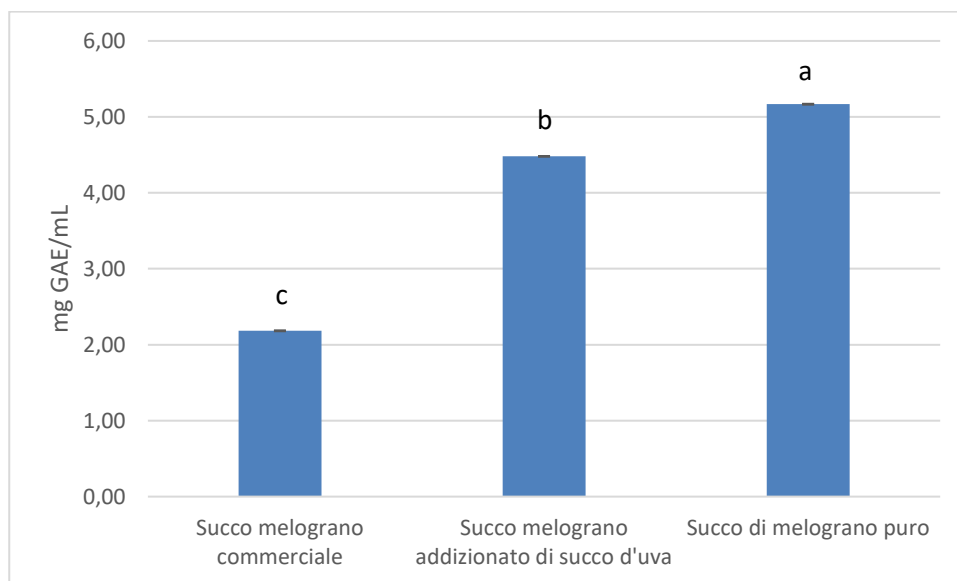


Fig. 3 Contenuto di polifenoli totali nei succhi analizzati

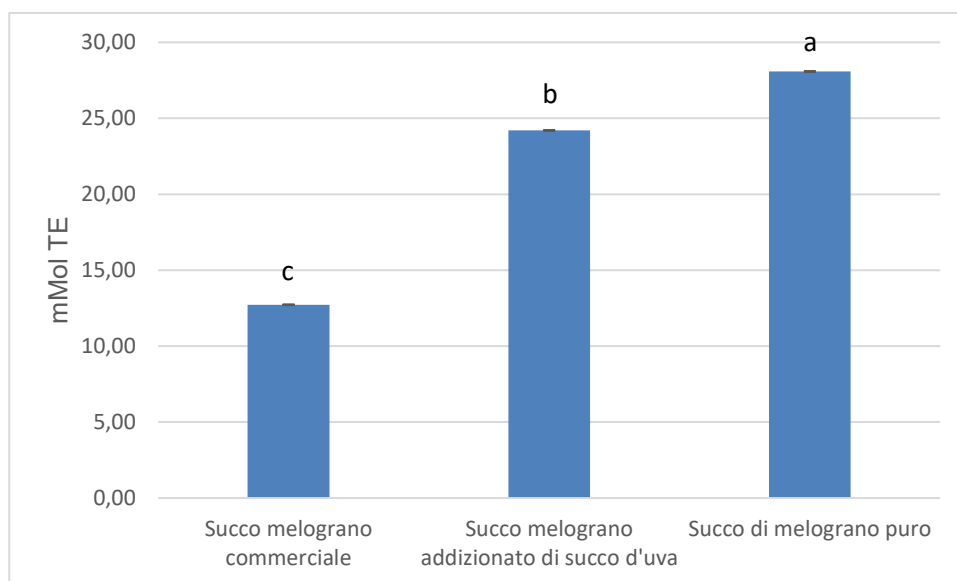


Fig. 4 Attività antiossidante nei succhi analizzati

Contenuto di polifenoli totali ed attività antiossidante in estratti da sottoprodotti del melograno

La tabella 2 riporta il contenuto di polifenoli e l'attività antiossidante degli estratti ottenuti da foglie, bucce e arilli di melograno con differenti metodi estrattivi a basso impatto. In questo lavoro, sono stati utilizzati diversi processi di estrazione: da una parte per favorire un'eventuale partecipazione attiva anche in aziende che possono quindi produrre gli estratti, come nel caso dell'estrazione con acqua a 60°C o della tecnica dell'infusione, dall'altra per valutare come processi più efficaci, come l'estrazione assistita con ultrasuoni, fossero in grado di favorire una migliore estrazione di molecole ad alto valore aggiunto. Dai risultati è possibile notare che se questo è vero nel caso delle foglie, perché l'incremento di polifenoli estratti con l'estrazione assistita con ultrasuoni è, rispettivamente, di circa + 72% e + 99% rispetto all'estrazione a caldo e all'infusione, nel caso delle bucce e degli arilli la differenza tra i processi estrattivi risulta minore. Diversa è l'estrazione con etanolo che, come abbiamo sottolineato, è uno dei solventi elettivi in grado di incrementare notevolmente l'efficacia estrattiva in tutti i casi esaminati. Questo risultato è in contrasto con Elfalleh et al (2012) che non hanno riportato sostanziali differenze nel contenuto di polifenoli tra i metodi di estrazione in acqua e metanolo, mentre differenze significative sono state dimostrate per le diverse categorie di composti analizzati nei vari sottoprodotti del melograno (foglie, bucce, fiori e semi). Comunque, anche questi autori hanno dimostrato che il valore maggiore di $85,60 \pm 4,87$ espresso come mg GAE/g peso secco è stato ottenuto per estrazione da bucce. Valori progressivamente minori sono stati ricavati da fiori ($66,29 \pm 3,06$ mgGAE/g), foglie ($14,78 \pm 2,10$ mgGAE/g) e dai semi ($11,84 \pm 1,92$ mgGAE/g). Pande and Akoh (2009) riportano che il contenuto di polifenoli totali nelle bucce, semi e foglie di melograno (cv georgiana) sono pari rispettivamente a 311, 89, 365 mg GAE/g peso fresco. Tenendo presente la difficoltà di paragonare i contenuti assoluti dei composti target dovuti a differenze nelle modalità di estrazione, alla varietà e alle condizioni pedoclimatiche e di coltivazione, i risultati ottenuti nel nostro lavoro sono in linea con quanto riportato in letteratura. In particolare, ciò che abbiamo

confermato è che le bucce contengono un maggior quantitativo di fitochimici rispetto a foglie e arilli. Sono diversi infatti gli autori che dimostrano un contenuto di composti bioattivi maggiore nelle bucce che in altre parti del frutto (anche edibili) (Akhtar et al, 2015; Rahnemoon et al, 2016; Ain et al, 2023). Il lavoro di Tozzo et al (2022) riporta la presenza di due acidi fenolici (ellagico e cumarico) e 8 ellagitannini confermati anche dal precedente lavoro di Balli et al (2020). Tra i composti fenolici individuati α - and β -punicalagina risultano i più abbondanti rappresentando circa il 65-68% degli ellagitannini totali. Queste molecole, come riportato anche dal lavoro di Singh et al (2018), contribuiscono in maniera determinante alla capacità antiossidante delle bucce di melograno. Interessante è notare che anche la cultivar è un fattore chiave in grado di influenzare questo aspetto: bucce da cultivar acide o semiacide come Wonderful, Kingdom e Acco possiedono più punicalagina che le cultivar dolci (Tozzo et al, 2022). Relativamente, quindi, alla capacità antiossidante specifica delle varie parti della pianta estratte (da intendersi in tutti i casi come mmolTE/g di biomassa secca estratta) gli estratti da bucce ottenuti per macerazione a caldo (60°C per un ora) esprimono una discreta attività antiossidante ($75,67 \pm 0,04$ mmolTE/g) di poco inferiore a quella misurata nel trattamento con l'ausilio degli ultrasuoni ($78,01 \pm 0,08$ mmolTE/g). Nelle foglie, l'estrazione assistita con ultrasuoni ha consentito di ottenere estratti caratterizzati da una capacità antiossidante pari a $77,27 \pm 0,14$ mmolTE/g, mentre anche per i semi, come per le bucce, il trattamento con acqua a caldo (60°C per un ora) della biomassa ha permesso di ottenere estratti a maggiore capacità antiossidante ($64,37 \pm 0,65$ mmolTE/g). L'estrazione con etanolo mette però in evidenza che estratti da foglie esibiscono la maggior capacità antiossidante ($554,90 \pm 1,36$ mmolTE/g) cui seguono, in ordine decrescente di resa, gli estratti da bucce ($309,74 \pm 0,78$ mmolTE/g) e da semi ($109,95 \pm 1,18$ mmolTE/g). Recentemente, Marcelino et al (2023) analizzando il profilo fenolico di foglie di melograno con la tecnica HPLC-DAD-ESI/MS hanno identificato trentatré composti, tredici dei quali costituiti da acidi fenolici, quindici da flavonoidi, sei da tannini idrolizzabili esterificati con acido gallico, oltre epicatechina e granatina B.

Tabella 2. Contenuto di polifenoli (mgGAE/g peso secco) e attività antiossidante specifica (mmolTE/g di peso secco) in foglie, bucce e semi di melograno determinati in estratti ottenuti per macerazione a caldo, infusione, estrazione acquosa e idroalcolica 70% etanolo assistite con ultrasuoni. I valori sono la media di tre determinazioni \pm deviazione standard.

Modalità di estrazione	Foglie		Bucce		Semi	
	PT mgGAE/g	AO mmolTE/g	PT mgGAE/g	AO mmolTE/g	PT mgGAE/g	AO mmolTE/g
Acqua 60° C (digestione chimica) per 60 min	11,43 \pm 0,04 c	40,10 \pm 0,67 c	31,94 \pm 0,04 d	75,67 \pm 0,04 c	12,55 \pm 0,01 c	64,37 \pm 0,65 b
Infusione in acqua bollente per 60 min	8,26 \pm 0,01 d	13,91 \pm 0,01 d	41,52 \pm 0,004 c	15,28 \pm 0,15 d	6,63 \pm 0,003 d	15,66 \pm 0,01 d
Acqua 60° C in ultrasuoni 40kHz 140 W (90% potenza) per 60 min	41,21 \pm 0,05 b	77,27 \pm 0,14 b	48,25 \pm 0,03 b	78,01 \pm 0,08 b	14,44 \pm 0,04 b	34,11 \pm 0,36 c
Etanolo 70% 60° C in ultrasuoni 40kHz, 140 W (90% potenza) per 60 min	324,15 \pm 0,61 a	554,90 \pm 1,36 a	189,26 \pm 0,31 a	309,74 \pm 0,78 a	76,99 \pm 0,23 a	109,95 \pm 1,18 a

Lettere diverse indicano differenze statistiche significative per $P < 0,05$ secondo il test Tukey e sono relative ai differenti metodi di estrazione utilizzati per ciascuno scarto.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il lavoro ha consentito di caratterizzare dal punto di vista chimico/nutraceutico i prodotti e sottoprodotti del melograno, sottolineandone il valore intrinseco e soprattutto il valore commerciale e nutrizionale. Nell'ottica di una diversificazione dei prodotti aziendali c'è un grande interesse, ad esempio, verso bevande fermentate non alcoliche che potrebbe costituire una valida alternativa alla produzione di solo succo. Nell'Unione Europea il mercato delle bevande fermentate non alcoliche è passato da circa 7,5 miliardi di euro nel 2021 a poco meno di 9 miliardi nel 2023, registrando un incremento del 17,3% in soli due anni. Secondo le previsioni, il mercato globale di questi prodotti potrebbe raggiungere i 4 miliardi di dollari entro il 2028 (Okaru, et al, 2022). Se questo aspetto

potrebbe interessare la diversificazione del prodotto aziendale, la valorizzazione dei sottoprodotti, ricchi di nutraceutici e composti ad alto valore aggiunto, offre numerose opportunità legate allo sviluppo di bio-prodotti per l'industria alimentare, cosmetica, farmaceutica. La bioraffineria è una strategia innovativa per trasformare scarti in prodotti ad alto valore aggiunto. La buccia di melograno (sia in polvere che sotto forma di estratto liquido e/o incapsulata) è già presente in diverse matrici alimentari: ad esempio è stata utilizzata in matrici alimentari a base di frutta e verdura (Kaderides et al, 2021), di carne (Gullón et al, 2020), di pesce (Martínez-Zamora et al, 2020), di latticini (Chan et al, 2018), di prodotti dolciari (Palabiyik et al 2018), in prodotti da forno (da Silva Veloso et al, 2020) e anche in preparazioni oleaginose (Mekaw et al, 2019). Altre evidenze sul confezionamento sono state riportate da altri autori, dimostrando che si tratta di un buon strumento per conservare gli alimenti senza alterarne la composizione (Cano-Lamadrid et al, 2022). Le bucce di melograno sono una fonte abbondante di ellagitannini (antiossidanti); pertanto vengono utilizzate per prevenire e ridurre le malattie degli animali da allevamento rendendole una parte importante dell'alimentazione animale. Applicazioni al suolo di polvere di bucce di melograno hanno rivelato effetti benefici sullo sviluppo e produttività di *Brassica napus* (Bodor et al, 2022) e, in generale, hanno dato risultati positivi riguardo agli effetti sulla microfauna del suolo e sulla produttività delle piante, sia come ammendanti sia come compost. Evidenze scientifiche sono disponibili anche per applicazioni come bio-assorbenti di materiali o siti contaminati. Senza addentrarci nell'analisi della domanda di prodotti nutraceutici, medici, cosmetici che apre un capitolo molto interessante per le applicazioni e le potenzialità dei sottoprodotti del melograno, è doveroso sottolineare come reali possibilità applicative nascano dal territorio e dalla sinergia industriale che si può stabilire tra chi produce lo scarto e chi lo può recuperare e valorizzare. In questo contesto, la ricerca e l'innovazione svolgono un ruolo chiave nella comprensione del valore intrinseco dei prodotti di scarto, nell'ottimizzazione di processi di trasformazione e nell'esplorazione di soluzioni innovative: un anello tra domanda e offerta che è imprescindibile in una società e in un modello di sviluppo sostenibile e di bioeconomia circolare.

Referenze

Ain HBU, Tufail T, Bashir S, Ijaz N, Hussain M, Ikram A, Farooq M A, & Saewan SA, 2023. Nutritional importance and industrial uses of pomegranate peel: A critical review. *Food Science & Nutrition*, 11, 2589–2598. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3320>

Akhtar S, Ismail T, Fraternali D, Sestili P. Pomegranate peel and peel extracts: Chemistry and food features. *Food Chem.* 2015; 174:417-425. doi:10.1016/j.foodchem.2014.11.035.

Akter R, Boopathi W, Awais M, Park J, Kong B M, Oh S W, Oh JH, Yang D C 2023. In Silico and In Vitro Evaluation of Antiobesogenic and Osteoprotective Effect of Pomegranate Juice

Fermented by Tannin Acyl Hydrolase and *Lactobacillus vespulae* DCY75 via the Wnt/ β -Catenin Pathway. doi: 10.1021/acsfoodscitech.3c00370. ACS Food Science & Technology 3:11

Arendse E, Nieuwoudt HH, Fawole O A, Opara UL, 2021. Effect of Different Extraction Methods on the Quality and Biochemical Attributes of Pomegranate Juice and the Application of Fourier Transformed Infrared Spectroscopy in Discriminating Between Different Extraction Methods. Front. Plant Sci. 12:702575. DOI:10.3389/fpls.2021.702575

Aviram M, Dornfeld L, Rosenblat M, Volkova N, Kaplan M, Coleman R, Hayek T, Presser D Fuhrman B, 2000. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: Studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. Am. J. Clin. Nutr. 2000, 71, 1062–1076.

Aviram M, Dornfeld LL, 2001 Pomegranate juice consumption inhibits serum angiotensin converting enzyme activity and reduces systolic blood pressure. Atherosclerosis 2001, 158, 195–198.

Bacchetta L, Platamone G, Balducchi R, 2021. Semi bucce arilli di melograno, non si butta niente L'Informatore Agrario 25(2021) pag 49-52 Copyright Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l

Balli D, Cecchi L, Khatib M, Bellumori M, Cairone F, Carradori S, Zengin G, Cesa S, Innocenti M, Mulinacci N, 2020. Characterization of arils juice and peel decoction of fifteen varieties of *Punica granatum* L.: a focus on anthocyanins, ellagitannins and polysaccharides. Antioxidants 9, 238. <https://doi.org/10.3390/antiox9030238>.

Bimbo F., Lops, F. Raimondo M.L., Bellantuono, N. Seccia A., 2022. Al melograno italiano serve aggregazione. L'informatore agrario n. 12/2024 a pag. 27 -29.

Bodor A, Bellahsen N, Perei K, Hodúr C, Feigl G, 2022. Phytotoxicity evaluation of nutrient-fortified pomegranate peel powders prepared from food waste and their feasibility as biofertilizers. Environment, Development and Sustainability (2024) 26:3671–3685 <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02852-z>

Bou Dargham M., Matar Boumosleh J., Farhat A., Abdelkhalek S., Bou-Maroun E., El Hosry L. Antioxidant and Anti-Diabetic Activities in Commercial and Homemade Pomegranate Molasses in Lebanon. Food Biosci. 2022;46:101540. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101540.

Canuti V, Cecchi L, Khatib M, Guerrini L, Mulinacci N, Zanoni B A, 2020. New Extract from Pomegranate (*Punica granatum* L.) By-Products as a Potential Oenological Tannin: Preliminary Characterization and Comparison with Existing Commercial Products. *Molecules* 2020, 25, 4460.

Catania P, Comparetti A, De Pasquale C, Morello G and Vallone M, 2020. Effects of the Extraction Technology on Pomegranate Juice Quality. *Agronomy* 2020, 10, 1483; doi:10.3390/agronomy10101483.

Chan C.-L, Gan R, Shah NP, Corke H, 2018. Enhancing Antioxidant Capacity of *Lactobacillus Acidophilus*-Fermented Milk Fortified with Pomegranate Peel Extracts. *Food Biosci.* 2018, 26, 185–192.

Cano-Lamadrid M, Martínez-Zamora L , Castillejo N and Artés-Hernández F, 2022. From Pomegranate Byproducts Waste to Worth: A Review of Extraction Techniques and Potential Applications for Their Revalorization. *Foods* 2022, 11, 2596. <https://doi.org/10.3390/foods11172596>

Chater J. M, Merhaut D J, Jia Z Y, Mauk PA and Preece JE, 2018. Fruit quality traits of ten California-grown pomegranate cultivars harvested over three months, *Scientia Horticulturae*, 2018, 237, 11-19.

Cortés-Martín A, Iglesias-Aguirre CE, Marín A, Romo-Vaquero M, Vallejo F, Espín JC, Victoria Selma M. Urolithin A production drives the effects of pomegranate on the gut microbial metabolism of bile acids and cholesterol in mild dyslipidaemic overweight and obese individuals. *Food Funct.* 2024 Mar 4;15(5):2422-2432. doi: 10.1039/d3fo05014a. PMID: 38329279.

da Silva Veloso F, Caleja CC, Calhelha RC, Pires TCS, Alves MJ, Barros L, Genena AK, Barreira J.CM, Ferreira ICFR, 2020. Characterization and Application of Pomegranate Epicarp Extracts as Functional Ingredients in a Typical Brazilian Pastry Product. *Molecules* 2020, 25, 1481.

Dimou C and Koutelidakis A, 2017. From Pomegranate Processing By-Products to Innovative value added Functional Ingredients and Bio-Based Products with Several Applications in Food Sector. *BAOJ Biotech* 2017, 3: 13: 025.

Di Stefano V, Pitonzo R, Novara M.E, Bongiorno D, Indelicato S, Gentile C, Avellone G, Bognanni R, Scandurra S, Melilli MG, 2019. Antioxidant activity and phenolic composition in pomegranate (*Punica granatum* L.) genotypes from south Italy byUHPLC-Orbitrap-MS approach. *J. Sci. Food Agric.* 2019, 99, 1038–1045.

Durante M, Montefusco A, Marrese PP, Soccio M, Pastore D, Piro G, Mita G, Lenucci MS. 2017. Seeds of pomegranate, tomato and grapes: An underestimated source of natural bioactive molecules and antioxidants from agri-food by-products. *J. Food Compos. Anal.* 2017, 63, 65–72.

Eghbali S, Askari S.F, Avan R, Sahebkar A,2021. Therapeutic Effects of *Punica granatum* (Pomegranate): An Updated Review of Clinical Trials. *J. Nutr. Metab.* 2021, 2021, 1–22.

Elfalleh W, Hannachi H, Tlili N, Yahia Y, Nasri N and Ferchichi A, 2012. Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower, *Journal of Medicinal Plants Research* Vol. 6(xx), pp. 4724-4730, 22 DOI: 10.5897/JMPR11.995.

Esposito S, Veneziani G, Taticchi A, Urbani S, Selvaggini R, Sordini B, Daidone L, Gironi G, Servili M. Chemical Composition, Antioxidant Activity, and Sensory Characterization of Commercial Pomegranate Juices. *Antioxidants (Basel)*. 2021 Aug 29;10(9):1381. doi: 10.3390/antiox10091381. PMID: 34573013; PMCID: PMC8471094.

Facial A, Calhau C. The bioactivity of pomegranate: Impact on health and disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2011, 51, 626–634. [CrossRef]

Fadavi A, Barzegar M, Azizi HM (2006) Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *J Food Comp Anal* 19(6-7): 676–680.

Fahmya H, Hegazi N; El-Shamya S,. Farag MA, 2020. Pomegranate juice as a functional food; A comprehensive review of its polyphenols,therapeutic merits, and recent patents. *Food and Function* <https://www.researchgate.net/publication/342170745>.

Farag RS, Latif MSA, Emam SS, Tawfeek LS (2014) Phytochemical screening and polyphenol constituents of pomegranate peels and leave juices. *Agric Soil Sci* 1(6): 86-93.

Gil M I, Tomás-Barberán FA, Hess-Pierce B, Holcroft D M and Kader A, 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing, *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 2000, 48, 4581-4589

Giménez-Bastida J A, Ávila-Gálvez M A, Espín J C, González-Sarrías A, 2021. Evidence for health properties of pomegranate juices and extracts beyond nutrition: A critical systematic review of human studies, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 114, 2021, Pages 410-423, ISSN 0924-2244, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.014>.

Gullón P, Astray G. Gullón B. Tomasevic I. Lorenzo JM, 2020. Pomegranate Peel as Suitable Source of High-Added Value Bioactives: Tailored Functionalized Meat Products. *Molecules* 2020, 25, 2859

Haghayeghi K, Shetty K and Labbe R, 2013. Inhibition of Foodborne Pathogens by Pomegranate Juice, *Journal of Medicinal Food*, 2013, 16, 467-470.

Howell A B and D'Souza D H, 2013, The Pomegranate: Effects on Bacteria and Viruses That Influence Human Health, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, DOI: 10.1155/2013/606212

Ilahy R, Tlili I, Siddiqui MW H, Hider C, Lenucci MS, 2019. Inside and Beyond Color: Comparative Overview of Functional Quality of Tomato and Watermelon Fruits. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 769.

Ismail T, Sestili P, Akhtar S, 2012. Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. *J Ethnopharmacol* 143(2): 397-405.

Jahidul Islam, Yearul Kabir, 2019. Effects and Mechanisms of Antioxidant-Rich Functional Beverages on Disease Prevention, Editor(s): Alexandru Mihai Grumezescu, Alina Maria Holban, *Functional and Medicinal Beverages*, Academic Press, 2019, Pages 157-198, ISBN 9780128163979, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00005-4>.

Kaderides K, Kyriakoudi A, Mourtzi I, Goula AM, 2021. Potential of Pomegranate Peel Extract as a Natural Additive in Foods. *Trends Food Sci. Technol.* 2021, 115, 380–390.

Kazemi M, Karim R, Mirhosseini H, Hamid AA, 2016. Optimization of pulsed ultrasound-assisted technique for extraction of phenolics from pomegranate peel of Malas variety: Punicalagin and hydroxybenzoic acids. *Food Chem.* 2016, 206, 156–166.

Li Y, Guo C, Yang J, Wei, J.; Xu J, Cheng S. 2006. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Food Chem.* 2006, 96, 254–260. [CrossRef]

Mandim F, Petropoulos SA, Dias MI, Pinela, J, Kostic M, Sokovi´c M, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR, Barros L, 2021. Seasonal Variation in Bioactive Properties and Phenolic Composition of Cardoon (*Cynara cardunculus* Var. *Altilis*) Bracts. *Food Chem.* 2021, 336, 127744

Marcelino S, Mandim F, Taofiq O, Pires TCSP, Finimundy TC, Prieto MA, Barros L. Valorization of *Punica granatum* L. Leaves Extracts as a Source of Bioactive Molecules. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2023 Feb 23;16(3):342. doi: 10.3390/ph16030342. PMID: 36986442; PMCID: PMC10052729.

Martínez-Zamora L, Ros GN, Nieto G, 2020. Designing a Clean Label Fish Patty with Olive, Citric, Pomegranate, or Rosemary Extracts. *Plants* 2020, 9, 659.

Mekawi EM, Sharoba AM, Ramadan MF, 2019. Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips during Deep-Frying in Sunflower Oil Using Pomegranate Peel Nanoparticles Extract. *J. Food Meas. Charact.* 2019, 13, 3298–3306

Mphahlele R, Fawole O, Mokwena L and Opara U L, 2016. Effect of extraction method on chemical, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate juice, *South African Journal of Botany*, 2016, 103, 135-144. Johanningsmeier, S.D.; Harris, G.K. Pomegranate as a functional food and nutraceutical source. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2011, 2, 181–201. [CrossRef]

Montefusco A, Durante, M, Migoni D, De Caroli M, Ilahy, R, Pék, Z, Helyes L, Fanizzi FP, Mita G, Piro G, et al. 2021. Analysis of the Phytochemical Composition of Pomegranate Fruit Juices, Peels and Kernels: A Comparative Study on Four Cultivars Grown in Southern Italy. *Plants* 2021, 10, 2521. <https://doi.org/10.3390/plants10112521>

Nowak D, Goslinski M and Szwengiel A, 2017. Multidimensional comparative analysis of phenolic compounds in organic juices with high antioxidant capacity, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97, 2657-2663.

Okaru A, Lachenmeier D., 2022. Defining No and Low (NoLo) Alcohol Products. *Nutrients*. 2022;14:3873. doi: 10.3390/nu14183873. <https://doi.org/10.3390/nu14183873>.

Palabiyik I, Toker OS, Konar N, Gunes R, Güleri T, Ala, salvar H, Çam M, 2018. Phenolics Release Kinetics in Sugared and Sugar-Free Chewing Gums: Microencapsulated Pomegranate Peel Extract Usage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2018, 53, 2657–2663.

Pande G, Akoh CC, 2016. Chapter 27—Pomegranate Cultivars (*Punica granatum* L.). In Nutritional Composition of Fruit Cultivars, 1sted.; Simmonds, M.S.J., Preedy, V.R., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2016; pp. 667–689.

Park SH, Kim JL, Lee ES, Han SY, Gong JH, Kang MK and Kang Y.-H., 2011. Dietary ellagic acid attenuates oxidized LDL uptake and stimulates cholesterol efflux in murine macrophages, *The Journal of nutrition*, 2011, 141, 1931-1937

Pierdomenico M, Riccioni C, Benassi B 2023. Anti-inflammatory effect of a pomegranate extract on LPS-stimulated HepG2 cells. *Nat Prod Res.* 2024 Feb-Mar;38(5):727-734.

Raimondo ML, Lops F, Tarantino A, Bellantuono N, Carlucci A, Bimbo F, 2025. The Current State of Italian Pomegranate Production: Agronomic, Crop Protection, Economic, and Managerial Perspectives. *Agronomy* 2025, 15, 826. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040826>

Rahnemoon P, Jamab MS, Dakheli M J, & Bostan A, 2016. Phenolic compounds and antimicrobial properties of pomegranate (*Punica granatum*) peel extracts. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 10, 646–651.

Seeram N P, Aviram M, Zhang Y, Henning S M, L. Feng, Dreher M and Heber D, 2008. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed Polyphenol-Rich beverages in the United States, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56, 1415-1422.

Syed DN, Afaq F, Mukhtar H (2007) Pomegranate derived products for cancer chemoprevention. *Semin Cancer Biol* 17 (5): 377-85.

Spilmont M, Léotoing L, Davicco M-J, Lebecque P, Mercier S, Miot-Noirault E, Pilet P,

Rios L, Wittrant Y and Coxam V, 2014, Pomegranate and its derivatives can improve bone health through decreased inflammation and oxidative stress in an animal model of postmenopausal osteoporosis, *European journal of nutrition*, 2014, 53, 1155-1164.

Sreekumar S, Sithul H, Muraleedharan P, Azeez JM, Sreeharshan S, 2014. Pomegranate Fruit as a Rich Source of Biologically Active Compounds. *BioMed Res. Int.* 2014, 2014, 686921.

Topalović A, Knežević M, Gačnik S, Mikulić-Petkovšek M, 2020. Detailed chemical composition of juice from autochthonous pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.) grown in different locations in Montenegro. *Food Chem.* 2020, 330, 127261. [

Tozzi F, Núñez-Gómez D, Legua P, Del Bubba M, Giordani E, Melgarejo P, 2022. Qualitative and varietal characterization of pomegranate peel: High-value co-product or waste of production? *Scientia Horticulturae* 291 (2022) 110601 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110601>.

Viladomiu M, Hontecillas R, Lu P, Bassaganya-Riera J, 2013. Preventive and Prophylactic Mechanisms of Action of Pomegranate Bioactive Constituents. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2013, 2013, 1–18.

Viuda-Martos M, Fernández-López J, Pérez-Alvarez JA, 2010. Pomegranate and its Many Functional Components as Related to Human Health: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2010, 9, 635–654.

Viladomiu M, Hontecillas R, Lu P and Bassaganya-Riera J, 2013. Preventive and prophylactic mechanisms of action of pomegranate bioactive constituents, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 2013

Zhang M, Tang X, Mao B, Zhang Q, Zhao J, Chen W, Cui S. Pomegranate: A Comprehensive Review of Functional Components, Health Benefits, Processing, Food Applications, and Food Safety. *J Agric Food Chem.* 2025 Mar 12;73(10):5649-5665. doi: 10.1021/acs.jafc.4c05428. Epub 2025 Feb 25. PMID: 40001286.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati
marzo 2026