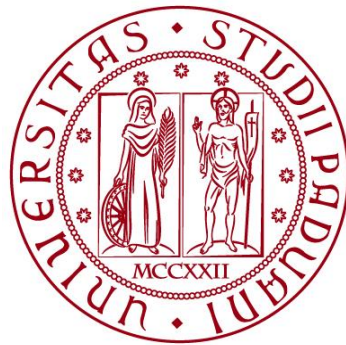


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

**Caratteristiche fitochimiche e proprietà
nutraceutiche di *Glycine max L.***

Tutor: Prof.ssa Francesca Dalla Vecchia
Dipartimento di Biologia

Laureanda: Mikaela Dal Pan

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

1. INTRODUZIONE
2. CARATTERISTICHE BOTANICHE
3. CARATTERISTICHE FITOCHIMICHE
 - 3.1. ACIDI FENOLICI
 - 3.2. ISOFLAVONI
 - 3.3. ACIDO FITICO
 - 3.4. SAPONINE
 - 3.5. FIBRE ALIMENTARI E OLIGOSACCARIDI
 - 3.6. PROTEINE E PEPTIDI
 - 3.7. LIPIDI E FITOSTEROLI
4. PROPRIETÀ BIOLOGICHE
 - 4.1. ATTIVITÀ ANTITUMORALE
 - 4.2. ATTIVITÀ ANTIDIABETICA
 - 4.3. PREVENZIONE OSTEOPOROSI
 - 4.4. RIDUZIONE SINTOMI VASOMOTORI
 - 4.5. PREVENZIONE MALATTIE CARDIOVASCOLARI
 - 4.6. CONTRASTO OBESITÀ
5. EFFETTI COLLATERALI
 - 5.1. INTERFERENZA CON TRATTAMENTO DEL CANCRO AL SENO
 - 5.2. ALLERGIE
6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE
7. BIBLIOGRAFIA
8. SITOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

La pianta della soia (*Glycine max* (L.) Merrill) è tra le sei coltivazioni più prodotte al mondo e i suoi prodotti sono ampiamente utilizzati per l'alimentazione umana e animale (Jung *et al.*, 2020).

C'è ampia concordanza nel pensare che la coltivazione della soia abbia avuto origine circa 3000-3700 anni fa in Cina, in particolare nella valle di Huang-Huai nel nord-est del paese (Rani and Kumar, 2022).

Sono stati ritrovati antichi pittogrammi rappresentanti la soia in iscrizioni in bronzo datate attorno all'XI secolo a.C. (periodo della dinastia Shang e Zhou), rivelando che l'addomesticazione di questa pianta risale all'incirca a questo periodo. In seguito all'espansione del regime dinastico e, con esso, degli scambi con altri paesi, la soia venne introdotta nel sud della Cina, in Corea, in Giappone e nel sud est asiatico (Jung *et al.*, 2020).

All'inizio del XVIII secolo gli europei iniziarono a coltivare la soia nei giardini botanici, mentre la coltivazione a fini commerciali iniziò nella seconda metà dell'800. Nella prima metà dello stesso secolo negli Stati Uniti si iniziò a coltivare la soia per produrne la salsa. In India la coltivazione commerciale iniziò nella seconda metà del XX secolo come fonte di proteine vegetali per contrastare la malnutrizione. L'emigrazione di giapponesi verso il Brasile durante il primo decennio del XX secolo portò alla promozione della soia anche in questo paese, che attualmente è il principale produttore (38 milioni di ettari di coltivazione) seguito da USA, Argentina, Cina e India (Rani and Kumar, 2022). Per quanto riguarda l'Europa, il paese con la più alta produzione risulta essere l'Italia (Rizzo and Baroni, 2018).

La soia viene lavorata a livello mondiale principalmente per ottenere farina e olio. I semi contengono circa il 18% di olio, di questo la quasi totalità viene consumato come olio commestibile mentre il resto viene impiegato in prodotti industriali come cosmetici e prodotti per l'igiene, ma anche come solventi per vernici e plastica (Hartman *et al.*, 2011). La farina presenta un elevato contenuto proteico,

per questo motivo trova impiego in acquacoltura e nell'alimentazione sia animale che umana.

La soia è stata un importante ingrediente nella cucina tradizionale di molti paesi per secoli, e viene utilizzata dai popoli asiatici che la consumano in molti modi tra cui edamame, tofu, latte e formaggio di soia, salsa di soia, miso e natto.

Nei paesi occidentali, invece, il consumo di prodotti a base di soia è notevolmente incrementato negli ultimi decenni a causa di un aumento dello stile di vita vegetariano e la percezione salutare dell'assunzione di soia (Rizzo and Baroni, 2018). Sono infatti molti gli studi che negli ultimi decenni si sono focalizzati sulle possibili proprietà benefiche di questa pianta, tra cui la riduzione dell'insorgenza di molte malattie come cancro, diabete, malattie cardiovascolari, osteoporosi nonché nella riduzione di alcuni sintomi legati alla menopausa (Kim *et al.*, 2021).

2. CARATTERISTICHE BOTANICHE

Glycine max (L.) Merr. appartiene all'ordine Fabales, famiglia delle Fabaceae (o Leguminosae), genere *Glycine*. È stata domesticata da *Glycine soja*, una specie annuale che cresce spontaneamente in paesi come Cina, Giappone e Corea (Anderson *et al.*, 2019).

È una pianta annuale alta tra i 75cm e i 125cm, può essere scarsamente o densamente ramificata a seconda delle condizioni ambientali quali durata del giorno, della fertilità del suolo, o di fattori genetici (Lersten and Carlson, 2004). Il sistema radicale è costituito da una radice principale solitamente non distinguibile dalle altre di diametro simile e con numerose radici secondarie che a loro volta sostengono diversi ordini di radici più piccole. Sono presenti anche radici avventizie e al raggiungimento della maturità il sistema radicale presenta numerosi noduli dove avviene la fissazione dell'azoto (Lersten and Carlson, 2004). Esistono quattro tipi di foglie: embrionali, primarie semplici, trifogliate e profilli. Le foglie primarie semplici hanno forma ovata, piccioli lunghi da 1 a 2 cm e una coppia di stipole nel punto di attacco al fusto. Queste foglie si presentano al primo nodo al di sopra dell'inserzione dei cotiledoni. Tutte le foglie prodotte successivamente sono trifogliate, esse presentano margini interi e variano nella forma da oblunga a ovata a lanceolata. Le profilli, infine, si presentano come una piccola coppia di foglie semplici alla base di ogni ramo laterale (Lersten and Carlson, 2004).

Il periodo di fioritura è influenzato dalla semina e può estendersi da 3 a più di 5 settimane. Il fiore può essere di colore viola, rosa o bianco e ha una tipica struttura papilionacea con un calice tubulare portante cinque sepali inequilaterali e una corolla composta da cinque petali: uno posteriore a vessillo, due laterali alari e due anteriori a chiglia in contatto tra loro ma non fusi. Presenta 10 stami collettivamente chiamati androceo divisi in due gruppi (modello diadelfo) in cui nove sono fusi ed elevati come singola struttura e lo stame posteriore rimane separato. Il pistillo è singolo e unicarpellare e presenta da uno a quattro ovuli (Carlson and Lersten, 2004).

Il seme ha una forma che può variare da quasi sferica a fortemente appiattita e allungata, la forma più diffusa è quella ovale. Il rivestimento è contrassegnato da un ilo (cicatrice del seme) che varia nella forma da lineare ad ovale. Per quanto riguarda il colore può essere giallo, verde, marrone o nero, e possono essere di un solo colore, bicolore o variegato (Carlson and Lersten, 2004). La causa di questa ampia diversità è dovuta allo sviluppo di varietà locali in Asia orientale in quanto singole famiglie agricole hanno coltivato nel corso dei secoli piante dai tratti specifici da utilizzare come alimento, mangime o medicinale (Hymowitz, 2004). I baccelli sono dritti o lievemente ricurvi, solitamente portanti peli e variano in lunghezza da 2cm fino a 7cm. Il numero varia da 2 a più di 20 in una sola infiorescenza e fino a 400 su una pianta. Un singolo baccello contiene mediamente due o tre semi (Carlson and Lersten, 2004).



FIGURA 1 Baccelli *G. max* L. (https://storage.needpix.com/rsynced_images/soy-964324_1280.jpg)



FIGURA 2 Semi *G. max* L. (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/So_3.jpg)



FIGURA 3 Fiore *G. max* L. (https://storage.needpix.com/rsynced_images/soy-968969_1280.jpg)

3. CARATTERISTICHE FITOCHIMICHE

Oltre a fornire nutrienti, l'alimentazione può aiutare a prevenire e trattare alcune tipologie di malattie. I semi di soia sono costituiti mediamente da 35-40% di proteine, 20% grassi, 9% fibre alimentari e 8,5% di umidità; queste percentuali possono essere diverse a seconda della varietà, luogo di coltura e clima (Kang *et al.*, 2023). È ricca in fibre e fitoestrogeni, povera di grassi saturi e colesterolo libero e risulta essere una buona fonte di acidi grassi omega 3 e antiossidanti (Kim *et al.*, 2021).

Queste sostanze hanno un'efficacia dimostrata nella prevenzione di malattie croniche quali arteriosclerosi, diabete, malattie cardiache e hanno un ruolo anche nella trattamento di alcuni tumori e nel contrastare l'osteoporosi (Kim *et al.*, 2021).

3.1. ACIDI FENOLICI

La soia contiene diversi acidi fenolici tra cui acido cinnamico, acido ferulico, acido salicilico e acido vanillico. Essi possono agire come antiossidanti per inibire i danni al DNA causati dalle specie reattive dell'ossigeno (Kim *et al.*, 2021).

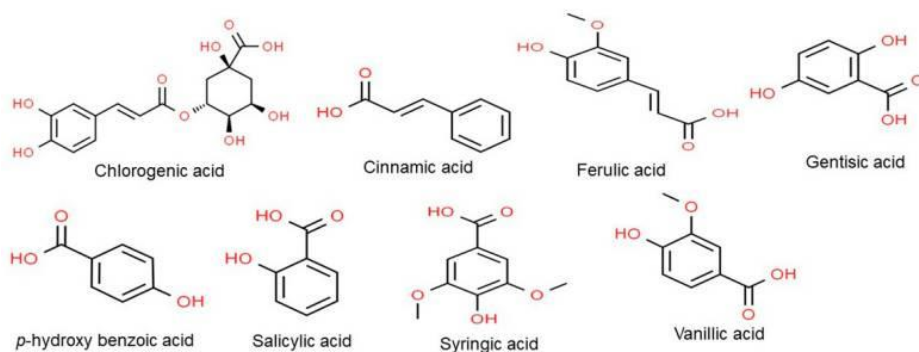


FIGURA 4 struttura chimica dei principali acidi fenolici (Kim *et al.*, 2021)

3.2. ISOFLAVONI

Gli isoflavoni appartengono a una sottoclasse di polifenoli che oltre ad avere capacità antiossidante, possiede anche attività fisiologica simile agli estrogeni (per questo chiamati fitoestrogeni). Vengono sintetizzati in seguito a diverse fonti di stress per la pianta come infezioni o scarsità di nutrienti. Sono presenti in diverse tipologie di legumi ma solo la soia risulta esserne una fonte rilevante. (Rizzo and Baroni, 2018).

Gli ipocotili della pianta di soia contengono molti isoflavoni che sono classificati sulla base delle loro strutture chimiche: agliconi (tra cui daidzeina e genisteina), glicosidi, glicosidi acetilati e glicosidi malonili. Secondo diversi studi gli isoflavoni sono in grado di attivare recettori degli estrogeni, grazie alla loro similarità di struttura con il 17β -estradiolo, in vagina, negli ovociti e nelle ghiandole mammarie e possono avere attività estrogenica o antiestrogenica a seconda del contesto fisiologico e della loro struttura chimica (Kim *et al.*, 2021). Le forme glicosilate, in seguito a processi metabolici di digestione o fermentazione tramite β -glucosidasi, vengono convertiti in agliconi bioattivi. Genisteina, daidzeina e gliciteina sono gli agliconi che sono maggiormente presenti nella soia (Kang *et al.*, 2023).

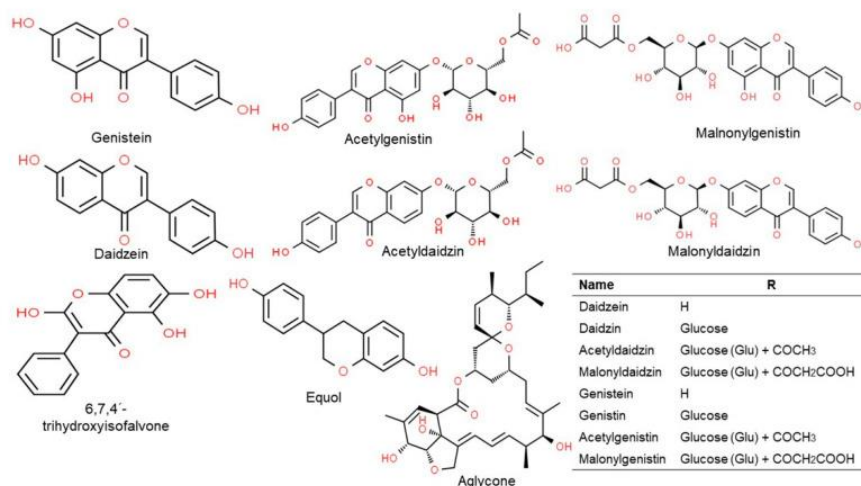


FIGURA 5 struttura chimica dei principali isoflavoni (Kim *et al.*, 2021)

3.3. ACIDO FITICO

È composto da un anello di mio-inositolo e sei gruppi fosfato legati in modo simmetrico. Esso è particolarmente comune in legumi e cereali, è distribuito maggiormente nel pericarpo e forma complessi con ioni divalenti come Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{2+} rendendone difficile l'assorbimento nell'intestino. Esso interferisce anche con l'utilizzo di minerali agendo come antinutriente e ostacolando l'azione di enzimi importanti come pepsina e α -amilasi legandosi fortemente alla base proteica. Tuttavia possiede anche effetti antiossidanti, anticancerogeni e ipolipemizzanti. Ad esempio il ferro è in grado di creare radicali idrossili che causano danni ossidativi a cellule e lipidi, l'acido fitico legandosi al ferro è in grado di inibire la formazione di questi radicali prevenendo così l'ossidazione cellulare (Kim *et al.*, 2021).

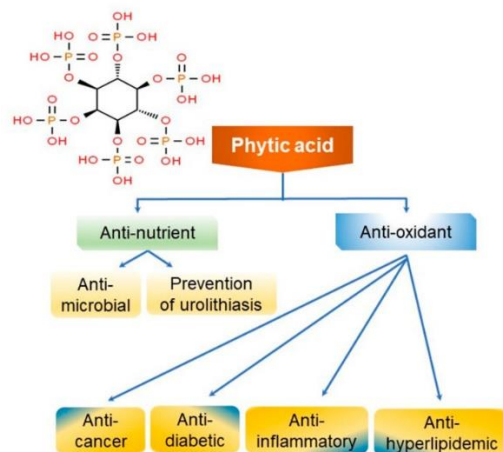


FIGURA 6 struttura e rappresentazione schematica delle proprietà cliniche dell'acido fitico (Kim *et al.*, 2021)

3.4. SAPONINE

Le saponine sono complessi zuccherini bipolari, termostabili che in passato erano conosciuti come sostanze non nutritive dal gusto amaro e astringente.

La soia ha il più alto contenuto di saponine tra le leguminose edibili. Esse possono essere categorizzate come steroidee o triterpeniche a seconda delle proprietà chimiche della struttura dell'aglicone legato covalentemente. Dall'ipocotile della soia possono essere isolate 11 differenti saponine. Esse sono più comuni nello

strato germinativo e nell'ipocotile ma non sono presenti nel rivestimento esterno (Kim *et al.*, 2021).

Ricerche recenti hanno dimostrato che possiedono attività fisiologiche riducendo il livello di colesterolo ematico, funzionando come molecole antiossidanti e stimolando le risposte immunitarie, facendo sì che vengano considerate nutrienti funzionali (Kim *et al.*, 2021).

3.5. FIBRE ALIMENTARI E OLIGOSACCARIDI

La soia è ricca di fibre alimentari, una componente che non può essere decomposta dagli enzimi digestivi. Possono essere classificate in fibre solubili in acqua (come pectina e gomma) o insolubili in acqua (cellulosa e lignina). Le fibre solubili vengono fermentate da microorganismi colici e sono coinvolte nella produzione di acidi grassi a catena corta che facilitano l'assorbimento di colesterolo. Le fibre insolubili invece sono efficaci nella prevenzione della stitichezza in quanto aumentano i movimenti intestinali (Kim *et al.*, 2021).

La soia contiene anche oligosaccaridi solubili (stachiosio e raffiniosio). I livelli di questi due zuccheri aumentano rapidamente con l'avanzare della maturazione della pianta. Essi non sono digeribili dall'uomo, ma riescono a promuovere la crescita batterica benefica nell'intestino oltre che la produzione di vitamine, in più inibiscono la formazione di ammoniaca e ammine (Kim *et al.*, 2021).

3.6. PROTEINE E PEPTIDI

Tre le proteine vegetali disponibili, la soia è l'unica che ha mostrato averne ad alta qualità comparabile a carne, uova e prodotti caseari (Rizzo and Baroni, 2018) perciò viene considerata una fonte alternativa rispetto a quella animale. Glicinina e β -conglucina sono due delle principali proteine della soia (Kang *et al.*, 2023). Sono utilizzate in molti alimenti come cibi per bambini, bevande sportive, sostituti del latte o della carne. Recentemente, l'incidenza di patologie legate all'obesità, come diabete e malattie cardiovascolari, è aumentata a causa dell'influenza delle

diete occidentali ricche in prodotti di origine animale. Le proteine di soia contribuiscono alla regolazione del peso corporeo inibendo l'accumulo di grasso, aumentando il metabolismo dei grassi e controllando il senso di fame (Kim *et al.*, 2021). Esse vengono idrolizzate tramite reazioni enzimatiche in peptidi lunghi da 2 a 20 amminoacidi che vengono assorbiti dalle cellule epiteliali dell'intestino tenue e poi riversati nel circolo sanguigno (Kang *et al.*, 2023). Negli ultimi decenni il focus della ricerca sulla soia si è concentrato nell'identificazione e nella caratterizzazione di peptidi bioattivi e delle loro corrispondenti funzioni fisiologiche tra cui effetti ipocolesterolemizzanti, anti-diabetici, ipotensivi e antinfiammatori (Chatterjee *et al.*, 2018).

3.7. LIPIDI E FITOSTEROLI

Il contenuto di lipidi nella soia è costituito da acidi grassi polinsaturi (PUFA, 46-63%), monoinsaturi (20-41%) e saturi (10-15%). Tra i PUFA troviamo acido linoleico (omega-6) e acido α -linoleico (omega-3) che costituiscono rispettivamente l'88,2% e l'11,8% (Kang *et al.*, 2023). La sostituzione nell'alimentazione umana di alimenti ricchi in acidi grassi saturi con prodotti a base di soia ha mostrato un miglioramento del livello ematico di colesterolo e un rischio ridotto di malattie coronariche (Rizzo and Baroni, 2018).

I fitosteroli sono alcoli steroidi con strutture chimiche simili al colesterolo animale ma con alcuni sostituenti e saturazioni diverse nella catena laterale. I più abbondanti sono sitosterolo, campesterolo e stigmasterolo. Il vantaggio, rispetto al colesterolo, è che i fitosteroli sono scarsamente assorbibili, portando così ad un abbassamento dei livelli di colesterolo, effetto che è noto già dagli anni '50 dello scorso secolo e che negli ultimi anni è stato ampiamente dimostrato nell'uomo (Rizzo and Baroni, 2018).

4. PROPRIETÀ BIOLOGICHE

Tra le principali patologie e sintomi che meritano attenzione per la loro diffusione a livello mondiale rientrano cancro, diabete e sintomi della postmenopausa come osteoporosi e vampate di calore. Il cancro è la malattia con il più alto tasso di mortalità insieme alle malattie cardiovascolari e l'incidenza del diabete è aumentata globalmente in modo significativo negli ultimi decenni. I sintomi vasomotori sono frequenti nelle donne in postmenopausa a causa di una diminuzione della loro capacità di secernere estrogeni, di conseguenza in una società che invecchia la salute di queste donne sta emergendo come un problema sociale (Kang *et al.*, 2023). Di seguito viene esaminato in che misura i principali componenti bioattivi della soia abbiano un ruolo nell'attenuazione di queste patologie.

4.1. ATTIVITÀ ANTITUMORALE

I fitoestrogeni possono agire come agonisti competitivi del recettore degli estrogeni (ER) a causa della loro somiglianza chimica con essi. Meta-analisi che hanno coinvolto popolazioni asiatiche, americane di origine asiatica e popolazioni occidentali hanno mostrato nelle persone di origine asiatica una significativa tendenza alla diminuzione del rischio di insorgenza del tumore al seno. Nelle popolazioni occidentali, in cui il livello medio di assunzione di soia è molto inferiore rispetto ai paesi asiatici, ciò non risultava evidente (Kang *et al.*, 2023). Dati epidemiologici mostrano che donne asiatiche con consumo di una dieta a base di soia hanno un'incidenza di questa tipologia di cancro inferiore del 40%, mentre questo non avviene in asiatiche che non consumano una dieta tradizionale (Kang *et al.*, 2023).

Il fitoestrogeno più abbondante nella soia è la genisteina, essa possiede effetti antitumorali che sono stati osservati in linee cellulari e in modelli animali con tumori al seno indotti. L'apoptosi, la modifica del ciclo di divisione e l'anti-

proliferazione cellulare sono i meccanismi d'azione della genisteina contro la genesi di questo tipo di tumore.

Uno dei meccanismi anti-proliferativi è il blocco della via di NF- κ B. Essa infatti gioca un ruolo importante nella differenziazione cellulare, e la sua modulazione porta alla morte delle cellule tumorali. Inoltre l'inibizione della crescita cellulare è stata osservata in modo dose-dipendente attraverso anche una minor produzione di Bcl-2 e Bcl-xL (entrambe proteine anti-apoptotiche) (Bhat *et al.*, 2021).

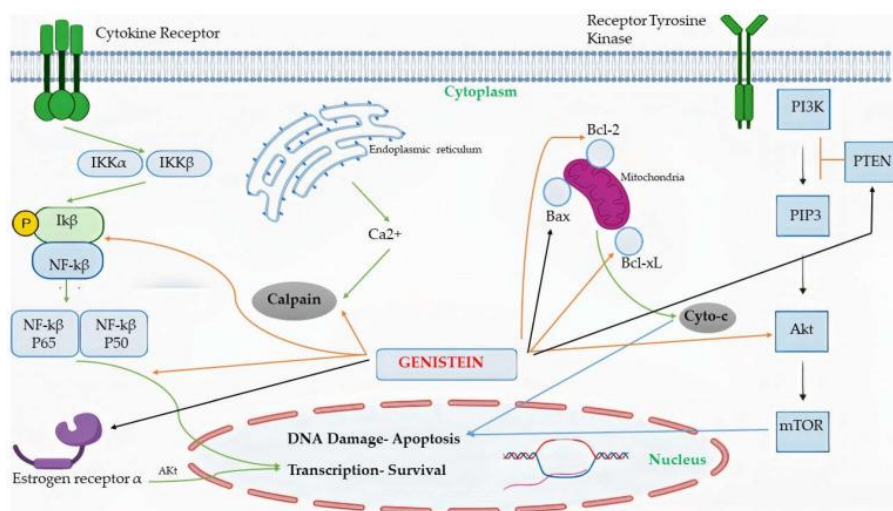


FIGURA 7 percorsi bersaglio della genisteina (Bhat *et al.*, 2021)

4.2. ATTIVITÀ ANTIDIABETICA

Il diabete è una malattia metabolica sistemica causata da livelli anomali di glucosio nel sangue ed è una delle malattie croniche più diffuse e in rapida crescita a livello mondiale. Ci sono due principali tipi di diabete, diabete di tipo 1 e tipo 2. Il T1D è prevalentemente una patologia autoimmune legata a fattori genetici; il T2D è una malattia non autoimmune causata da fattori ambientali e caratterizzata da disfunzione delle cellule beta del pancreas e dalla resistenza insulinica (Hu *et al.*, 2023).

È stato evidenziato che molti peptidi di soia con funzione ipolipidica possiedono anche attività antidiabetica. Ad esempio in studi condotti su cellule epatiche in coltura è stato osservato che alcuni peptidi ipocolesterolemici aumentano anche il metabolismo del glucosio incrementandone l'assorbimento

attraverso i trasportatori del glucosio GLUT-1 e GLUT-4 (Chatterjee *et al.*, 2018). Le proteine della soia sono conosciute per essere ipoglicemizzanti in quanto contengono amminoacidi tra cui leucina, alanina, metionina, fenilalanina e lisina, in grado di stimolare la secrezione di insulina (Hu *et al.*, 2023).

4.3. PREVENZIONE OSTEOPOROSI

L'osteoporosi è una condizione dello scheletro in cui le ossa perdono in massa e mostrano numerosi pori che vanno ad incrementare la fragilità e il rischio di frattura dell'osso. Il rischio di insorgenza dell'osteoporosi nelle donne in postmenopausa aumenta in seguito al rapido decremento del livello di estrogeni. L'assunzione di isoflavoni di soia previene il riassorbimento delle ossa e la perdita di minerali. Terapie di durata superiore a un anno hanno mostrato effetti significativi per il collo del femore, colonna lombare e l'anca (Kang *et al.*, 2023).

Un supplemento di genisteina migliora la salute ossea riducendo l'attività della fosfatasi alcalina ossea, aumentando il fattore di crescita IGF-1 che a sua volta aumenta l'attività delle cellule osteoblastiche, incrementando il turnover osseo e riducendone il riassorbimento. È anche in grado di accelerare la maturazione degli osteoblasti stimolando l'espressione genica dell'osteogenesi ossea mediata da ER α (Nazari-Khanamiri and Ghasemnejad-Berenji, 2021).

Pawlowski *et al.* (2015) inoltre hanno dimostrato che l'assunzione di proteine di soia porta a un aumento della ritenzione di calcio nelle ossa in donne in postmenopausa, in questo modo ne viene mantenuto sia il volume che la resistenza.

4.4. RIDUZIONE SINTOMI VASOMOTORI

La maggior parte delle donne in postmenopausa sperimenta diversi sintomi vasomotori tra cui vampate di calore, arrossamenti e sudorazioni notturne. È stato dimostrato che gli isoflavoni riducono la frequenza e la severità delle vampate in donne in peri e postmenopausa.

Crisafulli *et al.* (2004) hanno mostrato che il consumo tramite la dieta di 54mg al giorno di genisteina è stato efficace nell'alleviare i sintomi acuti di vampate di calore durante la menopausa. Chen *et al.* (2019) hanno concluso che donne in menopausa hanno riportato una diminuzione della sintomatologia negativa in seguito al trattamento con prodotti a base di soia, rispetto alle loro controparti trattate con placebo.

4.5. PREVENZIONE MALATTIE CARDIOVASCOLARI

Le patologie cardiovascolari (CVD), tra le quali rientrano ad esempio l'iperlipidemia, l'ipercolesterolemia, l'ipertensione e l'aterosclerosi, coinvolgono il cuore e i vasi sanguigni. Nel 1999 la Food and Drug Administration degli Stati Uniti ha approvato il claim secondo cui 25g di proteine di soia al giorno possono ridurre il rischio di CVD grazie alla loro capacità di abbassare i livelli di colesterolo nel sangue (Hu *et al.*, 2023).

Il consumo di proteine di origine vegetale invece di quelle ricavate da fonti animali riduce i livelli di colesterolo e può portare ad altri vantaggi per la salute, come la riduzione dei fattori di rischio delle malattie cardiovascolari. Studi epidemiologici mostrano che in comunità asiatiche che usano la soia come un pilastro della dieta esiste una minor probabilità di CVD rispetto a quelle che seguono una dieta occidentale convenzionale (Qin *et al.*, 2022). Gli isoflavoni della soia provocano benefici sulla salute cardiovascolare attraverso la riduzione dei livelli ematici di colesterolo LDL. In particolare, la genisteina normalizza l'elasticità arteriosa, in concentrazioni elevate produce significativa vasodilatazione e previene l'ipertensione. Protegge dall'infiammazione le cellule endoteliali attraverso la riduzione del rilascio di specie reattive dell'ossigeno, l'inibizione di NF-kB e la riduzione dell'espressione della citochina IL-6 (Nazari-Khanamiri and Ghasemnejad-Berenji, 2021).

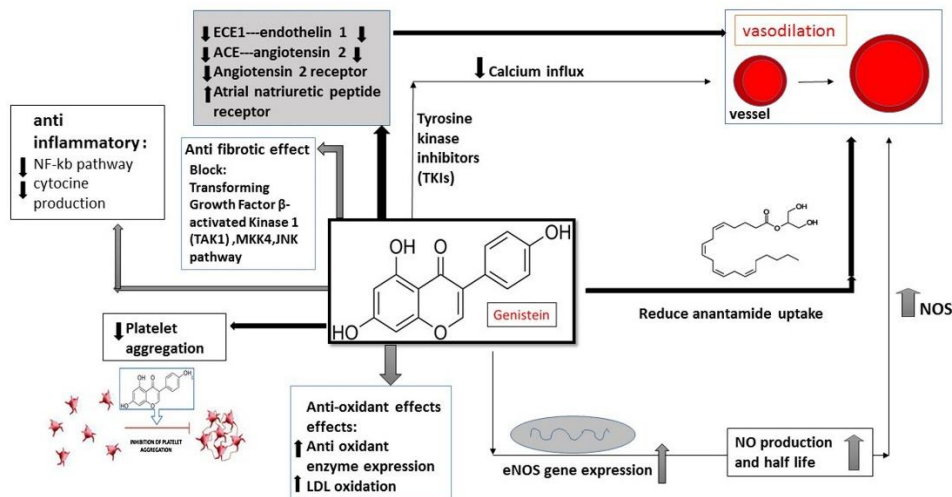


FIGURA 8 meccanismi di riduzione del rischio di CVD della genisteina (Nazari-Khanamiri and Ghasemnejad-Berenji, 2021)

4.6. CONTRASTO OBESITÀ

Il rapido incremento dell'incidenza dell'obesità è diventato uno dei maggiori problemi di salute pubblica a livello mondiale. Secondo l'OMS, quando l'IMC (indice di massa corporea) di una persona è $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ si può parlare di obesità. L'obesità addominale è strettamente correlata a malattie metaboliche croniche quali il diabete di tipo 2 e le malattie cardiovascolari (Hu *et al.*, 2023).

L'assunzione di proteine è una buona strategia dietetica per il controllo del peso corporeo, anche per il loro elevato effetto saziante. In particolare, è stato dimostrato che le proteine di soia hanno un effetto anti-obesità migliore persino di quelle del siero del latte e della caseina (Hu *et al.*, 2023).

Noer *et al.* (2021) hanno mostrato che in giovani donne obese la soia fermentata ha un effetto regolatore migliore sugli ormoni che modulano l'appetito (acil-grelina e insulina) rispetto alla non fermentata, mostrando inoltre un maggior effetto insulino-stimolante probabilmente dovuto al fatto che la fermentazione può accelerare il tasso di degradazione delle proteine e aumentare la biodisponibilità di piccoli peptidi (Hu *et al.*, 2023).

5. EFFETTI COLLATERALI

Sebbene la soia procuri molti benefici, alcuni metaboliti possono anche avere effetti negativi. L'assunzione di soia oltre le dosi raccomandate e in particolari situazioni perciò potrebbe essere dannosa per la salute umana (Kang *et al.*, 2023).

5.1. INTERFERENZA CON TRATTAMENTO DEL CANCRO AL SENO

La genisteina è stata segnalata come potenziale annullatore dell'efficacia degli inibitori dell'aromatasi contro il carcinoma mammario ormono-sensibile. Gli inibitori dell'aromatasi, come fadrozolo e letrozolo, bloccano la produzione locale di estrogeno, essenziale per la crescita di questo tipo di tumore. La genisteina è in grado di contrastare l'attività di questi inibitori sia *in vivo* che *in vitro*. Pertanto alle donne in postmenopausa che assumono questi inibitori come trattamento potrebbe essere consigliato di non assumere prodotti di soia contenenti genisteina (Kang *et al.*, 2023).

5.2. ALLERGIA

Le reazioni allergiche sono un tipo risposta del sistema immunitario causata dall'ipersensibilità a sostanze solitamente innocue, tra cui gli alimenti. Il meccanismo primario delle malattie allergiche coinvolge gli anticorpi immunoglobulina E (IgE) che interagiscono con un allergene e provocano il rilascio di sostanze chimiche infiammatorie (Kang *et al.*, 2023).

Sebbene l'allergia alla soia sia considerata una condizione transitoria dell'infanzia, è stato riportato che in individui che soffrono di allergia alle arachidi o al polline di betulla può insorgere anche in età adulta. L'incidenza di questa allergia è stimata essere tra lo 0,3% e il 3% per la popolazione generale. Nonostante la bassa prevalenza stimata, c'è crescente preoccupazione che l'incidenza possa aumentare a causa dell'aumento di disponibilità dei prodotti che contengono soia.

È stato infatti osservato che i paesi con un consumo di soia più elevato hanno anche una maggior incidenza (Wiederstein *et al.*, 2023).

I sintomi sono suddivisi in quattro tipi: dermatologici (come orticaria o dermatite), gastrointestinali (diarrea o vomito), respiratori (naso che cola o asma) e sistemici (shock anafilattico o aritmia cardiaca).

Le glicoproteine della soia sono gli allergeni responsabili della malattia allergica correlata a IgE e sono otto gli allergeni (Gly m 1-8) registrati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Vari metodi sono utilizzati per ridurre questi allergeni tra cui trattamento termico, fermentazione, idrolisi enzimatica o coniugazione di carboidrati (Kang *et al.*, 2023).

6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

La soia presenta una vasta gamma di composti metabolici che hanno dimostrato avere proprietà benefiche sulla salute, in particolare è costituita da un'elevata concentrazione di proteine ed isoflavoni. Esiste tuttavia una notevole differenza nella composizione di nutrienti e fitochimici tra i prodotti a base di soia rispetto ai semi non trasformati i quali tendono ad averne un quantitativo superiore (Rizzo and Baroni, 2018).

È stato dimostrato come gli effetti benefici derivati dall'assunzione di soia siano molto più marcati in popolazioni asiatiche, in quanto ne assumono quantità al momento non facilmente raggiungibili dai paesi occidentali, anche se il consumo sta aumentando grazie alla sempre maggior diffusione della dieta vegetariana (Rizzo and Baroni, 2018). Questa diffusione è dovuta anche alle continue ricerche che riportano gli effetti benefici sia per la salute umana che per la sostenibilità ambientale di una dieta più incentrata nell'assunzione di vegetali piuttosto che di prodotti di origine animale. In particolare è stato evidenziato che un'elevata assunzione di soia è correlata ad un minor rischio di insorgenza di patologie come diabete, cancro o malattie cardiovascolari e ad un miglioramento dei sintomi della menopausa, in particolar modo vampate di calore e osteoporosi (Qin *et al.*, 2022). I benefici ottenuti dal consumo di soia superano di gran lunga i suoi effetti collaterali (Kang *et al.*, 2023), ciò nonostante esistono delle casistiche in cui l'assunzione risulta potenzialmente dannosa, è stato infatti osservato che la genisteina (maggior isoflavone di soia) può interferire con il trattamento del cancro al seno e che esistono soggetti a cui la soia causa reazioni allergiche. Queste reazioni possono essere dovute da un apporto eccessivo e prolungato di peptidi di soia, di conseguenza ulteriori ricerche sarebbero opportune per determinare la dose e la durata ottimale di assunzione per un utilizzo efficace e una ridotta comparsa di effetti collaterali (Hu *et al.*, 2023).

Inoltre, negli ultimi vent'anni il mondo della ricerca si è interessato particolarmente allo studio delle proteine e dei peptidi di soia a causa della loro varietà di funzioni. È emerso che uno svantaggio di queste molecole è che vengono

facilmente degradate dalle proteasi e possono essere rapidamente eliminate dai reni, in questo modo tendono a risultare poco biodisponibili. Una ricerca incentrata sul miglioramento della biodisponibilità potrebbe portare ad un grande potenziale di sviluppo di alimenti funzionali e farmaci (Hu *et al.*, 2023).

Perciò, affrontando queste problematiche, i peptidi di soia in futuro potrebbero svolgere un ruolo molto significativo nella prevenzione e nel trattamento delle malattie croniche (Hu *et al.*, 2023).

7. BIBLIOGRAFIA

- Anderson, E.J., Ali, M.L., Beavis, W.D., Chen, P., Clemente, T.E., Diers, B.W., Graef, G.L., Grassini, P., Hyten, D.L., McHale, L.K., Nelson, R.L., Parrott, W.A., Patil, G.B., Stupar, R.M., Tilmon, K.J., 2019. Soybean [Glycine max (L.) Merr.] Breeding: History, Improvement, Production and Future Opportunities, in: Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Johnson, D.V. (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes: Volume 7*. Springer International Publishing, Cham, pp. 431–516.
- Bhat, S.S., Prasad, S.K., Shivamallu, C., Prasad, K.S., Syed, A., Reddy, P., Cull, C.A., Amachawadi, R.G., 2021. Genistein: A Potent Anti-Breast Cancer Agent. *Curr. Issues Mol. Biol.* 43, 1502–1517.
- Carlson, J.B., Lersten, N.R., 2004. Reproductive Morphology, in: *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 59–95.
- Chatterjee, C., Gleddie, S., Xiao, C.-W., 2018. Soybean Bioactive Peptides and Their Functional Properties. *Nutrients* 10, 1211.
- Chen, L.-R., Ko, N.-Y., Chen, K.-H., 2019. Isoflavone Supplements for Menopausal Women: A Systematic Review. *Nutrients* 11, 2649.
- Crisafulli, A., Marini, H., Bitto, A., Altavilla, D., Squadrito, G., Romeo, A., Adamo, E.B., Marini, R., D’Anna, R., Corrado, F., Bartolone, S., Frisina, N., Squadrito, F., 2004. Effects of genistein on hot flushes in early postmenopausal women: a randomized, double-blind EPT- and placebo-controlled study. *Menopause* 11, 400.
- Hartman, G.L., West, E.D., Herman, T.K., 2011. Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Secur.* 3, 5–17.
- Hu, S., Liu, C., Liu, X., 2023. The Beneficial Effects of Soybean Proteins and Peptides on Chronic Diseases. *Nutrients* 15, 1811.
- Hymowitz, T., 2004. Speciation and Cytogenetics, in: *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 97–136.

- Jung, Y.S., Rha, C.-S., Baik, M.-Y., Baek, N.-I., Kim, D.-O., 2020. A brief history and spectroscopic analysis of soy isoflavones. *Food Sci. Biotechnol.* 29, 1605–1617.

- Kang, J.H., Dong, Z., Shin, S.H., 2023. Benefits of Soybean in the Era of Precision Medicine: A Review of Clinical Evidence. *J. Microbiol. Biotechnol.* 33, 1552–1562.

- Kim, I.-S., Kim, C.-H., Yang, W.-S., 2021. Physiologically Active Molecules and Functional Properties of Soybeans in Human Health-A Current Perspective. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 4054.

- Lersten, N.R., Carlson, J.B., 2004. Vegetative Morphology, in: *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 15–57.

- Nazari-Khanamiri, F., Ghasemnejad-Berenji, M., 2021. Cellular and molecular mechanisms of genistein in prevention and treatment of diseases: An overview. *J. Food Biochem.* 45, e13972.

- Noer, E.R., Dewi, L., Kuo, C.-H., 2021. Fermented soybean enhances post-meal response in appetite-regulating hormones among Indonesian girls with obesity. *Obes. Res. Clin. Pract.* 15, 339–344.

- Pawlowski, J.W., Martin, B.R., McCabe, G.P., McCabe, L., Jackson, G.S., Peacock, M., Barnes, S., Weaver, C.M., 2015. Impact of equol-producing capacity and soy-isoflavone profiles of supplements on bone calcium retention in postmenopausal women: a randomized crossover trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 102, 695–703.

- Qin, P., Wang, T., Luo, Y., 2022. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *J. Agric. Food Res.* 7, 100265.

- Rani, A., Kumar, V., 2022. Soybean Breeding, in: *Yadava, D.K., Dikshit, H.K., Mishra, G.P., Tripathi, S. (Eds.), Fundamentals of Field Crop Breeding*. Springer Nature, Singapore, pp. 907–944.

- Rizzo, G., Baroni, L., 2018. Soy, Soy Foods and Their Role in Vegetarian Diets. *Nutrients* 10, 43.

- Wiederstein, M., Baumgartner, S., Lauter, K., 2023. Soybean (Glycine max) allergens—A Review on an Outstanding Plant Food with Allergenic Potential. *ACS Food Sci. Technol.* 3, 363–378.

8. SITOGRAFIA

- Figura 1. https://storage.needpix.com/rsynced_images/soy-964324_1280.jpg
- Figura 2. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/So_3.jpg
- Figura 3. https://storage.needpix.com/rsynced_images/soy-968969_1280.jpg