

Italus Hortus

Rivista scientifica di
orticoltura, floricoltura e frutticoltura

Fondata nel 1993

REVIEW n. 31



Publicata dalla Società di Ortoflorofrutticoltura Italiana (SOI)

Italus Hortus

Rivista bimestrale scientifica
di orticoltura, floricoltura e frutticoltura
Volume 24, n. 1, 2017

Politica editoriale - Italus Hortus, rivista quadrimestrale della Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana (SOI), pubblica articoli scientifici sotto forma di "Review" su argomenti di interesse per l'orticoltura, la floricoltura e la frutticoltura. Gli articoli "Review" sono in genere "ad invito", ovvero sollecitati dal Comitato Editoriale. Eccezionalmente, i testi possono essere traduzioni di articoli pubblicati su riviste o atti di convegno stranieri. Le "Review" sono soggette a "peer review" prima della loro accettazione. Gli autori che vogliono proporre autonomamente una "Review" sono pregati di contattare il Comitato Editoriale prima della sua sottomissione. I lavori appaiono in italiano, con "extended abstract" e legende di figure e tabelle in inglese.

Aims and Scope - *Italus Hortus, the official Journal of the Italian Society of Horticultural Sciences, publishes four-monthly contributions of relevance to the horticulture through solicited review articles normally written on invitation from the Editorial Board and subjected to peer review before acceptance. Intending authors of review papers are advised to consult the Editors before submission. All contributions appear in Italian with an extended summary, captions and legends in English.*

Direttore Responsabile/Managing Editor

Elvio Bellini

Direttore Scientifico/Editor

Paolo Inglese, Università degli Studi di Palermo

Comitato Editoriale/Associate Editors

Roberto Botta - Università degli Studi di Torino
Giancarlo Colelli - Università degli Studi di Foggia
Giuseppe Colla - Università degli Studi della Tuscia
Alessio Fini - Università degli Studi di Milano
Riccardo Gucci - Università degli Studi di Pisa
Cherubino Leonardi - Università degli Studi di Catania
Stefano Musacchi - Washington State University
Alberto Palliotti - Università degli Studi di Perugia
Francesca Scandellari - Libera Università di Bolzano - Bozen
Youssef Roupheal - Università degli Studi di Napoli
Francesco Serio - CNR - ISPA, Bari

Assistente editoriale/Assistant

Giuseppe Sortino - Università degli Studi di Palermo

Segreteria Editoriale/Secretary

Francesco Baroncini, Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana

Editore: Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana (SOI)

Direzione e Redazione: SOI Viale delle Idee, 30 - 50019 Sesto Fiorentino (FI)

tel. 055.4574067

e-mail: segreteria@soishs.org

sito web: <http://www.italushortus.it>

Pubblicazione registrata presso il tribunale di Firenze al n. 4609 del 1 agosto 1996

ISSN 1127-3496

© 2017 by SOI - Firenze

Editoriale

Ringrazio il Presidente e il Consiglio Direttivo per avermi dato la possibilità e il privilegio di continuare nel mio servizio alla SOI, questa volta come Editore Scientifico di Italus Hortus.

Lo faccio con grande gioia, nel solco di una direzione che ha visto alternarsi, fin dalla fondazione della rivista, Colleghi per i quali ho grandissima stima, fino ad arrivare a Riccardo Gucci di cui raccolgo il testimone sperando di non deludere le aspettative del Consiglio e, soprattutto, dei Soci.

Abbiamo il compito di traghettare la rivista verso l'indicizzazione Scopus e questo scopo non si ottiene se non attraverso un lavoro di gruppo che coinvolga il comitato editoriale, il Consiglio Direttivo e i Soci tutti.

Si tratta di puntualità, costanza, chiarezza e qualità del sito e di tutti i documenti legati alla visibilità e all'etica della rivista.

La rivista è oggi on line e di facile accesso e sono certo che questo ne aumenterà la visibilità e la citazione.

Abbiamo bisogno di un impegno collettivo per avere un elevato numero di manoscritti su cui poter contare per avere una corretta selezione.

Da questo numero gli articoli sono corredati dal DOI e indicizzati da EBSCO e Google Scholar. E' un primo passo, ma è ancora poco.

Ringrazio tutti gli Autori che hanno scelto di collaborare con noi e quelli che ancora lo faranno.

Penso che una comunità così forte e una Società Scientifica tra le più antiche d'Europa nel mondo agricolo e probabilmente la più antica nel nostro campo specifico, non possano non avere una rivista di riferimento che, nel tempo accresca la sua presenza e autorevolezza.

Comunità scientifiche di altri Paesi europei che, certamente, non hanno la straordinaria, plurisecolare, tradizione italiana, hanno riviste indicizzate da ISI e che nascono specificamente come riviste delle società scientifiche nazionali.

Si tratta quindi di raggiungere un obiettivo ampiamente alla nostra portata, quello che posso garantire è il mio impegno per raggiungerlo, insieme a tutto lo staff editoriale – Giuseppe Sortino e Francesco Baroncini in primis; quello che chiediamo è il sostegno di tutti e di ognuno di Voi, concreto, propositivo continuo.

Paolo Inglese

Direttore Scientifico *Italus Hortus*

La produzione orticola biologica in Italia: principi, aspetti normativi e prospettive future

Stefano Canali e Fabio Tittarelli*

Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca Agricoltura e Ambiente, CREA – AA, Roma

Ricezione: 08 settembre 2017; Accettazione: 12 ottobre 2017

Organic farming in Italy: principles, regulation and perspectives

Abstract. Even though the term “organic production” is popular today, the definitions of organic farming are always partial and unsatisfactory. In this paper, we report a synthesis of the debate on the concept of organic farming in Italy and Europe and revise the main differences, in terms of quality of production, energy consumption and environmental impact, in comparison with conventional farming. The historical evolution of the organic farming concept during the last decades is described and the future perspectives of this production method are presented. The following stages in organic farming evolution have been individuated: Organic 1.0, Organic 2.0 and Organic 3.0 (currently on progress). Organic 1.0 is defined as the period of organic pioneers, who developed the vision of organic agriculture (OA). Organic 2.0 is the period of growth of the sector and its marketing, characterised, in Europe, by the publication of common regulations. The four basic IFOAM principles (fairness, care, health and ecology) developed in this historical period represented a guidance for research in organic agriculture. Finally, Organic 3.0 addresses future challenges of global food production. In particular, main issues addressed are: producing sufficient healthy, safe and affordable food for the entire world population, reducing pollution and greenhouse gases emissions derived from food production, processing and trading and developing food chains driven by renewable energy and recycled nutrients. In the framework of organic production, a distinction between a so-called “conventionalised” (based on an input substitution criteria) and an agroecological approach is reported, both in open field and protected conditions. Moreover, the recently published National Strategic Plan for organic production of the Italian Ministry of Agriculture is described. A special attention is dedicated to the Research and

Innovation action and to its list of nine priorities of research in organic and biodynamic agriculture. The strategic plan puts in evidence the need of a multi-actorial participated research framework, in which technical issues are faced with a multidisciplinary and systemic approach. Such an approach would help in understanding the effect produced by the various actors on other components of the system (e.g. the role of consumers' preferences in the food chain rather than the need of the large-scale retail channel) as well as the impact of proposed changes on the concerned actors. The organic sector needs research and innovation strategies for an increase of the production added value kept by the farmers, and a reduction of the variability of economic returns. Moreover, the Strategic Plan underlines how knowledge gaps and lack of innovation hamper a solid and equilibrated growth of the sector, and recognizes the peculiarity of the Italian organic production, within the European and global framework.

Key words: agroecology, strategic plan, innovation, participatory research.

Introduzione

L'agricoltura biologica è stata definita dall'*International Federation of Organic Agriculture Movements - IFOAM* (<https://www.ifoam.bio/>) come un metodo di produzione che sostiene e favorisce il benessere del suolo, dell'ecosistema e delle persone. Essa mira alla realizzazione di sistemi agricoli che, facendo riferimento alle leggi dell'ecologia, siano adattati all'ambiente nel quale le attività produttive vengono realizzate. Più che il ricorso intensivo ad input ed energia di origini esterne al sistema, con potenziali effetti negativi sulla salute umana e l'ambiente, in agricoltura biologica si applicano i principi dell'utilizzazione delle risorse interne al sistema e della gestione efficiente dell'energia.

* fabio.tittarelli@crea.gov.it

Autorevolmente, anche la Commissione del *Codex Alimentarius* della FAO/WHO (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>) ha definito l'agricoltura biologica come un sistema di produzione olistica che promuove e migliora la salute degli agro-ecosistemi, favorisce la biodiversità e valorizza le funzioni biologiche del suolo. Essa si basa su pratiche di gestione del sistema che utilizzano metodi adattati a livello locale. I due approcci, che in qualche modo si integrano a vicenda, descrivono un metodo di coltivazione e di allevamento che esclude l'utilizzo di sostanze derivanti dalla sintesi chimica (quali ad esempio concimi di sintesi, diserbanti, pesticidi).

L'agricoltura biologica è percepita da molti come un ritorno al passato, ad un metodo produttivo ormai superato e quindi non più competitivo. A supporto di tale critica viene spesso sottolineata la diminuzione delle rese. In realtà, andrebbe anche riconosciuto che la quasi totalità dell'attività di ricerca e sperimentazione, privata e pubblica, degli ultimi 170 anni su concimi di sintesi, fitofarmaci, innovazioni varietali, macchine agricole ecc. è stata volta a sostenere l'agricoltura convenzionale (Raviv, 2010) e che solo da qualche lustro la ricerca si sta in parte, e lentamente, orientando verso lo studio di pratiche agricole più rispettose dell'ambiente. Rimane comunque un divario di conoscenze scientifiche notevole che una volta colmato, anche parzialmente, potrà contribuire a potenziare la diffusione e la produttività della coltivazione con il metodo dell'agricoltura biologica.

Le origini e lo sviluppo dell'agricoltura biologica

Fin dalle sue prime fasi, l'agricoltura biologica è stata co-sviluppata dagli agricoltori che l'hanno praticata e da ricercatori che hanno messo, a servizio dello sviluppo della conoscenza, il proprio bagaglio sperimentale, già disponibile (Niqqli e Rahmann 2013; Watson *et al.*, 2008).

Lo sviluppo dell'agricoltura biologica ha attraversato diverse fasi, che sono state definite prendendo in prestito la terminologia derivata dalle scienze informatiche. Si cita l'*agricoltura biologica 1.0* per indicare la fase pionieristica, caratterizzata dalla formalizzazione della visione dell'approccio biologico da parte di coloro che in larga parte sono stati in seguito riconosciuti come i "padri fondatori" del movimento e che ne hanno ispirato la crescita su scala globale. Alla prima fase segue la seconda, indicata come *agricoltura biologica 2.0*, caratterizzata per la grande crescita del settore in termini di superfici coltivate e di valore di mercato. In questa fase, che si deve temporalmente collocare tra gli anni '90 e il 2000, in molte parti del globo

- Europa *in primis* - si osserva il passaggio delle produzioni biologiche da attività di nicchia a vero e proprio settore del comparto agroalimentare. Infine, viene indicata come *agricoltura biologica 3.0* quella fase, che attualmente il settore si trova a vivere, e che è caratterizzata dall'ambizione di divenire il modello agricolo globale di riferimento. Un modello agricolo che, grazie all'affermazione su vasta scala, sia capace di dare risposte a grandi sfide agricole e sociali a livello mondiale quali la sicurezza alimentare, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, la nascita dell'economia del post-fossile (Arbenz *et al.*, 2015).

Uno dei primi campi scientifici che hanno influenzato le pratiche agricole biologiche fa riferimento alla cosiddetta "Batteriologia agricola" sviluppata tra la fine dell'800 e gli inizi del '900. In quegli anni furono scoperti i batteri azoto-fissatori (Hellriegel & Wilfarth, 1888; Beijerinck, 1901) sviluppando le conoscenze sugli aspetti della fertilità biologica del terreno e dell'importanza della pedofauna e della sostanza organica. In quel periodo, furono formalizzate delle teorie che identificavano nel letame, nel compostaggio, nella lavorazione ridotta e senza inversione del terreno e nell'uso del sovescio, le metodologie più appropriate per migliorare la fertilità del suolo.

Gli insegnamenti di Rudolf Steiner (1861-1925) propongono un modello agricolo basato su conoscenze empiriche, pensiero olistico e spirituale. Il suo modello era caratterizzato dalla stretta integrazione di produzioni animali e vegetali in un sistema autosufficiente. Le unità produttive (aziende agricole) sono concepite da Steiner come dei veri e propri organismi, capaci di svolgere al proprio interno tutte le funzioni necessarie. Dopo la sua morte, molti agricoltori e ricercatori (ad esempio Pfeiffer e Kolisko) hanno applicato e studiato le teorie proposte, realizzando nel concreto quello che verrà definito come il modello agricolo "*biodinamico*" (Paull, 2011).

Sotto la guida di Hans (1891-1988) e Maria (1894-1969) Müller, il sistema organico-biologico si diffuse in Svizzera sulla base di esperienze pratiche, mentre il medico e microbiologo Hans-Peter Rusch (1906-1977) sviluppò le basi teoriche di questo sistema produttivo. Rusch era scettico nei riguardi dell'uso di concimi minerali ed i suoi principali studi riguardarono il miglioramento della fertilità olistica del suolo, la sua salute e la formazione dell'humus (Paulsen *et al.*, 2009).

Nel mondo anglosassone, Lady Eve Balfour (1898-1990) e Sir Albert Howard (1873-1947), nel Regno Unito, e Jerome Rodale, negli Stati Uniti, furono i pionieri dell'agricoltura biologica. Howard, studiò il compostaggio dei rifiuti urbani, i sistemi di alle-

vamento e i meccanismi di diffusione e controllo delle patologie vegetali, conducendo approfondimenti sulla fertilità del suolo anche in India, e influenzando il movimento dell'agricoltura biologica in Gran Bretagna e Nord America (Vogt, 2007). Un passo importante nell'affermazione dell'agricoltura biologica fu la creazione di un marchio, promosso dalla *Soil Association* negli anni '70, e l'introduzione di disciplinari di produzione e di controlli di qualità, in grado di fornire ai consumatori una garanzia sulle modalità di produzione.

In Italia, Alfonso Draghetti (1888-1960), che lavorava presso la storica *Stazione agraria sperimentale di Modena* del Ministero dell'Agricoltura, pubblicò nel 1948 il libro "Principi di Fisiologia dell'Azienda Agraria". In quest'opera, emerge la sua concezione sul funzionamento integrato dell'azienda agricola, basato sui principi della biologia (Draghetti, 1948). Infine, Francesco Garofalo, che fondò nel 1969 l'Associazione "Suolo e Salute" a Torino, e Ivo Totti (1914-1992), sono oggi riconosciuti come i pionieri della ricerca sull'agricoltura biologica in Italia, il primo in ambito accademico ed il secondo con un approccio più operativo ed applicativo.

I principi dell'agricoltura biologica e la normativa europea di settore

I principi dell'agricoltura biologica, sintetizzati nei documenti e negli standard dell'IFOAM, sono stati definiti per essere applicati all'agricoltura nella sua accezione più ampia. Si riferiscono, pertanto, alle modalità adottate per la gestione di suolo, acqua, piante ed animali in tutte le fasi di produzione, trasformazione, distribuzione e consumo dei prodotti.

L'agricoltura biologica secondo il Manifesto dell'IFOAM è basata su quattro seguenti principi fondamentali: benessere, ecologia, equità, precauzione.

Il principio del benessere afferma che l'agricoltura biologica deve sostenere e favorire il benessere del suolo, delle piante, degli animali, degli esseri umani e del pianeta, come un insieme unico ed indivisibile. Questo principio sottolinea che il benessere degli individui e delle comunità non può essere separato da quello degli ecosistemi, basandosi sul presupposto che un suolo sano produce cibi sani che favoriscono il benessere degli animali e delle persone. L'agricoltura biologica si propone di produrre alimenti di elevata qualità, che siano nutrienti e che contribuiscano alla prevenzione delle malattie. Di conseguenza, essa dovrà evitare l'uso di fertilizzanti, fitofarmaci, farmaci ed additivi alimentari che possano avere effetti dannosi sulla salute.

Il principio dell'ecologia asserisce che i sistemi colturali devono adattarsi ai cicli ed agli equilibri esistenti in natura. L'uso dei fattori produttivi va ridotto tramite la riutilizzazione, il riciclo e la gestione efficiente di materiali ed energia, in modo da mantenere e migliorare la qualità dell'ambiente e preservarne le risorse. Coloro che producono, trasformano, commerciano e consumano prodotti biologici dovranno pertanto proteggere ed agire a beneficio dell'ambiente comune, includendo in esso anche il paesaggio, il clima, l'habitat, la biodiversità, l'aria e l'acqua.

Secondo il *principio dell'equità* l'agricoltura biologica deve costruire relazioni che assicurino equità e rispetto dell'ambiente comune e delle opportunità di vita. Le risorse naturali ed ambientali, che sono usate per la produzione ed il consumo, devono essere impiegate in modo socialmente ed ecologicamente giusto e in considerazione del rispetto per le generazioni future. L'equità richiede che i sistemi di produzione, di distribuzione e di mercato siano trasparenti, equi e che tengano in conto i reali costi ambientali e sociali.

Il principio della precauzione suggerisce che l'agricoltura biologica deve essere gestita in modo prudente e responsabile. La precauzione e la responsabilità sono i concetti chiave nelle scelte di gestione e sviluppo di nuove tecnologie. A tal fine, la ricerca scientifica è necessaria per assicurare che l'agricoltura biologica sia sana e non comporti rischi di sorta. L'esperienza pratica, il buon senso e le conoscenze tradizionali accumulate offrono inoltre soluzioni valide e consolidate nel tempo che devono essere anch'esse valorizzate a livello locale. L'agricoltura biologica deve pertanto avvalersi di tecnologie appropriate e non accetta tecnologie dagli esiti non prevedibili, come ad esempio l'ingegneria genetica. Le decisioni inoltre devono riflettere i valori e le necessità di tutti coloro che potrebbero esserne coinvolti, attraverso dei processi trasparenti e partecipativi.

Oggi in Europa, l'agricoltura biologica è l'unica forma di agricoltura disciplinata da precisi riferimenti normativi [Regolamento (CE) 834/2007 del Consiglio che disciplina la produzione e l'etichettatura dei prodotti biologici; Regolamento (CE) 889/2008 della Commissione, recante le modalità di applicazione del regolamento 834/2007]. Il controllo della qualità delle produzioni biologiche si basa su un "sistema di controllo" uniforme in tutta l'Unione Europea. L'azienda che vuole avviare la produzione biologica notifica la sua intenzione alla Regione e ad uno degli Organismi di Controllo (OdC) autorizzati ai sensi della normativa Europea e di quella Nazionale (DLgs 220/95) (SINAB, 2017). Dal momento della notifica inizia la cosiddetta fase di conversione dell'azienda agricola,

la cui durata, definita dal Reg. CEE 2092/91, dipende dal tipo di produzione che si intende realizzare (ad esempio, due anni per la colture erbacee o tre anni per le colture arboree). Questo periodo può essere esteso o ridotto dall'Organismo di Controllo, sulla base di specifiche valutazioni che esso stesso è chiamato a svolgere. Da un punto di vista tecnico, la fase di conversione è un periodo in cui l'azienda, cessa di essere gestita in modo convenzionale e crea le condizioni per praticare correttamente e convenientemente il metodo dell'agricoltura biologica. Il periodo della conversione è quello più rischioso per l'azienda, nel quale vengono generalmente affrontati i maggiori costi. Ciò è dovuto al cambiamento della tecnica colturale e/o di allevamento adottata, che può portare a minori rese e quindi redditi, cui si associa il fatto che la produzione in conversione non è ancora certificabile come biologica e non è facilmente collocabile in un mercato diversificato in grado di valorizzarla. Terminato questo periodo, il prodotto può essere certificato e commercializzato con il marchio dell'agricoltura biologica (fig. 1). A beneficio di una totale tracciabilità delle produzioni, le aziende agricole biologiche sono tenute a documentare tutte le operazioni colturali su appositi registri predisposti dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MiPAAF), che nel nostro Paese è l'Autorità di Controllo per il sistema biologico. Infine, gli Organismi di Controllo svolgono periodiche ispezioni presso le aziende produttrici e trasformatrici per la verifica della correttezza del procedimento di produzione. Ove opportuno, essi possono prelevare dei campioni dei prodotti da sottoporre a verifiche analitiche.

Il settore biologico in Italia e nel mondo

La superficie attualmente coltivata in 'bio' a livello globale è di circa 43,1 milioni di ettari, con una cre-



Fig. 1 - Il logo europeo dell'agricoltura biologica.
Fig. 1 - European logo for organic production.

scita del 12% rispetto al 2012. L'Australia guida la classifica delle regioni in cui la produzione con metodo biologico è più diffusa (circa 17,3 milioni di ettari, pari al 35% circa della superficie biologica mondiale) seguita dall'Europa (circa 11,5 milioni di ettari, pari al 27% della superficie biologica mondiale). Dal 2012 al 2013 si è osservato un incremento di 0,3 milioni di ettari (+3%) della superficie biologica, che adesso occupa il 2,4% della superficie agricola totale. Nel mondo, sono 82 i Paesi che dispongono di un regolamento di produzione e commercio per questo settore.

Secondo i dati rilevati dall'Istituto Elvetico di Ricerca sull'Agricoltura Biologica (FiBL) e dall'IFOAM, nel 2008 i cinque Paesi comunitari con la maggiore estensione di terreni certificati erano Spagna e Italia, seguiti da Germania, Gran Bretagna e Francia.

Dalla prima analisi dei dati al 31 dicembre 2015, forniti al Ministero delle Politiche agricole alimentari e forestali (MiPAAF) dagli Organismi di Controllo operanti in Italia nel settore dell'agricoltura biologica e dalle Amministrazioni regionali, sulla base delle elaborazioni del Sistema d'Informazione Nazionale sull'Agricoltura Biologica (SINAB, 2017 e www.sinab.it), risulta che in Italia gli operatori certificati sono 59.959 di cui 45.222 sono produttori esclusivi. I preparatori esclusivi sono 7.061 (comprese le aziende che effettuano attività di vendita al dettaglio) mentre gli operatori che effettuano sia attività di produzione che di preparazione sono 7.366 e 310 quelli che effettuano attività di importazione. Rispetto ai dati riferiti al 2014, si rileva un aumento complessivo del numero di operatori dell'8,2%. La superficie coltivata secondo il metodo biologico in Italia risulta pari a 1.492.579 ha, con un aumento complessivo, rispetto all'anno precedente, superiore al 7,5%. In percentuale, sul totale della superficie coltivata in Italia, il settore biologico arriva quindi ad interessare il 12% della SAU nazionale. I principali orientamenti produttivi sono i pascoli, il foraggio ed i cereali. Segue, in ordine di estensione, la superficie investita ad olivicoltura. Anche per le produzioni animali, distinte sulla base delle principali specie allevate, i dati evidenziano un aumento consistente tra i due anni, in particolare per bovini (+19,6%) e pollame (+18,2%). Le regioni con il più alto numero di ettari coltivati con metodo biologico sono la Sicilia con oltre 300.000 ha, la Puglia con quasi 200.000 ha, seguite nell'ordine da Calabria, Sardegna, Toscana, Lazio ed Emilia Romagna.

Per quanto riguarda le colture ortive, nel nostro paese le superfici coltivate con il metodo convenzionale mostrano, negli ultimi anni, un lieve ma costante incremento che le vede aumentare dai 423.079 ettari

del 2008 ai 441.627 del 2009, fino ai 450.000 del 2013 (ISTAT; www.istat.it). Anche le superfici agricole biologiche mostrano il medesimo fenomeno, attestandosi, al 31 dicembre 2015, a 29.494 ettari con un incremento del 13% rispetto all'anno precedente. Tale cifra, che risulta dalla somma delle superfici condotte in biologico propriamente dette (22.269 ha), con quelle in conversione (6.525 ha), potrebbe altresì indicare una prospettiva di ulteriore crescita per gli anni a venire. Altresì, lo sviluppo del settore orticolo biologico appare ancor più consistente se si confronta il dato della crescita aggregata di tutti i seminativi (orticole quindi incluse) che è risultato - sempre su base 2015 rispetto al 2014 - pari al 7,8%, quindi circa la metà delle sole orticole. Questa robusta crescita, che per larga parte è comune a tutto il comparto del biologico, può essere spiegata con l'impulso che il settore ha ricevuto, dall'avvio del ciclo di programmazione 2014-2020 dei fondi comunitari, da una domanda dei prodotti bio in continua espansione e dalle condizioni sempre più difficili del settore orticolo convenzionale, che sperimenta crescenti difficoltà economiche (Abitabile, 2017).

Le regioni dove si concentra la produzione orticola biologica coincidono in larga misura con quelle nelle quali si pratica storicamente l'orticoltura come la Puglia (7.724 ha), la Sicilia (5.226 ha), l'Emilia Romagna (3.191 ha), la Toscana ed il Lazio, con 1.949 e 1.837 ettari rispettivamente. Le Marche, con i suoi 1.649 ettari, si posiziona davanti a regioni generalmente considerate più vocate per l'orticoltura come Calabria, Basilicata che impegnano ognuna poco più di un migliaio di ettari condotti in biologico (SINAB, 2017).

Agricoltura biologica e sostenibilità

Come precedentemente riportato, l'agricoltura biologica è caratterizzata da rese più basse rispetto all'agricoltura convenzionale. Numerose meta-analisi e/o *reviews* hanno dimostrato che la differenza di produzione tra i modelli agricoli varia in un intervallo molto ampio, che va dall'8 al 25% (de Ponti *et al.*, 2012; Seufert *et al.*, 2012). Comunque, in certe situazioni ambientali e sociali e per alcune colture (es. riso, soia, mais, leguminose da foraggio) queste differenze si riducono fino anche a scomparire del tutto. Meno favorevole è la situazione per il frumento, le colture frutticole e gli ortaggi (Campanelli e Canali, 2012). Sono riportati anche casi in cui le produzioni biologiche sono risultate maggiori di quelle convenzionali.

In generale, le differenze maggiori tra agricoltura biologica e convenzionale si osservano nei sistemi

culturali dei Paesi avanzati, in presenza di sistemi produttivi fortemente intensivi (largo uso di mezzi tecnici ed energia per unità di superficie) e che spesso determinano, di contro, un impatto negativo sull'ambiente e sugli equilibri sociali.

Molti studi dimostrano che l'agricoltura biologica ha un minore impatto sull'ambiente rispetto a quella convenzionale (Gomiero *et al.*, 2011; Mondelaers *et al.*, 2009; Tuomisto *et al.*, 2012), riportando contenuti più elevati di sostanza organica, migliore qualità e minore erosione dei suoli condotti con il metodo biologico. Le aziende 'bio' presentano maggiore biodiversità, sia per ciò che riguarda la fauna che la flora. Questa condizione si riflette a livello dei territori in cui l'agricoltura biologica è ben rappresentata nei comprensori. Inoltre, è documentato come la maggiore biodiversità sembra condizionare positivamente importanti funzioni ecologiche quali ad es. l'impollinazione (Kennedy *et al.*, 2013).

Non utilizzando pesticidi, il rischio di dispersione nell'ambiente (aria e acqua) di molecole di sintesi nocive per l'uomo e l'ambiente è nullo o molto ridotto (eventualmente legato all'uso dei pesticidi consentiti) (Baker *et al.*, 2002; Pussemier *et al.*, 2006). Inoltre, il dilavamento dei nitrati e del fosforo per unità di superficie è generalmente molto minore rispetto al convenzionale. Tuttavia, a causa della minor produzione che il biologico può presentare, le differenze tra 'bio' e convenzionale si riducono se ci si riferisce ad unità di prodotto, invece che di superficie. Anche le emissioni di gas serra sono più ridotte rispetto al convenzionale (Lee *et al.*, 2015; Mondelaers *et al.*, 2009). Inoltre, nell'ambito dei sistemi produttivi biologici, si osservano differenze per l'impatto ambientale in relazione alle loro caratteristiche strutturali e funzionali. Infine, il grado di diversificazione culturale, la relazione tra produzione animale e vegetale, l'intensità d'uso dell'energia e degli input di origine extra - aziendale (aspetti che possono essere molto diversi tra sistemi produttivi di sostituzione e quelli dove i principi dell'agro-ecologia risultano applicati), possono fortemente condizionare le *performance* ambientali dell'agricoltura biologica (Meynard *et al.*, 2013).

I sistemi biologici, rispetto ai convenzionali, utilizzano meno energia di origine fossile e impiegano più efficientemente l'energia totale (Canali *et al.*, 2013). Questa condizione si evidenzia quando le analisi vengono riferite sia all'unità di superficie che (anche se meno frequentemente) all'unità di prodotto (Gattinger *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2015; Lotter, 2003).

La qualità nutrizionale delle produzioni biologiche rispetto a quelle convenzionali è stata largamente stu-

diata negli ultimi 10-15 anni e sono disponibili numerosi studi specifici, *review* e meta-analisi sull'argomento (ad esempio: Soil Association, 2000; Pussemier *et al.*, 2006; Bourn & Prescott, 2002). L'assenza (o la ridotta presenza) di pesticidi nei prodotti da agricoltura biologica è ampiamente riconosciuta e il dibattito su come questo possa avere un effetto sulla salute dell'uomo è molto acceso. Inoltre, la maggior parte dei risultati riportati negli studi disponibili indicano che i cibi bio hanno un contenuto più alto di sostanza secca e di alcuni principi nutritivi (per es. vitamina C, antiossidanti totali, acidi grassi omega-3). Tuttavia, non è del tutto stato chiarito se queste diverse caratteristiche si traducano in un effettivo e significativo miglioramento del valore nutritivo (Williams, 2002; Magkos *et al.*, 2003). E' inoltre rilevante comprendere le relazioni esistenti tra le caratteristiche dei sistemi colturali che hanno prodotto gli alimenti 'bio' e le caratteristiche nutritive e sensoriali di questi ultimi. Il semplice confronto convenzionale/biologico non sempre consente infatti di comprendere quali siano i fattori che influenzano la qualità degli alimenti e un approfondimento in merito alla relazione tra tipologia di sistema biologico e qualità alimentare appare necessario (Rembialkowska, 2007; Picchi *et al.*, 2012).

L'agricoltura biologica è alla base di regimi alimentari diversificati, caratterizzati da diete nelle quali i rapporti tra i differenti alimenti e principi nutritivi, di origine animale e vegetale, sono più

bilanciati. Questa circostanza può contribuire a migliorare la sicurezza alimentare a livello globale e, in prospettiva, può rappresentare un valido punto di partenza per il riassetto dei sistemi alimentari, processo ritenuto da molti necessario per garantire la sicurezza alimentare alle future generazioni (Badgley *et al.*, 2007; Paoletti, 2014).

Gli studi comparativi tra sistemi biologici e convenzionali, in termini di equità e qualità sociale, sono pochi e una delle più recenti *review* riporta come non risulterebbe ad oggi possibile definire un quadro completo ed incontrovertibile (MacRae *et al.*, 2007). I pochi dati disponibili mostrano, comunque, come il settore biologico presenti alcune differenze rispetto al convenzionale, quali ad esempio la maggiore interazione tra agricoltori e consumatori, il più alto livello di istruzione degli agricoltori bio rispetto ai convenzionali, maggiori opportunità per i giovani e le donne. L'agricoltura biologica, in genere, impiega più lavoro manuale. Questo dato viene letto da alcuni in termini di maggiore occupazione potenziale. Inoltre, i lavoratori del settore biologico risulterebbero meno esposti ai pesticidi e alle sostanze chimiche di sintesi. Va da sé che tutti questi aspetti hanno comunque un valore relativo agli ambienti ai quali ci si riferisce (Thundiyil *et al.*, 2008).

La figura 2, in cui i differenti fattori che concorrono a definire la sostenibilità dei sistemi produttivi agricoli vengono considerati congiuntamente, fornisce un quadro complessivo che permette di identificare

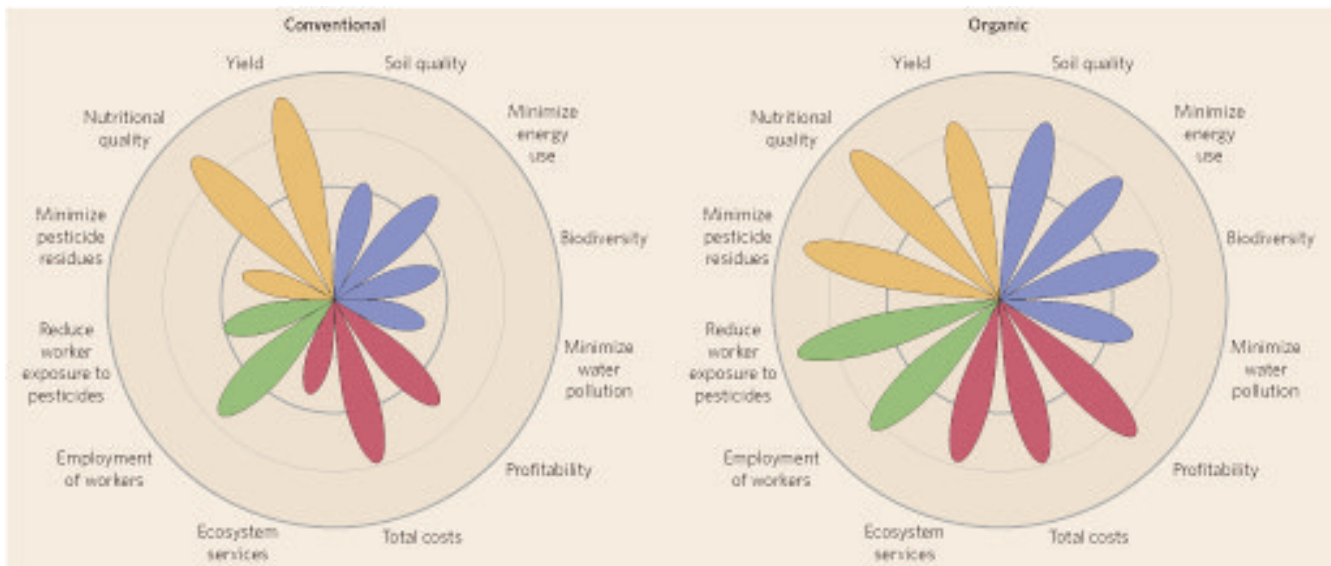


Fig. 2 - Valutazione della sostenibilità dell'agricoltura biologica e convenzionale. I petali arancioni si riferiscono all'area della produzione, quelli blu agli aspetti ambientali, i rossi all'area della sostenibilità economica e i verdi agli aspetti sociali. Fonte: Reganold e Watcher (2016).

Fig. 2 - Sustainability assessment relative to organic and conventional farming. Orange petals represent areas of production; blue petals represent areas of environmental sustainability; red petals represent areas of economic sustainability; green petals represent areas of wellbeing. Source: Reganold e Watcher (2016).

nel modello agricolo biologico la punta di diamante dell'agricoltura sostenibile, in quanto capace di offrire, complessivamente, migliori *performances* economiche, ambientali e sociali.

Agricoltura biologica ed agroecologia

Il modello agricolo intensivo, sviluppatosi dopo la cosiddetta “rivoluzione verde” degli anni '60 e '70, si è basato principalmente sull'uso di sementi certificate e standardizzate, fertilizzanti di sintesi, pesticidi e sull'uso spinto della meccanizzazione con un elevatissimo consumo di carburante per unità di superficie coltivata. Questo processo, mentre consentiva di far lievitare la produzione agricola per unità di superficie e/o di lavoro, ha al contempo determinato una fortissima riduzione della biodiversità e ha generato impatti negativi sull'ambiente e sulle comunità agricole, come – ad esempio - la contaminazione delle acque superficiali e di quelle potabili. Da ciò deriva che l'agricoltura contemporanea si trovi ad affrontare una sfida che richiede il mantenimento di rese adeguate, non necessariamente massimizzate, con una simultanea riduzione dell'impatto ambientale. Il movimento dell'agricoltura biologica, pertanto, si è sviluppato anche in risposta alle pressioni indotte dalla rivoluzione verde, già a partire dagli anni 40 del secolo scorso (Drinkwater, 2009; Heckman, 2006).

L'approccio biologico, dai suoi albori, si pone come modello produttivo che scientemente rinuncia alla chimica di sintesi, per articolare i sistemi agrari sulla base delle loro risorse endogene, secondo un approccio agro-ecologico per cui sono sempre più necessari studi e ricerche. Un approccio che, comprendendo dimensioni ecologiche, economiche e sociali e basandosi sull'intensificazione ecologica e la valorizzazione delle interazioni tra le componenti dei sistemi (invece che sulla semplificazione degli stessi), porti all'identificazione di metodi di produzione innovativi, incentrati su sistemi agricoli progettati e gestiti come un vero e proprio agro-ecosistema (Altieri, 1989; Altieri & Rosset, 1995; Drinkwater, 2009; Gaba *et al.*, 2013; Gliessman, 2006; Wezel *et al.*, 2009).

In questa prospettiva, il sistema agricolo viene gestito mirando ad ottenere effetti di lungo termine, creando, mantenendo e rafforzando infrastrutture ecologiche e rapporti spazio-temporali tra le colture e le popolazioni vegetali in genere, anche naturali, che svolgono un'azione preventiva verso l'emersione di elementi di disturbo dell'agro-ecosistema. Questo risultato, come già anticipato, è ottenuto a livello tecnico-operativo attraverso l'uso privilegiato di strategie indirette quali la scelta di varietà resistenti alle fitopa-

tie, l'uso di ecotipi locali (o *land-race*) e di appropriati avvicendamenti colturali, la piantumazione di infrastrutture ecologiche e la pratica delle consociazioni. L'idea di fondo consiste nel disegnare un agro-ecosistema che imiti la struttura e la funzione dell'originario ecosistema locale sostituito dall'azienda agricola. Ciò avviene progettando un sistema con molteplici diversità di specie e attività biologiche e di conservazione del suolo, che promuova il riciclaggio e impedisca la perdita di risorse (Caccioni e Colombo, 2012).

Secondo molti osservatori, un sistema agricolo biologico è destinato ad essere effettivamente sostenibile e ad avere successo se viene gestito come un agro-ecosistema in cui sono presenti tutte le relazioni, i servizi e gli equilibri tra le componenti che lo formano. Ovvero, un sistema in cui sono mantenuti i numerosi processi complessi che governano le popolazioni, le comunità di organismi e quindi l'ecosistema, sia su una “scala di campo” che di “unità territoriale” (Drinkwater, 2009; Marino & Landis, 1996; Cronin & Reeve, 2005).

Non tutti i sistemi agricoli biologici sono uguali dal punto di vista agro-ecologico: il loro grado di complessità, i meccanismi di funzionamento e le differenze con i sistemi convenzionali possono risultare più o meno evidenti. E' possibile osservare sistemi ad elevato grado di diversificazione colturale nello spazio e nel tempo, in cui sono funzionalmente connesse le produzioni vegetali ed animali (cicli di produzione e di riutilizzo delle risorse più o meno chiusi). Al contempo, esistono sistemi ancora sufficientemente diversificati, ma con produzioni vegetali ed animali disgiunte (es. *stockless systems*). Infine, vi sono sistemi semplificati e specializzati che basano il loro funzionamento sull'uso di risorse esterne “consentite” dalle norme e che implementano i requisiti minimi per la certificazione (sistemi di sostituzione). Non sono del tutto conosciute, pertanto, le differenze tra le effettive capacità produttive riscontrabili in questa ampia gamma di assetti, tutti rappresentati nell'agricoltura europea ed italiana in particolare.

A livello sovranazionale, il dibattito intorno al tema dell'agro-ecologia è da sempre molto vivo e, recentemente, sta occupando le comunità agricole e scientifiche dell'Europa e degli Stati Uniti, ambiti geografici in cui l'agro-ecologia non ha ricevuto un così grande interesse nei lustri passati. E in questo contesto si devono collocare la recente nascita del movimento *Agroecology Europe* e l'attenzione che la FAO sta dedicando alle occasioni di confronto e riflessione sui paradigmi produttivi e di ricerca alternativi a quelli convenzionali. Ne è testimonianza il Simposio Europeo sull'Agroecologia tenutosi a fine

novembre 2016 a Budapest, dopo quelli realizzati in Africa, Asia e America Latina a partire dall'evento internazionale promosso nel 2014. Generalmente, la FAO promuove questi eventi al fine di orientare la discussione nelle aree del Sud del mondo, ma il *follow up* del primo Simposio Internazionale sull'Agroecologia si è realizzato anche su scala europea. Ciò testimonia che anche nelle regioni a maggiore intensificazione economica, urge un ripensamento del modello agricolo e una maggior condivisione di pratiche, esperienze e politiche tra ricercatori, istituzioni, agricoltori e movimenti sociali.

La gestione della fertilità del suolo in agricoltura biologica: un esempio dell'applicazione dei principi dell'agroecologia

La fertilità di un terreno può essere definita come la sua capacità di sostenere la crescita delle piante coltivate. Essa dipende dalle sue caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche che determinano, nel loro insieme, funzioni quali il rilascio e la disponibilità degli elementi e la capacità di ritenzione idrica. L'origine pedologica di un terreno definisce molte delle sue caratteristiche intrinseche (ad es. la tessitura, il pH e la profondità), ma le tecniche agronomiche possono avere un effetto sulle sue caratteristiche più dinamiche quali il contenuto di sostanza organica o di azoto minerale (Tittarelli e Canali, 2002).

Il Regolamento Europeo sul biologico [Reg (EC) 834/2007] attribuisce una notevole importanza alla gestione della fertilità del terreno. Negli articoli n. 5 e 12(1) esso elenca le pratiche agronomiche che i sistemi di produzione biologica devono seguire per mantenere ed aumentare la fertilità del terreno e fornire elementi della nutrizione e acqua alle piante. In particolare, il regolamento specifica che la presenza nel terreno di una comunità microbica attiva e diversificata è una condizione fondamentale per il trasferimento degli elementi della nutrizione alla pianta e gioca un ruolo centrale nelle interazioni fra terreno, microrganismi (inclusi i patogeni) e piante.

I produttori biologici possono gestire la fertilità del terreno attraverso l'utilizzazione integrata di un pacchetto di strumenti e di conoscenze che fanno riferimento a specifiche pratiche agricole quali le lavorazioni del terreno, le rotazioni delle colture, l'utilizzo di concimi organici ed ammendanti, la coltivazione di colture di servizio agro ecologico (CSA).

Queste ultime sono specie vegetali che non vengono coltivate per la resa (non essendo colture da reddito), ma all'interno di una rotazione, e forniscono diversi servizi ecologici (tab. 1) o migliorano quelli

Tab. 1 - Possibili servizi forniti dalle colture di servizio agroecologiche introdotte negli agroecosistemi orticoli di pieno campo e di serra.

Tab. 1 - Potential services provided by agroecological service crops cultivated in vegetable open field and protected agroecosystems.

Disponibilità e gestione degli elementi nutritivi (es. <i>fertility building crop</i>)
Controllo dell'erosione
Controllo delle infestanti
Controllo delle malattie e dei fitofagi (diversi meccanismi)
Impollinazione
Sequestro del C e riduzione dell'emissione dei gas serra
Resilienza alle condizioni climatiche estreme o severe

che l'agroecosistema è già in grado di esprimere (Thorup-Kristensen *et al.*, 2012; Canali *et al.*, 2015).

Nella gestione della fertilità del terreno assume un ruolo importante la coltivazione di leguminose da sovescio che possono apportare al terreno elevate quantità di azoto in forma organica, ma facilmente mineralizzabile. Sono inoltre utilizzabili gli ammendanti e concimi organici il cui uso è ammesso in agricoltura biologica (Allegato I del Regolamento EC n. 889/08).

Nei sistemi produttivi a maggiore intensificazione colturale (quale ad esempio la produzione biologica in serra), il rispetto dei principi basilari della gestione della fertilità secondo il metodo di produzione biologico è più complesso ed è oggetto di discussione a livello europeo (EGTOP, 2013; Tittarelli *et al.*, 2016). Le serre per la produzione in biologico si sono sviluppate nella maggior parte del territorio europeo come strutture specializzate, rendendo impossibile la riallocazione degli elementi della nutrizione attraverso l'utilizzo di ammendanti organici di origine animale, prodotti internamente all'azienda. Inoltre, la necessità di un rapido rientro economico degli investimenti strutturali per l'allestimento delle serre, l'elevato turnover di sostanza organica del terreno e di elementi della nutrizione, associato al ristretto numero di specie coltivate in serra, hanno determinato negli anni una consuetudine alla deroga rispetto ai principi della produzione in regime di agricoltura biologica, creando le condizioni per un processo di "convenzionalizzazione" della produzione biologica. L'obiettivo di massimizzare la produzione mediante input esterni all'azienda, sia per la gestione della fertilità che per la protezione della coltura da insetti nocivi e patogeni, tralasciando l'uso delle CSA e riducendo la biodiversità colturale, può determinare l'insorgenza di squilibri nutrizionali (dovuti ad un N/P dei materiali organici apportati al terreno molto diverso da quello delle

colture che da questi materiali traggono gli elementi della nutrizione). A questa situazione spesso si aggiungono gli attacchi dovuti a malattie fungine o nematodi. Il *Final Report on Organic Greenhouse production (protected cropping)* (EGTOP, 2013) ed alcune recenti studi (Tittarelli *et al.*, 2016) hanno al contrario evidenziato come in serra sia possibile coltivare CSA a ciclo corto e realizzare una produzione biologica con un approccio agro-ecologico.

Il Piano strategico nazionale per lo sviluppo del biologico e la programmazione nazionale della ricerca

Recentemente, Il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, in qualità di Autorità di controllo nazionale ha emanato un Piano strategico nazionale italiano. Il Piano prevede un'ampia gamma di interventi, incasellati nell'ambito di 10 azioni, di cui una è specificatamente orientata alla ricerca per il settore. Il Piano è altresì dotato di un breve compendio dove sono descritte le tematiche di ricerca ed innovazione in agricoltura biologica e biodinamica che un gruppo di esperti, coordinato dal Consiglio per la ricerca in agricoltura e per l'analisi dell'economia agraria (il CREA), ha preliminarmente identificato come prioritarie (tab. 2).

Il piano considera come venga da più parti riconosciuto che il settore dell'agricoltura biologica è caratterizzato da una consolidata pratica di circolazione di sapere e di conoscenze, con una frequenza di addetti in possesso di titolo di studio e una propensione all'innovazione superiori alla media del settore primario. Tali elementi si sono progressivamente consolidati, attraverso approcci ed esperienze dei produttori aperti alla collaborazione scientifica, che hanno spesso ampliato la capacità di individuare soluzioni ed efficienti percorsi imprenditoriali. Il settore biologico

avverte la necessità di programmare e progettare azioni di ricerca che vedano il concorso attivo degli attori della ricerca scientifica nazionale e le realtà socio-economiche attraverso percorsi co-partecipati, multidisciplinari, caratterizzati da un approccio di "sistema". Tale modello è considerato capace di esprimere un forte potenziale per garantire l'innovazione nei sistemi produttivi, finalizzata ad aumentare la quota di valore aggiunto trattenuta dal settore primario e a ridurre la variabilità dei risultati economici delle attività imprenditoriali.

Il Piano strategico riconosce altresì come gli ampi vuoti di conoscenza e la necessità d'innovazione che il settore si trova a sperimentare ne impediscano una crescita solida ed equilibrata. Inoltre, viene considerato come l'agricoltura biologica italiana, seppur inserita a pieno titolo in un ambito globale ed europeo, presenti spiccate specificità, che ne rendono peculiari le necessità di ricerca ed innovazione, anche da un punto di vista metodologico.

Prospettive future

L'approccio proposto dal piano colloca le azioni di ricerca e di produzione dell'innovazione nel campo della generazione partecipata delle conoscenze (co-ricerca e co-innovazione), che deve avvenire grazie al coinvolgimento autentico degli attori del sistema fin dalle fasi di avvio delle attività di ricerca (Delate *et al.*, 2016).

In tale contesto, divengono irrinunciabili il censimento delle conoscenze ed esperienze locali e la necessità che esse vengano valorizzate per contribuire allo sviluppo di tecnologie appropriate, con riferimento a clima, suolo e sistemi culturali, senza escludere gli specifici contesti sociali, culturali, istituzionali ed economici. In tale approccio trova facile collocazione la ricerca aziendale (on-farm), realizzata quindi in un

Tab. 2 - Gli ambiti tematici prioritari per la ricerca in agricoltura biologica.

Tab. 2 - Priority research themes identified by the Italian action plan for organic food and farming.

<p>filiere di produzione vegetale: (i) cereali; (ii) proteaginose per il consumo animale ed umano (iii); frutticole drupacee miglioramento genetico vegetale basato sull'approccio partecipativo; sistemi culturali per l'adattamento ai cambiamenti climatici; produzioni ortofrutticole biologiche Mediterranee in ambiente protetto; filiere zootecniche: (i) produzione avicola; (ii) acquacoltura; (iii) bovine da latte; sistemi culturali agro-zoo-forestali integrati; modelli di trasformazione e commercializzazione per i prodotti biologici; la riduzione dell'uso degli input di origine extra - aziendale per la difesa delle coltivazioni biologiche e promozione dell'approccio agro-ecologico il rafforzamento istituzionale del sistema ricerca per l'agricoltura biologica.</p>
--

Fonte: Piano strategico nazionale per lo sviluppo del sistema biologico, MiPAAF (2016).

ambiente reale, che rappresenta pertanto un contesto strategico importante per una veloce adozione dell'innovazione prodotta.

Riassunto

In questo lavoro è riportata una sintesi del dibattito, nazionale ed europeo, sul concetto di agricoltura biologica e sulle principali differenze in termini di qualità della produzione, consumo energetico ed impatto ambientale, rispetto al sistema di produzione convenzionale. Inoltre, nell'ambito della produzione biologica, si è operata una distinzione tra una produzione biologica "convenzionalizzata" (basata sul criterio della sostituzione di input) (Goldberger, 2011) ed una produzione biologica basata su di un approccio agro ecologico. Infine, nel lavoro, si esamina in dettaglio il Piano Strategico Nazionale per la produzione biologica elaborato dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

Parole chiave: agroecologia, piano strategico, innovazione, ricerca partecipata.

Bibliografia

ABITABILE 2017. *La situazione strutturale delle aziende*. In: Bioreport 2016, l'agricoltura biologica in Italia. Rete Rurale Nazionale 2014-2020, ISBN: 97888-8145-566-1

ALTIERI M.A., 1989. *Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture*. Agric Ecosyst Environ 27: 37-46.

ALTIERI M.A., ROSSET P., 1995. *Agroecology and the conversion of largescale conventional systems to sustainable management*. Int J Environ Stud 50: 165-185.

ARBENZ M., GOULD D., STOPEL C., 2015. *Organic 3.0. For truly sustainable farming and consumption. Based on think tanking by SOAN & IFOAM*. Organics International and launched at the ISOFAR International Organic EXPO 2015, Goesan County, South Korea, <http://www.ifoam.bio/en/news/2016/01/21/join-organic-30-discussion-affiliates-and-stakeholder-consultation-20152016>.

BADGLEY C., MOGHTADER J., QUINTERO E., ZAKEM E., CHAPPELL M. J., AVILES-VAZQUEZ K., PERFECTO I., 2007. *Organic agriculture and the global food supply*. Renewable agriculture and food systems, 22(2), 86-108.

BAKER B.P., BENBROOK C.M., GROTH E. III, BENBROOK K.L., 2002. *Pesticide residues in conventional, integrated pest management (IPM)-grown and organic foods: insights from three US data sets*. Food

BEIJERINCK M.W., 1901. *Über oligonitrophile Mikroben*. In: Centralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene, Abteilung II. Band 7, 1901, 561-582

BOURN D., PRESCOTT J., 2002. *A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods*. Critical Rev. Food Sci. 42, 1-34.

CACCIONI D., COLOMBO L., 2012. *Il manuale del biologico*. Edagricole. Cap. 1 "agricoltura biologica: i principi base, le definizioni.

CAMPANELLI G., CANALI S., 2012. *Crop production and environmental effects in conventional and organic vegetable farming systems: the case of a long-term experiment in mediterranean conditions (Central Italy)*. J. Sustain. Agr. 36: 6 599-619.

CANALI S., CAMPANELLI G., CIACCIA C., LETEO F., TESTANI E., MONTEMURRO F., 2013. *Conservation tillage strategy based on the roller crimper technology for weed control in Mediterranean vegetable organic cropping systems*. European Journal of Agronomy 50: 11-18

CANALI S., DIACONO M., CAMPANELLI G., MONTEMURRO F., 2015. *Organic no-till with roller crimpers: Agro-ecosystem services and applications in organic Mediterranean vegetable productions*. Sustainable Agriculture Research; Vol. 4, No. 3; 2015.

CRONIN J.T., REEVE J.D., 2005. *Host-parasitoid spatial ecology: a plea for landscape-level synthesis*. Proc. R. Soc. London, Ser. B 272: 2225-2235.

DE PONTI T., RIJK B., VAN ITTERSUM M.K., 2012. *The crop yield gap between organic and conventional agriculture*. Agr. Syst. 108, 1-9.

DELATE K., CANALI S., TURNBULL R., TAN R., COLOMBO L. 2016. *Participatory organic research in the USA and Italy: Across a continuum of farmer-researcher partnerships*. Renewable Agriculture and Food Systems, I, pp. 1-18.

DRAGHETTI A., 1948. *Principi di fisiologia dell'azienda agraria Milano/Bologna*. Istituto editoriale agricolo, Italy, 355pp

DRINKWATER L.E., 2009. *Ecological knowledge: fondation for sustainable organic agriculture*. Cap. 2 p.19:47. In: "Organic farming: the ecological system"(2009), Charles Francis Editor.

EGTOP (Expert Group for Technical Advice on Organic Production), 2013. *Final Report On Greenhouse Production (Protected Cropping)*. Available at: http://ec.europa.eu/agriculture/organic/eu-policy/expert-advice/documents/final-reports/final_report_egtop_on_greenhouse_production_en.pdf

GABA S., FRIED G., KAZAKOU E., CHAUVEL B., NAVAS M., 2013. *Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping system diversity*.

Gattinger A., Muller A., Haeni M., Skinner C., Fliessbach A., Buchmann N. Niggli U., 2012. *Enhanced top soil carbon stocks under organic farming*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(44), 18226-18231.

GLIESSMAN S.R., 2006. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. 2nd edn. CRC Press, Boca Raton

GOLDBERGER J.R., 2011. *Conventionalization, civic engagement, and the sustainability of organic agriculture*. Journal of Rural Studies, 27(3): 288-296.

GOMIERO T., PIMENTEL D., PAOLETTI M.G., 2011. *Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture*. Crit. Rev. Plant Sci. 30, 95-124.

HECKMAN J.R., 2006. *A history of organic farming: transition from Sir Albert Howard's war in the soil to USDA National Organic Program*. Renewable Agric. Food Syst. 21:143-150.

HELLRIEGEL H., WILFARTH H., 1888. *Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen*. Beilageheft zu der Zeitschrift des Vereins der Rübenzucker-Industrie des Deutschen Reichs Bd. 38, Berlin, Germany.

KENNEDY C.M., LONSDORF E., NEEL M.C., WILLIAMS N.M., RICKETS T.H., WINFREE R., BOMMARCO R., BRITAIN C., BURLEY A.L., CARIVEAU D., CARVALHEIRO L.G., CHACOFF N.P., CUNNINGHAM S.A., DANFORTH B.N., DUDENHÖFFER J.H., ELLE E., GAINES H.R., GARIBALDI L.A., GRATTON C., HOLZSCHUH A., ISAACS R., JAVOREK S.K., JHA S., KLEIN A.M., KREWENKA K., MANDELIC Y., MAYFIELD M.M., MORANDIN L., NEAME L.A., OTIENO M., PARK M., POTTS S.G., RUNDLÖF M., SAEZ A., STEFFAN-DEWENTER I., TAKI H., VIANA B.F., WESTPHAL C., WILSON J.K., GREENLEAF S.S., KREMEN C., 2013. *A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems*. Ecol. Lett. 16, 584-599.

- LEE K.S., CHOE Y.C., PARK S.H., 2015. *Measuring the environmental effects of organic farming: a meta-analysis of structural variables in empirical research*. J. Environ. Manage. 162, 263-274.
- LOTTER D.W., 2003. *Organic agriculture*. J. Sustain. Agr. 21, 59-128.
- MACRAE R.J., FRICK B., MARTIN R.C., 2007. *Economic and social impacts of organic production systems*. Can. J. Plant Sci. 87, 1037-1044.
- MAGKOS F., ARVANITI F., ZAMPELAS A. 2003. *Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence*. Int. J. Food Sci. Nutr. 54, 357-371.
- MARINO P.C., LANDIS D.A., 1996. *Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems*. Ecol. Appl. 6: 276-284.
- MEYNARD J.M., MESSÉAN A., CHARLIER F., CHARRIER M., FARÈS M., LE BAIL M.B., MAGRINI I., SAVINI I., 2013. *Crop diversification: obstacles and levers Study of farms and supply chains*. Synopsis of the study report, INRA, 52 p.
- MONDELAERS K., AERTSENS J., VAN HUYLENBROECK G., 2009. *A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming*. Brit. Food. J. 111, 1098-1119.
- NIGGLI U., RAHMANN G., 2013. *Forschung – Treibende Kraft für Veränderungen*. Ökologie & Landbau 167(3): 12-14
- PAOLETTI F., 2014. *Contribution to sustainable diets from the organic sector: an introduction*. In: Assessing Sustainable Diets within the Sustainability of Food Systems. Alexandre Meybeck A., Redfern Z., Paoletti F. Strassner C. ISBN 978-92-5-108825-8. <http://www.fao.org/3/a-i4806e.pdf>.
- PAULL J., 2011. *Koberwitz (Kobierzyce): In the footsteps of Rudolf Steiner*. <http://orgprints.org/18836/1/Paull2011KoberwitzJOS.pdf>. (Accessed 16 Apr. 2016)
- PAULSEN H.M., SCHRADER S., SCHNUG E., 2009. *Eine kritische Analyse von Ruschs Theorien zur Bodenfruchtbarkeit als Grundlage für die Bodenbewirtschaftung im Ökologischen Landbau*. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research 59(3): 253-268.
- PICCHI V., MIGLIORI C., SCALZO R.L., CAMPANELLI G., FERRARI V., DI CESARE L.F., 2012. *Phytochemical content in organic and conventionally grown Italian cauliflower*. Food Chemistry, 130(3), 501-509.
- PUSSEMIER L., LARONDELLE Y., VAN PETEGHEM C., HUYGHEBAERT A., 2006. *Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: a tentative comparison under Belgian conditions*. Food Control 17, 14-21.
- RAVIV M., 2010. *Sustainability of organic farming*. Horticultural Reviews. Jules Janick (Eds.) 36, 289 – 333.
- REGANOLD J.P., WACHTER J.M., 2016. *Organic agriculture in the twenty-first century*. Nature plants, 2, 15221.
- REMBIALKOWSKA E., 2007. *Quality of plant products from organic agriculture*. J. Sci. Food Agr. 87, 2757-2762.
- SEUFERT V., RAMANKUTTY N., FOLEY J.A., 2012. *Comparing the yields of organic and conventional agriculture*. Nature 485, 229-232.
- SINAB 2017. *Sistema Informativo Nazionale per l'Agricoltura Biologica, sezione Biostatistiche*. <http://www.sinab.it/content/bio-statistiche> (ultimo accesso, 28 giugno 2017)
- SOIL ASSOCIATION, 2000. *Organic Farming, Food Quality and Human Health: A Review of the Evidence*. <http://soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=cY8kfP3Q%2BgA%3D>.
- THUNDIYIL J.G., STOBER J., BESBELLI N., PRONCZUK J., 2008. *Acute pesticide poisoning: A proposed classification tool*. Bulletin of the World Health Organization 86, 205-209. doi:10.2471/BLT.07.041814
- THORUP-KRISTENSEN K., DRESBØLL D.B., KRISTENSEN H.L., 2012. *Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops*. European Journal of Agronomy 37, 66-82. doi:10.1016/j.eja.2011.11.004
- TITTARELLI F., CANALI S., 2002. *Maintaining soil organic fertility for a sustainable development of agriculture*. Proceedings of Workshop on Biological Treatment of Biodegradable Waste-Technical Aspects. Bruxelles (BE).
- TITTARELLI F., Ceglie F.G., CIACCIA C., MIMIOLA G., AMODIO M., COLELLI G., 2016. *Organic strawberry in Mediterranean greenhouse: Effect of different production systems on soil fertility and fruit quality*. Renewable Agriculture and Food Systems: 1-13. doi:10.1017/S1742170516000417.
- TUOMISTO H.L., HODGE I.D., RIORDAN P., MACDONALD D.W., 2012. *Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research*. J. Environ. Manage. 112, 309-320.
- VOGT G., 2007. *The origins of organic farming. Organic farming - An international history*. W. Lockeretz. Oxfordshire UK and Cambridge MA USA, CABI: 9-29.
- WATSON C.A., WALKER R.L., STOCKDALE E.A., 2008. *Research in organic production systems - past, present and future*. The Journal of Agricultural Science 146(01): 1-19.
- WEZEL A., BELLON S., DORE T., FRANCIS C., VALLOD D., DAVID C., 2009. *Agroecology as a science, a movement and a practice*. A Rev Agron Sustain Dev 29(4):503-515. doi:10.1051/agro/2009004
- WILLIAMS C.M., 2002. *Nutritional quality of organic food: shades of grey or shades of green?* Proc. Nutr. Soc. 61, 19-24.

Caratteristiche di qualità e purezza degli oli d'oliva tra necessità di standardizzazione e variabilità naturale

Lanfranco Conte*, Erica Moret, Ornella Boschelle, Paolo Lucci, Sabrina Moret

Dipartimento di Scienze Agro Alimentari, Ambientali ed Animali, Università degli Studi di Udine

Ricezione: 01 settembre 2017; Accettazione: 12 ottobre 2017

Olive oils quality and purity characteristics between need for standard and natural variability

Abstract. The improvement of the agricultural surface devoted to olive oil production, highlighted the strong influence of environmental conditions on the oil composition. In the meantime, the establishment of shared rules and standard of composition is mandatory to improve the worldwide trade of olive oils. Rules are established as Regulations that means mandatory rules (laws) within European Union, while outside UE, the Trade Standard by International Olive Council is the reference standard and at worldwide level, the Codex Alimentarius (established by FAO-OMS) is the World Trade Organization reference. The number of members of these three levels of international organization is different and an hard work is to find an acceptable compromised between countries quite different in terms of agricultural scenarios, environmental conditions, economic conditions and social organization. Standards relate to quality and purity characteristics, this classification is very important because while quality is a ranking parameter, purity is a cutting limit, this means that it is necessary to be very careful in admitting any exception in limits. The environmental differences between "traditional" geographic area of olive cultivation, that's to say the Mediterranean basin and new areas of cultivation, mainly located in the South Hemisphere, in some cases strongly influence the oil composition, even in some characteristics whose limits are an important borderline to defend olive oil purity. Nevertheless, it's an evidence that some authentic olive oils exist, that for some parameters exceed the established limits; the very hard issue is that these parameters are purity parameters and that the modification of a limit can open the door to faked oils. Linolenic acid content is an important parameter to highlight the admixtures with soybean oil, however, in some areas, the content of linolenic acid

of authentic olive oils exceeded the Codex Alimentarius limit; no agreement had been reached between main producing countries and new producing ones and nowadays the Codex Standard has no limit for this acid. Campesterol and Δ -7 Stigmastenol, too, are very useful to highlight the presence of several seed oils (the former) and Compositae oils (the latter), but some cultivar in some geographical areas where the presence of olive in the agricultural landscape is rather recent, present concentration of these sterols higher than the established limit (respectively 4,0% and 0,5%). In all these cases, the problem is not to expel from the market some production of genuine oils, in the meantime not leave any space to possible frauds. A solution had been to build some so called "decisional trees", that are based on the principle of admit selected "anomalies" for one limit, in the meantime making the other more strictly, with the aim to avoid any possibility that the derogation of one limit can make faked oils not possible to be distinguished by authentic ones. In this review, some of these cases will be described and critically discussed.

Key words: Extra virgin olive oil, International standards, fatty acids composition, sterols composition.

Introduzione

La domanda di olio extra vergine di oliva è decisamente aumentata negli ultimi decenni, a causa del crescente interesse dei consumatori per questo tipo di olio alimentare, legato a considerazioni di tipo salustico e nutrizionale. In parallelo, tuttavia, pur essendosi allargata la distribuzione geografica dei Paesi produttori (tab. 1), la produzione mondiale di olio, non è aumentata, segnando anzi due decise flessioni negli anni 2012/13 e 2014/15.

L'interesse per la produzione di olio da olive rimane comunque alto, soprattutto nei paesi che da poco si sono affacciati a questa produzione nonostante le dif-

* lanfranco.conte@uniud.it

Tab. 1 - Produzione di olio da olive, principali paesi, ton × 103 (dati COI 2016).
 Tab. 1- Production of olive oil, main Countries, ton x 103 (source COI 2016).

Produzione di olio da olive	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16 (stima)
Spagna	1615	618.2	1781.5	842.2	1390
Italia	399.2	415.5	463.7	222	470
Grecia	294.6	357.9	132	300	310
Portogallo	76.2	59.2	91.6	61	99.3
<i>UE</i>	<i>2.395.10</i>	<i>1.461.70</i>	<i>2.482.50</i>	<i>1.434.50</i>	<i>2.287</i>
Extra UE					
Algeria	39.5	66	44	69.5	73.5
Marocco	120	100	130	120	130
Tunisia	182	220	70	340	140
<i>Totale Nord Africa</i>	<i>341.5</i>	<i>386</i>	<i>244</i>	<i>529.5</i>	<i>343.5</i>
Giordania	19.5	21.5	19	23	29
Palestina	15.5	15.5	17.5	24.5	22
Siria	198.9	175	180	105	215
Turchia	191	195	135	160	143
<i>Totale Medio Oriente</i>	<i>424.9</i>	<i>407</i>	<i>351.5</i>	<i>312.5</i>	<i>409</i>
Argentina	32	17	30	6	25
Cile	21.5	28	15	15.5	16.5
<i>Totale America Latina</i>	<i>53.5</i>	<i>45</i>	<i>45</i>	<i>21.5</i>	<i>41.5</i>
Australia	15.5	9.5	13.5	19.5	18
Totale mondiale	3230.5	2309.2	3136.5	2317.5	3099

ferenze di caratteristiche produttive dell'impianto ad olive rispetto all'impianto a semi oleosi, in termini di produttività, elasticità nella produzione (possibilità di cambiare coltura da un anno all'altro in relazione anche alle richieste di mercato), possibilità di meccanizzazione e di produzione intensiva, anche se negli ultimi anni, queste tecniche agronomiche si sono incominciate ad applicare anche all'olivicoltura.

Nei differenti Paesi, tuttavia, si registrano differenti equilibri tra produzione, consumo interno (la Spagna sembra essere il paese che registra la differenza più marcata tra consumo e produzione) ed esportazione: come si evince dalla figura 1 solo l'Italia registra un consumo superiore alla produzione accanto, tuttavia, ad un elevato livello di esportazione.

Risulta, quindi, evidente che per gli oli d'oliva, così come per quelli di semi, ci si trovi realmente in una dimensione di mercato globale che richiede la elaborazione di norme certe e condivise.

Le caratteristiche compositive degli oli d'oliva, così come quelle di molti alimenti possono essere suddivise grossolanamente in caratteristiche di qualità e caratteristiche di purezza, intendendo per le seconde tutte quelle atte a consentire la differenziazione di un alimento da un altro, mediante la precisa identificazione della sua origine botanica o animale, cioè facendo riferimento alla specie da cui sia stato ottenuto e

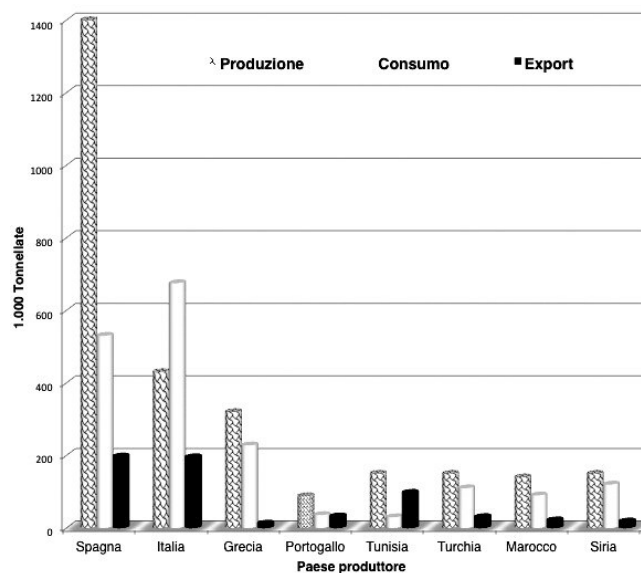


Fig. 1 - Dati medi di produzione, consumo interno ed export dei principali paesi produttori. Fonte: dati COI.

Fig. 1 - Average production, domestic consumption and export of main olive oils producing countries. Source: IOOC database.

per le prime, quelle che distinguono i differenti livelli di qualità nutrizionale, sensoriale, ecc.

Il controllo della purezza, oltre a rispondere ad una generale necessità di informazione trasparente, consente anche la messa in evidenza di frodi realizzate mediante la illecita dichiarazione di ingredienti di pre-

gio, sostituiti da ingredienti di minor prezzo, come ad esempio pasta di grano tenero vs pasta di grano duro, formaggi tutti o in parte ottenuti da latte vaccino vs formaggi ottenuti da latte di bufala, capra, pecora, olio di semi vs olio di oliva; in tutti questi esempi compaiono specie differenti, caratterizzate quindi da differenti biochimismi che pur essendo analoghi, portano alla sintesi sia di differenti composti principali (acidi grassi, triacilgliceroli, caseine), sia di metaboliti secondari (steroli, alcoli triterpenici, n-alcani, sostanze fenoliche).

Gli acidi grassi nel controllo della purezza degli oli alimentari

Nel caso degli oli vegetali è noto che i principali costituenti sono gli acidi grassi, importanti fonti energetiche, la cui composizione varia in relazione alla famiglia botanica del substrato da cui è stato ottenuto l'olio.

Per molti anni, gli oli ottenuti dalle olive furono caratterizzati in base alla preponderanza di acido oleico che li distingueva dagli oli di semi, caratterizzati, in genere da maggiori contenuti di acidi con catena di atomi di carbonio più lunga, finché, nel 1967, Knowles ottenne piante di cartamo oggetto di miglioramento genetico che producevano un olio col 70% di acido oleico, invertendo in pratica il rapporto oleico/linoleico tipico di questa specie. Pochi anni più tardi, si ottenne anche un girasole ad alto oleico e più avanti, un colza con le medesime caratteristiche, denominato Canola.

L'aumento del contenuto di acido oleico rispondeva alle necessità tecnologiche di poter disporre di oli a ridotta insaturazione, maggiormente stabili quando sottoposti a trattamenti termici intensi (es. frittura).

Non sono solo i trattamenti a caldo che possono innescare l'ossidazione degli acidi grassi insaturi, anche la luce può farlo, anche se con differenti meccanismi chimici di attivazione e comunque nel tempo è inevitabile che i lipidi vadano incontro ad ossidazione, dunque una maggiore stabilità è desiderabile anche per la conservabilità dell'olio.

Accanto a questo risultato più che apprezzabile, tuttavia, la disponibilità di oli con composizione degli acidi grassi praticamente identica a quelli degli oli d'oliva, aprì la strada a sofisticazioni, visto che questa caratteristica, controllata di routine grazie allo sviluppo e diffusione della gas cromatografia, non consentiva più la discriminazione tra i differenti oli.

L'attenzione si rivolse quindi ai cosiddetti "componenti minori" tra i quali i più studiati furono gli steroli, la cui composizione non veniva influenzata dal

miglioramento genetico che aveva modificato la composizione degli acidi grassi.

Gli steroli come "impronta digitale" degli oli alimentari

Come accennato nel paragrafo precedente, il miglioramento genetico delle piante oleaginose si è concentrato sulla diminuzione del contenuto di alcuni acidi grassi, sia con la finalità di ridurre l'insaturazione e di conseguenza migliorare le prestazioni di questi oli in termini di conservazione e di resistenza all'ossidazione nell'uso a caldo (es. frittura), sia al fine di rimuovere componenti ritenuti dannosi per la salute umana a medio lungo termine (es. acido erucico nell'olio di colza).

Come è noto, le vie biosintetiche degli acidi grassi e quelle dei cosiddetti "componenti minori" (terpeni, steroli, alcoli terpenici, sostanze fenoliche) sono differenti e pertanto la modificazione della sintesi degli acidi grassi non influenza quella di questi componenti.

Per questi composti, infatti, sommariamente la biosintesi si può ricondurre allo schema riportato nella figura 2.

Tra questi, gli steroli, in particolare sono stati quelli maggiormente studiati sin dai primi anni 1960, con l'utilizzo della gas cromatografia con colonne impac-

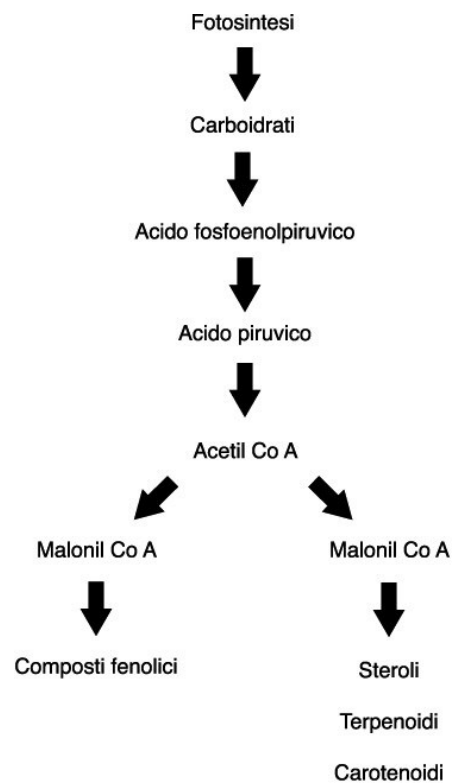


Fig. 2 - Schema della principali vie biosintetiche dei componenti minori nei vegetali.

Fig. 2 - Main pathways of biosynthesis of sterols in plants.

cate, che consentiva la separazione di pochi composti. In seguito l'adozione delle colonne capillari consentì la separazione di almeno 15 composti (Capella, 1963, Fedeli et al., 1966, Itoh et al., 1973) e più recentemente, l'uso di colonne capillari molto lunghe (100 m con fase stazionaria polare, contro i 30 m con fase non polare di solito utilizzate), ha consentito la separazione ed identificazione di epimeri (Mariani et al., 1995).

Trigliceridi come parametri di purezza

Pur essendo l'analisi degli steroli un mezzo molto potente per la verifica della purezza degli oli ottenuti dalla lavorazione delle olive, non sempre essa risulta utile: è il caso dell'olio di nocciola le cui composizione sia degli acidi grassi che degli steroli è talmente simile a quella degli oli d'oliva da rendere difficilissima la sua identificazione se miscelato a questi ultimi (tab. 2).

La determinazione della presenza dell'olio di nocciola in oli d'oliva è stata possibile solo mediante la valutazione della composizione dei triacilgliceroli in quanto in differenti piante, così come nei semi rispetto ai frutti, la biosintesi di questi composti, che come noto segue la cosiddetta "Kennedy pathway", ha percorsi che si differenziano, portando, a parità di composizione di acidi grassi, alla sintesi di differenti triacilgliceroli.

Come risultato delle ricerche sulla composizione dei triacilgliceroli, venne in un primo momento proposto un valore limite per il triacilglicerolo puro dell'acido linoleico (trilinoleina), ma in seguito, per

Tab. 2 - Confronto tra la composizione (%) degli oli d'oliva e di nocciola.

Tab. 2 - Comparison of the composition (%) of olive and hazelnut oils.

	Olivo d'Oliva*	Olivo di Nocciola*
Acido Palmitico	7,5 – 20,0	4,0 – 9,0
Acido Stearico	0,5 – 5,0	1,0 – 4,0
Acido Oleico	55,0 – 83,0	66,0 – 85,0
Acido Linoleico	3,5 – 2,1	5,7 – 25,0
Acido Linolenico**	0,5 – 1,0	0 – 0,2
Acido Eicosanoico	0,0 – 0,6	0,0 – 0,3
Acido Eicosenoico	0,0 – 0,4	0,1 – 0,3
Campesterolo	≤ 4,0	4,0 – 5,8
Stigmasterolo	< Campesterolo	n.d.
B-Sito sterolo "apparente"***	≥ 93,0	89 – 98
Δ7-Stigmastenolo	≤ 0,5	

Dati Codex Alimentarius (Sodex standard per gli oli d'oliva e di sansa di oliva)

** Nessun limite stabilito dal Codex

*** Σ B-Sito sterolo + Δ5- Avenasterolo + Δ5-23-Stigmastadienolo + Clerosterolo + Sitostanolo + Δ 5.24 Stigmastadienolo

motivi che verranno spiegati più avanti, si considerò un insieme di triacilgliceroli con comportamento analitico simile a questa (Casadei, 1987, Aparicio e Aparicio-Ruiz, 2000).

L'elaborazione degli standard

Il commercio degli oli d'oliva, così come quello di ogni altro alimento o prodotto agricolo nell'epoca del commercio mondiale, ha dovuto fissare regole certe e condivise per caratterizzare i prodotti oggetto di scambio commerciale.

All'interno della UE queste regole sono fissate dai regolamenti comunitari, che fanno tutti riferimento (di fatto essendone una continua serie di revisioni) al Reg (CEE) 2568/1991.

Questi regolamenti riportano limiti per singoli analiti utili alla valutazione della purezza e qualità, limiti che sono stati fissati sulla base di una cospicua banca dati che si è venuta ad accumulare negli anni, in base a dati sperimentali ottenuti da produzioni europee (essenzialmente Portogallo, Spagna, Italia e Grecia).

I regolamenti hanno valore legale solo all'interno dell'Unione Europea, ma a livello mondiale si è reso necessario avere standard più ampiamente condivisi: in un primo momento, ciò è stato realizzato con l'elaborazione della Norma Commerciale del Consiglio Oleicolo Internazionale (COI).

In questo caso, la banca dati considerata è stata più ampia, comprendendo le produzioni del nord Africa e del Medio Oriente.

Per tutti gli alimenti, e quindi anche per gli oli ottenuti dalle olive, il testo di riferimento a livello mondiale (è il riferimento per la World Trade Organization -WTO) è il Codex Alimentarius, emanazione della FAO/WHO, ai cui standard si devono attenere tutti i Paesi aderenti, anche se l'adozione è su base volontaria.

In pratica si tratta di una norma sulla cui elaborazione possono incidere le opinioni e le necessità dei paesi non membri della UE o del COI, indipendentemente se siano o meno produttori di oli da olive.

Deviazioni dai limiti degli standard

La varietà di cultivar e di ambienti climatici in cui si coltiva l'olivo si è molto ampliata col passare degli anni, e ciò ha messo in evidenza come i limiti stabiliti all'interno della produzione UE e dai Paesi aderenti al COI non risultassero applicabili a tutte le produzioni che raggiungono il mercato.

Nella tabella 3 sono riportati i principali parametri per i quali occasionalmente le produzioni riportate in

Tab. 3 - Parametri che occasionalmente non rientrano nei limiti, classificati per Paese produttore.
Tab. 3 - Parameters that occasionally fall outside the limits, classified by producing country.

Parametro che non rientra nei limiti	Paese produttore
Campesterolo	Argentina, Australia
Δ-7-stigmastenolo (oli vergini ed extra vergini)	Spagna, Siria, Turchia
Δ-7-stigmastenolo (oli lampanti)	Siria, Turchia
Δ-7-stigmastenolo (oli di sansa)	Tunisia
B-sito sterolo apparente (oli vergini ed extra vergini)	Argentina
B-sito sterolo apparente (oli lampanti)	Siria, Turchia
B-sito sterolo apparente (Oli di sansa)	Tunisia
Steroli totali (oli extra vergini e vergini)	Spagna, Siria, Italia
Eritrodiolo + Uvaolo	Portogallo, Spagna, Turchia
Cere	Argentina
Acido Palmitico	Argentina
Acido Palmitoleico	Argentina
Acido Oleico	Argentina
Acido Linoleico	Argentina, Spagna
Acido Linolenico	Argentina, Marocco

tabella non rispettino i relativi limiti fissati dalla Norma Commerciale del COI.

L'elaborazione di standard condivisi ha quindi reso necessario l'accettazione di una serie di compromessi, per fare in modo che le varie produzioni potessero rientrare in essi.

Emblematico è quanto è accaduto per la composizione degli acidi grassi: anche se come si è detto essa ha perso gran parte del suo potere diagnostico per accertare l'origine botanica di un olio, tuttavia nei regolamenti comunitari, nella norma commerciale del COI e nello standard del Codex Alimentarius, sono riportati limiti o intervalli di valori al di fuori dei quali un olio non può essere classificato come olio ottenuto dalle olive, essendo la composizione degli acidi grassi un parametro di purezza.

In particolare, lo standard della UE riportava per l'acido linolenico un valore massimo non superiore a 0,9% (ricordiamo che questo acido risulta importante per la messa in evidenza di commistioni con olio di soia), le produzioni italiane in genere si assestavano sullo 0,5-0,7, ma nei primi anni 2000, in altre aree di coltivazione, si iniziò ad evidenziare la presenza di produzioni con più dell'1% di tale acido: fu per primo il Marocco a produrre dati analitici dai quali si notava che la cv Picholine Marocaine, se irrigata, produceva olio con circa 1-1,2% di acido linolenico.

Tale situazione, definita inizialmente come "anomalia compositiva" ed in seguito come "caratteristica varietale", venne segnalata anche dall'Australia che reclamò un incremento del limite fino ad 1,6%.

In considerazione di questo, venne richiesto al COI di condurre un'indagine in merito, ma poiché non si

giunse ad un accordo (l'Italia in particolare si oppose a questo incremento), il limite per questo parametro venne rimosso dallo standard del Codex.

In tema di deviazioni dai limiti normati a carico degli acidi grassi, una situazione curiosa si venne a determinare per gli acidi grassi a 17 atomi di carbonio, saturo ed insaturo, che non sono diagnostici di nessuna possibile frode.

L'adozione di un metodo analitico, o "Metodo globale", basato sull'uso di un software che, partendo dalle composizioni degli acidi grassi e dei trigliceridi, classificava gli oli come rispondenti agli standard di purezza oppure no comportò la necessità di esprimere il valore percentuale degli acidi grassi con due cifre decimali; nel caso dei due acidi a 17 atomi di carbonio, l'inserimento di uno "zero" dopo il primo decimale portò il limite da 0,3 a 0,30, in tal modo ponendo oli con 0,31-0,34 % di C17:0 al di fuori della norma.

In questa situazione, l'olio ottenuto dalla cv Carolea non poteva essere riconosciuto come olio ottenuto dalle olive; per tale ragione, nel 2016, il COI e la UE accolsero la richiesta italiana di elevare il limite a 0,40%.

La richiesta della modifica del limite per l'acido linolenico fu solo la prima di una nutrita serie di segnalazioni di composizioni "anomale" che coinvolsero anche la composizione degli steroli, con Argentina, Australia ed in misura molto più circostanziata la Spagna che reclamarono un aumento del limite per il campesterolo (da 4,0 % ad almeno 4,8-5), e Siria che reclamava per l'aumento del limite del Δ7stigmastenolo (da 0,5% a 0,7-0,8%) (Mailer et al, 2010, Guillaume et al, 2012).

Il problema dell'elevato contenuto di campesterolo veniva segnalato in particolare per le cv Barnea (Guillaume, 2011, Mailer, 2012) e per la cv Cornicabra (Salvador M.D., 2001).

E' opportuno ricordare che il primo sterolo menzionato è utile alla messa in evidenza di commistioni con oli di semi in generale, il secondo in particolare di olio di girasole o di cartamo, ricco di acido oleico.

Il problema che si poneva era di non espellere dal mercato oli genuini, per non penalizzare alcune produzioni, ma anche di non aprire pericolose falle nella griglia analitica che tutela la purezza dei prodotti.

La soluzione individuata, già alla fine degli anni '90 dalla Commissione Tecnica Governativa Ministeriale Italiana fu di proporre degli "alberi decisionali" che consentissero di riconoscere come genuini alcuni oli, pur in presenza di alcune caratteristiche compositive non rientranti negli standard.

Le figure 3 e 4 riportano gli alberi decisionali che

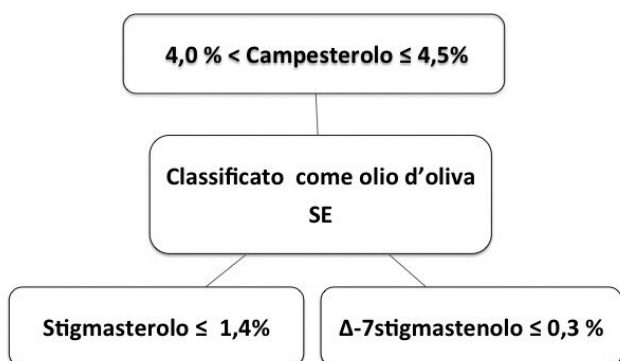


Fig. 3 - Albero decisionale per il riconoscimento della genuinità di oli con contenuto percentuale di campesterolo eccedente il limite fissato dalla Norma Commerciale del COI.

Fig. 3 - Decisional tree suitable to assess the authenticity of olive oils with a relative content (%) of campesterolo exceeding the limit fixed by IOC Trade Standard.

oggi si ritrovano nel regolamento UE ed allo standard del COI, così come vennero pubblicati nel 2005 (Commissione Tecnica Governativa Italiana, 2005).

La ratio che ha guidato l'elaborazione di questi alberi decisionali è stata di restringere i valori accettati per altri parametri analitici, i cui limiti avrebbero potuto essere superati se l'incremento di quello del parametro per il quale si chiedeva una modifica fosse dipeso dalla presenza di oli estranei.

Per verificare se questi oli con composizione non in linea con gli standard fossero genuini o meno i campioni genuini segnalati come "anomali" dai paesi produttori sono stati analizzati da due laboratori riconosciuti dal COI. Nella maggior parte dei casi gli oli in oggetto risultarono genuini in quanto la loro composizione rispettava pienamente gli standard compositivi, ad eccezione del parametro segnalato e senza che nessun altro parametro mettesse in evidenza la possibilità che si trattasse di oli ottenuti fraudolentemente.

Differente è la situazione per anomalie la cui messa a norma è stata reclamata, ad esempio, dall'Argentina, relativa al contenuto di cere che eccederebbe il limite di legge stabilito per gli oli extra vergini (≤ 150 mg/kg), a causa della presenza di elevati contenuti della cera a 40 atomi di carbonio, determinata da una insufficiente separazione cromatografica della cera lineare dall'estere dell'acido beenico con il fitolo. Ciò nonostante, la decisione del COI, adottata anche dalla UE, fu di risolvere il problema eliminando la cera lineare a C40 dal computo, approccio abbastanza pericoloso se dovesse essere esteso ad ogni altra situazione critica dell'analitica di questi oli, in quanto potrebbe portare a rimuovere molte caratteristiche di purezza dagli standard internazionali, così vanificando gli sforzi di armonizzazione volti a rendere

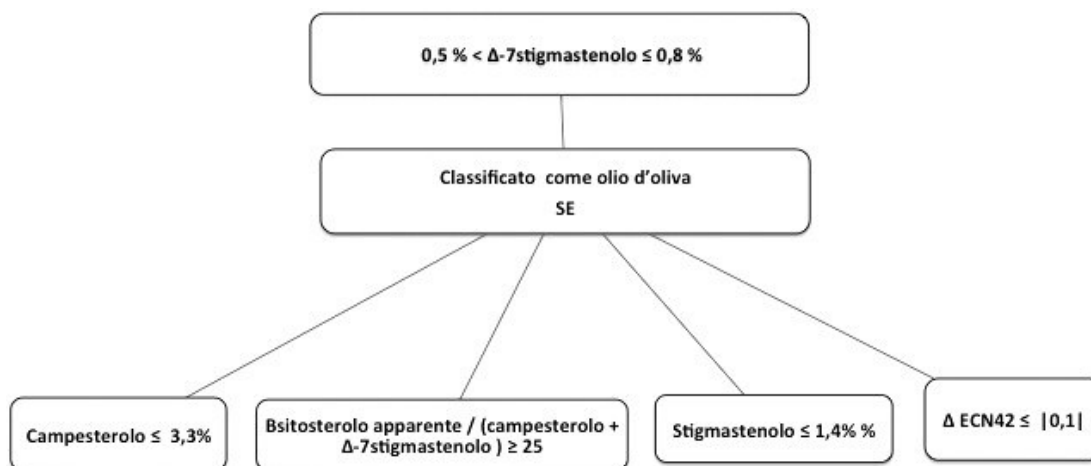


Fig. 4 - Albero decisionale per il riconoscimento della genuinità di oli con contenuto percentuale di Δ-7-stigmastenolo eccedente il limite fissato dalla Norma Commerciale del COI.

Fig. 4 - Decisional tree suitable to assess the authenticity of olive oils with a relative content (%) of Δ-7-stigmastenol exceeding the limit fixed by IOC Trade Standard.

re più agevole la commercializzazione degli oli d'oliva su scala mondiale

Conclusioni

Gli esempi riportati in questo articolo rendono evidenti le difficoltà nello stabilire standard compositivi condivisi a livello mondiale, così come il fatto che ci si trova a standardizzare la composizione di prodotti derivanti da complesse e non ancora completamente note interazioni tra genotipo, fenotipo, ambiente di coltivazione, intendendo con quest'ultimo termine anche gli andamenti climatici che anno per anno caratterizzano le varie zone.

A questa difficoltà, si aggiungono i tempi amministrativi/politici della modifica di norme sulle quali si è raggiunto un accordo: la UE deve recepire nei suoi regolamenti le modifiche della Norma Commerciale del COI e ciò allunga ulteriormente i tempi, che purtroppo possono diventare non compatibili con la produzione e commercializzazione degli oli, le cui anomalie sono talvolta dovute a scelte che hanno privilegiato aspetti agronomici sulle caratteristiche chimiche dell'olio; se in alcuni casi non era prevedibile il comportamento della pianta in un ambiente nuovo, il che avrebbe dovuto comunque suggerire prudenza nel fare investimenti importanti in tempi brevi, in alcuni altri casi, come ad esempio la scelta della cv Barnea, che già nel Paese d'origine evidenzia in alcune annate un valore di campesterolo eccedente i limiti, il problema poteva essere atteso.

In fondo alla filiera ci sono i chimici dell'olio, ai quali si chiede di fare miracoli, mettendo a norma ciò che a norma non è ed in più di farlo *ex-ante*, ma acquisendo dati compositivi *ex post*.

Riassunto

L'incremento della superficie agricola destinata alla produzione di olio d'oliva in paesi non tradizionalmente produttori ha messo in evidenza la sensibilità dell'olivo alle condizioni ambientali, al punto di produrre olio con caratteristiche che non rientrano negli standard internazionali. La definizione degli standard a livello mondiale è un altro grande tema: il problema è non espellere dal mercato oli genuini nel contempo non aprendo la porta al rischio di contraffazioni; in questa review verranno presi alcuni esempi emblematici di queste problematiche.

Parole chiave: Olio extra vergine d'oliva, standards internazionali, composizione acidi grassi, composizione steroli.

Bibliografia

- APARICIO R., APARICIO-RUIZ R., 2000. *Authentication of vegetable oils by chromatographic techniques*. J Chromatog. A, 881: 93-104.
- CAPELLA P., 1963. *Componenti minori degli olii vegetali. Separazione e studio degli alcoli triterpenici e degli steroli*. Riv. It. Sostanze Grasse, 40: 660-665.
- CASADEI E., 1987. *First results on detection of adulterated olive oil products with hazelnut and/or esterified oils by HPLC of triglycerides*. Riv. It. Sostanze Grasse, 69: 373-376.
- COMMISSIONE TECNICA GOVERNATIVA ITALIANA, Sottocommissione Oli vegetali. 2005. *Definizione di criteri analitici obiettivi per la valutazione della purezza di oli d'oliva vergini con specifiche caratteristiche analitiche che non rientrano nei limiti prescritti dalle norme comunitarie*. Riv. It. Sostanze Grasse, 82: 323-327.
- FEDELI E., LANZANI A., CAPELLA P., JACINI G., 1966. *Triterpene alcohols and sterols of vegetable oils* J. Am. Oil Chem. Soc. 43: 254-256.
- GUILLAUME, C., RAVETTI L., RAY D. L., JOHNSON J., 2011. *Technological factors affecting sterols in Australian olive oils*. J Am. Oil Chem. Soc., 89: 29-39.
- KNOWLES P.F., 1969. *Modification of quantity and quality of safflower oil through plant breeding* J. Am. Oil Chem. Soc., 46: 130-132.
- ITOH T., TAMURAT., MATSUMOTO T., 1973. *Sterol composition of 19 vegetable oils* J. Am. Oil Chem. Soc., 50 (4): 122-125.
- ITOH T., YOSHIDA K., YATSU T., 1981. *Triterpene Alcohols and Sterols of Spanish Olive Oil*, J. Am. Oil Chem. Soc., 58: 545-550.
- MAILER R., AYTON J., GRAHAM K., 2010. *The influence of growing region, cultivar and harvest time on the diversity of Australian olive oil*. J. Am. Oil Chem. Soc., 87: 877-884.
- MAILER, R.J., AYTON, J., 2012. *The effect of cultivar and location on some minor components in Australian extra virgin olive oil*. Acta Hort. 949: 171-175.
- MARIANI C., BELLAN G., GROB K., 1995. *Sulla complessità della frazione sterolica delle sostanze grasse. Separazione del campesterolo in due epimeri*. Riv. It. Sostanze Grasse, 72: 97-104.
- SALVADOR M.D., ARANDA F., GOMEZ-ALONSO S., FREGAPANE G., 2001. *Cornicabra virgin olive oil: a study of five crop seasons. Composition, quality and oxidative stability*. Food Chem., 74: 267-274.

Sitografia

- Consiglio Oleicolo Internazionale *Trade standard applying to olive oils and olive-pomace oils* COI/T.15/NC No 3/COI/T.15/NC No 3/Rev. 11, July 2016
<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/222-standards>, consultato il 15 Aprile 2017.

Can pruning reduce the likelihood of tree failure?

Brian Kane

Massachusetts Arborists Association Professor, Department of Environmental Conservation, University of Massachusetts

Ricezione: 05 settembre 2017; Accettazione: 10 ottobre 2017

Riduzione degli abbattimenti mediante potatura

Riassunto. Gli alberi che crescono nelle città e nei centri urbani offrono molti vantaggi, ma poiché crescono in prossimità degli obiettivi, presentano intrinsecamente un certo grado di rischio. Il rischio effettivo dipende dalla probabilità di fallimento dell'albero, dalla probabilità che un albero fallito abbia un impatto su un bersaglio e dalla gravità delle conseguenze dell'impatto target. Nell'ambito della valutazione del rischio alberi, gli arboricoltori spesso potano alberi per ridurre la probabilità di fallimenti (o per eliminarli completamente, rimuovendo rami o alberi difettosi). La teoria meccanica semplice fornisce una comprensione concettuale dei fattori che determinano la probabilità di fallimento dell'albero e di come la potatura possa o meno alterare tali fattori. Mentre alcuni fattori (come il tasso di chiusura della ferita e l'entità del decadimento che si forma dopo la potatura) sono stati studiati per molti anni, altri fattori (come la resistenza aerodinamica, il momento flettente indotto dal trascinamento, le caratteristiche di oscillazione-frequenza e il rapporto di smorzamento) sono stati studiati solo di recente. La potatura influisce su tutti questi fattori: riduzione della resistenza aerodinamica e del momento flettente indotto dal trascinamento, più o meno proporzionato alla biomassa potata; aumento della decolorazione con tagli impropri di potatura. Per unità di biomassa potata si prevedono differenze tra i tipi di potatura: i tipi di potatura che accorciano la chioma e rimuovono proporzionalmente più superfici fogliari in modo più efficace riducono il trascinamento e il momento flettente indotto dal trascinamento. Gli studi sono limitati dalla considerazione di specie e condizioni di crescita relativamente scarse e dall'analisi di specie e condizioni di crescita per lo più piccole (i cui risultati non possono essere facilmente estesi ad alberi più grandi). Né molti studi hanno considerato gli effetti a lungo ter-

mine della potatura sulla probabilità di fallimento. Nonostante l'effetto dimostrato della potatura sui parametri meccanici relativi alla probabilità di cedimento degli alberi, pochissimi studi condotti su alberi in avaria e in piedi a seguito di una tempesta hanno rivelato differenze nella probabilità di cedimento direttamente attribuibili alla potatura.

Parole chiave: Potatura, trascinamento, momento flettente, decadimento, stress.

Introduction

Trees growing in towns and cities - amenity trees - provide many benefits: ecosystem services; reducing pollution and energy use; improving physical and mental health, local commerce, and property values; and increasing biodiversity in urban areas [see, for example, Part II in Ferrini *et al.*, (2017)]. However, amenity trees present a degree of risk because failure of the tree (or branch) can damage property or injure persons. Injuries can sometimes be fatal (Schmidlin, 2009), causing grief and, possibly, involving costly litigation (Mortimer and Kane, 2004).

To manage risk, arborists first assess risk, which depends on the likelihood of tree failure, the likelihood of a failed tree impacting a target, and the severity of the consequences of that impact (Smiley *et al.* 2011). Arborists recognize the value of amenity trees, and removing trees that present a degree of risk is not necessarily the best choice. Instead, arborists attempt to mitigate risk, often through arboricultural practices intended to reduce the likelihood of tree failure. Pruning is arguably the most common arboricultural practice used to reduce the likelihood of failure, and there are different types of pruning to achieve this objective. Although pruning types may have different names in different countries, the types are mostly similar. For example, the removal of lower branches on the

* bkane@eco.umass.edu

trunk to achieve vertical clearance is variously referred to as, “raising,” “elevating,” or “lifting”. In this review, I will use terms from Part 1 of the American National Standards Institute A300 Standard (Anonymous, 2008). The Standard was revised in 2017, but previous research has primarily used terms consistent with the 2008 revision. Removing structurally defective branches that have an intrinsically greater likelihood of failure eliminates the likelihood of failure of the defective branch. In this review, I will focus instead on pruning types used to reduce the likelihood of failure without removing entirely the defective part. Throughout this review and unless explicitly state otherwise, “failure” or “tree failure” denotes the mechanical failure of either the whole tree or part of the tree.

Common pruning types that have been studied include raising, reduction - shortening crown length or width, and thinning - decreasing crown density by selectively pruning live branches without altering crown shape or size (fig. 1). For comparison, inadvisable pruning types have also been studied, including topping - using internodal cuts to reduce crown length or width, and lion’s-tailing - removing all but the most distal foliage from all primary branches. Pruning cuts have also been studied for their effect on discoloration and decay. An excellent review on pruning cuts used in Arboriculture and Forestry describes “branch collar” and “flush” cuts in detail (O’Hara

2007). The former are cuts made distal to the branch collar; the latter are parallel and proximal to the trunk, removing the branch collar (fig. 2). Arborists also employ reduction (rather than heading or internodal) cuts to shorten branches (Gilman and Lilly, 2008). “How-to” pruning references caution against leaving a “branch stub” that protrudes beyond the branch collar because of the greater likelihood of associated discoloration and decay.

In this review, I will first introduce relevant concepts underlying mechanical failure. In reality, estimating the likelihood of failure is probably impossible, even with very advanced mechanical modeling. But since arborists nevertheless need to assess tree risk, understanding the fundamental mechanical principles provides important conceptual insights into why trees fail and how pruning may reduce the likelihood of failure. Following the overview of relevant theory, I will review the literature pertaining to each relevant mechanical principle. I will conclude with a summary of the limitations of existing research and important gaps in the literature that future studies should address.

Theoretical considerations

Mechanical failure of a root, trunk or branch occurs when the applied stress (from external loads

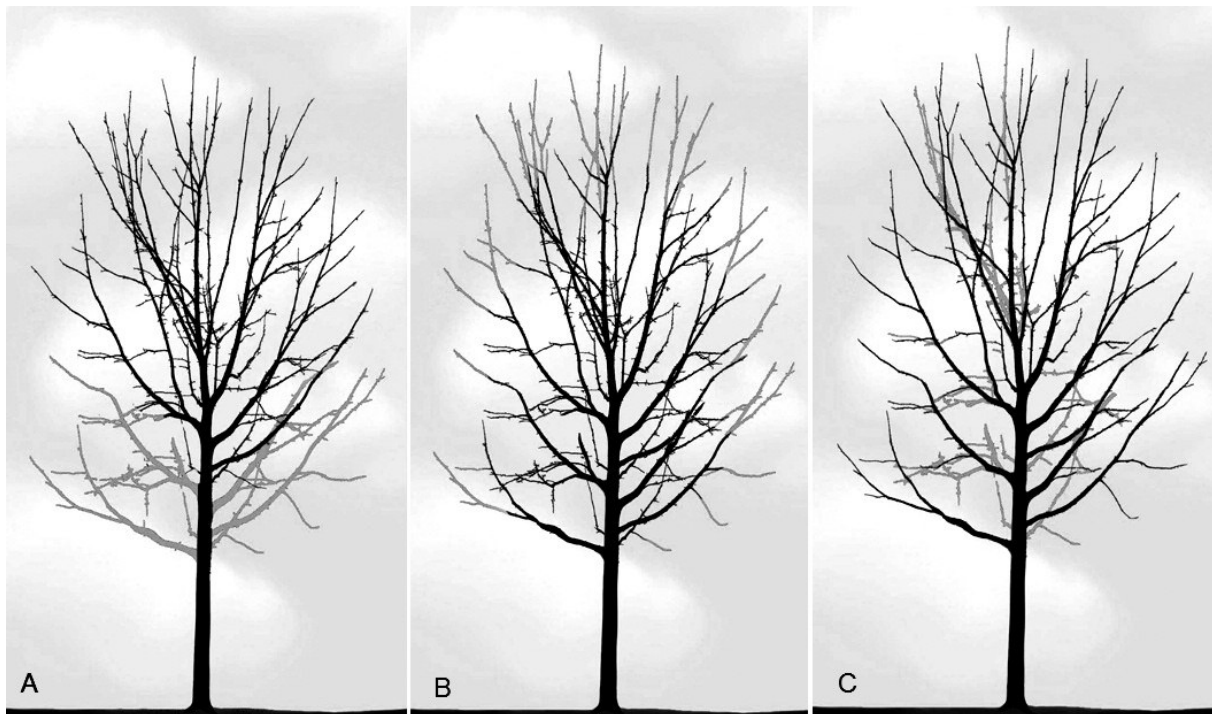


Fig. 1 - From left to right, three common pruning types following Anonymous (2008): raising, reduction, thinning; light gray shading indicates branches or branch portions that would be removed in each pruning type.

Fig. 1 - Da sinistra a destra, tre tipi comuni di potatura (Anonymous, 2008): aumento, riduzione, assottigliamento; l'ombreggiatura grigio chiara indica le filiali o le parti del ramo che verrebbero rimosse in ogni tipo di potatura.

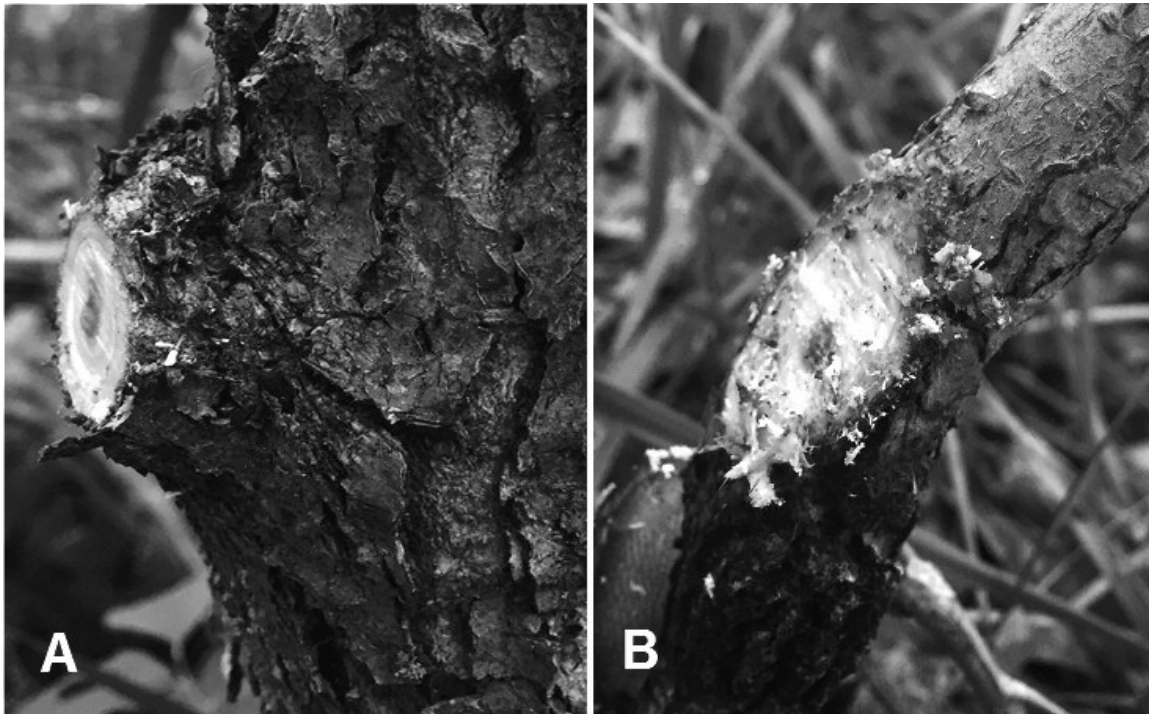


Fig. 2 - Branch collar (left) and flush cuts; the branch collar (visible as a swollen area of wood where the branch meets the trunk) is preserved in the former and removed in the latter, which creates a larger wound.

Fig. 2 - Collare filiale (a sinistra) e tagli a filo; il collare del ramo (visibile come un'area gonfia di legno dove il ramo incontra il tronco) è conservato nel primo e rimosso nel secondo, che ha una ferita più grande.

such as gravity and wind) exceeds the wood strength. Stress and strength are expressed in units of force divided by area (N/m^2 or Pa). (Windthrow can also occur when drag-induced bending moment - see below - exceeds the resistive moment provided by the root-soil interface. Since pruning is undertaken to reduce the drag-induced bending moment, the results of pruning studies on the likelihood of windthrow still apply, but I will not specifically address the mechanics involved). Depending on the line of action of a force relative to the member upon which it acts, different types of stress may be induced. Wood exhibits different strengths that are matched to each type of stress.

Wind is a primary cause of tree failure, and studies have focused on whether and how pruning can decrease the likelihood of wind-induced failure. In the wind, trees primarily experience bending stress, but shear and torsional stress also occur. Bending stress (σ) is calculated as follows:

$$[1] \quad \sigma = M * y / I,$$

where M is the applied bending moment and y and I represent one-half of the diameter (d), and the second moment of area of the cross-section where stress is calculated, respectively. For an approximately circular cross-section, the formula to calculate I is:

$$[2] \quad I = \pi / 64 * d^4.$$

Analogous formulas for the second moment of area exist for elliptical cross-sections or those of other shapes. The applied bending moment is the product of the applied force (F) and the distance between its line of action and the point at which one calculates stress, which is also known as the lever (L):

$$[3] \quad M = F * L.$$

Combining equations 1 - 3 and simplifying gives the equation to calculate bending stress in a beam of approximately circular cross-section:

$$[4] \quad \sigma = 32 * F * L / (\pi * d^3).$$

Wind is the most common cause of tree failure, but snow and ice also cause many tree failures. Arborists rarely prune trees to reduce the likelihood of snow- or ice-induced failure because (1) such storms occur less frequently and (2) the weight of accumulated snow or ice often induces stresses of such magnitude that typical pruning would not meaningfully reduce the likelihood of failure. The equation to calculate the force of the wind or drag (D) is:

$$[5] \quad D = 0.5 * \rho * C_D * A * U^2,$$

where ρ is air density, C_D is drag coefficient (a measure of how easily a fluid moves around a structure), A is frontal area, and U is wind velocity. Substituting D in equation 5 for F in equation 4 and simplifying gives:

$$[6] \quad \sigma = 16 * \rho * C_D * A * U^2 * L / (\pi * d^3).$$

Pruning can affect the likelihood of failure by altering the following parameters in equation 6: crown area, drag coefficient, lever, and diameter - as a surrogate for cross-sectional area.

Effect of pruning on likelihood of failure

Effect of pruning on drag and drag-induced bending moment

Immediately following pruning, crown area, and possibly drag coefficient and lever, will be less. This effect may last for one or more growing seasons, depending on the pruning severity; growing conditions; and age, health, and species of tree. Following pruning, as the tree continues to grow, however, pruning-induced reductions in crown area, drag coefficient, and lever will eventually disappear. For particularly vigorous individuals, the effect of pruning may last only a single growing season.

Studies examining the effects of pruning on the likelihood of failure have only considered the short-term effects of pruning, and nearly all studies have measured relatively small trees, not those for which arborists would assess risk. Pruning reduces drag by reducing area (Smiley and Kane 2006; Gilman *et al.*, 2008a; Pavlis *et al.*, 2008; Gilman *et al.*, 2015) and drag coefficient (Cao *et al.*, 2012). Quantifying crown area is difficult; studies often measure crown mass as well. In experiments, crown mass is more easily measured, is proportional to drag, and is better correlated with drag than crown area (Mayhead *et al.*, 1975; Rudnicki *et al.*, 2004; Vollsinger *et al.*, 2005; Kane and Smiley, 2006; Kane *et al.*, 2008). Thus, it is not surprising that there is a direct correlation between pruning-induced reductions in mass and drag (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008). The location in the crown from which biomass is removed (assuming the same proportion of woody and non-woody biomass) tends not to affect drag (Mayhead *et al.*, 1975), which remains proportional to the mass removed. For wind speeds up to 22.4 m/s, per unit of pruned biomass, reduction pruning more effectively reduced drag than thinning (Smiley and Kane, 2006) or raising (Pavlis *et al.*, 2008) on red maple (*Acer rubrum* L.), Freeman maple (*Acer x freemanii*), and swamp white

oak (*Quercus bicolor* Willd.), but not shingle oak (*Quercus imbricaria* Michx.).

Acting like flags, leaves have a greater drag coefficient than a rigid structure of the same size and shape (Vogel, 1994). Consequently, they experience disproportionately greater drag than woody branches. In-leaf trees experience considerably greater drag than leafless trees (Kane and Smiley, 2006) (fig. 3), and the effect of pruning on drag reduction in red maple was small compared to the reduction due to leaf senescence (Smiley and Kane, 2006). Consequently, in temperate climates, pruning to reduce drag may be less effective if the likelihood of severe wind events is greater when trees are leafless. A better understanding of the seasonal variation in weather events will provide perspective on the effectiveness of pruning at reducing the likelihood of failure.

With respect to drag, wind speed is an important factor. Equation 1 shows that wind speed, which is squared, influences drag more than other factors. This effect has also been demonstrated experimentally: the analysis of variance in Gilman *et al.* (2008a) showed that the effect of wind speed was nearly five and ten times greater than the effects of pruning severity and type, respectively. In contrast, pruning only reduces the area and drag coefficient in equation 1, and the reduction in drag, as noted above, is generally linearly proportional to the pruned mass. To maintain constant drag if wind speed doubles, an arborist must (unrealistically) reduce crown mass by 75%, indicating that there is a limit to pruning's effectiveness at very high wind speeds experienced during storms. Tree failure

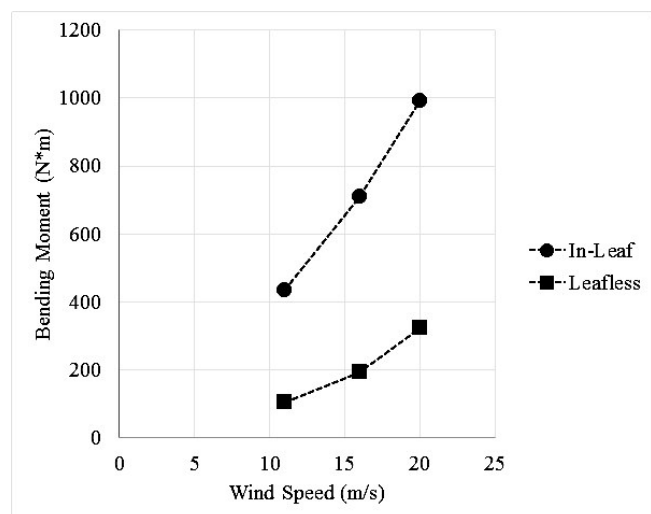


Fig. 3 - Mean drag-induced bending moment [calculated from a sample of 6 red maples (*Acer rubrum* L.)] versus wind speed for the same individuals in-leaf and leafless.

*Fig. 3 - Momento di flessione indotto dal trascinarsi medio [calcolato da un campione di 6 aceri rossi (*Acer rubrum* L.)] rispetto alla velocità del vento per gli stessi individui in foglia e senza foglie.*

occurs under a variety of loading conditions, however, and pruning remains a useful method for reducing the likelihood of failure.

In addition to reducing drag, pruning can also change the drag-induced bending moment (equation 3) by changing the lever. Equation 3 shows that, in theory, pruning can increase the drag-induced moment if the increase in the lever exceeded the reduction in drag. The lever depends on the vertical distribution of drag on the crown because the wind acts as a distributed load. The shape and size of the crown determine the distribution of drag. Ignoring the effect of increasing wind speed with height above ground and assuming the same drag coefficient, wind speed, and air density, the same area of foliage in two crowns experiences the same drag. Assuming that the shape of the crown in two trees is a right circular cone of the same area, but in one tree the vertex of the cone is at the top of the tree while in the other tree it is at the base of the crown, the drag-induced bending moment will be greater for the latter because the lever will be longer - more foliage is higher in the crown. This effect is compounded because wind speed generally increases with height above ground.

As expected from findings on drag, the drag-induced bending moment increases with tree mass and wind speed (Kane and Smiley, 2006; Kane *et al.*, 2008), and pruning generally reduces drag-induced bending moment (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008) and trunk deflection, a surrogate measurement (Gilman *et al.*, 2008a) in proportion with pruned mass. The effect is most noticeable at higher wind speeds (Smiley and Kane, 2006; Gilman *et al.*, 2008a,b). Although the location of pruned biomass does not affect drag, the location of pruned branches does influence the drag-induced bending moment (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008) and trunk deflection (Gilman *et al.*, 2008a,b). Raising, which removes branches in the lower crown to achieve vertical clearance (Anonymous, 2008), increases the lever arm. As noted above, increasing the lever can increase the drag-induced bending moment even if drag is reduced. Raising can also increase bending higher up on the trunk where foliage is concentrated (Gilman *et al.*, 2008b), which potentially increases the likelihood of failure of a trunk unaccustomed to a new axial distribution of bending stress. In contrast, reduction pruning, which shortens the crown and, consequently, the lever, more effectively reduces drag and drag-induced bending moment (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008) or trunk deflection (Gilman *et al.*, 2008a,b). Per unit mass removed, reduction pruning also more effectively reduced drag-induced

bending moment than raising (Pavlis *et al.*, 2008) and thinning (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008) because reduction pruning disproportionately removes leaves rather than rigid branches. Although Gilman *et al.* (2008a) did not find differences in trunk deflection between reduction and other pruning types (except thinning), the disparity might be attributed to (i) using trunk deflection instead of measuring bending moment directly—deflection is inversely proportional to the fourth power of trunk diameter, so small differences between trees can dramatically alter deflection, and (ii) not normalizing the effect of pruning type by the mass removed.

Effect of pruning on tree sways

The interaction between wind and trees is dynamic: changes in wind speed and tree motion in response to wind occur over brief time intervals (seconds rather than minutes or hours). Studies that have examined the effect of pruning on drag (Rudnicki *et al.*, 2004; Vollsinger *et al.*, 2005; Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008), drag coefficient (Cao *et al.*, 2012), and drag-induced bending moment (Smiley and Kane, 2006; Pavlis *et al.*, 2008) or trunk deflection (Gilman *et al.*, 2008a,b) have considered effectively static, rather than gusty wind. Equation 6 can be used to calculate the static drag-induced bending stress, but dynamic stresses can exceed the static stress, which is known as dynamic amplification (Ciftci *et al.* 2013).

Quantifying dynamic stress induced during tree sways requires an understanding of the tree's natural frequency (the number of tree sways per second—Hz) and damping ratio (its ability to dissipate energy, expressed as a percentage of the critical damping). Some work has examined the effect of pruning on the natural frequency and damping ratio of plantation-grown conifers (Moore and Maguire, 2005), but their excurrent form precludes extrapolation to open-grown trees of decurrent form. Sways of forest- or plantation-grown conifers can be modeled using dynamic beam theory for a single-degree-of-freedom cantilever beam (Moore and Maguire, 2004), but it does not apply to open-grown trees (Baker, 1997; Kane *et al.*, 2014) because branches account for a greater proportion of overall tree mass. Individual large branches can affect the sway response of an open-grown tree (Ciftci *et al.*, 2013; James, 2014), which is better modeled as a multiple-degree-of-freedom system (James, 2003).

The effect of pruning on natural frequency and damping ratio of amenity trees has not been extensively tested. Gilman *et al.* (2015) measured the effect

of pruning on trunk strain (another surrogate measure of bending moment) in a simulated, turbulent wind at four different frequencies, but there do not appear to be any rigorous studies that have quantified the effect of pruning on wind-induced tree sways. Most studies have investigated the effect of different types of pruning on natural frequency and damping ratio using a “pull-and-release” test (Kane and James, 2011; James, 2014; Miesbauer *et al.*, 2014).

Reduction pruning tends to have a greater effect on increasing frequency than raising or thinning (Kane and James, 2011), which is consistent with the simple physical model of a less slender cantilevered beam vibrating at higher frequency. Trees that sway at higher frequency absorb less wind energy, which theoretically reduces the likelihood of failure (Baker, 1995). Pruning moderate amounts of biomass did not affect damping ratio (Kane and James, 2011). Unless pruning removes substantial biomass from a tree (particularly non-woody biomass), it will not likely induce changes in damping ratio as large as leaf senescence (Kane and James, 2011; Miesbauer *et al.*, 2014). For example, damping ratio of leafless trees was up to 75% less than trees in-leaf for three species (Kane and James, 2011; Miesbauer *et al.*, 2014) because of the loss of drag on leaves—their fluttering efficiently dissipates wind energy. Larger pruning-induced changes on frequency and damping ratio can be achieved with more severe pruning (James, 2014), but rarely would such severe pruning be warranted. The effect of leaves on frequency and damping ratio reiterates the importance of the seasonal occurrence of severe wind events with respect to whether pruning will measurably reduce the likelihood of tree failure. Testing greater pruning severities on amenity trees is also necessary to explore further the effect of different types of pruning on sway characteristics.

Effect of pruning on decay

Pruning can also affect the likelihood of failure by altering the cross-sectional area (see equation 6) of the trunk, branch, or root, and by changing wood strength. Discoloration and decay sometimes form at the site of pruning cuts. Even incipient decay can dramatically reduce wood strength (Wilcox 1978), which means that for the same wind-induced bending stress, likelihood of failure is greater for decayed wood. If repeated pruning or bad pruning cuts induce substantial decay, the likelihood of failure may increase even if the wind-induced bending moment is reduced. Similarly, if decay organisms completely digest the cellular wood components, creating a hollow cross-section, the bending stress will increase even if the

drag-induced bending moment remains constant. Recent work has demonstrated the effect of decay on the loss in load-bearing capacity of a trunk, branch, or root (Ciftci *et al.*, 2014). Woundwood can have greater strength properties than normal wood (Kane and Ryan, 2003), which can compensate for the decreased strength of decayed wood or the increased stress experienced by a hollow trunk, branch, or root, but more work is needed to understand the extent to which these competing factors counteract one another.

Most studies that have investigated the effect of pruning on discoloration and decay have been undertaken on forest- or plantation-grown trees (typically conifers), and mostly consider a version of raising in which lower branches on the bole are removed (O’Hara, 2007). Pruning forest- or plantation-grown trees usually occurs when the trees are relatively young and vigorous, and pruning wounds are small. For these reasons, it is inappropriate to extrapolate results to amenity trees, which have been studied less extensively. Studies on amenity trees typically are of short duration (examinations are made one to several years after pruning), and measure the rate of wound occlusion and the area and depth of discoloration (not decay) formed after pruning. Dujesiefken and Stobbe (2002) is a notable exception: the authors reported results up to ten years post-pruning. While occlusion rate and discoloration can be surrogates for decay, a more accurate assessment of the effect of pruning on decay formation requires long-term, manipulative studies that measure decay itself.

Evidence from temperate (Dujesiefken and Stobbe, 2002) and tropical (Ow *et al.*, 2013) species has shown that despite faster woundwood growth on flush cuts, because they are larger, it takes longer to occlude the wound, and the area of discoloration is greater than for branch collar cuts. Flush cuts also induce greater cambial dieback, which, on larger wounds, further reduces rate of occlusion (Dujesiefken and Stobbe, 2002). Topping cuts, which are not recommended (Anonymous, 2008; Gilman and Lilly, 2008), also occlude at a slower rate (Fini *et al.*, 2015), which is presumably why they result in greater discoloration and decay (Gilman and Knox, 2005; Dahle *et al.*, 2006a; Fini *et al.*, 2015). Topping cuts also can result in weakly-attached branches (Dahle *et al.*, 2006b; Fini *et al.*, 2015), which are a common structural defect in trees (Smiley *et al.* 2011).

In general, the area of discoloration or decay is proportional to the size of the cut (Dujesiefken and Stobbe, 2002; Gilman and Grabosky, 2006; Grabosky

and Gilman, 2007; Ow *et al.*, 2013), consistent with longer occlusion rates for larger cuts. But there are enough disparities in reported wound occlusion rates (Neely, 1991; Dujesiefken and Stobbe, 2002; Ow *et al.*, 2013) to preclude consensus. For example, Dujesiefken and Stobbe, (2002) reported that many cuts larger than five centimeters in diameter were not completely occluded even after ten years, but other studies have shown that occlusion of even larger wounds can occur within three (Ow *et al.*, 2013) or four (Neely 1991) years. Similarly, although cut diameter explained 62% of the variance in area of discoloration for shumard oak (*Quercus shumardii* Buckl.), it explained only 12% of the variance for live oak (*Quercus virginiana* Mill.) in the same experiment (Grabosky and Gilman, 2007).

Disparities between studies may be partly attributable to growing conditions: work has occurred on street trees (Dujesiefken and Stobbe, 2002; Ow *et al.*, 2013), and in arboreta (Neely, 1991), or in temperate (Neely, 1991; Dujesiefken and Stobbe, 2002) and tropical climates (Ow *et al.*, 2013). Compartmentalization of decay is also related to tree vigor (Dujesiefken and Stobbe, 2002). Studies have also demonstrated considerable variation in wound responses among species in both tropical (Ow *et al.*, 2013) and temperate (Neely, 1991; Dujesiefken and Stobbe, 2002; Grabosky and Gilman, 2007) climates. But substantially more work is needed to understand the effect of pruning on decay. Although Dujesiefken and Stobbe (2002) characterized the genus *Quercus* as a “strong” compartmentalizer, Grabosky and Gilman (2007) found many significant differences in the area of discoloration between shumard oak and live oak.

Data have also revealed differences in wound response for different branch morphology, but not always consistently. Three years after reduction cuts on shumard and live oaks (Grabosky and Gilman, 2007), and four years after branch collar cuts on red maple (Gilman and Grabosky, 2006), the area of discoloration was proportional to the aspect ratio of the pruned branches.

Conclusions

Important limitations that apply to most studies that have investigated pruning are: (1) the use of small, young trees (sometimes within a few years of transplanting) of relatively few genera and species and (2) analysis of trees growing in arboreta or nurseries representing a limited range of climates and soil textures. Controlled conditions are clearly necessary to minimize experimental variability, but they do not

reflect the growing conditions for many trees in towns and cities. Future work should increasingly study trees in towns and cities. Neither is it easy to scale up results from small to large trees. Many mechanical parameters relevant to assessing the likelihood of failure scale non-linearly with size. For example, bending stress is inversely proportional to the cube of cross-sectional diameter, and leaf area increases as a curvilinear function of branch or trunk diameter. Many more tests on full-size trees are necessary to provide insights into whether scaling relationships exist.

Long-term manipulative experiments are also mostly absent from the literature on pruning amenity trees. Such tests would provide valuable insights into the long-term effects of pruning on the likelihood of failure. They would also provide insights into the effects of pruning on long-term tree growth and size, which affects the amount of some benefits that trees provide such as carbon storage, pollution reduction, and shading. Although larger trees can be associated with more severe consequences (and, consequently, greater risk), the degree of risk and its associated potential cost may be offset by the greater benefits larger trees provide. Minimizing tree risk is obviously important, and studies have clearly demonstrated the effect of pruning on many factors that affect the likelihood of tree failure. But when assessing the risks and benefits of trees, it is important to consider (1) the emergent risk associated with trees can be very small (Ball and Watt, 2013) and (2) of studies that have examined whether pruned trees were more likely to fail (Duryea *et al.*, 1996; Luley *et al.*, 2002; Kane, 2008), only Duryea *et al.* (1996) reported a positive impact. As the importance of amenity trees increases, it is clear that much more work is needed to understand both (1) and (2).

Given the research limitations, lack of strong consensus in some research areas, and intrinsic variability of many parameters associated with pruning and likelihood of failure, arborists must still exercise good judgment when estimating the effect of pruning on the likelihood of failure.

Abstract

Trees growing in cities and towns provide many benefits, but since they grow in proximity to targets, they inherently present a degree of risk. Actual risk depends on the likelihood of tree failure, the likelihood of a failed tree impacting a target, and the severity of the consequences of the target impact. As part of tree risk assessment, arborists often prune

trees to reduce the likelihood of failure (or eliminate it entirely, by removing defective branches or trees). Simple mechanical theory provides a conceptual understanding of the factors that determine the likelihood of tree failure and how pruning may or may not alter those factors. While some factors (like the rate of wound closure and extent of decay that forms after pruning) have been studied for many years, other factors (such as drag, drag-induced bending moment, and sway characteristics - frequency and damping ratio) have only recently been investigated. Pruning affects all of these factors: reducing drag and drag-induced bending moment roughly in proportion with pruned biomass; increasing the extent of discoloration with improper pruning cuts. Per unit pruned biomass, there are expected differences between pruning types: pruning types that shorten the crown and remove proportionally more leaf areas more effectively reduce drag and drag-induced bending moment. Studies are limited by the consideration of comparatively few species and growing conditions and testing mostly smaller trees (results of which cannot easily be scaled up to larger trees). Neither have many studies considered the long-term effects of pruning on the likelihood of failure. And despite the demonstrated effect of pruning on mechanical parameters relevant to the likelihood of tree failure, very few studies of failed and standing trees following a storm have revealed differences in the likelihood of failure directly attributable to pruning.

Key words: Pruning, drag, bending moment, decay, stress.

References

- ANONYMOUS 2008. *American national standard for tree care operations: Tree, shrub, and other woody plant management: Standard practices (pruning)*. Londonderry, NH: Tree Care Industry Association.
- BAKER C.J. 1995. *The development of a theoretical model for the windthrow of plants*. J Theor Biol, 175 (3): 355-372.
- BAKER C.J. 1997. *Measurements of the natural frequencies of trees*. J Exp Bot, 48(5): 1125-1132.
- BALL D.J., WATT J. 2013. *The risk to the public of tree fall*. J Risk Res, 16(2): 261-269
- CAO J., TAMURA Y., YOSHIDA A. 2012. *Wind tunnel study on aerodynamic characteristics of shrubby specimens of three tree species*. Urban For Urban Gree, 11(4): 465-476.
- CIFTCI C., BRENA S.F., KANE B., ARWADE S.R. 2013. *The effect of crown architecture on dynamic amplification factor of an open-grown sugar maple (Acer saccharum L.)*. Trees-Struct Funct, 27(4): 1175-1189.
- CIFTCI C., KANE B., BRENA S.F., ARWADE S.R. 2014. *Loss in moment capacity of tree stems induced by decay*. Trees-Struct Funct, 28(2): 517-529.
- DAHLE G.A., HOLT H.H., CHANEY W.R., WHALEN T.M., GRABOSKY J., CASSENS D.L., GAZO R., MCKENZIE R.L., SANTINI J.B. 2006a. *Decay patterns in silver maple (Acer saccharinum) trees converted from roundovers to V-trims*. J Arboric, 32(6): 260-264.
- DAHLE G.A., HOLT H.H., CHANEY W.R., WHALEN T.M., CASSENS D.L., GAZO R., MCKENZIE R.L. 2006b. *Branch strength loss implications for silver maple (Acer saccharinum) converted from round-over to V-trim*. Arboric Urban For, 32(4): 148-154.
- DUJESIEFKEN D., STOBBE H. 2002. *The Hamburg tree pruning System - A framework for pruning of individual trees*. Urban For Urban Gree, 1(2): 75-82.
- DURYEA M.L., BLAKESLEE G.M., HUBBARD W.G. 1996. *Wind and trees: A survey of homeowners after hurricane Andrew*. J Arboric, 22(1): 44-50.
- FERRINI F., KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH C., FINI A. 2017. *Routledge Handbook of Urban Forestry*. London, England: Routledge.
- FINI A., FERRINI F., FRANGI P., PIATTI R., FAORO M., AMOROSO G. 2013. *Effect of pruning time on growth, wound closure and physiology of sycamore maple (Acer pseudoplatanus L.)*. Acta Hortic, 990: 99-104.
- FINI A., FRANGI P., FAORO M., PIATTI R., AMOROSO G., FERRINI F. 2015. *Effects of different pruning methods on an urban tree species: A four-year-experiment scaling down from the whole tree to the chloroplasts*. Urban For Urban Gree, 14(3): 664-674.
- GILMAN E.F., LILLY S.J. 2008. *Best Management Practices-Tree Pruning*. Champaign, IL: International Society of Arboriculture.
- GILMAN E.F., GRABOSKY J.C. 2006. *Branch union morphology affects decay following pruning*. J Arboric, 32(2): 74-79.
- GILMAN E.F., KNOX G. W. 2005. *Pruning type affects decay and structure of crapemyrtle*. J Arboric, 31(1): 48-53.
- GILMAN E.F., HARCHICK C., GRABOSKY J.C., JONES S. 2008a. *Effects of pruning dose and type on trunk movement tropical storm winds*. Arboric Urban For, 34(1): 13-19.
- GILMAN E.F., MASTERS F., GRABOSKY J.C. 2008b. *Pruning affects tree movement in hurricane force wind*. Arboric Urban For, 34(1): 20-28.
- GILMAN E.F., MIESBAUER J.W., MASTERS F.J. 2015. *Structural pruning effects on stem and trunk strain in wind*. Arboric Urban For, 41(1): 3-10.
- GRABOSKY J.C., GILMAN E.F. 2007. *Response of two oak species to reduction pruning cuts*. J Arboric, 33(5): 360-366.
- JAMES K.R. 2003. *Dynamic loading of trees*. J Arboric, 29(3): 165-171.
- JAMES K.R. 2014. *A study of branch dynamics on an open-grown tree*. Arboric Urban For, 40(3): 125-134.
- KANE B. 2008. *Tree failure following a windstorm in Brewster, Massachusetts, USA*. Urban For Urban Gree, 7(1): 15-23.
- KANE B., JAMES K.R. 2011. *Dynamic properties of open-grown deciduous trees*. Can J Forest Res, 41(2): 321-330.
- KANE B., RYAN H.D.P. 2003. *Examining formulas that assess strength loss due to decay in trees: Woundwood toughness improvement in red maple (Acer rubrum)*. J Arboric, 29(4): 209-217.
- KANE B., SMILEY E.T. 2006. *Drag coefficients and crown area estimation of red maple*. Can J Forest Res, 36(8): 1951-1958.
- KANE B., MODARRS-SADEGHI, Y., JAMES, K. R., REILAND, M. 2014. *Effects of crown structure on the sway characteristics of large decurrent trees*. Trees-Struct Funct, 28(1): 151-159.
- KANE B., PAVLIS M., HARRIS J.R., SEILER J.R. 2008. *Crown reconfiguration and trunk stress in deciduous trees*. Can J Forest Res, 38(6): 1275-1289.
- MAYHEAD G.J., GARDINER J.B.H., DURRANT D.W. 1975. *A report on the physical properties of conifers in relation to plantation stability*. Forestry Commission Research and Development Division, Edinburgh, Scotland.

- MIESBAUER J.W., GILMAN E.F., GIURCANU M. 2014. *Effects of tree crown structure on dynamic properties of Acer rubrum L. 'Florida Flame'*. *Arboric Urban For*, 40(4): 218-229.
- MOORE J.R., MAGUIRE D.A. 2005. *Natural sway frequencies and damping ratios of trees: Influence of crown structure*. *Trees-Struct Funct*, 19(4): 363-373.
- MOORE J.R., MAGUIRE D. A. 2004. *Natural sway frequencies and damping ratios of trees: Concepts, review and synthesis of previous studies*. *Trees-Struct Funct*, 18(2): 195-203.
- MORTIMER M.J., KANE B. 2004. *Hazard tree liability in the united states: Uncertain risks for owners and professionals*. *Urban For Urban Gree*, 2(3): 159-165.
- NEELY D. 1991. *Branch pruning wound closure*. *J Arboric*, 17(8): 205-208.
- O'HARA K.L. 2007. *Pruning wounds and occlusion: A long-standing conundrum in forestry*. *J Forest*, 105(3): 131-138.
- OW L.F., GHOSH S., SIM E.K. 2013. *Mechanical injury and occlusion: An urban, tropical perspective*. *Urban For Urban Gree*, 12(2): 255-261.
- PAVLIS M., KANE B.C., HARRIS J.R., SEILER J.R. 2008. *The effects of pruning on drag and bending moments of shade trees*. *Arboric Urban For*, 34(4): 207-215.
- RUDNICKI M., MITCHELL S.J., NOVAK M.D. 2004. *Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for three conifer species*. *Can J Forest Res*, 34(3): 666-676.
- SCHMIDLIN T.W. 2009. *Human fatalities from wind-related tree failures in the united states, 1995-2007*. *Nat Hazards*, 50(1): 13-25.
- SMILEY E.T., KANE B. 2006. *The effects of pruning type on wind loading of Acer rubrum*. *J Arboric*, 32(1): 33-40.
- VOGEL S. 1994. *Life in Moving Fluids*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- VOLLSINGER S., MITCHELL S.J., BYRNE K.E., NOVAK M.D., RUDNICKI M. 2005. *Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for several hardwood species*. *Can J Forest Res*, 35(5): 1238-1249.
- WILCOX W.W. 1978. *Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength*. *Wood Fiber Sci*, 9(4): 252-257.

Urban horticulture and ecosystem services: challenges and opportunities for greening design and management

Federica Larcher*, Marco Devecchi, Luca Battisti, Monica Vercelli

Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Turin

Ricezione: 20 settembre 2017; Accettazione: 18 ottobre 2017

Urban horticulture e servizi ecosistemici: sfide e opportunità per la progettazione e gestione del verde urbano

Riassunto. La crescente urbanizzazione, abbinata al grave ed inarrestabile fenomeno del consumo di suolo, ha comportato negli ultimi anni la forte necessità di una più attenta e lungimirante gestione dell'ambiente urbano per il conseguimento di livelli qualitativi accettabili in una logica di effettiva sostenibilità delle risorse ambientali. Il comparto produttivo "ortoflorofrutticolo" svolge un ruolo importante nelle politiche e strategie operative di gestione accorta e virtuosa delle realtà urbane, nella prospettiva di corretta scelta ed utilizzazione della vegetazione per poter fornire una pluralità di fondamentali servizi ambientali e culturali a favore della società. Si tratta al riguardo, dei cosiddetti servizi ecosistemici, definiti come i benefici che derivano all'uomo dal complesso degli ecosistemi naturali e degli agroecosistemi. Su questi temi si è avviato un vivace e proficuo dibattito in ambito accademico e nella società civile sul ruolo e importanza dell'orticoltura urbana nell'assicurare alle popolazioni urbanizzate molteplici servizi ecosistemici, anche nella prospettiva di meglio comprendere le sfide e le opportunità future in termini di sviluppo realmente sostenibile dei sistemi urbani. L'obiettivo del presente lavoro è di offrire una panoramica ampia e approfondita dei principali concetti e problematiche attualmente oggetto di discussione nel campo dai servizi ecosistemici. In particolare, sono stati analizzati gli studi condotti nei paesi sviluppati in contesti urbani con un approfondimento ai temi più innovativi e promettenti rappresentati dalle infrastrutture verdi. Sono riportati esempi di recenti ricerche che dimostrano il ruolo multifunzionale delle aree verdi urbane nel fornire cibo, nell'assicurare elevati livelli di biodiversità, nel provvedere a servizi di impollinazione, nel mitigare il cambiamento climatico, nel

gestire in modo sostenibile ed avveduto l'acqua, la qualità dell'aria ed, infine, nel garantire l'istruzione e il benessere della popolazione. Sono inoltre suggerite linee guida per la pianificazione e la progettazione del verde urbano.

Key words: aree verdi, soluzioni nature based, biodiversità, impollinatori, benessere.

Introduction

The XXI century fixed the birth of a new paradigm for cities planning, design and management: the multifunctional role of the green infrastructure was recognized and became a goal to be achieved for all the cities in developed and developing Countries. The urbanization and land consuming, together with the growth of people living in and around cities, enhanced the need to take care of the quality of the urban environment. Since 1990s, scientists started working on urban ecosystem, urban ecology, and urban nature. New methods and indicators were developed outlining that the quality of urban green spaces is one of the key factors for improving the quality of life in such dense urbanized environments. Horticulture plays an important role in this contest assessing the scientific principles in defining what, where and how plants must be used in order to provide a multiple range of services for the society.

In Europe, the Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2005) set up the Ecosystem Services (ES) concept with the aim of assessing the consequences of the ecosystem's change on human well-being. The document outlined strategies for the future by focusing on the importance of urban environment due to its precious ecological and environmental functions. ES are defined as the benefits that humans derive from ecosystems. They support directly or indirectly our survival and quality of life. Healthy ecosystems are the

* federica.larcher@unito.it

foundation for sustainable cities, influencing and affecting human well-being and most economic activity (TEEB, 2011). According with the MA, ES are divided in four categories: Provisioning, Supporting, Regulating, and Cultural.

The urban ecosystem of each city is composed by a different combination of green points, lines and areas of different dimension, age and species composition. The green infrastructure involves the soil, water and air matrixes, which must be studied using a holistic approach. Creating healthy and resilient cities, integrating the urban ecology principles into design and management actions, is recommended (McDonnell and MacGregor-Fors, 2016).

The aim of the paper is to debate on the application of the ecosystem services approach in urban horticulture, discussing on challenges and opportunities for future sustainable urban greening design and management. Examples of recent research experiences will be reported.

In order to assess the multifunctional role of urban greening, a review of papers published in the recent years was done. The authors used the most interesting references under their opinion, for offering an overview of the main concepts and issues under discussion. In particular, studies carried out in the developed Countries, done in urban contests with attention to the green infrastructure and discussing selected ES were analysed.

Urban horticulture and ecosystem services

Urban landscapes are the everyday environment for the majority of the global population: since 2015 almost the 80% of the Europeans lives in urban areas. The continuous growth in the number and size of urban areas poses great challenges for ensuring human welfare in cities while preventing an increasing loss of biodiversity. Urbanization affects ES in terms of habitat loss, habitat fragmentation, stormwater management, water and air pollution and loss of cultural values. In the following paragraphs will be discussed: food provisioning; pollination and biodiversity supporting; climate change, water management and air pollution regulating; and cultural ES.

Provisioning

Agriculture plays a key role in managing the peri-urban landscape and the social, aesthetic and environmental functions of urban metropolitan areas. Agroecosystems provide food, fiber and fuel. In the process of producing such goods, however, they depend on numerous support and regulation services,

such as soil fertility and pollination (MA, 2005). It is therefore necessary to use environmentally friendly and sustainable cultivation techniques, avoiding as far as possible the use of pesticides, integrating soil fertility and biodiversity conservation (Tschamtkke *et al.*, 2012). In the case of urban environment, urban and peri-urban agriculture has been defined as the cultivation of crops and rearing of animals for food and other uses within and surrounding the boundaries of cities. Community gardens, allotments, backyard gardens, rooftop gardens and urban farms comprehend a multi-functional production activities, and contribute to fresh food availability, as well as to the greening of the cities.

Despite from the land consumption, several studies have pointed out how urbanisation offers new opportunities for the urban agriculture. In particular, the main challenges to deal with are that the consumers increasingly prefer regional production, particularly for high quality, and natural products such as vegetable or ornamental crops. Furthermore, the urban population prefers landscape amenities derived from a heterogeneous and small-scale farm structure punctuated with natural elements (Zasada *et al.*, 2011).

In Italy, Bologna has always been at the forefront of urban green management, especially with regard to urban agriculture and horticulture. Mapping and quantifying flat roofs suitable for gardening, Orsini *et al.* (2014) determined that the city has a potential of 82 ha of rooftop gardening surfaces, enabling the annual production of over 12.000 t of vegetables a year, covering the 77 % of the urban vegetable requirement. Also the Turin metropolitan Authorities have been recently involved in several projects in order to improve the quantity and quality of local food production, and to promote an informed consume by citizens. With the idea that urban agriculture can also contribute to reduce the cost of managing urban green areas and to introduce alternative forms of management of public spaces, in 2013 the Turin municipality promoted the project 'Torino città da coltivare' (Tecco *et al.*, 2017). The surface of urban gardens in the last five years enhanced up to more than 100 ha (5 m²/inhabitant) and in 2017, the first report for the urban food strategy was launched (www.atlantedelcibo.di.unito.it). European (Life, H2020, Interreg programs) and Regional research projects are in progress in order to assess the urban strategy for the implementation of the ecosystem services provided by urban agriculture, horticulture and, more in general, green areas.

Supporting: Pollination and Biodiversity

In urban green areas, such as in natural and agro-

ecosystems, pollination is an important ecosystem service in order to provide a good productivity and the conservation of biodiversity. Biodiversity itself is an important driver of ecosystem functions and services. Insect pollination is necessary for crops and wild plant species, and bees are the most important pollinating taxon. Many studies have been conducted on pollinators and pollination services in agricultural systems (Brown and Paxton, 2009; Carré *et al.*, 2009), but on the other hand the effects of urban areas are poorly known (Blum, 2016).

In the cities, the high number of closed surfaces, the fragmentation, and the isolation of natural plant populations, influence pollinators and plant pollination, but urban land use can potentially be beneficial to pollinators. Generally, bees need a suitable nesting site and food (pollen and nectar). Concerning nesting, many locations, including soil, pre-existing cavities in walls and other structures, wood and wood substrates, and heterogeneous urban habitats can provide suitable nesting sites for a wide range of bee taxa (Neame *et al.*, 2012). Abundance of cavity-nesting species are registered in urban areas while soil-nesting species are scarce (Mazzeo and Torretta, 2015). Urban land contains habitats such as green areas with parks, community and private gardens, allotments, cemetery, ruderal areas, railways. Green roofs can be also used by pollinators as foraging and nesting habitat (Ksiazek *et al.*, 2012; MacIvor *et al.*, 2015).

Urban areas across all of Europe seem to contain higher levels of biodiversity than unpopulated areas. Surveys of 15 urban and suburban parks in Flanders, Belgium, revealed that the 15 parks contained about 30%, 50%, 40%, and 60% of the total number of wild plant species, breeding birds, butterflies, and amphibians still occurring in Flanders, respectively. Urban parks therefore function as an important reserve of biodiversity in Flanders (Alvey, 2006)

Urban ecosystems can support bees with trees, shrubs, herbaceous plants, flower beds, weeds (Tommasi *et al.*, 2004) as well as selected edible plants (Corbet *et al.*, 2001). However higher levels of spontaneous species and cultivated plant communities are present, including more exotic species than rural plant communities, that supply floral resources all year long. Moreover, urban sites are often warmer than surrounding landscapes. Extent of green areas, plant species diversity, floral density have positive effects on plant-pollinator interactions (Hennig and Ghazoul, 2012). In addition, green urban areas are rarely treated with pesticides respect to agricultural areas.

Garnbuzov *et al.* (2015), using waggle dance decoding technique, showed that in urban parks and gar-

dens in UK foraging by honey bees was mostly local and within surrounding urban area, indicating sufficient forage nearby and year-round. Most studies on pollination in urban environments focused on the pollinating insects and the diversity and abundance of pollinator communities in relation to urban land use. A review by Hernandez *et al.* (2009) reported that the most of studies were conducted in Africa, Asia, Brazil, Europe, Germany, North America, South America and the United Kingdom, and remnant habitats and managed gardens were studied more frequently than home gardens, parks, or unmanaged sites.

Conversely, some studies comparing urban and suburban areas with agricultural lands revealed that moderately urbanized environments facilitate pollinator persistence. Bumblebee colony growth and nest densities were higher in flower-rich suburban gardens than farmland (Goulson *et al.*, 2010) or other types of rural habitats.

Study on the effects of pollen limitation on fruit/seed set production in NY community gardens was carried out (Werrel *et al.*, 2009). The results showed that garden size and floral cover influence pollen deposition on cucumber plants enhancing fruit production.

Cussans *et al.* (2010) demonstrated that gardens are beneficial both to pollinators and the process of pollination in UK. Seed set of *Glechoma hederacea* and fruit set of *Lotus corniculatus*, and social bees visiting flowers were higher in gardens than in arable farmland. Visitation rates of *Trifolium repens* by bumble bees in the center of Belgium responded positively to urban land use resulting in higher visitation rates and increased seed set (Verboven *et al.*, 2014). The effects of mobile garden used in residential yards in Chicago were evaluated on fruit and seed set of *Cucumis sativus*, *Solanum melongena* and *Echinacea purpurea* and demonstrated that diversity of wild bees contributed to pollination services within city (Lowenstein *et al.*, 2015).

The research group in Turin carried out studies on urban pollination demonstrating that it is dependent mainly on wild bees, while honey bees are less abundant. Recently more honey bees were registered due to a considerable number of honey bee hives placed in the gardens, parks, green rooftops of many towns of the word. In 2014, Vercelli and Ferrazzi analysed the foraging resources of the city of Turin and calculated the potential melliferous yield in public and private green areas. The study highlighted the high amount of bee flora in urban area consisting melliferous plants (i.e. *Acer* spp., *Aesculus hippocastanum*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia* spp.), anemophilous

plants (i.e. *Ulmus*, *Populus*, *Quercus*), shrubs, herbs and wild flora (i.e. *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens*, *Salvia pratensis*). This species support honey bees with nectar, pollen and honey dew around all the year and give an opportunity to urban beekeeping, also producing a local monofloral and multifloral honey.

Regulating

Climate change alters the quantity, quality and time of the ecosystem service flows, such as fresh water and food (Ash *et al.*, 2010). Healthy ecosystems can reduce the impacts of climate change. The vegetation provides climate regulation services by capturing carbon dioxide from the atmosphere.

Climate change may affect plant growth through different rainfall regimes, increased demand for evapotranspiration and a different season length. It is necessary to study the interactions and impact of the various factors to better understand how ecosystem can be modified in order to achieve the best solutions any time (Runtung *et al.*, 2017).

Concerning the water management, green areas help to meet the need for water by regulating the water cycle, filtering impurities by adjusting soil erosion. Population growth and economic growth have led to a rapid consumption of water resources, and many natural systems have been replaced by highly modified and man-made systems. In a recent study by Gittleman *et al.* (2017), the benefits of rainwater management in community gardens were analyzed by comparing two methods for assessing the infiltration rates of community garden storms in New York City. Community gardens contribute to retaining millions of liters of water per year. This is closely related to the urban stormwater runoff and flash flooding, that occurs when impervious surface cover increases with continued urbanization. This is a challenge to conventional urban water resource management and requires new ways of thinking about retaining, retarding, and using stormwater within the urban landscape-water sensitive urban design (Livesley *et al.*, 2016). Innovative multidisciplinary (planners and designers) approaches suggest to use modular systems combining transportation, drainage and waste processing by capturing, storing and infiltrating stormwater locally. Solutions including bare soil and permeable pavement with size equal to the lateral canopy extension is suggested for water conservation and tree cooling capacity enhancement (Vico *et al.*, 2014).

In terms of cooling effect, street trees, parks, green roofs and green walls can also contribute to reduce the urban heat island (Nortona *et al.*, 2015). Increasing

temperatures and the risk of heat wave events, like in the last 2017 summer, represent a serious public health problem (Bowler *et al.*, 2010). Understanding differences in cooling effects among parks may help urban planners and greening designers to make appropriate decisions regarding species choice, and size and shape of green spaces. For example, recent studies in Mediterranean cities, highlighted that species of *Eucalyptus*, *Olea* and *Acacia* are more effective in cooling the urban environment than *Cupressus* and *Grevillea* (Feyisa *et al.*, 2014). Furthermore, new technologies have been developed using innovative living walls. In particular, Serra *et al.* (2017) showed how modular green vertical systems provide good thermal transmittance values during both the heating and cooling seasons, demonstrating that designers could efficiently combine different materials/ species/ technical solutions, according to the goals and expected results (aesthetic value, energy saving, noise reduction, money sparing, etc.).

Regarding air pollution, trees, green roofs and green walls are widely used. In US the amount of annual gaseous air pollution (O_3 , PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO) removed by urban trees and shrubs was estimated at 711.000 t (Nowak, 2006). An European review outlined that the effect of vegetation on urban air quality depends on vegetation design and on level of air pollution in the area. Vegetation should be close to the source and, to improve deposition, it should be hairy and with a large leaf area index (Janhäll, 2015).

Cultural

As defined by MA (2005), the cultural services are the non-material benefits that people derive from ecosystems through spiritual enrichment, cognitive development, reflection, recreation, and aesthetic experiences, including: Cultural diversity; Spiritual and religious values; Educational values; Inspiration; Aesthetic values; Social relations; Sense of place; Values of cultural heritage; Recreation and ecotourism. Cultural ecosystem services are at the interface between nature and culture, tangible and intangible heritage, biological and cultural diversity (Tengberg *et al.*, 2012).

Socio-cultural assessment is becoming increasingly important, following the desire to map and shape ecosystem services especially for a stronger political support (Plieninger *et al.*, 2015).

Sanesi *et al.* (2006) conducted a study on the perception of green spaces by citizens, showing how they are perceived as essential elements to mitigate heat waves. The citizens have a clear perception of the poor size of the green spaces in their city, and they

underlined the lack of maintenance, especially in peri-urban locations. In addition, women and pensioners pointed out problems related to the lack of security and surveillance, especially during the evening.

Recently, a study carried out in Parco Nord (Milan) suggested a participatory mapping approach for assessing cultural ecosystem services' people perception (Canedoli *et al.*, 2017). This method has shown that the local population's perceptions provide a rich basis for the development of sustainable land management strategies.

In addition, it is essential to increase people awareness of biodiversity, highlighting that the richness of species in natural environments deserves to be protected for the benefit of both nature and individuals (Carrus *et al.*, 2015).

Andersson *et al.* (2014) emphasized the strong link between Cultural ES, civic engagement and ES management by providing opportunities for education, strengthening the sense of the site, and promoting community building. Furthermore, Somajita and Nagendra (2017) explained how environmental awareness is a dynamic process aimed at increasing our knowledge and knowledge understanding of the environment. The emotional engagement of individuals tends to shape environmental awareness and attitudes, resulting in participation in eco-friendly decisions. School gardens can be a tool for young citizens education (Russo *et al.*, 2017).

Conclusions and perspectives

Analysing the recent literature scientists agree that the environmental issues, such as climate change and the loss of biodiversity, have an impact on human health and the contact with a green space is associated with well-being. Otherwise, it is important to consider some potential disservices that green infrastructures can produce. Concerning food provisioning, the risk of consuming vegetables grown on soil contaminated by heavy metals and pollutants, and the use of polluted water caused by fertilizers and chemical inputs are the main problems. The presence of pollutants in bee products, and the problems related to the interaction between bees behaviors and people use of greening are other significant examples. Moreover, the development in the urban environment of invasive plant species can enhance the risk of allergies.

In this context, green spaces do not necessarily improve the health of urban ecosystems or promote biodiversity, but they have to be properly designed and managed (Dean *et al.*, 2011). It is necessary to provide human and financial resources in the restora-

tion, protection and enhancement of green infrastructures and ecosystem services in cities both from an ecological and social point of view. Many decisions are made for the purposes of generating benefits for people (Canedoli *et al.*, 2017), but at the same time the importance of cultural services and values is currently not recognized in landscape planning and management (Tengberg, 2012). The quantification of ecosystem services must be included in the decision-making processes related to the use and management of urban spaces. The main actions for more livable cities to be applied would be found within the frame of the nature-based solutions.

Guidelines for design and management

In this context, the native species restoration, the use of wildflowers, perennials and shrubs plants, and non-native species, that are not invasive, are needed. Many municipalities have set up invasive species management programs and do not actively plant invasive species (Alvey, 2006). More in general, concerning the plant composition, usually standard palette of common horticultural species for a given climatic zone are used, resulting in stereotype landscape designs and species assemblages. Local botanical-ecological research could be developed to identify, test and extend the use of indigenous plants and botanic gardens could play an important role (Jim, 2013).

Many species can promote biodiversity in cities, having a positive effect also on safeguarding and enhancing pollinators and pollination function. Urban areas can be made more pollinator-friendly, offering consistent refuges and food resources. Some initiative were promote in according of these actions and, in Italy thank to a campaign "Bee-friendly Municipalities", a lot of local authorities has been adopted a set of concrete actions for environmental protection and rehabilitation of territories through the protection of bees and beekeeping valorization (www.cooperationcampaign.org).

Furthermore, multifunctional networks (greenways, ecological networks, blue-green networks, riverways, and parkways) provide the connectivity in urban ecosystems (Ignatieva *et al.*, 2011). The Emscher Park in the Rhur and Rhine Valleys in western Germany provides a successful example of a multifunctional blue-green network (Ahern *et al.*, 2013).

In addition, adopting specific urban food strategies in planning agenda for the metropolitan areas, and supporting all the wide range of urban agriculture initiatives can enhance the cities' capacity to provide short alternative food networks and the natural

biophilic attitude in the young generations. Moreover, studies on the adaptation of the urban ecosystem to climate change are required, in order to find solutions for more resilient cities.

In conclusion, raising education, culture and awareness on urban horticulture and ecosystem services topics are the further aim, together with the promotion of monitoring programs in order to gain the quality of the urban ecosystem and citizens well-being. A new planning and design multidisciplinary strategy in cities requires the integration among agronomists, ecologists, landscape architects, urban planners, politicians, and representatives of the civil society using an inclusive approach.

Abstract

The urbanization and land consuming, together with the growth of people living in and around cities, enhanced the need to take care of the quality of the urban environment. Horticulture plays an important role in this contest, defining what, where and how plants must be used in order to provide a multiple range of services for the society. Ecosystem services are defined as the benefits that humans derive from ecosystems. The aim of the paper is to debate on the application of the ecosystem services (Provisioning, Supporting, Regulating, and Cultural) approach in urban horticulture, discussing on challenges and opportunities for future sustainable urban greening design and management. The authors offer an overview of the main concepts and issues under discussion. In particular, studies carried out in the developed Countries, done in urban contexts, with attention to the green infrastructure and discussing selected ecosystem services were analysed. Examples of recent researches are reported, demonstrating the multifunctional role of urban green areas in providing food, biodiversity, pollination, climate change mitigation, water management, air quality, education and well-being. Guidelines for planning and design urban greening are suggested.

Key words: green areas, nature-based solutions, biodiversity, pollinators, well-being.

References

- AHERN J., 2013. *Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design*. *Landscape Ecology* 28: 1203–1212.
- ALVEY A.A., 2006. *Promoting and preserving biodiversity in the urban forest*. *Urban Forestry & Urban Greening* 5: 195–201.
- ANDERSSON E., TENGÖ M., MCPHEARSON T., KREMER P., 2014. *Cultural ecosystem services as a gateway for improving urban*

sustainability. *Ecosystem Services*, 12: 165-168.

- ASH N., BENNETT K., REID W., IRWIN F., RANGANATHAN J., SCHOLLES R., TOMICH T.P., BROWN C., GITAY H., RAUDSEPP-HEARNE C., LEE M., 2010. *Assessing Ecosystems, Ecosystem Services, and Human Well-being*. In: Ash N., Blanco H., Brown C., Garcia K., Henrichs T., Lucas N., Raudsepp-Hearne C., Simpson R.D., Scholles R., Tomich T.P., Vira B., Zurek M. ed., *Ecosystems and Human Well-Being. A Manual for Assessment Practitioners*, Island Press (Washington): 20-52.
- BLUM J., 2016. *Urban Horticulture: Ecology, Landscape, and Agriculture* CRC Press (Boca Raton, Florida) 330 pp.
- BOWLER D. E., BUYUNG-ALI L., KNIGHT T. M., PULLIN A.S., 2010. *Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence*. *Landscape and Urban Planning* 97: 147-155.
- BROWN M.J.F., PAXTON R.J., 2009. *The conservation of bees: a global perspective*. *Apidologie* 40: 410–416.
- CANEDOLI C., BULLOCK C., COLLIER M.J., JOYCE D., PADOA-SCHIOPPA E., 2017. *Public Participatory Mapping of Cultural Ecosystem Services: Citizen Perception and Park Management in the Parco Nord of Milan (Italy)*. *Sustainability* 9(891): 1-27.
- CARRÉ G., ROCHE P., CHIFFLET R., MORISON N., BOMMARCO R., HARRISON-CRIPPS J., KREWENKA K., POTTS S.G., ROBERTS S.P.M., RODET G., SETTELE J., STEFFAN-DEWENTER I., SZENTGYÖRGYI H., TSCHULIN T., WESTPHAL C., WOYCIECHOWSKI M., VAISSIÈRE B.E., 2009. *Landscape context and habitat type as drivers of bee diversity in European annual crops*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 40-47.
- CARRUS G., SCOPELLITI M., LAFORTEZZA R., COLANGELO G., FERRINI F., SALBITANO F., AGRIMI M., PORTOGHESI L., SEMENZATO P., SANESI G., 2015. *Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas*. *Landscape and Urban Planning* 134: 221–228.
- CORBET S.A., BEE J., DASMAHAPATRA K., GALE S., GORRINGE E., LA FERLA B., MOORHOUSE T., TREVAIL A., VAN BERGEN Y., VORONTOVA M., 2001. *Native or exotic? Double or single? Evaluating plants for pollinator-friendly gardens*. *Annals of Botany* 87: 219–232.
- CUSSANS J., GOULSON D., SANDERSON R., GOFFE L., DARVILL B., OSBORNE J.L., 2010. *Two Bee-Pollinated Plant Species Show Higher Seed Production when Grown in Gardens Compared to Arable Farmland*. *PLoS ONE* 5(7): e11753. doi:10.1371/journal.pone.0011753
- DEAN J., VAN DOOREN K., WEINSTEIN P., 2011. *Does biodiversity improve mental health in urban settings? Medical Hypotheses*, 76: 877–880.
- FEYISA G. L., DONS K., MEILBY H., 2014. *Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa*. *Landscape and Urban Planning* 123: 87–95.
- GARNBUZOV M., SCHÜRCH R., RATNIEKS F.L.W., 2015. *Eating locally: dance decoding demonstrates that urban honey bees in Brighton, UK, forage mainly in the surrounding urban area*. *Urban Ecosystems* 18: 411-418.
- GITTLEMAN M., FARMER C.J.Q., KREMER P., MCPHEARSON T., 2017. *Estimating stormwater runoff for community gardens in New York*. *Urban Ecosystems*, 20: 129-139.
- GOULSON D., LEPAIS O., O'CONNOR S., OSBORNE J.L., SANDERSON R.A., CUSSANS J., GOFFE L., DARVILL B., 2010. *Effects of land use at a landscape scale on bumblebee nest density and survival*. *Journal of Applied Ecology* 47: 1207-1215.
- HENNIG E.I., GHAZOU J., 2012. *Pollinating animals in the urban environment*. *Urban Ecosystems*, 15: 149-166.
- HERNANDEZ J.L., FRANKIE G.W., THORP R.W., 2009. *Ecology of Urban Bees: A Review of Current Knowledge and Directions for Future Study*. *Cities and the Environment* 2(1): article 3,

- 15 pp.
- IGNATIEVA M., STEWART G. H., MEURK C., 2011. *Planning and design of ecological networks in urban areas*. Landscape Ecology 7: 17-25.
- JANHÄLL S., 2015. *Review on urban vegetation and particle air pollution - Deposition and dispersion*. Atmospheric Environment 105: 130-137.
- JIM C.Y., 2013. *Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies*. Urban Ecosystems 16: 741-761.
- KSIAZEK K., FANT J., SKOGEN K., 2012. *An assessment of pollen limitation on Chicago green roofs*. Landscape and Urban Planning 107(4): 401-408.
- LIVESLEY S.J., MCPHERSON E.G., CALFAPIETRA C., 2016. *The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale*. Journal of Environmental Quality, 45: 119-124.
- LOWENSTEIN D.M., MATTESON K.C., MINOR E.S., 2015. *Diversity of wild bees supports pollination services in an urbanized landscape*. Oecologia 179: 811-821.
- MA, 2005. *Ecosystems and human well-being: current state and trends: Findings of the Conditions and Trends Working Group*. In: Hassan, Scholes, Ash (Eds.), Millennium Ecosystem Assessment (MA). Island Press, Washington.
- MACIVOR J.S., RUTTAN A., SALEHI B., 2015. *Exotics on exotics: Pollen analysis of urban bees visiting Sedum on a green roof*. Urban Ecosystems 18: 419-430.
- MAZZEO N.M., TORRETTA J.P., 2015. *Wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in a urban botanical garden in Buenos Aires, Argentina*. Studies on Neotropical Fauna and Environment, 50(3): 182-193.
- MCDONNELL M.J., MACGREGOR-FORS I., 2016. *The ecological future of cities*. Science 352(6288): 936-938.
- NEAME L.A., GRISWOLD T., ELLE E., 2012. *Pollinator nesting guilds respond differently to urban habitat fragmentation in an oak-savannah ecosystem*. Insect Conservation and Diversity 6: 57-66.
- NORTON B.A., COUTTS A.M., LIVESLEY S.J., HARRIS R.J., HUNTER A.M., WILLIAMS N.S.G., 2015. *Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes*. Landscape and Urban Planning 134: 127-138.
- NOWAK D.J., CRANE D.E., STEVENS J.C., 2006. *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States*. Urban Forestry & Urban Greening 4:115-123.
- ORSINI F., GASPERI D., MARCHETTI L., PIOVENE C., DRAGHETTI S., RAMAZZOTTI S., BAZZOCCHI G., GIANQUINTO G., 2014. *Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture: the potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna*. Food Security 6: 781-792.
- PLIENINGER T., BIELING C., FAGERHOLM N., BYG A., HARTEL T., HURLEY P., LOPEZ-SANTIAGO C.A., NAGABHATLA N., OTEROS-ROZAS E., RAYMOND C.M., VAN DER HORST D., HUNTSINGER L., 2015. *The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning*. Current Opinion in Environmental Sustainability, 14: 28-33.
- RUNTING R.K., BRYAN B.A., DEE L.E., MASEYK F.J.F., MANDLE L., HAMEL P., WILSON K.A., YETKA K., POSSINGHAM H.P., RHODES J.R., 2017. *Incorporating climate change into ecosystem service assessments and decisions: a review*. Global Change Biology, 23: 28-41.
- RUSSO A., ESCOBEDO F.J., CIRELLA G.T., ZERBE S., 2017. *Edible green infrastructure: An approach and review of provisioning ecosystem services and disservices in urban environments*. Agriculture, Ecosystems and Environment 242: 53-66.
- SANESI G., LAFORTEZZA R., BONNES M., CARRUS G., 2006. *Comparison of two different approaches for assessing the psychological and social dimensions of green areas*. Urban For Urban Greening 5: 121-129.
- SERRA V., BIANCO L., CANDELARI E., GIORDANO R., MONTACCHINI E., TEDESCO S., LARCHER F., SCHIAVI A., 2017. *A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project*. Energy and Buildings 146: 333-352.
- SOMAJITA P., NAGENDRA H., 2017. *Factors Influencing Perceptions and Use of Urban Nature: Surveys of Park Visitors in Delhi*. Land doi:10.3390/land6020027.
- TECCO N., COPPOLA F., SOTTILE F., PEANO C., 2017. *OrtiAlti as urban regeneration devices: An action-research study on rooftop farming in Turin*. Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society, 5(1): 70-78.
- TEEB - THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY, 2011. *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. www.teebweb.org.
- TENGBERG A., FREDHOLM S., ELIASSON I., KNEZ I., SALTZMAN K., WETTERBERG O., 2012. *Cultural ecosystem services provided by landscapes: Assessment of heritage values and identity*. Ecosystem Services 2: 14-26.
- TOMMASI D., MIRO A., HIGO H., WINSTON M., 2004. *Bee diversity and abundance in an urban setting*. The Canadian Entomologist, 136(6), 851-869.
- TSCHARNTKE T., CLOUGH Y., WANGER T.C., JACKSON L., MOTZKE I., PERFECTO I., VANDERMEER J., WHITBREAD A., 2012. *Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification*. Biological Conservation 151: 53-59.
- VERBOVEN H.A.F., AERTSEN W., BRYN R., HERMY M., 2014. *Pollination and seed set of an obligatory outcrossing plant in an urban-peri-urban gradient*. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 16: 121-131.
- VERCELLI M., FERRAZZI P., 2014. *Increase of bee flora in public and private green areas: melliferous potential of Turin (Piedmont, Northwest Italy)*. In: Book of Abstracts - 1° Symposium ApiEcoFlora (San Marino) p. 37.
- VICO G., REVELLI R., PORPORATO A., 2014. *Ecohydrology of street trees: Design and irrigation requirements for sustainable water use*. Ecohydrology 7: 508-523.
- WERRELL P.A., LANGELOTTO G.A., MORATH S.U., MATTESON K.C., 2009. *The Influence of Garden Size and Floral Cover on Pollen Deposition in Urban Community Gardens*. Cities and the Environment 2(1): article 6, 16 pp.
- ZASADA I., FERTNER C., PIORR A., NIELSEN T.S., 2011. *Peri-urbanisation and multifunctional adaptation of agriculture around Copenhagen*. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography 111: 59-72.

The geographical origin of fresh horticultural products: analytical methods to prevent food frauds

Agnese Aguzzoni* e Scandellari Francesca

Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano-Bozen

Ricezione: 08 settembre 2017; Accettazione: 27 ottobre 2017

L'origine geografica dei prodotti ortofrutticoli freschi: metodi analitici per la prevenzione delle frodi alimentari

Riassunto. Negli ultimi anni si è sviluppata una grande attenzione del consumatore verso la provenienza degli alimenti, con un conseguente aumento dei prodotti riportanti l'indicazione geografica. A causa di un sistema di tracciabilità insufficiente, soprattutto a livello internazionale, si sono diffuse frodi alimentari connesse alla non corretta dicitura d'origine. Diversi metodi analitici sono stati sviluppati per contrastare questa frode e distinguere i prodotti in funzione della provenienza. Grazie al perfezionamento strumentale e metodologico, tecniche come l'analisi multielemento e la determinazione del rapporto isotopico unitamente all'analisi chemometrica mostrano ottimi risultati di discriminazione tra prodotti ortofrutticoli freschi o parzialmente lavorati di origine differente.

Parole chiave: tracciabilità, frodi alimentari, composizione multielemento, rapporto isotopico.

Introduction

For thousands of years, food has been largely cultivated or bought locally, with little or no transformation and processing. This implied a short production chain. Urban and social transformations through the centuries, especially in the developed countries, weakened the link between food and territory (Luykx and van Ruth, 2008; Drivelos and Georgiou, 2012). More recently, new radical changes in consumers' habits have led to an all year round demand of a great variety of fresh products. Additionally, the request for non-local food is raised, eased by improvements in storage and transportation technologies. Therefore,

the market largely shifted from local to global (Perez *et al.*, 2006; Brereton, 2013).

In the last decades, consumers have shown a new attention towards the origin of produces and their production process. In fact, as attested by a survey conducted on behalf of the Directorate-General in Agriculture and Rural Development of the European Union in March 2012 in 27 member states of the EU (fig. 1), about 71% of EU citizens recognize the importance of food origin in determining their buying habits (TNS Opinion & Social, 2012). Moreover, EU27 consumers assigned a great value to quality and price, respectively important for 96% and 91% of the interviewees, while brand is considered a marginal factor, declared not important by half of the survey participants (fig. 1). Many reasons can be ascribed to this attitude: patriotism, intrinsic features associated with regional food, higher quality or safety associated to specific production areas and local products, concerns about production methods in other countries, worries about food miles and environmental impact and need to support local economy (Kelly *et al.*, 2005; Bingen *et al.*, 2010; Drivelos and Georgiou, 2012).

Due to the complexity of the global food network and the difficulty to trace back the origin of goods without reliable and exhaustive records, false declaration about food provenance, classified as food fraud, may easily spread. For this reason, there has been an increasing attention of scientists and other stakehold-

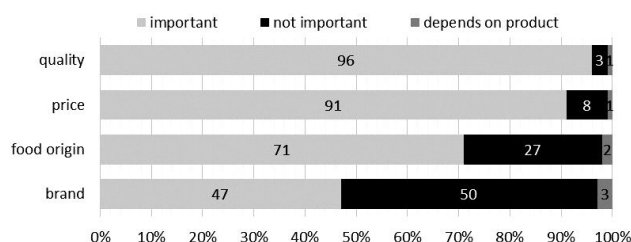


Fig. 1 - Fattori che influenzano l'acquisto di beni alimentari (TNS Opinion & Social, 2012).

Fig. 1 - Consumers priorities when buying food (TNS Opinion & Social, 2012).

* agnese.aguzzoni@natec.unibz.it

ers on this topic. This has been followed by an increase in the number of scientific publications and research projects with the main purpose of developing analytical methods, legally admissible, able to detect this type of fraud (Rossmann, 2001; Ehleringer and Matheson Jr., 2010; Camin *et al.*, 2017). Particularly, developments of the present methods to provide robust and reliable results are required to support legal cases. Existence of databanks based on data and metadata of authentic material, a suitable sampling design, method validation and laboratory accreditation, measurement of the uncertainty budget are some examples of requirements needed to support the validity of the analysis performed in front of a court (Camin *et al.*, 2017).

The aim of this review is to:

- define the phenomenon of fraudulent activities in

the food sector and its consequences, focusing on frauds related to food provenance and traceability;

- describe the underlying principles and the advantages and disadvantages of the analytical techniques applied to authenticate agrifood based on its provenance especially focusing on multielement composition and isotope ratio measurement;
- report a few representative case studies published in literature comparing the different analytical and chemometric approaches applied by authors to improve sample discrimination.

We have reviewed the most relevant papers found in literature dealing with the discrimination of horticultural products, solely based on their geographical origin (tab. 1). We decided to focus only on fresh or just slightly transformed (polished rice) horticultural products leaving therefore behind all transformed products

Tab. 1 - Riassunto delle pubblicazioni più rilevanti che riportano l'applicazione dell'analisi multielemento e del rapporto isotopico di diversi elementi per determinare l'origine geografica dei prodotti ortofrutticoli freschi.

Tab. 1 - Summary of the most relevant literature related to the use of multi-element and multi-isotope analysis of fresh horticultural products to determine their geographical origin.

Food	Food origin	Analysis	Instrument	N	Data treatment	Reference
Apple	4 Italian provinces	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$	IRMS	128	ANOVA, PCA, LDA	Mimmo <i>et al.</i> , 2015
Blackcurrant	4 Chinese production areas	$\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$	IRMS	-	ANOVA, DA	Li <i>et al.</i> , 2013
Cabbage	Korea, China	ME, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ICP-AES, ICP-MS, MC-ICP-MS	363	DA	Bong <i>et al.</i> , 2013
Clementine	PGI clementine vs non-PGI clementine	ME	DRC ICP-MS	88	PCA, LDA, SIMCA, PLS-DA	Benabdelkamel <i>et al.</i> , 2012
Green coffee bean	5 Hawaiian Islands	ME, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	IRMS, ICP-MS, MC-ICP-MS	47	ANOVA, CDA	Rodrigues <i>et al.</i> , 2011
Green coffee bean	South and Central America, Africa, Asia	ME, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$	ICP-MS, IRMS	62	ANOVA, CDA	Santato <i>et al.</i> , 2012
Green coffee bean	Africa, Asia, Oceania, Central and South America	ME	ICP-MS, ICP-AES	51	PCA, LDA	Valentin and Watling, 2013
Fava	Greece, India, Iran, Australia, Canada, USA	ME	ICP-MS	39	PCA, PLS-DA	Drivelos <i>et al.</i> , 2014
Grape	Italy, Spain	$\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$	IRMS	146	PCA, DA	Longobardi <i>et al.</i> , 2016
Hazelnut	Italy, Turkey	ME	ICP-MS	-	PCA	Oddone <i>et al.</i> , 2009
Onion	Japan, China, USA, New Zealand, Thailand, Australia, Chile	ME	ICP-AES, ICP-MS	309	LDA	Ariyama <i>et al.</i> , 2007
Onion	Japan, China, USA, New Zealand, Australia, Thailand	Sr and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ICP-MS, MC-ICP-MS	139	LDA	Hiraoka <i>et al.</i> , 2016

segue

segue tab 1

Food	Food origin	Analysis	Instrument	N	Data treatment	Reference
Paprika	Hungary, China, France, Germany, Italy, Romania, Senegal, Spain	ME, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	HR-ICP-MS, MC-ICP-MS	64	PCA, CDA	Brunner <i>et al.</i> , 2010
Pistachio	Turkey, Iran, California (USA)	ME, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, C/N	ICP-AES, IRMS	372	PCA, CDA, LDA, ANN	Anderson e Smith, 2005
Potato	Six Italian regions	ME	ICP-MS	60	LDA	Di Giacomo <i>et al.</i> , 2007
Rice (polished)	Japan, USA, Australia	C, N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$	IRMS	14	-	Suzuki <i>et al.</i> , 2008
Rice	Spain, Japan, Brazil, India	ME	ICP-AES	153	LDA	González <i>et al.</i> , 2011
Rice (polished and brown)	Japan, USA, China, Thailand	ME, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, PbIR	HR-ICP-MS	350	ANOVA, PCA, LDA, SIMCA, KNN	Ariyama <i>et al.</i> , 2012
Rice	4 Chinese provinces	ME	ICP-MS, FAAS	32	ANOVA, LDA, CA	Shen <i>et al.</i> , 2013
Rice (polished)	Thailand, France, India, Italy, Japan, Pakistan	ME	HR-ICP-MS	36	PCA, DA	Cheajesadagul <i>et al.</i> , 2013
Saffron (fresh steam)	3 Italian regions	ME	ICP-MS	27	LDA	D'Archivio <i>et al.</i> , 2014
Schisandra fruits	6 Chinese provinces	$\delta^{13}\text{C}$	IRMS	96	-	Li <i>et al.</i> , 2011
Tomato	Italy, China	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	TIMS	118	ANOVA, t-test	Trincherini <i>et al.</i> , 2014
Tropea red onion	PGI and non-PGI production area	ME	DRC ICP-MS	200	LDA, SIMCA, ANN	Furia <i>et al.</i> , 2011
Welsh onions	Japan, China	ME	FAAS, ICP-AES, ICP-MS	244	LDA, SIMCA	Ariyama <i>et al.</i> , 2004
Wheat	Australia, Turkey, Canada, Italy	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$	IRMS	35	ANOVA	Brescia <i>et al.</i> , 2002
Wheat	4 Chinese production areas	ME	ICP-MS	240	ANOVA, LDA	Zhao <i>et al.</i> , 2011
Wheat	3 Argentinean regions	ME, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ICP-MS, IRMS, TIMS	80	ANOVA, DA	Podio <i>et al.</i> , 2013
Wheat	Australia, USA, Canada, China	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$	IRMS	35	ANOVA	Luo <i>et al.</i> , 2015
Wheat	3 Chinese regions	$\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	IRMS, TIMS	54	ANOVA, DA	Liu <i>et al.</i> , 2016
Wheat	Six Indian states	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$	IRMS	20	ANOVA	Rashmi <i>et al.</i> , 2017
White asparagus	Austria, Germany, Slovakia, Hungary, Netherlands, Peru	Sr and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ICP-MS, MC-ICP-MS	155	-	Swoboda <i>et al.</i> , 2008
Burdock, Ginger, Taro, Garlic, Pea	Japan, China	Sr and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	ICP-MS, MC-ICP-MS	403	LDA	Aoyama <i>et al.</i> , 2017
Strawberry	Oregon (USA) vs Mexico	ME,	ICP-AES,	80	ANOVA, t-test, CDA, LDA, QDA, PCA	Perez <i>et al.</i> , 2006
Blueberry	Oregon (USA) vs Chile	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$,	IRMS	74	ANOVA, t-test, CDA, LDA, QDA, PCA	Perez <i>et al.</i> , 2006
Pear	Oregon (USA) vs Argentina	C/N		80	ANOVA, t-test, CDA, LDA, QDA, PCA	Perez <i>et al.</i> , 2006

Analysis: ME multielement fingerprint; $\delta^2\text{H}$ hydrogen isotope ratio; $\delta^{13}\text{C}$ carbon isotope ratio; $\delta^{15}\text{N}$ nitrogen isotope ratio; $\delta^{18}\text{O}$ oxygen isotope ratio; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ strontium isotope ratio; PbIR lead isotope ratio.

Instrument: IRMS isotope ratio mass spectrometer; FAAS flame atomic absorption spectrometer; ICP-AES inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; ICP-MS inductively coupled plasma mass spectrometer; DRC ICP-MS dynamic reaction cell ICP-MS; HR-ICP-MS high resolution ICP-MS; MC-ICP-MS multicollector ICP-MS; TIMS thermal ionization mass spectrometer.

Data treatment: ANN artificial neural network; ANOVA analysis of variance; CA cluster analysis; CDA canonical discriminant analysis; DA discriminant analysis; DFA discriminant function analysis; KNN k-nearest neighbour; LDA linear discriminant analysis; PCA principal component analysis; PLS-DA partial least square discriminant analysis; QDA quadratic discriminant analysis; SIMCA soft independent modelling of class analogy.

such as fruit juices, wine, canned vegetables, etc. For each of these produces, a dedicated review would be desirable, since several authors showed that the processing itself might introduce further modifications independent from geographical origin (Almeida and Vasconcelos, 2003; Hopfer *et al.*, 2015). Only studies in which multielement fingerprint and/or isotope ratio analysis are applied were included. Studies combining these techniques with other methods were excluded and papers published starting from year 2000 were chosen. Following these criteria, papers were selected from the two databases Scopus and Web of Science.

Fraudulent activities in the food sector

A food fraud mainly consists on the adulteration or misrepresentation of foods or food ingredients. Origin masking is recognized as one of the existing food frauds (Johnson, 2014). The National Centre for Food Protection and Defence (NCFPD) at the University of Minnesota compiled a registry analysing food frauds occurred worldwide since 1980. According to this database, food frauds included are either economically motivated (EMAs) or intentionally harmful, such as those related to agro-terrorism. Figure 2 summarizes the distribution of incidents according to the NCFPD EMA Incident Database sorted by type of adulteration (Johnson, 2014). Aside the economic damage, the direct consequence of adulterations is “a change of the identity and/or purity of the original and purported ingredient by substituting, diluting, or modifying it by physical or chemical means” (Moore *et al.*, 2012). Unfortunately, often the fraudster has scarce awareness of the safety risks related to such adulteration with dramatic consequences, as happened for the 2008

Chinese milk scandal. Melamine, a nitrogen-based organic compound, was used to mask the dilution with water of milk, increasing the overall nitrogen content directly associated to food protein. The tainted milk was sold on the market for different purposes, including infant formula production. The melamine toxicity, that a few years earlier had already been associated to several cases of pet death in the USA (Ingelfinger, 2008; Pei *et al.*, 2011), caused more than 52000 hospitalization of children due to renal and kidney failure, and the death of six infants in China. Another remarkable example is given by the horsemeat scandal in 2013, in which beef-products or beef-ingredients were found positive to the presence of undeclared horsemeat (Food Safety Authority of Ireland, <http://www.fsai.ie>). As consequence of this scandal, Irish consumers changed their purchasing behaviour and ca. 40-50% of the habitual consumers of processed food containing meat declared to have reduced their purchase because of that (FSAI 2013). Many other frauds do not evolve to the status of scandal but are well documented and affect consumers’ confidence in buying food, leading to diffidence in paying a higher price for goods that easily may be not integer. Indeed, often, the fraud consists in replacing entirely or to a certain extent an expensive ingredient/product with a cheaper one: regular olive oil for extra virgin olive oil, bovine milk for sheep/goat milk, different types of syrup for honey, farmed for wild salmon, conventional for organic food. Several chemicals are used for blending spices (saffron, pepper, paprika) or natural compounds are substituted with synthetic ones (vanilla) especially for saving money on expensive raw material or enhancing its colour and taste in case of poor quality. False declaration of origin is committed either for increasing the appeal of a product (e.g. PGI and PDO labelled products) or for escaping paying taxes and tariffs in certain countries (Johnson, 2014). Even if origin mislabelling can be considered a marginal fraud, it should not be underestimated as it deeply affects subtle factors such as the reliability and intrinsic quality of an item that can be severely damaged by misidentification scandals (Anderson and Smith, 2002).

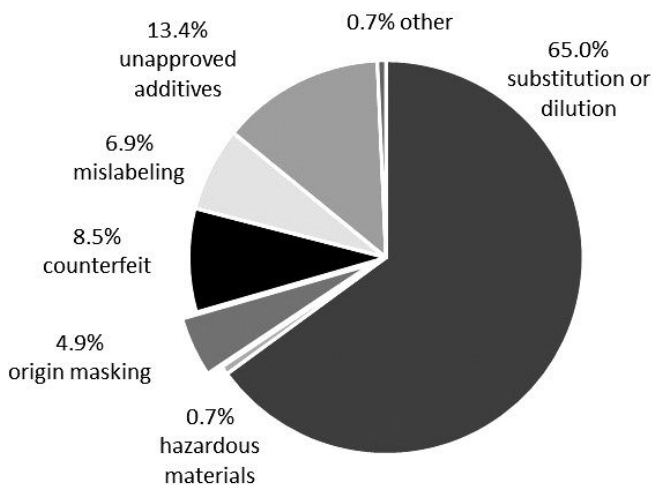


Fig. 2 - Principali casi di frode alimentare per tipo di adulterazione (Johnson, 2014).

Fig. 2 - Leading EMA Incidents by type of adulteration (Johnson, 2014).

Food provenance and traceability

The geographical indication (GI) can confer a higher value to food, and many products are named or identified with their place of origin (Parmigiano-Reggiano, Champagne, Scotch whisky). To protect these goods and their unique characteristics, since 1992 with the European Union Protected Food Names Scheme the EU has introduced legal certification

marks, such as PDO (Protected Designation of Origin), PGI (Protected Geographical Indication), and TSG (Traditional Specialties Guarantee). In this way, the EU officially recognized the importance of the place of origin. In Europe, more than 700 agricultural produces and processed foods received the PGI label. Almost half of these comes from France, Italy and Spain. As shown in figure 3, the largest class of products that received the geographical indications consists of agrifood (fruit, vegetables and cereals, fresh or processed) according to the database of origin and registration (DOOR) of the European Union (https://ec.europa.eu/agriculture/quality_en).

Protected food requires higher production costs that are reflected on the final price charged to consumers (Heaton *et al.*, 2008). The possibility of profit attracts fraudsters who sell cheaper goods as typical products (Zhao *et al.*, 2014), taking advantage of price variability of raw material from place to place (Ariyama *et al.*, 2007). An explicative example is given by the case of PGI Tropea Red Onion: despite a production capacity of about 20000 tons the PGI labelled onions on market are more than 100000 tons (Furia *et al.*, 2011). This causes a significant economic damage for honest producers of labelled goods; on top of that, once the fraud is discovered, it might adversely affect the GI-product reputation. Unfortunately, this is not an isolate case. A monthly report delivered by the European Commission summarizes the main investigations conducted to prevent and fight EMAs, highlighting that the agrifood sector is equally affected by the problem as others (wine production, meat industry, fishery) (JRC European Commission). Beside producers' protection, also consumers' tutelage must be ensured. The free and deliberate choice of buying based on food origin should be guaranteed. Therefore, the good practice of keeping

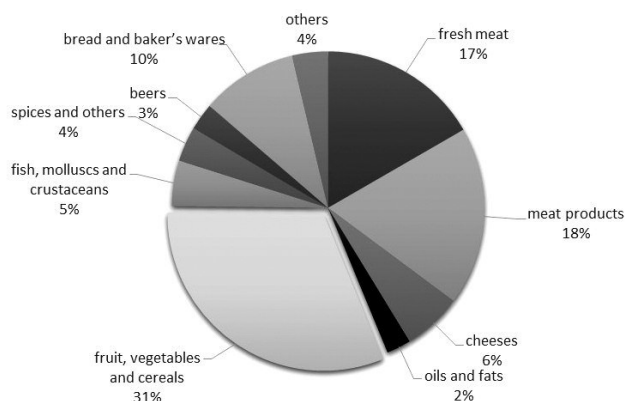


Fig. 3 - Classificazione dei prodotti IGP per categoria secondo il database DOOR (https://ec.europa.eu/agriculture/quality_en).

Fig. 3 - Classification of PGI products per class according to DOOR database (https://ec.europa.eu/agriculture/quality_en).

record of the history of food must be implemented.

Traceability is defined as “the ability to follow the movement of a food through specified stages of production, processing, and distribution” (Codex Alimentarius, 2006). Nowadays, it is largely based on paper-records, easily falsifiable or insufficient to meet specific requirements (Germain, 2003). Recently, new instruments (labelling, bar-coding, radio frequency identification RFID) have been introduced to increase the reliability and accessibility of records (Regattieri *et al.*, 2007; Charlebois *et al.*, 2014). Traceability is even more difficult in international trading and commerce, since different countries developed different regulatory systems (Charlebois *et al.*, 2014). It should be highlighted that several benefits should encourage companies to implement a traceability process:

- simplifying management procedure in case of risks or safety issues (e.g. products recall);
- ensuring product authenticity and quality;
- providing credible information to consumers or authorities;
- improving identification of non-compliance in the production process;
- increasing the production-chain efficiency (Germain, 2003; Alfaro and Rábade, 2009).

In this context, the need for analytical tools able to recognize and attest the food provenance has become a priority (Fortunato *et al.*, 2004; Kelly *et al.*, 2005; Perez *et al.*, 2006).

Analytical tools

Different techniques have been tested for food authentication and traceability through the years. Near infrared spectroscopy (NIR), mass spectrometry, chromatography, nuclear magnetic resonance (NMR) and DNA profiling have been largely employed (Kelly *et al.*, 2005; Luykx and van Ruth, 2008). Many studies were based on the analysis of classes of organic compounds (fatty acids, volatile compounds, polyphenols) as non-targeting analysis. However organic compounds are susceptible to degradation processes (Anderson and Smith, 2002) and can be affected by several factors in addition to provenance, a fact that causes a low discrimination power (Anderson and Smith, 2005; Gonzalvez *et al.*, 2009). Consequently, techniques independent from organic compounds, such as those based on the content of mineral elements and on the ratio of stable isotopes of light and heavy elements, have been improved for application in the field of geographical traceability. Many of these methods are also successfully applied

to discover other types of frauds, as in the case of the analysis of isotope ratio of light elements.

Multielement fingerprint

Basic concept. Each plant produce is characterized by a unique profile of inorganic elements, which are absorbed by plants and distributed in the biomass. Hydrogen (H), carbon (C) and oxygen (O) are essential non-mineral elements that are absorbed from air and water and are the main constituents of organic molecules in plants. Mineral elements are absorbed mainly through the soil solution and are classified according to their nutritional value as primary macronutrients (N, P, K), secondary macronutrients (Ca, S, Mg) and micronutrients (B, Cl, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo). In addition, the soil contains many other elements, such as strontium (Sr), rubidium (Rb), barium (Ba), etc., that can be absorbed by the plant even if they do not have any biological role. While the uptake of elements with high nutritional value is mainly controlled by plant needs, the uptake of non-nutritional elements is mostly related to their concentration and bioavailability in the soil. This, in turn, mainly depends on chemical-physical processes such as soil pH, moisture, mineral weathering, organic matter decomposition (Perez *et al.*, 2006; Drivelos and Georgiou, 2012) or on external factors such as anthropogenic pollution, atmospheric depositions, agricultural practices and the use of fertilizers or soil improvers (Perez *et al.*, 2006). Therefore, the multi-element composition of a produce is generally highly correlated to the soil and environmental conditions of the growing area (Gonzalez *et al.*, 2009), and much information can be inferred from its analysis, which is often restricted to specific groups of elements that are considered soil markers. For instance, many authors showed that a good separation between areas of origin can be achieved focusing on elements present at trace and ultra-trace levels, such as those belonging to the group of rare earth elements composed by scandium, yttrium and the fifteen lanthanides (Oddone *et al.*, 2009; Joebstl *et al.*, 2010; González *et al.*, 2011; Aceto *et al.*, 2013; Ma *et al.*, 2016).

Advantages and disadvantages of multielement analysis. Elemental analysis has been widely applied to traceability studies due to the strong influence of the environment on the multielement composition of crops. Therefore, one of the advantages of this technique is that well described analytical methods and pre-treatment procedures for several matrices are already available in literature.

The disadvantages are mainly related to the behaviour of elements in the soil and in the plant. Indeed,

dissimilarities in cation uptake through the root system exist due to differences in species and variety even when plants grown in the same environment are investigated (Almeida and Vasconcelos, 2003; Chietera and Chardon, 2014). In addition, the transfer from the soil to the plant of mineral elements with no or little nutritional importance can be controlled not only by their concentration in the soil, but also by mechanisms intrinsic to plants (Hopfer *et al.*, 2015). For instance, biopurification processes imply the preferential absorption of nutrients and consequently the exclusion of non-nutrient substances within a nutrient cycle. Considering the elements of the second group of the periodic table (alkaline earth metals), this phenomenon explains why moving from the soil to the plant there is a decrease of the Sr/Ca and Ba/Ca ratio (Elias *et al.*, 1982; Blum *et al.*, 2000). Consequently, the mineral profile of vegetable material can be partially or completely not directly comparable to that of the soil and the final relationship between the two matrices can be weak (Tyler, 2004; Shen *et al.*, 2013). Nevertheless, characteristic trends and patterns for specific areas can still be present in vegetable material ensuring provenance discrimination (Oddone *et al.*, 2009; Furia *et al.*, 2011; Benabdelkamel *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2013; D'Archivio *et al.*, 2014; Drivelos *et al.*, 2014).

Another disadvantage is that the multielement profile of a produce can be severely altered by its transformation process, as it happens in the wine production chain (Almeida and Vasconcelos, 2003; Hopfer *et al.*, 2015; Kaya *et al.*, 2017). Consequently, all these factors must be considered when approaching to traceability using multielement fingerprints.

Available instruments. The main analytical techniques used for the multielement detections are inductively coupled plasma (ICP) techniques where a stable plasma source ionizes the elements. Since most of the analytical methods for ICP techniques works with liquid samples, pre-treatment procedure is required. For instance, organic samples are usually acid digested at high temperature to dissolve the organic material and release analytes into solution. The ICP-based techniques differ consistently for the separation module that can be either an atomic emission spectrometer (AES) (figure 4), also called optical emission spectrometer (OES), or a mass spectrometer (MS) (figure 5). Other techniques employed for multielement analysis are based on atomic absorption spectrometry (AAS). Even if mass spectrometry techniques are highly performant and can reach very low detection limits (typically 1-10 ppt), the choice of the instrument is not univocal and depends on many factors (Thermo Elemental, 2001). The type of application

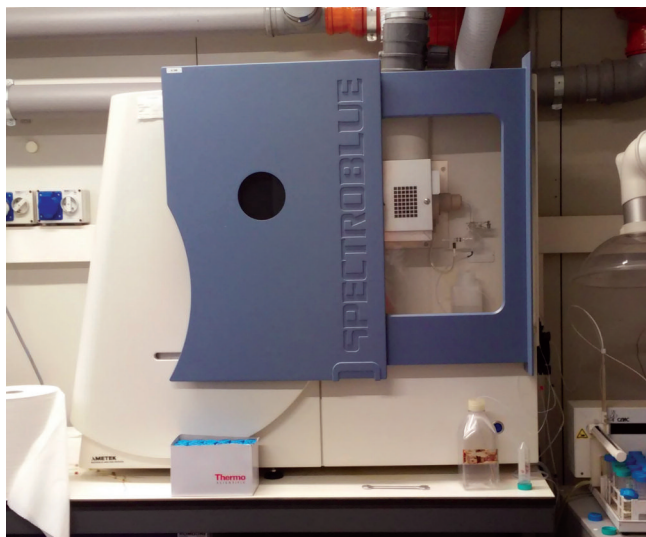


Fig. 4 - ICP-OES (Thermo Fisher Scientific) disponibile presso Eco-research srl.

Fig. 4 - ICP-OES (Thermo Fisher Scientific) instrument available at Eco-research srl.

and the nature of the element of interest should be considered. ICP-MS should be preferred to detect trace metals, whereas ICP-AES or HR-ICP-MS is required to detect sulphur. The relatively low temperatures reachable by FAAS instruments (2600 °C) limit the detection capability only to certain elements in the sub-ppm range, slightly improved by GFAAS (sub-ppb range). However, flame AAS systems are easy to set up and use, precise and their costs are moderate. The number of elements to detect is a considerable

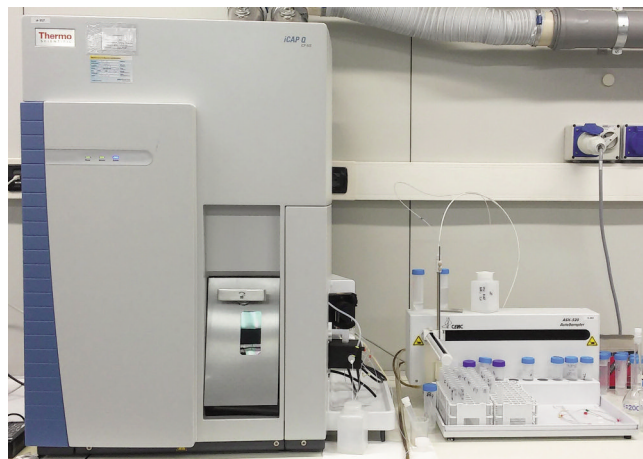


Fig. 5 - ICP-MS (Thermo Fisher Scientific) disponibile presso Eco-research srl.

Fig. 5 - ICP-MS (Thermo Fisher Scientific) instrument available at Eco-research srl.

factor of choice: FAAS works quickly for less than five elements, but moving up to 15 or more elements the total analysis time is reduced with simultaneous ICP-AES and ICP-MS. Finally, each technique suffers for several types of interferences (spectral, background, matrix) that must be considered to avoid serious problems affecting the measurement. Table 2 summarizes the main features per technique.

Stable isotope ratio

Basic concept. Among the natural elements, more than 50 have two or more stable isotopes. For specific

Tab. 2 - Confronto tra diversi strumenti per l'analisi multielemento (Tyler, 1994; Thermo Elemental, 2001).
 Tab. 2 - Comparison between multielement analysis instruments (Tyler, 1994; Thermo Elemental, 2001).

	Flame AAS	GFAAS	ICP-AES	ICP-MS
Detection limits	sub-ppm range	sub-ppb range	1-10 ppb	1-10 ppt
Linear dynamic range	103	102	10 ⁵ -10 ⁸	10 ⁴ -10 ⁸
Precision				
Short term	0.1-1%	0.5-5%	0.3-2%	1-3%
Long term	-	tube lifetime	< 5%	< 5%
Interferences:				
spectral	almost none	few	common	few
chemical (matrix)	many	many	almost none	moderate
ionization	some	minimal	minimal	minimal
isotopes	no	no	no	yes
Applicability (<i>n</i> elements)	>68	>50	>73	>75
Samples usage	high	low	high	low
Throughput per sample	10-15 s per el.	< 3 min per el.	1-60 el. per min	all el. in < 1 min
Ease of use	easy	moderately easy	easy	moderately easy
Method development	easy	difficult	moderately easy	difficult
Capital costs	low	medium-high	high	very high
Running costs	low	medium	high	high

elements, the ratio between some of their isotopes can provide valuable information and many applications in several fields have been developed through the years. Since these ratios can show local variability (depletion or enrichment), their application as provenance tracers has been highlighted. The most used isotope ratios for this purpose are those of the light elements hydrogen (H), carbon (C), nitrogen (N) and oxygen (O). In the last decade, also the number of papers regarding the isotope ratio of heavy elements such as strontium (Sr) and lead (Pb) has increased.

Light elements are characterized by very small differences in absolute abundance of their stable isotopes. Therefore, by convention, their isotope ratio is compared to that of a standard material and expressed in delta notation:

$$\delta^n E = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} \right) - 1 \times 1000$$

where E is the element of interest (e.g. O), n represents the atomic mass of the heavier isotope (e.g. 18), R is the absolute ratio of the two isotopes considered (e.g. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). A multiplication factor of 1000 is included to facilitate data handle. A positive δ value means that the sample is enriched in the heavier isotope compared to the standard while a negative δ value corresponds to a sample depleted of the heavier isotope compared to the standard (Dawson and Siegwolf, 2007). For the isotopes of light elements, the difference of mass between isotopes is relevant respect to their atomic masses (for example, ^{13}C is 8% heavier than ^{12}C); therefore, several common biochemical, chemical and physical processes can result in isotope separation based on their mass. This phenomenon is called isotope fractionation.

- Carbon isotope ratio ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) - The main process affecting carbon fractionation in plants is photosynthesis. The first fractionating step occurs when $^{12}\text{CO}_2$ preferentially passes through plant stomata from the atmosphere. Then, different photosynthetic pathways (C3, C4 or crassulacean acid metabolism CAM) contribute to enhance more or less the fractionation: in C3 plants (e.g. wheat, rye, oats and most trees), the depletion of ^{13}C is higher compared to C4 plants (e.g. maize, sugar cane) so that $\delta^{13}\text{C}$ of C4 and C3 plants is around -10‰ and -28‰, respectively. CAM plants (e.g. pineapple) cover the entire $\delta^{13}\text{C}$ range between C3 and C4 plants. Finally, terrestrial plants are usually characterized by a higher fractionation than marine and aquatic plants, where also dissolved carbon dioxide is available (Dawson and Siegwolf, 2007). Additionally, also the growing environment plays a role in determining carbon

isotope composition in plants, since climatic factors affect the exchange mechanism of several compounds among which CO_2 in the plant-atmosphere system (Brescia *et al.*, 2002).

- Nitrogen isotope ratio ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) – The nitrogen isotope composition is severely altered by anthropogenic sources and large shifts can be measured in different ecosystems. N isotopic fractionation in plant-soil system is still not fully understood due to the complexity of the N cycle. However, several biogeochemical processes are considered responsible for nitrogen fractionation: biological fixation, mineralization, nitrification or denitrification, ammonium and nitrate ion exchange, volatilization, N reallocation and assimilation, foliar uptake (Dawson and Siegwolf, 2007). Plants growing near the coasts, in saline environment or, to a lesser extent, in hot and dry ecosystems are generally characterized by higher $\delta^{15}\text{N}$ (Heaton, 1987). In cultivated areas, agricultural practices deeply affect the $\delta^{15}\text{N}$: the application of animal manure is reflected by an enrichment of ^{15}N in the plants, compared to chemical fertilizers or unfertilized plants, considering equal N-availability (Szpak, 2014). $\delta^{15}\text{N}$ values of plant materials range between -10‰ and +20‰ (Dawson and Siegwolf, 2007).
- Hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$) and oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) isotope ratio – Hydrogen and oxygen fractionation is mainly related to the water cycle. Seasonality, latitude, altitude and “continentality” (the distance covered by an air mass rich of water from the coast to the point where the meteoric event takes place) impact on the water isotope ratio of precipitations (Dawson and Siegwolf, 2007). Plant water derives principally from the soil solution, whose isotopic profile reflects to some extent that of precipitations (Roden and Ehleringer, 1999; De Rijke *et al.*, 2016). Water absorption in root and transport is little or no affected by fractionation and isotopic signal is retained in structural organic compounds in plants (Deniro and Epstein, 1979; Cernusak *et al.*, 2016). Therefore, it is possible to link food to specific geographical areas analysing its H and O isotope ratio. Referring to agrifood in particular, the use of irrigation water should be taken into account, since it can affect significantly the final isotope ratio (Gómez-Alonso and García-Romero, 2010). $\delta^2\text{H}$ ranges between -350‰ and +50‰ in plant water, while $\delta^{16}\text{O}$ ranges between -35‰ and +5‰ in plant water and between 0‰ and +40‰ in plant organic matter (Dawson and Siegwolf, 2007).

Contrarily to light elements, heavy elements such as strontium (Sr) and lead (Pb) are hardly fractionated during biogeochemical cycles due to the low relative mass difference between isotopes (Drivelos and Georgiou, 2012). In this case, the variability of the isotope ratio is given by the peculiar nature of these elements. Both Sr and Pb have primordial and radiogenic isotopes. Primordial isotopes exist in nature since the Earth formed, while radiogenic isotopes derive from the radioactive decay of other isotopes with specific half-life time. The combination of time and parent/daughter ratio brought to nowadays values of isotope ratios. Even if they tend to increase with time, they can be assumed as constant within a time scale $< 10^4$ years (Nakano, 2016). For these elements, the isotope ratio is expressed by the absolute ratio, that is the ratio between the heavy and the light isotope (e.g. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), without δ notation.

- Strontium isotope ratio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) – The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of plants reflects that of the soil in which they are grown, since strontium is principally absorbed through root uptake from the soil solution with calcium. Indeed, both the metals belong to the group of the alkaline earth elements and share common chemical features. Due to their similar ionic radius, roots do not significantly discriminate between the two. Local geological features give the variability of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the soil. In fact, Sr is released by rocks into the soil through physico-chemical processes such as weathering, and here its soluble fraction becomes bioavailable for plants. Many authors showed that Sr does not fractionate during root uptake and translocation to the different plant organs (Blum *et al.*, 2000; Flockhart *et al.*, 2015) independently from species or cultivars. (Aoyama *et al.*, 2017). Consequently, the isotope ratio is kept unaltered from the soil to the plant allowing its use to detect food origin.
- Lead isotope ratios – Lead has many relevant isotopes, namely ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , and their ratio have been used for fraud detection. From a plant perspective, soil represents the main reservoir from which Pb is absorbed. Pb presence and isotopic composition in soil is related to soil formation and weathering, but it is also contaminated by atmospheric deposition due to the substantial Pb pollution (Reimann *et al.*, 2012). As reported in literature, Pb isotope ratio (PbIR) measured in aerosols all over the world varies significantly especially due to anthropogenic sources whose contribution to Pb emission in the atmosphere is at least two order of magnitude higher than that from natural sources (Bollhöfer and Rosman, 2000,

2001; Komárek *et al.*, 2008). The use of alkyl-lead compounds in leaded petrol from 1940s until its ban starting from the end of the 80s, dramatically increased global Pb pollution, while nowadays-industrial activities represent the major source. Consequently, Pb isotope composition in food may reflect both geogenic and anthropogenic sources, a fact that allows its application to determine food origin as effective geographical tracer (Ariyama *et al.*, 2011; Evans *et al.*, 2015).

Advantages and disadvantages. Thanks to the improvements of isotopic mass spectrometer (IRMS) instruments at the beginning of the 90s, isotope ratio analysis of light elements applied to food studies gained much interest. There are several advantages in applying this technique in the food sector. Isotope ratio analysis of light elements can reveal not only food geographical origin but provides valuable information about other frauds. Relevant applications in the second case are exhaustively described in literature (Rossmann, 2001; Camin *et al.*, 2017). Several analytical procedures already exist as routine methods for detecting specific frauds. Some examples are the detection of dilution with water measuring $\delta^{18}\text{O}$ or the addition of organic compounds (e.g. sugars) measuring $\delta^2\text{H}$ and/or $\delta^{13}\text{C}$ for goods such as fruit juice, honey, vinegar, wine and spirits (Rossmann, 2001). Moreover, official methods to distinguish between synthetic and natural vanillin are based on the analysis of $\delta^2\text{H}$ (AOAC, 2006). More recently, efforts to detect the production process of horticultural products through the analysis of $\delta^{15}\text{N}$ have been published. N-fertilizers are among the main sources of N for plants, and synthetic N-fertilizers are characterized by a lower isotope ratio compared to manure and organic fertilizers. Consequently, many authors showed the feasibility of this approach for distinguishing between conventional and organic crops (Bateman *et al.*, 2005; Camin *et al.*, 2011; Chung *et al.*, 2017b), even if further studies are required. Another advantage related to the analysis of the isotope ratio of light elements in food is that usually the sample pre-treatment is very limited, including only few steps such as drying and powdering. Regarding food traceability, an important limitation is related to varietal-dependent fractionation that has to be accounted when different cultivars are included in the study. Isotopes of light elements are differently fractionated by diverse plant cultivars and species causing a significant intra-region data variability that can reduce the discrimination power of the parameters (Di Giacomo *et al.*, 2007; Mimmo *et al.*, 2015; Chung *et al.*, 2016, 2017a).

The advantage of using the isotopes of heavy elements is that their fractionation is negligible and that they are directly linked with geolithological features. Their analysis is linked to many applications, such as geochronological, environmental and archaeological studies, for dating evidences and establishing products authenticity or sources of pollution (Komárek *et al.*, 2008; Yip *et al.*, 2008; Irrgeher and Prohaska, 2015; Nakano, 2016). In particular, in the last decades, the number of papers dedicated to $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ for traceability purposes increased also thanks to instrumental improvements. However, there are some limits to its applicability: crops cultivated in districts with similar geological features are not easily distinguishable (Mercurio *et al.*, 2014), and intensive agricultural practices or anthropogenic sources may significantly alter the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the soil solution compromising the origin identification (Techer *et al.*, 2017). The main disadvantage of using lead for food traceability is that it is present at low concentration in food sample and there is a high risk of contamination during the analytical steps. Hence, publications related to PbIR for traceability studies are still uncommon. In addition, from a methodological viewpoint, the analysis of the isotope ratio of heavy elements is more time-consuming since separation steps for isolating the element of interest are required and dedicated laboratory facilities are necessary.

Available instruments. Light element isotope ratio is generally measured through IRMS instruments (fig. 6) after conversion into gas that are ionized and separated for their mass-to-charge ratio (m/z) in the mass spectrometer before reaching the detector. Several peripherals for sample gasification can be coupled to the IRMS according to the type of material and isotope to be analysed. Solid and liquid samples for the analysis of C and N isotopes are burned at 950 °C into CO_2 and N_2 in an elemental analyser (EA). Solid and liquid samples for the analysis of O and H isotopes are burned at 1350-1450 °C into O_2 and H_2 in a temperature conversion elemental analyser (TC/EA). EA is a bulk measurement technique and the measured isotope ratio is the average of the whole sample. If specific compounds need to be analysed, for example sugars or amino acids, gas or liquid chromatography (GC or LC) separation can be performed before gaseous transformation. TC/EA and EA-IRMS require no or very few preparative steps, while in general GC- and LC-IRMS require extensive extraction steps before the sample is clean enough from contaminants to be injected. LC-IRMS is still at an early stage of applications and analytical problems are not fully solved yet (Muccio and Jackson, 2009).



Fig. 6 - IRMS (Thermo Fisher Scientific) disponibile presso la Libera Università di Bolzano-Bozen.

Fig. 6 - IRMS (Thermo Fisher Scientific) instrument available at the Free University of Bozen-Bolzano.

In recent years, an optical spectrometer called cavity ring down spectrometer (CRDS) has been developed (fig. 7), which, in different configurations, can analyse the isotopes of C, N, O and H. Compared to traditional IRMS instruments, CRDS is cheaper, com-



Fig. 7 - CRDS (Picarro Inc) disponibile presso la Libera Università di Bolzano-Bozen.

Fig. 7 - CRDS (Picarro Inc) instrument available at the Free University of Bozen-Bolzano.

compact and easily moveable for in-situ measurements. For these reasons, this new technology is becoming particularly popular for food traceability (Chesson *et al.*, 2010) and adulteration detection (Meier-Augenstein *et al.*, 2012; Beer *et al.*, 2015).

Isotopic composition of H and/or C can also be detected using the site-specific natural isotope fractionation studied by nuclear magnetic resonance (SNIF-NMR). In this case, only pure or purified molecules are analysed and a larger amount of sample is required.

The isotope ratio of heavy elements can be determined using two types of instruments: thermal ionization mass spectrometer (TIMS) or multi-collector ICP-MS (MC-ICP-MS) (fig. 8). Until recently, the TIMS was the instrument of choice, while nowadays the MC-ICP-MS is getting more popularity after improving its precision, sensitivity and accuracy. In both cases, before injecting the sample into the instrument, the element for which the isotope ratio has to be measured must be separated from the other elements on a selective resin to prevent interferences. Comparing the two instruments, TIMS is less affected than MC-ICP-MS by the isotope fractionation effects that can occur during the analysis. In both cases, the instrumental bias must be corrected. Therefore, the results must be adjusted using a correction factor inferred measuring reference material isotope ratio, calculating the ratio between the certified and the measured value. Moreover, quality control protocols are still not established for MC-ICP-MS (Walczyk, 2004). Nevertheless, MC-ICP-MS is less time consuming, has a greater ionization potential and comparable costs to TIMS (Walczyk, 2004; Yang, 2009).



Fig. 8 - MC-ICP-MS (Thermo Fisher Scientific) disponibile presso Eco-research srl.

Fig. 8 - MC-ICP-MS (Thermo Fisher Scientific) instrument available at Eco-research srl.

Data treatment

Since usually the number of variables considered in traceability/authentication studies is large, chemometric tools are essential for a better comprehension of the data. Multivariate data analysis helps maximizing the information that can be extracted from data. The first papers applying chemometrics to food fraud studies were published in 1988 (Moore *et al.*, 2012). Since then, there has been a great expansion in chemometrics use and in the reviewed literature (tab. 1) most of the authors applied multivariate data analysis. Chemometric tools are divided in unsupervised and supervised methods. All the a priori knowledge of the sample is excluded performing unsupervised methods. These methods are used for exploratory data analysis since they permit to separate samples based on common patterns (Berrueta *et al.*, 2007; Cocchi *et al.*, 2017). Examples of unsupervised methods are principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). Supervised methods are applied in authentication studies, in which an unknown sample has to be compared with authentic material predicting similarity among samples. A priori knowledge is required to build the proper model on a training set. The prediction ability is then evaluated on a test set. They are divided into two categories: classification and modelling methods. In classification, the focus is on the differences between classes while in modelling on the similarities among samples of the same class. Practically, the major difference resulting from the two categories is that classification always assigns an unknown sample to one class while in modelling the sample can be assigned to one, more than one or no class (Berrueta *et al.*, 2007; Cocchi *et al.*, 2017). Examples of supervised methods are K-nearest neighbours (KNN), discriminant analysis (DA), partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), soft independent modelling of class analogy (SIMCA), artificial neural networks (ANN).

Case studies on food provenance

The reviewed literature, chosen accordingly to the parameters previously discussed, is representative of different analytical techniques, combination of variables (for example only multielement, which may include different combinations of elements; only stable isotopes of light and/or heavy elements; or a combination of multielement and stable isotope analysis) and data treatments. Results refer to a great variety of fresh agrifood, comprising fruit and vegetables, tubers, spices, and cereals.

All but two of the included papers combined at least two variables or used a technique that includes multiple variables (multielement profile) to discriminate sample geographical origin. Indeed, a multi-technique or multi-variable approach strengthens the power of the separation since more information about sample is available. For instance, the separation of Schisandra fruits based uniquely on $\delta^{13}\text{C}$ was not fully effective as several Chinese production areas included in the comparison overlapped, unless macro-regions were considered (Li *et al.*, 2011). This is an example of the limited capacity of a single parameter to assess food origin, particularly if not linked to specific territorial features such as $\delta^{13}\text{C}$. Although still using only one parameter, better results were obtained by Trincherini *et al.* (2014) who applied the measurement of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ to tomato authentication. The comparison was between samples coming from distant production areas, Italian and Chinese, and the corresponding samples showed distinct ranges: 0.70810 ± 0.00036 and 0.71051 ± 0.00033 , respectively. Despite the use of a single variable, Trincherini *et al.* (2014) proved the discrimination potential of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ due to its strong link with the geo-lithological features of the investigated growing area. To improve sample discrimination, the obvious way to go is increasing the number of analysed variables to two or more (Swoboda *et al.*, 2008; Luo *et al.*, 2015; Hiraoka *et al.*, 2016; Aoyama *et al.*, 2017; Rashmi *et al.*, 2017). An alternative, if other parameters cannot be added to the study, information extrapolated from samples can be increased considering not only the bulk sample but also its sub-fractions. An example is given by Mimmo *et al.* (2015) who significantly increased the accuracy of the method analysing $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in different apple parts (peel, pulp, seeds) in addition to the whole fruit.

The great advantage given by multielement fingerprint is that dealing with a high number of variables is intrinsic within the method and therefore multivariate data analysis is always applicable for data treatment. Indeed, with ME analysis there are enough variables to run the method and highlight useful patterns otherwise not evident. The number of elements analysed varies a lot, from a minimum of 8, but combined with other parameters by Ariyama *et al.* (2011), to a maximum of 59, used without additional variables (Valentin and Watling, 2013). Not all the elements, though, are always suitable to be included in the data treatment. When elements at trace and ultra-trace levels are measured, instrumental analytical limits have to be considered. Certain authors reported that despite the initial large number of elements analysed they had

to discharge part of them, reducing the number of variables, because present in samples at concentration lower than the instrumental detection limit (González *et al.*, 2011; Benabdelkamel *et al.*, 2012; Bong *et al.*, 2013; Podio *et al.*, 2013).

The degree of discrimination power associated to each variable varies largely, and different studies can reach different conclusions. For instance, several authors worked on the geographical origin of wheat, applying different analytical tools or combination of variables. Two works report data of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ visualized on a two-dimensional scatter plot (Luo *et al.*, 2015; Rashmi *et al.*, 2017). In these papers, a good separation was obtained, even if overlapping areas of samples with different provenance were still present. Another work including $\delta^{18}\text{O}$ in addition to $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ also obtained significantly different values for each variable using the analysis of variance (ANOVA) (Brescia *et al.*, 2002). However, the authors chose to show the data on two-dimensional scatter plots, combining each time two variables, despite of having three. In this case, using two-dimensional plots clearly hid the differences among wheat origins, since the overall dataset was split in different plots and data visualization was more difficult. Again for wheat, Liu *et al.* (2016) demonstrated that the correct classification rate obtained by discriminant analysis could be considerably improved, from 77.8% to 98.1%, including the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ measurement in addition to light element isotope ratio ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). A different approach was used by Zhao *et al.* (2011), who compared wheat from four Chinese provinces sampled in two years based on the concentration of 15 elements obtaining an overall classification rate in cross-validation of 79.4%. The results obtained from two provinces were particularly overlapped and misclassification was high between the two probably due to soil type and agricultural practices as well as annual and cultivar variability. However, the best result was obtained by Podio *et al.* (2013) whose approach included the determination of the multielement fingerprint together with light and heavy element isotope ratio. They identified through discriminant analysis the 11 variables giving 100% accuracy. Among the isotope ratio measured, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $\delta^{13}\text{C}$ gave the greatest contribution to samples separation. Interestingly, they extended the number of variables of the multielement profile including ratio among element concentration with remarkable results. For instance, they found out that K/Rb and Ca/Sr have a great discrimination power, contrarily to the corresponding single elements that do not appear among the 11 discriminating variables.

Not only the method of analysis of the samples, but also the chemometric tools used for data analysis are of great importance, especially when supervised methods for sample classification are run. Since each method is based on a different statistical model, the ability of correctly recognize and assign samples to a specific group varies from one method to another. Many authors compared several methods to test the accuracy in classification, showing how misclassification can be reduced choosing the proper method (Anderson and Smith, 2005; Perez *et al.*, 2006; Furia *et al.*, 2011; Benabdelkamel *et al.*, 2012; Ariyama *et al.*, 2012). Furia *et al.* (2011) evaluated the possibilities of discriminating Tropea red onion production from non-Tropea red onions comparing the prediction ability of LDA, SIMCA, ANN. They obtained satisfying results for all the three methods (> 90%) with LDA giving the highest classification rate (94%). Different models are also able to separate different countries as proved by Ariyama *et al.* (2012). These authors compared the discrimination power of three supervised methods (KNN, LDA and SIMCA) to separate rice production countries (Japan, USA, China, Thailand) based on the results of multielement fingerprint and Sr and Pb isotope ratio. Considered singularly the performance of these chemometric methods was not satisfying, while their combination proved to be effective with a considerable reduction of sample misclassification and 97% accuracy. Another strategy to improve sample classification is to group together several countries/regions according to common features. This is particularly useful when products labelled according to their geographical indication are compared to focus the attention on the GI-product (Swoboda *et al.*, 2008; Furia *et al.*, 2011; Benabdelkamel *et al.*, 2012). For instance, Benabdelkamel *et al.* (2012) included in their study clementine samples coming from Calabria (Italy), Algeria, Spain, Tunisia. Since clementine from Calabria are awarded with the PGI label, they decided to group together all the samples from abroad the borders of the “Clementine of Calabria” production area, specifically Algeria, Spain, Tunisia, creating the non-PGI clementine group. With this approach, they obtained excellent results in distinguishing between PGI and non-PGI produce.

Another factor that is crucial for the success of origin discrimination is an appropriate sampling step, both for sample size and distribution (Benedetti *et al.*, 2015). Particularly, a great variability in sample size per country or area considered in the published literature was observed. For instance, Bong *et al.* (2013) included more than 360 samples comparing cabbages

from Korea (N=219) and China (N=144) while Cheajesadagul *et al.* (2013) indicated to have collected only 31 samples of Thai rice to be compared with 5 samples from 5 countries abroad (one per country). Choosing the number of samples is highly related to economic and logistic constraints, especially when foreign countries are included in the study. Moreover, there are no specific guidelines indicating sample numerosity for traceability studies. Sample size depends closely, among others, on the research purpose and it is a function of the target population size. Even if there are statistical tests that can be applied, sample size is often a choice of the analyst. An excess of samples requires a large amount of resources along the analytical pathway, while a defect leads to statistically inaccurate results (Benedetti *et al.*, 2015). Therefore, it is important to underline that representative and generalized information can only be obtained if the dataset is properly constructed.

Conclusions

Multielement profile together with multi-isotope ratios are widely used in traceability works to authenticate the origin of agricultural produce. Many successful studies are reported in literature showing through classifying and modelling that high discrimination power is associated to these variables, especially if used in a combined approach. Several instruments dedicated to these analyses are available nowadays, characterized by different performances and features. The choice of the analytical apparatus depends on several factors and is highly related to the research purpose. Elemental composition is characterized by a large number of variables that can be successfully treated through chemometric tools. Specific ratio among element concentration can provide additional useful information. C and N isotope ratios have been often measured, but results show a low connection with geographical features. The analysis of the isotope ratio of heavy elements such as Sr and Pb is a recent technique, however, due to their link with the geo-lithological features of the growing area they show a great potential as geographical tracers. Further studies are needed for better investigating and comprehending the limits and potential of the described techniques, specifically when applied to detect origin misdeclaration. These methods are promising to hinder food frauds, however in order to be used in official controls or for supporting legal cases, they need to be standardized and officially recognized by certification bodies through a procedure of inter-laboratory validation. Moreover, known samples can be used

to define the analytical features of authentic goods. These data can be included in reliable and exhaustive databanks that can be used to compare unknown samples or as support for data interpretation.

Acknowledgements

This work is part of a PhD project focused on agri-food traceability in collaboration with Laimburg Research Centre and Eco-research srl. An overview of the overall project can be seen in a documentary that was shot for the local branch of the public television channel (https://www.youtube.com/watch?v=p8-A_OckSEY). The Autonomous Province of Bolzano, Department of Innovation, Research and University (Decision n. 1472, 07.10.2013) is gratefully acknowledged for financial support.

Abstract

Modern food chain is highly complex and food is transported all around the world to satisfy consumers' demand. However, in the last years there has been an increased interest for local products and a major attention towards food provenance. Moreover, there are goods for which the geographical origin is recognized as an added value and is highlighted through specific indications or labels. It is known that fraudulent activities with the aim of a financial gain or illicit behaviours in trades related to origin misdeclaration are spreading and therefore tools for hindering this fraud are required. In the agrifood sector, traceability systems are largely based on paper-records, and despite recent implementations, they are still insufficient for following all the movement of food, especially in case of international trades. Consequently, in the last decades many efforts have been made to implement analytical methods able to discriminate samples based on their geographical origin. Very often different approaches are combined together to collect more information and increase the discrimination power. Particularly, in this review the application of multielement fingerprint and of the light and heavy elements stable isotope ratio analysis is examined, considering solely horticultural products, fresh or with slight transformation (polished rice). The main features of each technique together with an evaluation of the advantages/disadvantages and a brief description of the instruments available for these analysis are discussed. The most common multivariate approaches used for data interpretation are also reported. A critic overview of different approaches from papers published in literature since 2000 is provided, analysing

specific aspects such as the chosen approach, the number and nature of the included variables, the chemometric tools applied, and the sample size. Many authors reached satisfying classification rates, showing that these techniques are very promising in the field of food authentication and traceability and that can become useful analytical tools to support legal cases.

Key words: traceability, food frauds, multielement composition, isotope ratio.

References

- ACETO M, ROBOTTI E, ODDONE M, BALDIZZONE M, BONIFACINO G, BEZZO G, DI STEFANO R, GOSETTI F, MAZZUCCO E, MANFREDI M, MARENGO E (2013) *A traceability study on the Moscato wine chain*. Food Chem 138:1914–1922. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.019
- ALFARO JA, RÁBADE LA (2009) *Traceability as a strategic tool to improve inventory management: A case study in the food industry*. Int J Prod Econ 118:104–110. doi: 10.1016/j.ijpe.2008.08.030
- ALMEIDA CMR, VASCONCELOS MTSD (2003) *Multi-element composition and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of wines and their potentialities as fingerprints of wine provenance*. J Agric Food Chem 51:4788–4798. doi: 10.1021/jf034145b
- ANDERSON KA, SMITH BW (2002) *Chemical profiling to differentiate geographic growing origins of coffee*. J Agric Food Chem 50:2068–2075. doi: 10.1021/jf011056v
- ANDERSON KA, SMITH BW (2005) *Use of chemical profiling to differentiate geographic growing origin of raw pistachios*. J Agric Food Chem 53:410–418. doi: 10.1021/jf048907u
- AOAC (2006) *Site-specific deuterium/hydrogen (D/H) ratios*. Available at: www.aocofficialmethod.org
- AOYAMA K, NAKANO T, SHIN K-C, IZAWA A, MORITA S (2017) *Variation of strontium stable isotope ratios and origins of strontium in Japanese vegetables and comparison with Chinese vegetables*. Food Chem 237:1186–1195. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.06.027
- ARIYAMA K, AOYAMA Y, MOCHIZUKI A, HOMURA Y, KADOKURA M, YASUI A (2007) *Determination of the geographic origin of onions between three main production areas in Japan and other countries by mineral composition*. J Agric Food Chem 55:347–354. doi: 10.1021/jf062613m
- ARIYAMA K, HORITA H, YASUI A (2004) *Application of inorganic element ratios to chemometrics for determination of the geographic origin of Welsh onions*. J Agric Food Chem 52:5803–5809. doi: 10.1021/jf049333w
- ARIYAMA K, SHINOZAKI M, KAWASAKI A (2012) *Determination of the Geographic Origin of Rice by Chemometrics with Strontium and Lead Isotope Ratios and Multielement Concentrations*. J Agric Food Chem 60:1628–1634. doi: 10.1021/jf204296p
- ARIYAMA K, SHINOZAKI M, KAWASAKI A, ISHIDA Y (2011) *Strontium and Lead Isotope Analyses for Determining the Geographic Origins of Grains*. Anal Sci 27:709–709. doi: 10.2116/analsci.27.709
- BATEMAN AS, KELLY SD, JICKELLS TD (2005) *Nitrogen isotope relationships between crops and fertilizer: Implications for using nitrogen isotope analysis as an indicator of agricultural regime*. J Agric Food Chem 53:5760–5765. doi: 10.1021/jf050374h
- BEER C, FIEDLER T, HOFSSOMMER M (2015) *Using Cavity Ring-Down Spectroscopy for the Detection of Food Fraud*.

- Available at: https://public.od.cm4allbusiness.de/public/BEODP0AVBDAE-0919f3a3d76e63acc6695b001f8050860375/Poster_Abstract_RAFA2015.pdf?cdp=a
- BENABDELKAMEL H, DI DONNA L, MAZZOTTI F, NACCARATO A, SINDONA G, TAGARELLI A, TAVERNA D (2012) *Authenticity of PGI "Clementine of Calabria" by multielement fingerprint*. J Agric Food Chem 60:3717–26. doi: 10.1021/jf2050075
- BENEDETTI R, PIERSIMONI F, POSTIGLIONE P (2015) *Sample size and sample allocation*. In: Advances in Spatial Science. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 197–217
- BERRUETA LA, ALONSO-SALCES RM, HÉBERGER K (2007) *Supervised pattern recognition in food analysis*. J Chromatogr A 1158:196–214. doi: 10.1016/j.chroma.2007.05.024
- BINGEN J, SAGE J, SIRIEIX L, BINGEN J, SAGE J, SIRIEIX L (2010) *Consumer perceptions and coping strategies of consumers committed to eating local in Michigan (USA)*.
- BLUM JD, TALIAFERRO EH, WEISSE MT, HOLMES RT (2000) *Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and 87Sr/86Sr ratios between trophic levels in two forest ecosystems in the northeastern U.S.A.* Biogeochemistry 49:87–101. doi: 10.1023/A:1006390707989
- BOLLHÖFER A, ROSMAN KJ. (2000) *Isotopic source signatures for atmospheric lead: the Southern Hemisphere*. Geochim Cosmochim Acta 64:3251–3262. doi: 10.1016/S0016-7037(00)00436-1
- BOLLHÖFER A, ROSMAN KJ. (2001) *Isotopic source signatures for atmospheric lead: the Northern Hemisphere*. Geochim Cosmochim Acta 65:1727–1740. doi: 10.1016/S0016-7037(00)00630-X
- BONG Y-S, SONG BY, GAUTAM MK, JANG CS, AN HJ, LEE KS (2013) *Discrimination of the geographic origin of cabbages*. Food Control 30:626–630. doi: 10.1016/j.foodcont.2012.09.008
- BRERETON P (2013) *Verifying the origin of food: an introduction*. In: New Analytical Approaches for Verifying the Origin of Food. Elsevier, pp 3–11
- BRESCIA MA, DI MARTINO G, GUILLOU C, RENIERO F, SACCO A, SERRA F (2002) *Differentiation of the geographical origin of durum wheat semolina samples on the basis of isotopic composition*. Rapid Commun Mass Spectrom 16:2286–2290. doi: 10.1002/rcm.860
- BRUNNER M, KATONA R, STEFÁNKA Z, PROHASKA T (2010) *Determination of the geographical origin of processed spice using multielement and isotopic pattern on the example of Szegedi paprika*. Eur Food Res Technol 231:623–634. doi: 10.1007/s00217-010-1314-7
- CAMIN F, BONER M, BONTEMPO L, FAUHL-HASSEK C, KELLY SD, RIEDL J, ROSSMANN A (2017) *Stable isotope techniques for verifying the declared geographical origin of food in legal cases*. Trends Food Sci Technol 61:176–187. doi: 10.1016/j.tifs.2016.12.007
- CAMIN F, PERINI M, BONTEMPO L, FABRONI S, FAEDI W, MAGNANI S, BARUZZI G, BONOLI M, TABILIO MR, MUSMECI S, ROSSMANN A, KELLY SD, RAPISARDA P (2011) *Potential isotopic and chemical markers for characterising organic fruits*. Food Chem 125:1072–1082. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.09.081
- CERNUSAK LA, BARBOUR MM, ARNDT SK, CHEESMAN AW, ENGLISH NB, FEILD TS, HELLIKER BR, HOLLOWAY-PHILLIPS MM, HOLTUM JAM, KAHMEN A, MCINERNEY FA, MUNKSGAARD NC, SIMONIN KA, SONG X, STUART-WILLIAMS H, WEST JB, FARQUHAR GD (2016) *Stable isotopes in leaf water of terrestrial plants*. Plant, Cell Environ 39:1087–1102. doi: 10.1111/pce.12703
- CHARLEBOIS S, STERLING B, HARATIFAR S, NAING SK (2014) *Comparison of global food traceability regulations and requirements*. Compr Rev Food Sci Food Saf 13:1104–1123. doi: 10.1111/1541-4337.12101
- CHEAJESADAGUL P, ARNAUDGUILHEM C, SHIOWATANA J, SIRIPINYANOND A, SZPUNAR J (2013) *Discrimination of geographical origin of rice based on multi-element fingerprinting by high resolution inductively coupled plasma mass spectrometry*. Food Chem 141:3504–3509. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.06.060
- CHESSON LA, BOWEN GJ, EHLERINGER JR (2010) *Analysis of the hydrogen and oxygen stable isotope ratios of beverage waters without prior water extraction using isotope ratio infrared spectroscopy*. Rapid Commun Mass Spectrom 24:3205–3213. doi: 10.1002/rcm.4759
- CHIETERA G, CHARDON F (2014) *Natural variation as a tool to investigate nutrient use efficiency in plants*. In: Nutrient Use Efficiency in Plants. Springer, Cham, pp 29–50
- CHUNG I-M, KIM J-K, JIN Y-I, OH Y-T, PRABAKARAN M, YOUNG K-J, KIM S-H (2016) *Discriminative study of a potato (Solanum tuberosum L.) cultivation region by measuring the stable isotope ratios of bio-elements*. Food Chem 212:48–57. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.05.161
- CHUNG I-M, KIM J-K, LEE J-H, AN M-J, LEE K-J, PARK S-K, KIM J-U, KIM M-J, KIM S-H (2017a) *C/N/O/S stable isotopic and chemometric analyses for determining the geographical origin of Panax ginseng cultivated in Korea*. J Ginseng Res 1–11. doi: 10.1016/j.jgr.2017.06.001
- CHUNG I-M, PARK S-K, LEE K-J, AN M-J, LEE J-H, OH Y-T, KIM S-H (2017b) *Authenticity testing of environment-friendly Korean rice (Oryza sativa L.) using carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis*. Food Chem 234:425–430. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.014
- COCCHI M, VIGNI ML, DURANTE C (2017) *Chemometrics - Bioinformatics*. In: Food Authentication: Management, Analysis and Regulation. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, pp 481–518
- CODEx ALIMENTARIUS (2006) *Principles for traceability/product tracing as a tool within a food inspection and certification system*.
- D'ARCHIVIO AA, GIANNITTO A, INCANI A, NISI S (2014) *Analysis of the mineral composition of Italian saffron by ICP-MS and classification of geographical origin*. Food Chem 157:485–489. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.02.068
- DAWSON TE, SIEGWOLF RTW (2007) *Using stable isotopes as indicators, tracers, and recorders of ecological change: some context and background*. In: Stable isotopes as indicators of ecological change. Academic Press, pp 3–18
- DE RIJKE E, SCHOORL JC, CERLI C, VONHOF HB, VERDEGAAL SJA, VIVÓ-TRUYOLS G, LOPATKA M, DEKTER R, BAKKER D, SJERPS MJ, EBSKAMP M, DE KOSTER CG (2016) *The use of δ^2H and $\delta^{18}O$ isotopic analyses combined with chemometrics as a traceability tool for the geographical origin of bell peppers*. Food Chem 204:122–128. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.134
- DENIRO MJ, EPSTEIN S (1979) *Relationship Between the Oxygen Isotope Ratios of Terrestrial Plant Cellulose, Carbon Dioxide, and Water*. Science (80-) 204:51–53. doi: 10.1126/science.204.4388.51
- DI GIACOMO F, DEL SIGNORE A, GIACCIO M (2007) *Determining the geographic origin of potatoes using mineral and trace element content*. J Agric Food Chem 55:860–866. doi: 10.1021/jf062690h
- DOOR DATABASE. Available at: https://ec.europa.eu/agriculture/quality_en.
- DRIVELOS SA, GEORGIU CA (2012) *Multi-element and multi-isotope-ratio analysis to determine the geographical origin of foods in the European Union*. TrAC - Trends Anal Chem 40:38–51. doi: 10.1016/j.trac.2012.08.003
- DRIVELOS SA, HIGGINS K, KALIVAS JH, HAROUTOUNIAN SA, GEORGIU CA (2014) *Data fusion for food authentication. Combining rare earth elements and trace metals to discriminate "fava Santorinis" from other yellow split peas using chemometric tools*. Food Chem 165:316–322. doi:

- 10.1016/j.foodchem.2014.03.083
- EHLERINGER JR, MATHESON JR. SM (2010) *Stable isotopes and courts*. Utah Law Rev 2010:385–442.
- ELIAS RW, HIRAO Y, PATTERSON CC (1982) *The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead*. Geochim Cosmochim Acta 46:2561–2580. doi: 10.1016/0016-7037(82)90378-7
- EVANS JA, PASHLEY V, RICHARDS GJ, BRERETON N, KNOWLES TG (2015) *Geogenic lead isotope signatures from meat products in Great Britain: Potential for use in food authentication and supply chain traceability*. Sci Total Environ 537:447–452. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.133
- FLOCKHART DTTT, KYSER TK, CHIPLEY D, MILLER NG, NORRIS DR (2015) *Experimental evidence shows no fractionation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) among soil, plants, and herbivores: implications for tracking wildlife and forensic science*. Isotopes Environ Health Stud 51:372–381. doi: 10.1080/10256016.2015.1021345
- FORTUNATO G, MUMIC K, WUNDERLI S, PILLONEL L, BOSSET JO, GREMAUD G (2004) *Application of strontium isotope abundance ratios measured by MC-ICP-MS for food authentication*. J Anal At Spectrom 19:227–234. doi: 10.1039/b307068a
- FSAI (2013) *The aftermath of the horse meat incident*. Available at: https://www.fsai.ie/publications/horse_meat_survey_2013/
- FURIA E, NACCARATO A, SINDONA G, STABILE G, TAGARELLI A (2011) *Multielement fingerprinting as a tool in origin authentication of PGI food products: Tropea Red Onion*. J Agric Food Chem 59:8450–8457. doi: 10.1021/jf201556e
- GERMAIN C (2003) *Traceability implementation in developing countries, its possibilities and its constraints A few case studies*. 1–159. Available at: <ftp://ftp.fao.org/esn/food/traceability.pdf>
- GÓMEZ-ALONSO S, GARCÍA-ROMERO E (2010) *Effect of irrigation and variety on oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) stable isotope composition of grapes cultivated in a warm climate*. Aust J Grape Wine Res 16:283–289. doi: 10.1111/j.1755-0238.2009.00089.x
- GONZÁLVIZ A, ARMENTA S, DE LA GUARDIA M (2009) *Trace-element composition and stable-isotope ratio for discrimination of foods with Protected Designation of Origin*. TrAC Trends Anal Chem 28:1295–1311. doi: 10.1016/j.trac.2009.08.001
- GONZÁLVIZ A, ARMENTA S, DE LA GUARDIA M (2011) *Geographical traceability of “Arròs de Valencia” rice grain based on mineral element composition*. Food Chem 126:1254–1260. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.032
- HEATON K, KELLY SD, HOOGWERFF J, WOOLFE M (2008) *Verifying the geographical origin of beef: The application of multi-element isotope and trace element analysis*. Food Chem 107:506–515. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.08.010
- HEATON THE (1987) *The $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of plants in South Africa and Namibia: relationship to climate and coastal/saline environments*. Oecologia 74:236–246. doi: 10.1007/BF00379365
- HIRAOKA H, MORITA S, IZAWA A, AOYAMA K, SHIN K-C, NAKANO T (2016) *Tracing the geographical origin of onions by strontium isotope ratio and strontium content*. Anal Sci 32:781–788. doi: 10.2116/analsci.32.781
- HOPFER H, NELSON J, COLLINS TS, HEYMANN H, EBELER SE (2015) *The combined impact of vineyard origin and processing winery on the elemental profile of red wines*. Food Chem 172:486–496. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.09.113
- INGELFINGER JR (2008) *Melamine and the global implications of food contamination*. N Engl J Med 359:2745–2748. doi: 10.1056/NEJMp0808410
- IRRGEHER J, PROHASKA T (2015) *Application of non-traditional stable isotopes in analytical ecogeochemistry assessed by MC ICP-MS - A critical review*. Anal Bioanal Chem. doi: 10.1007/s00216-015-9025-3
- JOEBSTL D, BANDONIENE D, MEISEL T, CHATZISTATHIS S (2010) *Identification of the geographical origin of pumpkin seed oil by the use of rare earth elements and discriminant analysis*. Food Chem 123:1303–1309. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.06.009
- JOHNSON R (2014) *Food fraud and “economically motivated adulteration” of food and food ingredients*. Congr Res Serv Rep January:1–40. Available at: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R43358.pdf>
- JRC EUROPEAN COMMISSION Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/food-authentic>.
- KAYA AD, BRUNO DE SOUSA R, CURVELO-GARCIA AS, RICARDO-SILVA JM, CATARINO S (2017) *Effect of wood aging on wine mineral composition and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio*. J Agric Food Chem 65:4766–4776. doi: 10.1021/acs.jafc.7b01510
- KELLY S, HEATON K, HOOGWERFF J (2005) *Tracing the geographical origin of food: The application of multi-element and multi-isotope analysis*. Trends Food Sci Technol 16:555–567. doi: 10.1016/j.tifs.2005.08.008
- KOMÁREK M, ETLER V, CHRÁSTNÝ V, MIHALJEVIČ M (2008) *Lead isotopes in environmental sciences: A review*. Environ Int 34:562–577. doi: 10.1016/j.envint.2007.10.005
- LI GC, WU ZJ, WANG YH, DONG XC, LI B, HE WD, WANG SC, CUI JH (2011) *Identification of geographical origins of Schisandra fruits in China based on stable carbon isotope ratio analysis*. Eur Food Res Technol 232:797–802. doi: 10.1007/s00217-011-1445-5
- LI Q, CHEN L, DING Q, LIN G (2013) *The stable isotope signatures of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) in main cultivation regions of China: Implications for tracing geographic origin*. Eur Food Res Technol 237:109–116. doi: 10.1007/s00217-013-1967-0
- LIU H, WEI Y, LU H, WEI S, JIANG T, ZHANG Y, GUO B (2016) *Combination of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio and light stable isotopic values ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and δd) for identifying the geographical origin of winter wheat in China*. Food Chem 212:367–373. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.06.002
- LONGOBARDI F, CASIELLO G, CENTONZE V, CATUCCI L, AGOSTIANO A (2017) *Isotope ratio mass spectrometry in combination with chemometrics for characterization of geographical origin and agronomic practices of table grape*. J Sci Food Agric 97:3173–3180. doi: 10.1002/jsfa.8161
- LUO D, DONG H, LUO H, XIAN Y, WAN J, GUO X, WU Y (2015) *The application of stable isotope ratio analysis to determine the geographical origin of wheat*. Food Chem 174:197–201. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.11.006
- LUYKX DMAM, VAN RUTH SM (2008) *An overview of analytical methods for determining the geographical origin of food products*. Food Chem 107:897–911. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.09.038
- MA G, ZHANG Y, ZHANG J, WANG G, CHEN L, ZHANG M, LIU T, LIU X, LU C (2016) *Determining the geographical origin of Chinese green tea by linear discriminant analysis of trace metals and rare earth elements: Taking Dongting Biluochun as an example*. Food Control 59:714–720. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.06.037
- MEIER-AUGENSTEIN W, KEMP HF, HARDIE SML (2012) *Detection of counterfeit scotch whisky by ^2H and ^{18}O stable isotope analysis*. Food Chem 133:1070–1074. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.01.084
- MERCURIO M, GRILLI E, ODIERNA P, MORRA V, PROHASKA T, COPPOLA E, GRIFA C, BUONDONNO A, LANGELLA A (2014) *A “Geo-Pedo-Fingerprint” (GPF) as a tracer to detect univocal parent material-to-wine production chain in high quality vineyard districts, Campi Flegrei (Southern Italy)*. Geoderma 230–231:64–78. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.04.006
- MIMMO T, CAMIN F, BONTEMPO L, CAPICI C, TAGLIAVINI M, CESCO S, SCAMPICCHIO M (2015) *Traceability of different apple varieties by multivariate analysis of isotope ratio mass*

- spectrometry data*. Rapid Commun Mass Spectrom 29:1984–1990. doi: 10.1002/rcm.7306
- MOORE JC, SPINK J, LIPP M (2012) *Development and application of a database of food ingredient fraud and economically motivated adulteration from 1980 to 2010*. J Food Sci 77:R118–R126. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02657.x
- MUCCIO Z, JACKSON GP (2009) *Isotope ratio mass spectrometry*. Analyst 134:213–222. doi: 10.1039/B808232D
- NAKANO T (2016) *Potential uses of stable isotope ratios of Sr, Nd, and Pb in geological materials for environmental studies*. Proc Jpn Acad 92:167–184. doi: 10.2183/pjab.92.167
- ODDONE M, ACETO M, BALDIZZONE M, MUSSO D, OSELLA D (2009) *Authentication and traceability study of hazelnuts from Piedmont, Italy*. J Agric Food Chem 57:3404–3408. doi: 10.1021/jf900312p
- PEI X, TANDON A, ALLDRICK A, GIORGI L, HUANG W, YANG R (2011) *The China melamine milk scandal and its implications for food safety regulation*. Food Policy 36:412–420. doi: 10.1016/j.foodpol.2011.03.008
- PEREZ AL, SMITH BW, ANDERSON KA (2006) *Stable isotope and trace element profiling combined with classification models to differentiate geographic growing origin for three fruits: Effects of subregion and variety*. J Agric Food Chem 54:4506–4516. doi: 10.1021/jf0600455
- PODIO NS, BARONI M V., BADINI RG, INGA M, OSTERA HA, CAGNONI M, GAUTIER EA, GARCÍA PP, HOOGWERFF J, WUNDERLIN DA (2013) *Elemental and isotopic fingerprint of argentinean wheat. Matching soil, water, and crop composition to differentiate provenance*. J Agric Food Chem 61:3763–3773. doi: 10.1021/jf305258r
- RASHMI D, SHREE P, SINGH DK (2017) *Stable isotope ratio analysis in determining the geographical traceability of Indian wheat*. Food Control 79:169–176. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.025
- REGATTIERI A, GAMBERI M, MANZINI R (2007) *Traceability of food products: General framework and experimental evidence*. J Food Eng 81:347–356. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.10.032
- REIMANN C, FLEM B, FABIAN K, BIRKE M, LADENBERGER A, NÉGREL P, DEMETRIADES A, HOOGWERFF J, ALBANESE S, ANDERSSON M, ARNOLDUSSEN A, BARITZ R, BATISTA MJ, BELLAN A, CICHELLA D, DINELLI E, DE VIVO B, ... ZOMENI Z (2012) *Lead and lead isotopes in agricultural soils of Europe - The continental perspective*. Appl Geochemistry 27:532–542. doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.12.012
- RODEN JS, EHLERINGER JR (1999) *Observations of hydrogen and oxygen isotopes in leaf water confirm the craig-gordon model under wide-ranging environmental conditions*. Plant Physiol 120:1165–74.
- RODRIGUES C, BRUNNER M, STEIMAN S, BOWEN GJ, NOGUEIRA JMF, GAUTZ L, PROHASKA T, MÁGUAS C (2011) *Isotopes as tracers of the Hawaiian coffee-producing regions*. J Agric Food Chem 59:10239–10246. doi: 10.1021/jf200788p
- ROSSMANN A (2001) *Determination of stable isotope ratios in food analysis*. Food Rev Int 17:347–381. doi: 10.1081/FRI-100104704
- SANTATO A, BERTOLDI D, PERINI M, CAMIN F, LARCHER R (2012) *Using elemental profiles and stable isotopes to trace the origin of green coffee beans on the global market*. J Mass Spectrom 47:1132–1140. doi: 10.1002/jms.3018
- SHEN S, XIA L, XIONG N, LIU Z, SUN H (2013) *Determination of the geographic origin of rice by element fingerprints and correlation analyses with the soil of origin*. Anal Methods 5:6177–6185. doi: 10.1039/c3ay40700d
- SUZUKI Y, CHIKARAISHI Y, OGAWA NO, OHKOUCHI N, KORENAGA T (2008) *Geographical origin of polished rice based on multiple element and stable isotope analyses*. Food Chem 109:470–475. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.12.063
- SWOBODA S, BRUNNER M, BOULYGA SF, GALLER P, HORACEK M, PROHASKA T (2008) *Identification of Marchfeld asparagus using Sr isotope ratio measurements by MC-ICP-MS*. Anal Bioanal Chem 390:487–494. doi: 10.1007/s00216-007-1582-7
- SZPAK P (2014) *Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices*. Front Plant Sci 5:1–19. doi: 10.3389/fpls.2014.00288
- TECHER I, MEDINI S, JANIN M, ARREGUI M (2017) *Impact of agricultural practice on the Sr isotopic composition of food products: Application to discriminate the geographic origin of olives and olive oil*. Appl Geochemistry 82:1–14. doi: 10.1016/j.apgeochem.2017.05.010
- THERMO ELEMENTAL (2001) *AAS, GFAAS, ICP or ICP-MS? Which technique should I use?* Available <https://www.researchgate.net/file/PostFileLoader.html?id=536d29c3d3df3e447c8b45a2&assetKey=AS%3A273531932217348%401442226502426>
- TNS OPINION & SOCIAL (2012) *Europeans' attitudes towards food security, food quality and the countryside - Report Special Eurobarometer 389 / Wave EB77.2*. Available at: ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_389_en.pdf
- TRINCHERINI PR, BAFFI C, BARBERO P, PIZZOGLIO E, SPALLA S (2014) *Precise determination of strontium isotope ratios by TIMS to authenticate tomato geographical origin*. Food Chem 145:349–355. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.030
- TYLER G (1994) *ICP-MS, or ICP-AES and AAS?—a comparison*.
- TYLER G (2004) *Rare earth elements in soil and plant systems - A review*. Plant Soil 267:191–206. doi: 10.1007/s11104-005-4888-2
- VALENTIN JL, WATLING RJ (2013) *Provenance establishment of coffee using solution ICP-MS and ICP-AES*. Food Chem 141:98–104. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.02.101
- WALCZYK T (2004) *TIMS versus multicollector-ICP-MS: coexistence or struggle for survival?*. Anal Bioanal Chem 378:229–231. doi: 10.1007/s00216-003-2053-4
- YANG L (2009) *Accurate and precise determination of isotopic ratios by MC-ICP-MS: A review*. Mass Spectrom Rev 28:990–1011. doi: 10.1002/mas.20251
- YIP Y, LAM JC, TONG W (2008) *Applications of lead isotope ratio measurements*. TrAC Trends Anal Chem 27:460–480. doi: 10.1016/j.trac.2008.02.011
- ZHAO H, GUO B, WEI Y, ZHANG B (2013) *Multi-element composition of wheat grain and provenance soil and their potentialities as fingerprints of geographical origin*. J Cereal Sci 57:391–397. doi: 10.1016/j.jcs.2013.01.008
- ZHAO H, GUO B, WEI Y, ZHANG B, SUN S, ZHANG L, YAN J (2011) *Determining the geographic origin of wheat using multielement analysis and multivariate statistics*. J Agric Food Chem 59:4397–4402. doi: 10.1021/jf200108d
- ZHAO Y, ZHANG B, CHEN G, CHEN A, YANG S, YE Z (2014) *Recent developments in application of stable isotope analysis on agro-product authenticity and traceability*. Food Chem 145:300–305. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.062

Indicazioni per la preparazione e la revisione delle “Review” su *Italus Hortus*

Premessa

La decisione di invitare un Autore a scrivere una Review per *Italus Hortus* viene presa dal Comitato Scientifico ed Editoriale della Rivista nell'ambito della programmazione, in accordo con il direttore Responsabile. Gli Editor delle diverse sezioni propongono autori e argomenti per le Review al Comitato Scientifico Editoriale (CSE) che dovrà approvarli. Gli autori che vogliono proporsi per preparare una Review sono pregati di contattare il CSE prima di sottoporre il manoscritto. Le Review dovranno trattare argomenti di interesse per l'Ortofloro-frutticoltura italiana e contenere preferibilmente risvolti di tipo applicativo. Potranno tuttavia essere proposte Review maggiormente centrate sulla ricerca di base, su aspetti metodologici di grande rilievo o articoli descrittivi di importanti realtà produttive Italiane ed estere.

Invio dei Manoscritti

Nel caso di Review ad invito, l'autore ha indicativamente 4-6 mesi per inviare il lavoro che subirà una 'peer review' da parte dell'Editor di riferimento e da un 'referee' scelto dall'Editor stesso. I dattiloscritti devono essere inviati all'Editor di riferimento e alla Segreteria della SOI, presso il DIPSA, Università di Firenze, viale delle Idee 30, 50019 Sesto Fiorentino (FI). I dattiloscritti devono essere inviati per posta elettronica o tramite CD-Rom; essi saranno stampati su una sola facciata di fogli A4, con interlinea doppia e margini di 3 cm (sinistro e destro). Il carattere del testo deve essere Times New Roman di 12 punti. Le pagine devono essere numerate. Indicativamente, il testo delle Review dovrebbe essere compreso tra le 5.000 e le 10.000 parole. I lavori che non rispettano le indicazioni per gli autori non potranno essere avviati al processo di revisione.

Supporti accettati

I testi e le tabelle devono necessariamente essere in formato Word (estensione DOC) o Rich Text Format (estensione RTF). Eventuali grafici e figure devono essere in formato JPG con risoluzione minima 300 dpi e larghezza pari a cm 10 (una colonna). Si raccomanda di salvare in files separati il testo e le tabelle (1 file) i grafici e le figure (1 file per grafico e/o figura). La pubblicazione avverrà in bianco e nero; eventuali figure o tabelle a colori saranno a carico dell'Autore che ne farà richiesta.

Procedura per l'accettazione

L'Editor sarà responsabile dell'accettazione del lavoro sulla base dei suggerimenti del referee e potrà richiedere revisioni ed integrazioni. L'Editor comunicherà all'Autore l'esito della procedura di valutazione entro 2 mesi dalla ricezione del manoscritto. Gli Autori sono tenuti a inviare il lavoro corretto per l'accettazione finale entro 30 giorni. Le bozze tipografiche saranno inviate agli Autori per la correzione e dovranno essere restituite entro 15 giorni, anche qualora non si rilevano correzioni da fare. Il mancato ritorno delle bozze corrette nei termini stabiliti comporta l'accettazione delle medesime.

Preparazione del manoscritto

La prima pagina deve comprendere nell'ordine: Titolo in Italiano, nome e cognome dell'Autore(i), indirizzo(i) dell'Istituzione(i) di appartenenza, il nome e l'e-mail dell'Autore corrispondente, riassunto in Italiano, parole chiave (non presenti nel titolo, max 5), titolo in Inglese, abstract in Inglese, key-words (max 5), indicazione del numero di pagine del testo, delle tabelle e figure.

Riassunto: il riassunto Italiano è limitato a 100 parole; l'abstract Inglese è compreso tra 400 e 500 parole. In entrambi i casi devono essere riportati scopi e risultati della ricerca senza abbreviazioni, equazioni e citazioni bibliografiche. L'abstract in Inglese deve contenere con chiarezza tutte le informazioni e consentire la massima visibilità del lavoro ad un pubblico più ampio.

Parole chiave: la lista di parole chiave, in Italiano e Inglese, non usate nel titolo, include nomi comuni e scientifici, nomi delle specie, nome comune degli elementi chimici, termini fisiologici e patologici.

Testo: il testo sarà articolato in paragrafi; lo scopo della Review dovrà essere chiaramente indicato nell'Introduzione. Il testo deve includere

un paragrafo 'Conclusioni' che potranno assumere anche la forma di 'Prospettive future' o 'Ricadute pratiche'.

Gli elenchi devono essere puntati, secondo l'esempio sotto riportato.

- Il punto deve essere tondo e pieno;
- Il testo deve rientrare;
 - L'eventuale sotto punto è tondo, ma vuoto;
 - Non sono ammessi ulteriori livelli.

Non sono ammesse note a piè di pagina.

Unità di misura: le unità di misura e il relativo simbolo devono essere quelle del Sistema Internazionale (SI). Il simbolo, senza punto, deve seguire il valore numerico.

Nomi delle Piante: i nomi scientifici di piante e animali sono indicati in corsivo. I nomi delle cultivar vanno scritti con la prima lettera maiuscola senza virgolette, preceduti dall'abbreviazione 'cv' senza punto (es. *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv Snow Don).

Corsivo: il corsivo nel testo deve essere usato solo per espressioni latine, nomi scientifici e parole straniere, limitate a quelle per cui non esista il corrispettivo italiano.

Tabelle: le tabelle devono essere riportate a fine testo, in pagine separate e comunque non inserite all'interno del testo. Il titolo delle tabelle deve essere in Italiano e Inglese (questo in corsivo). Non riportare gli stessi dati in tabelle e grafici. Le tabelle devono essere intelleggibili senza ricorrere al testo e numerate con numero arabo progressivo (es. tab. 1). Le unità di misura devono essere chiaramente indicate. Ogni colonna deve riportare un'appropriata intestazione.

Grafici: i grafici devono essere in formato JPG con risoluzione minima 300 dpi e larghezza minima di cm 10 (una colonna). Il titolo dei grafici deve essere in Italiano e Inglese (questo in corsivo). I grafici devono essere in bianco e nero; la pubblicazione di grafici a colori sarà a carico dell'Autore. I grafici non devono essere inseriti all'interno del testo. All'interno del testo il grafico è indicato come figura e numerato con numero arabo progressivo (es. fig. 1).

Immagini: foto, diapositive e disegni devono essere forniti in originale. Qualora l'originale non sia disponibile, è possibile inviare un file in formato JPG o TIF; ogni altro formato non sarà accettato. La larghezza minima è pari a cm 10 (una colonna). La pubblicazione a colori è a carico dell'Autore.

La didascalia di grafici e immagini deve essere riportata in Italiano e Inglese (questo in corsivo) in files separati o al termine del testo. Le figure devono essere intelleggibili senza ricorrere alla lettura del testo e numerate con numero arabo progressivo. Tutte le figure devono avere un riferimento nel testo.

Bibliografia: le citazioni bibliografiche (fino ad un massimo di 50) all'interno del testo devono avvenire in ordine alfabetico, mediante il riferimento al cognome dell'Autore o degli Autori (se due) e all'anno di pubblicazione. Nel caso di più Autori, al nome primo seguirà l'abbreviazione *et al.* Nel caso di più lavori nello stesso anno dello stesso Autore, all'anno si faranno seguire lettere minuscole progressive (es. 2003a, 2003b).

La bibliografia dei lavori citati deve essere indicata in ordine alfabetico secondo il seguente schema, con i caratteri speciali e la punteggiatura indicati:

CASO N. 1 PUBBLICAZIONE SU RIVISTA

AUTORE/I (la virgola separa gli Autori uno dall'altro), anno di pubblicazione. *Titolo del lavoro.* Rivista, volume (numero della rivista): numero pagine. Es. ROSSI G., BIANCHI M., 1990. *Le rose dei Romani sono belle.* *Italus Hortus*, 1 (1): 22-26.

CASO N. 2 CAPITOLO DI UN LIBRO

AUTORE/I, anno di pubblicazione. *Titolo del lavoro.* In: Curatore libro, Titolo del volume, Casa editrice (città): numero pagine. Es. ROSSI G., BIANCHI M., 1990. *Le rose dei Romani.* In: M. Bianchi ed., *Le rose nel mondo antico*, SOI (Firenze): 22-26.

CASO N. 3 MONOGRAFIA

AUTORE/I, anno di pubblicazione. *Titolo del lavoro.* Casa editrice (città), numero pagine. Es. ROSSI G., BIANCHI M., 1990. *Le rose dei Romani.* SOI (Firenze), pp. 200.

Italus Hortus

Rivista bimestrale scientifica
di orticoltura, floricoltura e frutticoltura
Volume 24, numero 1, 2017

Review n. 31

Indice - Contents

Editoriale	Pag.	1
La produzione orticola biologica in Italia: principi, aspetti normativi e prospettive future Stefano Canali e Fabio Tittarelli - CREA, Roma	“	3
Caratteristiche di qualità e purezza degli oli d'oliva tra necessità di standardizzazione e variabilità naturale Lanfranco Conte, Erica Moret, Ornella Boschelle, Paolo Lucci, Sabrina Moret - Università di Udine	“	15
Can Pruning Reduce the Likelihood of Tree Failure? Brian Kane, Department of Environmental Conservation University of Massachusetts (USA)	“	23
Urban horticulture and ecosystem services: challenges and opportunities for greening design and management Federica Larcher, Marco Devecchi, Luca Battisti, Monica Vercelli - University of Turin	“	33
The geographical origin of fresh horticultural products: analytical methods to prevent food frauds Agnese Aguzzoni, Scandellari Francesca Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano-Bozen	“	41