

# Resilienza, circolarità e sostenibilità in agricoltura

7 settembre 2021

## Programma

9.30 - *Saluti istituzionali*

Coordina: Simone Orlandini

9.45 - Relazioni

STEFANIA DE PASCALE

*Agricoltura circolare: opportunità e criticità*

NICOLA LUCIFERO

*La sostenibilità nella filiera agroalimentare: il quadro normativo tra criticità applicative e prospettive*

LUIGI FRUSCIANTE

*Ruolo delle nuove tecniche di miglioramento genetico all'adattamento e alla gestione ecocompatibile*

SIMONE ORLANDINI

*La sostenibilità nei sistemi agrari*

RAFFAELLO GIANNINI

*La sostenibilità nei sistemi forestali*

PAOLO SCKOKAI

*Nuovi modelli di consumo*

12.30 - *Conclusione dei lavori*

STEFANIA DE PASCALE<sup>1</sup>, ALBINO MAGGIO<sup>1</sup>

## Agricoltura circolare: opportunità e criticità

<sup>1</sup> Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II

### INTRODUZIONE

L'agricoltura nei prossimi decenni dovrà affrontare una grande sfida: sfamare 10 miliardi di persone che abiteranno la Terra nel 2050 utilizzando le risorse in modo più efficiente. L'agricoltura attuale applica i principi dell'economia lineare: prende, usa e getta, ha bisogno di apporti continui dall'esterno di materie prime che vanno esaurendosi, e produce rifiuti che, se non smaltiti correttamente, contribuiscono a inquinare acqua e suolo. Un sistema agricolo così concepito non è sostenibile ed è destinato al collasso sotto la crescente pressione demografica a cui si aggiungono i cambiamenti climatici e il consumo delle risorse naturali che procede a un tasso senza precedenti, rendendo ancora più incerto il futuro della produzione agricola. L'alternativa al sistema lineare è una economia detta "circolare" che si basa sulla riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili e la valorizzazione degli scarti, oltre che sulla estensione della vita utile dei prodotti. I principi dell'economia circolare trovano origine nel sistema industriale, ma si sono rapidamente diffusi in tutti i settori produttivi fino a diventarne parte essenziale delle politiche economiche di sviluppo europee. Il settore agricolo offre grandi opportunità per l'implementazione dei principi di circolarità; tuttavia, affinché l'interpretazione di tali principi si traduca in una transizione che apporti benefici sociali, ambientali ed economici, occorre affrontare e superare le criticità legate alla loro applicazione in agricoltura.

## PRINCIPI FONDAMENTALI DELL'ECONOMIA CIRCOLARE

La prima definizione formale di economia circolare è stata introdotta da Pearce e Turner (1990) per spiegare la possibilità di chiudere i processi industriali tenendo conto degli aspetti ambientali dell'economia. L'introduzione di una stretta dipendenza tra economia e ambiente è stata seguita dal concetto di *industrial ecology* (ecologia industriale) che guarda a un *network* di processi industriali con minimo spreco di risorse (Ausbel, 1994). Su queste basi sono state proposte altre definizioni di economia circolare (Rizos et al., 2017) che enfatizzano vari aspetti di un sistema complesso in cui la componente economica, sociale e ambientale hanno uguale importanza e devono, pertanto, essere analizzate non singolarmente e indipendentemente ma con un approccio integrato finalizzato a realizzare un progresso sostenibile. La Ellen MacArthur Foundation (2013; 2017), riassumendo molti aspetti sostanziali dell'economia circolare, la definisce come un sistema che fa un uso efficiente delle risorse dove *input* e *output* sono utilizzati in maniera circolare e gli *output* diventano a loro volta *input*. Un sistema "perfetto" di economia circolare si basa sui seguenti principi: 1) "gli sprechi/rifiuti alimentari sono cibo" nel senso che possono essere riutilizzati/riciclati; 2) l'energia deve provenire da risorse rinnovabili; 3) il "prezzo deve dire il vero" e riflettere i costi di produzione inclusi quelli ambientali; 4) si deve operare secondo una "visione di sistema" così che le risorse, inclusi i rifiuti, siano utilizzate nella maniera più efficiente in ogni punto del sistema.

L'economia circolare è oggi uno dei principi fondamentali delle politiche economiche europee (si veda il *Green Deal* Europeo), ma la stessa Unione Europea (UE) ha evidenziato nella comunicazione del 2015 "L'anello mancante. Piano d'azione dell'Unione Europea per l'economia circolare" alcuni limiti all'implementazione dell'economia circolare, che vanno considerati nel processo di transizione:

- gli studi disponibili adottano approcci diversi nel calcolo dell'impatto di una transizione verso un'economia circolare, che rende difficile il confronto dei risultati ottenuti;
- è necessaria maggiore chiarezza sui settori e applicazioni che rispondono a scopi e principi dell'economia circolare. Questo è essenziale per definire conclusioni coerenti sui potenziali effetti dell'economia circolare;
- l'applicazione di principi di economia circolare a un settore deve considerare attentamente tutti i parametri che possono avere un ruolo nella sostenibilità complessiva del processo circolare in sostituzione di uno lineare, al fine di evitare messaggi semplicistici;

- è importante fare chiarezza sull'impatto netto atteso in termini di occupazione nei diversi settori. Ciò aiuterebbe a definire misure di politica idonee a gestire una transizione verso un'economia circolare contenendo eventuali impatti negativi;
- l'impatto dell'economia circolare in termini di numero di posti di lavoro è stato ampiamente analizzato ma è necessaria una valutazione più approfondita sull'impatto sociale e altre conseguenze indirette sulle prospettive occupazionali;
- è necessario comprendere gli effetti indiretti dell'economia (es. sulla catena del valore e/o sui modelli di spesa per consumi) al fine di stimare gli impatti complessivi a livello nazionale o dell'UE.

Alla luce delle criticità evidenziate dall'UE emerge quindi la necessità di proporre modelli che contestualizzino i percorsi e quindi le scelte strategiche verso un'economia circolare. Le molteplici possibilità di applicazione dei principi di circolarità in agricoltura vanno, quindi, relazionate all'economia territoriale, alle risorse che essa offre e ai sottoprodotti che più processi produttivi mettono a disposizione come risorsa da reimmettere in circolo (De Pascale e Maggio, 2021).

## ENERGIA

Negli ultimi decenni, l'aumento dei consumi energetici ha contribuito in modo significativo a sfamare il mondo (FAO, 2013). Attualmente, il settore agroalimentare rappresenta circa il 30% del consumo totale di energia a livello globale ed è fortemente dipendente dai combustibili fossili il cui uso è una delle principali cause del cambiamento climatico (Radenahmad et al., 2020). L'aumento della produzione alimentare per soddisfare le esigenze di una popolazione mondiale in crescita comporterà un ulteriore incremento del consumo di energia e dell'impatto negativo che il settore ha sull'ambiente. Una gestione efficiente delle fonti energetiche e la diversificazione attraverso l'uso di energie rinnovabili sostenibili può ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, aumentare l'approvvigionamento e facilitare l'accesso all'energia e ridurre l'impatto ambientale. Un caso studio di successo che ha messo a frutto questi principi, armonizzandoli in un'efficace partnership pubblico-privato, è il progetto *Green Farm*. L'idea, finanziata dal Fondo per la Crescita Sostenibile [Sportello "AGRIFOOD" PON I&C 2014-2020, Partner: Graded S.p.A. (Capofila), Costruzioni Motori Diesel S.p.A. e Dipartimento di Agraria - Università di Napoli Federico II (responsabile tecni-

co-scientifico) con la collaborazione del CNR (Istituto Motori e Istituto Ricerche Combustione)], propone un modello di radicale trasformazione della produzione agricola basato sull'efficientamento energetico e lo sfruttamento delle risorse localmente disponibili (De Pascale et al., 2021). I principi dell'economia circolare appartengono fortemente alla tradizione del mondo agricolo: i residui della potatura, per esempio, sono stati da sempre utilizzati per la produzione di energia per riscaldare le case rurali. Il territorio è, quindi, fonte di approvvigionamento di biomassa ma il suo potenziale produttivo, ai fini energetici, va caratterizzato e inquadrato in una realistica analisi costi-benefici. La contestualizzazione territoriale è a sua volta intimamente connessa ai possibili campi applicativi. Per cui l'efficientamento energetico applicato alle attività agricole parte dall'analisi quanti-qualitativa delle risorse localmente disponibili, dall'energia "sostenibile" che queste possono fornire e dai sistemi produttivi che possono utilizzarla efficientemente. Va tuttavia sottolineato che lo sviluppo di modelli di transizione verso un'economia circolare deve inevitabilmente capitalizzare su soluzioni innovative che consentano di reimmettere i materiali biologici nel ciclo produttivo con l'ausilio di tecnologie che ne massimizzino l'utilizzazione prima dello smaltimento. Il progetto *Green Farm*, in linea con quanto premesso, intende sviluppare un modello di circolarità e incremento della sostenibilità in agricoltura che coniughi la produzione, la gestione e l'utilizzo di energia da sole fonti rinnovabili, con la valorizzazione degli scarti derivanti dai singoli processi produttivi. Il progetto *Green Farm*, in corso di attuazione presso un'azienda agricola sperimentale di proprietà del Dipartimento di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II situata nel Comune di Castel Volturno (CE), si sviluppa sui due principi fondamentali: l'efficientamento energetico e l'applicazione di tecnologie innovative *green* per l'implementazione dei principi di economia circolare in agricoltura e, in particolare, in coltura protetta. Nel sistema economico nazionale, infatti, l'ortofloricoltura protetta rappresenta un settore strategico di sviluppo del territorio. In questo ambito, il progetto mira a incrementare la sostenibilità delle filiere produttive protette attraverso la riduzione dei costi necessari al condizionamento climatico grazie all'uso di fonti energetiche rinnovabili (Zhang e Kacira, 2020). In questo sistema, l'energia è ottenuta mediante una configurazione innovativa per la generazione combinata di energia termica ed elettrica grazie a un pirogasificatore di biomasse di diversa natura containerizzato (e quindi mobile) e integrato con sistemi di accumulo e pannelli fotovoltaici. La diversa origine della biomassa utilizzata per la generazione di energia è una caratteristica unica del sistema. Altra caratteristica dell'impianto è la produzione di materiali di "scarto" valorizzabili lungo la filiera agricola: biochar e CO<sub>2</sub>. Il bio-

char, ottenuto dalla pirolisi di diversi tipi di biomassa vegetale, oltre a essere usato come ammendante dei suoli agricoli o per la produzione di substrati per l'ortofloricoltura, ha numerosi altri impieghi quale additivo negli alimenti per animali, come materiale isolante, come filtro per la purificazione delle acque e dei suoli o per assorbire sostanze organiche volatili o, infine, per la produzione di supercondensatori o pseudocondensatori per l'accumulo di energia elettrica (Biederman e Harpole, 2012). Oltre alla caratterizzazione e alla valorizzazione del biochar, il progetto prevede il recupero della CO<sub>2</sub> prodotta dall'impianto per la concimazione carbonica in serra (la CO<sub>2</sub> da scarto diventa risorsa). *Green Farm* è, quindi, un esempio di uso integrato di fonti energetiche rinnovabili (i.e. energia solare, colture da energia utilizzate per recupero di aree marginali o per il fitorisanamento ambientale, biomasse lignocellulosiche di scarto di diversa origine) ma anche di valorizzazione eco-compatibile dei rifiuti generati dalla produzione di energia che vengono riutilizzati in agricoltura.

#### SOSTANZA ORGANICA E NUTRIENTI

Nell'ultimo secolo, a causa di una gestione poco attenta dei suoli, si stima sia stato perso complessivamente il 60% della sostanza organica originariamente presente. Questo fenomeno, oltre a ridurre la fertilità dei suoli agrari, ha contribuito all'incremento dei gas serra nell'atmosfera. La perdita di sostanza organica, tra gli altri effetti, comporta la perdita di struttura e la riduzione della capacità del suolo di trattenere l'acqua favorendo fenomeni di erosione e la lisciviazione degli elementi minerali contribuendo così ai fenomeni di dissesto idrogeologico e all'inquinamento delle falde. Altro fattore indispensabile per la produzione agricola è la disponibilità di nutrienti per la crescita delle piante. Mentre in passato i nutrienti sottratti col raccolto venivano restituiti al suolo con gli scarti organici utilizzati per concimare i terreni, oggi la produzione vegetale dipende in larga parte dai fertilizzanti di sintesi, prodotti utilizzando risorse non rinnovabili (es. miniere di fosforo) e combustibili fossili (es. sintesi dei concimi azotati). L'energia associata alla produzione di fertilizzanti chimici, in particolare, conta per circa il 3% del totale di uso/emissioni. La valorizzazione degli scarti agricoli come fonte di sostanza organica può favorire lo sviluppo sostenibile del settore contribuendo a ridurre l'impatto ambientale e, contemporaneamente, ad abbattere i costi di produzione. Le biomasse di scarto, inoltre, possono rappresentare una potenziale fonte di biomolecole con un ampio potenziale applicativo in vari settori industriali e trasformarsi da rifiuto in risorsa economica di valore

significativo. Un esempio in tal senso è il progetto FENNEL - FavorirE l'utilizzo degli scarti del finocchio ai fini della bioeconomia utile allo sviluppo delle imprese agricole, nato per valorizzare la biomassa di scarto proveniente dalla lavorazione del finocchio. La produzione del finocchio, come quella di altre specie orticole di rilevanza nazionale, si concentra in ampi areali geografici ben definiti nei quali devono essere smaltiti elevati volumi di scarto con un calendario pressoché continuo nell'arco dell'anno. Al progetto, finanziato dalla Regione Campania nell'ambito del PSR Misura 16.1 – Azione 2, partito a fine settembre 2019 e tuttora in corso, partecipano il Distretto Tecnologico Campania Bioscience Scarl (Capofila), il Dipartimento di Agraria (responsabile tecnico-scientifico) e il Dipartimento di Farmacia dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, l'azienda agricola F.lli Napolitano e la Fondazione IDIS – Città della Scienza. Il progetto parte dalla consapevolezza che, grazie al contributo della ricerca applicata, sia possibile trasformare l'ingente scarto della produzione di finocchio, che rappresenta circa il 60% della biomassa totale, da costo per le aziende agricole in valore aggiunto. Nell'ambito del progetto, il Dipartimento di Agraria valuta l'efficacia dei bio-prodotti ottenuti dal compostaggio degli scarti quali compost, tè di compost e sostanze umiche da compost per la produzione di ammendanti/fertilizzanti/biostimolanti in un contesto di agricoltura circolare per migliorare la fertilità dei suoli e la produttività delle colture e per il recupero di suoli degradati. Gli scarti della lavorazione del finocchio, inoltre, sono anche una ricca fonte di molecole interessanti (in particolare polifenoli) che possono essere recuperate e utilizzate efficacemente come ingredienti nella progettazione di nuovi alimenti o in formulazioni nutraceutiche. Il Dipartimento di Farmacia è impegnato nell'identificazione e caratterizzazione chimico-fisica e biologica di fitoestratti ad attività nutraceutica per la prevenzione o il supporto nella cura di patologie dismetaboliche e/o cronico-degenerative. Nel corso del progetto sono stati individuati i formulati più efficaci per veicolare queste molecole bioattive, migliorarne la bio-accessibilità e permettere la loro utilizzazione e commercializzazione sia direttamente come nutraceutici, quali per esempio integratori liquidi, capsule gastroresistenti o barrette ricche di fibra, sia come ingredienti funzionalizzanti da introdurre nei cicli produttivi di bevande o alimenti, altrimenti considerati convenzionali (Castaldo et al., 2021). L'uso dei sottoprodotti agricoli per estrarre molecole destinate all'industria degli alimenti funzionali, alla nutraceutica o alla cosmetica, permette di rivedere l'approccio dell'agricoltura alla gestione degli scarti che diventano fonti di ingredienti “nobili” in grado di produrre profitto.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'aumento della popolazione mondiale e la globalizzazione dei mercati sta determinando una crescente richiesta di alimenti. A tale richiesta dovrà necessariamente corrispondere una profonda trasformazione dei sistemi alimentari e agricoli che dovranno sempre più internalizzare, nel processo produttivo, i principi inderogabili di sostenibilità ed efficienza d'uso delle risorse. Quello energetico è solo uno, benché critico, degli aspetti che dovranno essere riconsiderati. La crescente richiesta energetica del settore *agrifood* riguarda ogni fase della catena produttiva, dalla semina all'irrigazione, dalla raccolta alla trasformazione dei prodotti, dal controllo climatico in serra agli eventuali dispositivi dedicati alla progressiva digitalizzazione delle aziende. Un radicale cambiamento è indispensabile, oltre che possibile, e implica un vero e proprio *eco-design* dei nuovi processi che devono, però, essere riferiti a contesti agricolo-territoriali concreti. Agricoltura circolare vuol dire recuperare le risorse ancora in circolo nel sistema anziché importarle dall'esterno. Le risorse residue a disposizione sono quelle che, prima della rivoluzione industriale e del conseguente fenomeno dell'urbanizzazione, venivano utilizzate nei piccoli nuclei rurali per riscaldare le case o per concimare i terreni: biomassa residuale, scarti vegetali, reflui dei caseifici, i reflui civili e il letame delle stalle, sostanze esclusivamente organiche derivanti dalle attività di produzione, lavorazione, trasformazione e consumo dei prodotti agricoli. Il recupero degli scarti a fini energetici, integrato con l'uso di altre fonti energetici rinnovabili, può contribuire a contenere le sempre più ingenti spese derivanti dall'impiego di combustibili fossili e a ridurre l'impatto ambientale delle produzioni agricole. Il recupero di questi scarti per la concimazione dei suoli, inoltre, può sopperire ai limiti della fertilizzazione chimica restituendo al terreno anche sostanza organica. L'estrazione dagli scarti della lavorazione dei prodotti agricoli di ingredienti naturali di alto valore, come gli antiossidanti, che possono essere utilizzati efficacemente in alimenti funzionali o fortificati, integratori alimentari o formulazioni nutraceutiche, infine, rappresenta una soluzione economicamente interessante. Non si tratta di auspicare un ritorno al passato ma di ripensare l'agricoltura utilizzando le nuove tecnologie per migliorare l'efficienza d'uso delle risorse e trasformare i rifiuti in risorse. Le diverse strategie di applicazione dei principi dell'economia circolare in agricoltura rappresentano esempi virtuosi, il cui impatto può essere quantificato in termini di indicatori ecologici, sociali ed economici e per il quale sono anche disponibili incentivi. Tuttavia, occorre che gli agricoltori abbiano accesso alle nuove conoscenze e tecnologie, occorrono investimenti in infrastrutture e, soprattutto, un cambio di paradigma che coinvolga tutte le connessioni delle catene di approvvigionamento e delle

reti commerciali fino al consumatore con un approccio circolare *From Farm to Fork and back to Farm*.

#### RIASSUNTO

Negli ultimi anni stiamo assistendo a una crescente attenzione verso la sostenibilità e l'utilizzo consapevole delle risorse naturali non rinnovabili. Sullo sfruttamento di queste ultime si basa il sistema produttivo attuale, quello lineare riassumibile in *take, make, dispose* (prendi, produci, getta). L'alternativa al sistema lineare è una economia detta circolare che si basa su un uso più efficiente delle risorse naturali non rinnovabili e la valorizzazione degli scarti, che diventano essi stessi risorse, oltre che sulla estensione della vita utile dei prodotti. L'obiettivo, quindi, non è solo quello di ridurre sprechi e rifiuti, ma di creare valore aggiunto dagli scarti di produzione. Grazie anche alle innovazioni tecnologiche, l'agricoltura è oggi sempre più impegnata in una transizione radicale verso un sistema circolare, solido e resiliente basato su processi produttivi che permettano di migliorare la sostenibilità dell'attività agricola. Esistono già esempi virtuosi di applicazione dei principi dell'economia circolare in agricoltura il cui impatto può essere quantificato in termini di indicatori ecologici, sociali ed economici e per il quale sono anche disponibili incentivi. Tuttavia, occorre che gli agricoltori abbiano accesso alle nuove conoscenze e tecnologie, occorrono investimenti in infrastrutture e, soprattutto, un cambio di paradigma che coinvolga tutte le connessioni delle catene fino al consumatore con un approccio circolare *From Farm to Fork and back to Farm*.

#### ABSTRACT

*Circular agriculture: challenges and opportunities.* Global warming and population growth impose competition for increasingly scarce natural resources. Improving resource use efficiency and the overall sustainability of any production process is therefore a fundamental goal for the years to come. In most recent years it has been observed a growing interest on sustainability principles and responsible use of non-renewable natural resources, which are currently part of "take, make, dispose" linear production models. An alternative to the linear system is the so-called "circular" economic system that is based on a more efficient use of non-renewable natural resources, the use of waste, which themselves become resources, and the extension of products life span. Thanks also to technological innovations, agriculture is today increasingly engaged in a radical transition towards a circular, solid and resilient system based on production processes that allow farmers to improve the sustainability of agricultural activities. There are already virtuous examples of the application of circular economy principles in agriculture whose impact can be quantified in terms of ecological, social and economic indicators and for which incentives are also available. However, it is also necessary to improve farmers access to new knowledge and technologies, we need investments in infrastructures and, most importantly, a paradigm shift that capitalizes on the interconnections between supply chains, trading networks and consumers to improve the application of circularity principles *From Farm to Fork and back to Farm*.

## BIBLIOGRAFIA

- ABBAS T., ISSA M., ILINCA, A. (2020): *Biomass Cogeneration Technologies: A Review*, «J. Sustain. Bioenergy Syst.», 10, pp. 1-15.
- AUSUBEL J.H. (1994): *Directions for environmental technologies*, «Technology in Society», vol. XVI, no. 2, pp. 139-154.
- BIEDERMAN L.A., HARPOLE W.S. (2012): *Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis*, «GCB Bioenergy», 5, pp. 202-214.
- BOGDANSKI A. (2012): *Integrated food-energy systems for climate-smart agriculture*, «Agriculture & Food Security», 1, 9.
- CASTALDO L., IZZO L., DE PASCALE S., NARVÁEZ A., RODRIGUEZ-CARRASCO Y., RITIE- NI A. (2021): *Chemical Composition, In Vitro Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Polyphenolic Compounds from Nutraceutical Fennel Waste Extract*, «Molecules», 26 (7), 1968.
- DE PASCALE S., ROUPHAEL Y., CIRILLO V., ESPOSITO M., MAGGIO A. (2021): *Modular systems to foster circular economy in agriculture*, «Acta Horticulturae», 1320, pp. 205-210.
- DE PASCALE S., MAGGIO A. (2021): *Economia circolare e modello agroecologico: il ruolo delle risorse energetiche*, in *Agroecologia circolare. Dal campo alla tavola. Coltivare biodiversità e innovazione*, Giorgio Zampetti e Angelo Gentili, Edizioni Ambiente, pp. 392.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2013): *Towards the Circular Economy*, Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition (<https://tinyurl.com/hzfrxvb>).
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION AND SYSTEMIQ (2017): *Achieving Growth Within: A €320-Billion Circular Economy Investment Opportunity Available to Europe up to 2025*. (<https://tinyurl.com/hy6r4hf>).
- FAO (2012): *Energy-smart food at FAO: an overview*, Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 1-84.
- FAO (2013): *Climate-Smart Agriculture Sourcebook. Module 5: Sound Management of Energy for Climate-smart agriculture*, Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 139-165.
- OKOLIE J.A., NANDA S., DALAI A.K., KOZINSKI J.A. (2021): *Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass*, «Waste Biomass Valor. », 12, pp. 2145-2169.
- PEARCE D., TURNER R.K. (1990): *Economics of natural resources and the environment*, Harvester Wheatsheaf, London, pp. 1-378.
- RADENAHMAD N., AZAD A.T., SAGHIR M., TAWEEKUN J., BAKAR M.S.A., REZA M.S., AZAD A.K. (2020): *A review on biomass derived syngas for SOFC based combined heat and power application*, «Renew. Sustain. Energy Rev.», 119, 10, 9560.
- RIZOS V, TUOKKO K, BEHRENS A. (2017): *The Circular Economy: A review of definitions, processes and impacts*, «CEPS Research Report», No. 2017/09.
- ZHANG Y., KACIRA M. (2020): *Comparison of energy use efficiency of greenhouse and indoor plant factory system*, «Eur. J. Hortic. Sci.», 85 (5), pp. 310-332.

NICOLA LUCIFERO<sup>1</sup>

## La sostenibilità nella filiera agroalimentare: il quadro normativo tra criticità applicative e prospettive evolutive

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari Ambientali e Forestali - DAGRI,  
Università degli Studi di Firenze

### I. PREMESSA

L'interdipendenza tra economia e ambiente ha evidenziato in modo sempre più crescente l'esigenza di un forte cambiamento capace di modificare la prospettiva che per decenni aveva anteposto gli interessi dello sviluppo economico alla tutela delle risorse naturali e degli ecosistemi presenti sul nostro Pianeta. Invero, l'acquisita consapevolezza che si sia determinato un significativo squilibrio a discapito dell'ambiente è dovuto a una pluralità di fattori fortemente collegati tra loro che possono essere, in termini generali, sintetizzati nel sovraffollamento a livello mondiale dovuto alla crescita costante della popolazione (soprattutto in determinate zone geografiche), nello sviluppo smisurato dell'economia a livello mondiale, dovuto certamente alla globalizzazione dei mercati, sempre più interconnessa attraverso commercio, finanza, tecnologie, flussi produttivi, migrazioni di popoli e reti sociali, e allo stesso tempo nello squilibrio in termini di sviluppo e accesso alle risorse tra i diversi Paesi, e talvolta pure al loro interno. Una situazione complessa questa che implica il coinvolgimento di fattori non solo economici, ma anche sociali e ambientali, e che è alla base delle minacce che si stanno presentando su fronti diversi, a livello climatico, con riguardo alle risorse naturali (tra cui la disponibilità di acqua e di terra), alla perdita definitiva di determinati *habitat* e al forte inquinamento, e che sono già causa di mutamenti dei processi naturali dai quali dipende la vita.

La dimensione non solo etica, ma anche giuridica, dei problemi sollevati a livello internazionale con riferimento alla *food security*, ai cambiamenti climatici, alle disuguaglianze sociali e alle migrazioni dei popoli ha portato studiosi (in un primo tempo) e le Istituzioni (in un secondo) a porre lo sviluppo sostenibile

in un quadro olistico segnato da obiettivi comuni (economici, sociali e ambientali) e interventi programmatici a livello sovrastatale che ruotano attorno alla tutela dell'ambiente, ove risulta indispensabile l'integrazione tra lo sviluppo economico, lo sviluppo sociale e la protezione ambientale, quali elementi che interagiscono tra loro, e che devono essere posti in equilibrio affinché gli interessi a essi connessi possano essere tutti armonicamente soddisfatti.

Come tutte le questioni ambientali, la *sostenibilità* – formula che, in sintesi, si pone quale comune denominatore di qualsiasi politica di sviluppo sensibile all'interesse ambientale – determina il coinvolgimento di diversi interessi giuridicamente rilevanti e l'esigenza sul piano normativo di un approccio che non può essere affrontato in modo settoriale, bensì come tema orizzontale e trasversale ai diversi saperi del diritto. Il tema determina non solo un contemporaneo di interessi distinti, ma si pone in una prospettiva maggiormente avanzata e articolata che coinvolge anche i comportamenti dei singoli. Lo sviluppo economico è oggi evocato diffusamente come interesse paritario se non talvolta prevalente nel bilanciamento con la tutela ambientale e con altri interessi, quali la tutela della salute o altri ancora quali quelli del paesaggio.

Il coinvolgimento del settore primario, diretto sia alla produzione di alimenti o di prodotti destinati a usi diversi, nel contesto del dibattito che caratterizza l'era dello sviluppo sostenibile porta a tenere in considerazione le esternalità negative legate a tutte le attività svolta lungo la catena alimentare in modo che esse restino nei margini adeguati ad assicurare la salvaguardia delle risorse, e la loro rigenerazione, impiegate nei processi produttivi. Un tema che coinvolge non solo le scelte di ordine politico, e quindi anche di intervento dirigitico dell'economia, ma più in particolare gli agricoltori e le loro attività imprenditoriali e, quindi, anche le loro relazioni contrattuali nell'ambito della filiera, che dovranno direzionarsi necessariamente nella prospettiva della sostenibilità.

## 2. IL GREEN DEAL EUROPEO E LA STRATEGIA PER UNO SVILUPPO SOSTENIBILE IN AGRICOLTURA

Con la Risoluzione del 25 settembre 2015, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (*The 2030 Agenda for Sustainable Development*) che rappresenta un programma di azione per *le persone, il pianeta, la prosperità e la pace*, prevedendo 17 obiettivi (c.d. *Sustainable Development Goals*) e 169 traguardi (o *Target*), le cui finalità sono interconnesse tra loro, indivisibili e segnati dalla dimensione omnicomprensiva, che si basa espressamente sulla supremazia dello sviluppo sostenibile quale

principio guida composito di portata universale e fondamentale per l'integrazione con le politiche settoriali, e capace di garantire l'equità intergenerazionale auspicata da Agenda 2030 nel rispetto dell'equilibrio e dell'integrità degli ecosistemi, contribuendo al contempo al benessere umano globale. Agenda 2030 rappresenta un documento che si inserisce nell'indirizzo, oramai acquisito, dal diritto internazionale dell'ambiente, caratterizzato da una forte matrice programmatica e da un approccio non settoriale, bensì multidimensionale in quanto si propone specifici obiettivi in campo economico, sociale e ambientale da perseguire attraverso il coinvolgimento di tutti gli Stati. Infatti, Agenda 2030 consacra le tre dimensioni della sostenibilità, che risultano tra loro integrate e indivisibili, e ne valorizza la sua portata globale. Trattasi di un documento dalla forte valenza non solo per le tematiche trattate, ma per l'impegno richiesto ai singoli Stati di rinnovare e rafforzare la *policy* e la *governance* ambientale facendo propri gli SDGs nei processi decisionali, nelle politiche e nelle strategie nazionali da perseguire attraverso il coinvolgimento dei privati anche facendo ricorso al partenariato pubblico-privato.

A livello europeo il nucleo principale su cui si fonda il programma di azione per l'attuazione degli obiettivi dello sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 è rappresentato dal *Green Deal europeo* che delinea una precisa strategia proposta dalla Commissione<sup>1</sup> per avviare un'economia sostenibile e *proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'UE*. Il *Green Deal* è parte integrante dell'Agenda 2030 – come espressamente dichiara – e ne riflette alcune caratteristiche in termini di obiettivi e di azioni interconnesse tra loro; la componente ambientale risulta fortemente presente e impone di preservare e ripristinare gli ecosistemi e la biodiversità sia con riferimento agli ecosistemi forestali sia con riguardo agli oceani, dai mari dalle acque sotterranee e superficiali di cui riconosce l'importanza di garantire la loro funzione naturale per la salvaguardia del Pianeta.

Il *Green Deal* non rappresenta un documento isolato; tutt'altro, esso si pone in linea con i precedenti atti della Commissione<sup>2</sup>, e la sua pubblicazione è stata partecipata e condivisa dal Parlamento europeo<sup>3</sup> e seguita (nel breve

<sup>1</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 11 dicembre 2019, *Il Green Deal europeo*, COM(2019)640.

<sup>2</sup> Comunicazione della Commissione europea del 30 gennaio 2019, *Verso un'Europa sostenibile entro il 2030*, COM(2019)22.

<sup>3</sup> Risoluzione del Parlamento europeo del 14 marzo 2019 sul cambiamento climatico: visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra in conformità dell'accordo di Parigi del 14 marzo 2019 [2019/2582(RSP)] e la Risoluzione del Parlamento europeo sul *Green Deal europeo* del 15 gennaio 2020 [2019/2956(RSP)].

tempo) da diversi altri atti di *soft law*<sup>4</sup> che contengono una serie di raccomandazioni della Commissione rivolte al Parlamento e al Consiglio per perseguire gli obiettivi indicati dallo stesso *Green Deal*. Tali atti muovono anch'essi dagli impegni assunti da Agenda 2030 e riflettono i contenuti e gli impegni di lungo periodo per perseguire gli obiettivi finalizzati a realizzare una economia sostenibile, inclusiva, climaticamente neutra, capace di migliorare la qualità della vita delle generazioni presenti e future.

La sensibilità delle Istituzioni europee verso il tema ambientale e la necessità di adottare una visione strategica a lungo termine, in linea con gli obiettivi di Agenda 2030, risulta tangibile dal susseguirsi degli atti di *soft law* che, pur intervenendo su tematiche specifiche, ancorché sempre riferite all'ambiente, risultano tra loro strettamente collegati e ruotano attorno al maggior tema della sostenibilità ambientale e delle iniziative da intraprendere a livello europeo. Seppur il *focus* può apparentemente sembrare diverso, ove si consideri la competitività<sup>5</sup>, la biodiversità<sup>6</sup>, il clima<sup>7</sup>, la resilienza delle materie prime<sup>8</sup>, lo stato della natura<sup>9</sup>, l'approccio delle Istituzioni europee muove da una considerazione unitaria, quale è la considerazione della necessità di invertire la rotta e adottare una strategia che leghi competitività e tutela dell'ambiente attraverso il ricorso alla sostenibilità, e adotta il medesimo schema programmatico. Infatti, oltre a una impronta fortemente ambientale, tali atti si accomunano per il grado di precettività, e dunque di forza operativa, e per la loro natura

<sup>4</sup> Parere del Comitato europeo delle regioni, *Un'Europa sostenibile entro il 2030: seguito riservato agli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, alla transizione ecologica e all'accordo di Parigi sui cambiamenti climatici* del 8 ottobre 2019 [2020/C 39/06], e il precedente Parere del Comitato europeo delle regioni, *Gli obiettivi di sviluppo sostenibile (OSS): una base per la strategia UE di lungo termine per un'Europa sostenibile entro il 2030* del 26 giugno 2019 [2019/C 404/04].

<sup>5</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni e alla Banca europea per gli investimenti del 28 novembre 2018, *Un pianeta pulito per tutti*, COM(2018)773.

<sup>6</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 20 maggio 2020, *Strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2020*, COM(2020)380.

<sup>7</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 17 settembre 2020, *Un traguardo climatico 2030 più ambizioso per l'Europa. Investire in un futuro a impatto climatico zero nell'interesse dei cittadini*, COM(2020)562.

<sup>8</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 3 settembre 2020, *Resilienza delle materie prime critiche: tracciare un percorso verso una maggiore sicurezza e sostenibilità*, COM(2020)474.

<sup>9</sup> Relazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo del 15 ottobre 2020, *Lo stato della natura nell'Unione europea*, COM(2020)635.

programmatica che si esprime nel definire obiettivi e strategie per perseguire il comune obiettivo.

Nella prospettiva segnata dal *Green Deal*, che pone quale finalità il raggiungimento di un impatto climatico zero nel 2050 definendo una nuova strategia di crescita per stimolare l'economia, migliorare la salute e la qualità della vita, viene adottata dalla Commissione la strategia *Dal produttore al consumatore*<sup>10</sup>, che viene espressamente posta al centro del *Green Deal*, riconoscendo che il conseguimento di sistemi alimentari sostenibili legghi tra loro in modo inscindibile gli obiettivi di avere persone sane, società sane e un pianeta sano. D'altronde, la ricerca di una sostenibilità del sistema agroalimentare coinvolge non solo la fase della produzione primaria, ma il complesso delle attività che si sviluppano lungo la catena alimentare e che portano alla commercializzazione ai consumatori finali dei prodotti alimentari. Ciò in quanto tutte le fasi che segnano la *food chain* possono, sia pure in misura diversa, produrre delle esternalità negative che la strategia europea si propone di combattere per eliminarle o rimuoverle. Queste due strategie sono fortemente interconnesse, e si rafforzano notevolmente le une con le altre favorendo l'adozione di una strategia che favorisca i rapporti tra natura, agricoltori, industria e consumatori nella prospettiva di una sostenibilità alimentare. Un approccio alla questione che si riscontra altresì nella citata strategia per la biodiversità ove gli obblighi conservativi e di tutela della natura prevalgono e coinvolgono anche il fattore terra e l'attività agricola. In altri termini, attraverso la sostenibilità ci si propone di raggiungere una filiera alimentare sostenibile che possa dare luogo a regimi alimentari non più solo sicuri, ma anche sostenibili con una particolare attenzione alle questioni ambientali, sanitarie, sociali ed etiche.

Se *prima facie* gli atti di *soft law* sopra richiamati possono rappresentare la presa di posizione delle Istituzioni europee su singole tematiche prive di un collegamento tra di loro, va detto che, in verità, il susseguirsi nel breve periodo di tali documenti acquisisce un particolare valore sul piano ermeneutico e conduce a una visione unitaria della posizione fatta propria dalle Istituzioni europee che riguarda tutti i settori dell'economia (tra cui i trasporti, l'energia, l'edilizia, l'agricoltura, il settore chimico, ecc.) nella prospettiva di definire una strategia di crescita sostenibile, competitiva ed efficiente che vuole portare nel 2050 l'Europa a una neutralità climatica, ossia a non generare emissioni nette di gas a effetto serra. L'interpretazione di tali atti acquisisce una par-

<sup>10</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 20 maggio 2020, *Una strategia "Dal produttore al consumatore" per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente*, COM(2020)381.

ticolare valenza nella definizione della strategia europea, non settoriale, ma trasversale a tutti i settori. Indubbiamente è un approccio condivisibile ove si consideri che un obiettivo di questa portata può essere raggiunta unicamente con il coinvolgimento di tutti gli Stati, e la *sostenibilità* rappresenta la chiave di lettura per dettare un equilibrio tra tutela della natura e sviluppo economico; in tal senso, si legge il rapporto tra *biodiversità* ed *economia* in quanto la conservazione della prima può apportare benefici economici diretti a molti settori dell'economia, oppure tra *biodiversità* e *sicurezza alimentare* in quanto una agricoltura intensiva può essere alla base del depauperamento delle risorse produttive con effetti sugli approvvigionamenti alimentari, mentre biodiversità e sicurezza alimentare rappresentano un connubio inscindibile. Si tratta di atti dalla particolare portata che non solo esprimono il carattere di una tecnica di regolazione in seno all'Unione europea di volta in volta alternativa, complementare o preparatoria, ai tradizionali e formalizzati sistemi di produzione delle regole, così come previsti nei Trattati, ma indicano la direzione innanzi alla quale gli imprenditori e l'intera società devono porsi per non rimanere ai margini del sistema produttivo. Ciò che tuttavia non può sfuggire, come autorevolmente osservato, è «una specie di intrusione di un programma alimentare in un progetto di agricoltura ecologica» (Costato, 2020) che non implica sovrapporre discipline giuridiche autonome quanto piuttosto incidere attraverso nuove regole sui processi produttivi e, quindi, anche sulla destinazione degli alimenti. In effetti, se si supera la proclamazione di intenti che si registra in tali atti, e quindi gli obiettivi di ridurre a livello europeo l'impronta ambientale e climatica del sistema alimentare e rafforzarne la resilienza, garantire la sicurezza dell'approvvigionamento alimentare di fronte ai cambiamenti climatici e alla perdita di biodiversità, guidare la transizione globale verso la sostenibilità competitiva dal produttore al consumatore e sfruttare le nuove opportunità, non si comprende ancora in cosa possa consistere all'atto pratico il programma e, ancor più, come possano conciliarsi finalità che, sulla carta, non sembrano poter convergere.

A tale proposito, giova richiamare il piano di azione per l'economia circolare quale risposta concreta al cambiamento richiesto dal *Green Deal* nella prospettiva di creare una realtà più pulita e competitiva in “co-creazione” con gli operatori economici, i consumatori, i cittadini e le organizzazioni della società civile<sup>11</sup>. Una pianificazione finalizzata a prevedere una economia circolare in diversi settori dell'economia – compreso il settore agroalimentare – per assi-

<sup>11</sup> Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni del 11 marzo 2020, *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva*, COM(2020)98.

curare prodotti sostenibili, promuovere processi circolari con l'intento anche di ridurre gli sprechi lungo la filiera (*food loss*) o nei consumi domestici (*food waste*) e adottare misure trasversali basate sempre sulla circolarità come presupposto per la neutralità climatica. Il modello dell'economia circolare manifesta in concreto gli obiettivi a cui propende la sostenibilità in agricoltura ove si consideri la possibilità dei sistemi produttivi di rigenerarsi da soli attraverso flussi materiali, quali quelli biologici in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici destinati, dopo il dismembramento, a essere rivalorizzati con il riutilizzo senza entrare nella biosfera.

Se tali brevi considerazioni possono valere per quanto riguarda la fase della produzione posta a monte della filiera, maggiori complessità si determinano ove si consideri la fase posta a valle della *food chain* che implica necessariamente il potenziale reimpiego dell'alimento nel processo di filiera oppure il suo scarto con conseguenze sul piano della qualificazione giuridica, se *sottoprodotto* o *rifiuto*, oppure sulla sua destinazione alternativa per evitare lo spreco alimentare<sup>12</sup>.

### 3. IL SISTEMA DELLA FILIERA AGROALIMENTARE E LA SOSTENIBILITÀ

La dimensione economica e giuridica della filiera agroalimentare rappresenta l'ambito di intervento degli obiettivi della sostenibilità da parte delle Istituzioni europee nella strategia *from Farm to Fork*. Invero, l'approccio di filiera e di sistema che segna le fasi della produzione e della commercializzazione nel senso della connotante dimensione relazionale tra gli operatori coinvolti dove i loro rapporti di interconnessione sono ogni giorno più diffusi e profondi implica l'adozione di misure sostenibili per la salvaguardia delle risorse ambientali. Il concetto di catena alimentare guarda alla disciplina dei prodotti alimentari non per sé soli, bensì muovendo dall'attività agricola, assumendoli in una prospettiva di una *filiera* unitaria, attenta al mercato e insieme consapevole del ruolo della produzione primaria. La *sostenibilità* è posta al centro del sistema di filiera per perseguire, attraverso un approccio trasversale alle sue diverse fasi, una pluralità di obiettivi volti a ridurre le esternalità negative

<sup>12</sup> Nonostante l'introduzione della decisione delegata della Commissione (UE) 2019/1597 del 3 maggio 2019 e della decisione di esecuzione della Commissione (UE) 2019/2000 del 28 novembre 2019, che fornisce dettagli su come rispettare l'obbligo di segnalare i rifiuti alimentari imposto dalla direttiva (UE) 2018/8519 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 sui rifiuti in generale, il tema risulta ancora privo di un quadro disciplinare uniforme e armonizzato a livello UE. Il nostro Paese ha introdotto la l. 166/2016 (c.d. "Legge Gadda") con misure di semplificazione al fine di incentivare le donazioni da parte degli operatori del settore alimentare, agricolo e agro-alimentare e stabilendo come priorità il recupero di cibo da donare alle persone in difficoltà economica e sociale nel nostro Paese.

ricomprese nel complesso delle attività che si sviluppano lungo di essa. Ciò implica il rispetto delle risorse naturali e, quindi, dei fattori della produzione, garantire la *food security*, in quanto l'approvvigionamento alimentare rappresenta una priorità, unitamente alla *food safety*, perché un mercato di prodotti sicuri richiede il rispetto delle misure di sicurezza e qualità; e infine preservare l'accessibilità economica degli alimenti generando nel contempo rendimenti economici più equi nella catena di approvvigionamento, con l'obiettivo unico di rendere gli alimenti più sostenibili. In tal modo risulta altresì necessario perseguire un riequilibrio della ripartizione del valore lungo la filiera, e quindi alla disciplina degli atti di concorrenza sleale<sup>13</sup> e, più in generale, a tutte quelle distorsioni che possono garantire un reddito adeguato ai produttori, per comprendere anche il contesto disciplinato dal diritto del lavoro e volto a limitare lo sfruttamento dei lavoratori in agricoltura. Se infatti la sostenibilità esige un equilibrio tra gli interessi giuridicamente rilevanti coinvolti nel contesto delle relazioni di filiera, molteplici e diverse sono le possibili fattispecie che necessariamente, ove distorte, incidono sugli obiettivi previsti a livello europeo.

Non può non osservarsi come l'agricoltura, più di altri settori dell'economia, abbia da tempo posto attenzione all'interesse della tutela ambientale attraverso diversi interventi del legislatore europeo in ambiti specifici oppure ricercando un equilibrio a favore della tutela dell'ambiente o delle sue risorse. La produzione biologica rappresenta senza alcun dubbio una esperienza virtuosa in cui il processo produttivo risulta conformato all'obiettivo di limitare le esternalità negative attraverso la definizione di regole di processo che, in sostanza, coinvolgono l'intera azienda e, più in generale, rappresenta un momento di incontro tra più tematiche, diverse tra loro, di politica ambientale e di regole del mercato, che convergono in un sistema che comprende le strutture produttive, e quindi i prodotti agroalimentari, ma anche il territorio e l'ambiente<sup>14</sup>. Sul punto, giova rilevare come lo sviluppo del sistema biologico sia stato accompagnato fin dall'inizio da un forte *favor* del consumatore verso questi prodotti al punto da ricomprendere nel tempo comparti produttivi inizialmente rimasti estranei alla disciplina. Inoltre, si pensi anche all'adozione di sistemi produttivi sostenibili oppure al rafforzamento delle politiche di incentivo ai comportamenti virtuosi (tra cui il *greening*, i metodi produttivi a basso impatto ambientale, o gli incentivi ai mercati di prossimità) e di disincentivo ai comportamenti dannosi all'ambiente e al clima (il riferimento è

<sup>13</sup> Cfr. Direttiva (UE) 2019/633 del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 aprile 2019 in materia di pratiche commerciali sleali nei rapporti tra imprese nella filiera agricola e alimentare.

<sup>14</sup> Regolamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici che abroga il Regolamento (CE) 834/2007.

ad alcuni parametri della condizionalità); le misure della politica di sviluppo rurale hanno valorizzato ulteriormente gli ecosistemi con riferimento all'uso dei suoli, delle risorse idriche, e delle fonti di energia rinnovabile. Tuttavia, la posizione assunta dalle Istituzioni europee sembra andare oltre e delineare un nuovo modello che ruota attorno alla sostenibilità e che coinvolge tutta la filiera agroalimentare. Il punto che qui rileva non è riconducibile al mero riferimento della sostenibilità in agricoltura, tema già presente nel contesto del diritto dell'Unione europea e, più in dettaglio, negli atti delle Istituzioni con riferimento alla PAC<sup>15</sup>, quanto piuttosto alla volontà di delineare obiettivi comuni tali da segnare i diversi momenti della filiera in ragione di un condiviso interesse rappresentato dal giusto equilibrio tra l'interesse alla tutela dell'ambiente e, quindi delle sue risorse, e alle diverse attività del settore agroalimentare.

Una serie di obiettivi che riflettono un approccio non circoscritto a singole fasi o momenti della produzione agricola o di quella della trasformazione o distribuzione degli alimenti, quanto piuttosto la ricerca di regole comuni all'intera filiera per perseguire l'obiettivo di *costruire una filiera alimentare che funziona per i consumatori, i produttori, il clima e l'ambiente*. La sostenibilità dei sistemi alimentari rappresenta infatti, per le Istituzioni europee, una questione globale e i sistemi alimentari dovranno adattarsi per fare fronte a sfide eterogenee. Un problema che non si presenta sul piano solo concettuale ma che, coerentemente alla più autorevole dottrina, richiede di porre le stesse problematiche riguardanti la *food safety* e alla *food security* nell'ottica dello sviluppo sostenibile in cui va a collocarsi la stessa agricoltura produttiva. Invero, nell'ambito della sostenibilità vi sono diverse linee operative da seguire, peraltro non sempre omogenee, che sono chiamate a coesistere nel più ampio sistema delle regole comuni della filiera agroalimentare.

La questione, nei termini ora esposti, sembra voler superare il concetto del ruolo rivestito dall'agricoltura capace di soddisfare bisogni alimentari e, al contempo, produrre esternalità positive sul piano della prestazione di una serie di servizi dai quali si generano benefici in favore della collettività, quanto piuttosto definire un comune denominatore per tutta la filiera agroalimentare dettato, per l'appunto, dalla sostenibilità. Sul piano concreto la prospettiva della sostenibilità dello sviluppo come strumento diretto a introiettare la tutela dell'ambiente nelle logiche economiche coinvolge il settore agroambientale in tutti i suoi momenti, siano essi relativi ai metodi di produzione e all'impatto sulle risorse naturali. La prospettiva sembra essere quella della definizione

<sup>15</sup> Comunicazione della Commissione europea del 18 novembre 2010, *La PAC verso il 2020: rispondere alle future sfide dell'alimentazione, delle risorse naturali e del territorio*, COM(2010)672.

di una gestione produttiva, da svolgersi in un determinato contesto, di tipo qualitativo da individuarsi non più su base locale quanto piuttosto in una dimensione culturale che riflette l'indirizzo anzidetto. Se in passato erano state avanzate non poche criticità con riguardo al modello di agricoltura industrializzata in ragione di episodi di inquinamento, o dei rischi potenziali correlati all'impiego dei trattamenti chimici nell'attività produttiva, la nuova linea guida dettata dalla sostenibilità si prospetta in una visione unitaria segnata dalla filiera agroalimentare in cui acquisisce peso il confronto tra domanda e offerta di alimenti sostenibili sul mercato a favore dell'adozione di metodi naturali di produzione. Invero, l'individuazione di metodi di produzione, biologica o integrata<sup>16</sup>, ne rappresentano la concreta applicazione per il ridotto impatto sugli ecosistemi e sono già da tempo adottati dagli agricoltori anche in ragione della dichiarata preferenza dei consumatori europei. Si sottolinea, in altri termini, il riferimento ai metodi di produzione e quindi alle tecnologie impiegate con l'adozione di norme di comportamento di tipo sostanzialmente orizzontale mirate a proteggere l'ambiente.

Giova rilevare che la riforma della PAC *post* 2020, le cui proposte legislative sono attualmente in discussione<sup>17</sup>, pur non facendo espreso riferimento agli atti delle Istituzioni sopra enunciati (mentre costante è il riferimento alla citata Comunicazione su *Il futuro dell'alimentazione e dell'agricoltura*) indica gli obiettivi concernenti il clima e l'ambiente come prioritari da perseguire attraverso i piani strategici adottati dagli Stati membri<sup>18</sup> e la necessità di promuovere la modernizzazione e la sostenibilità del settore primario in una visione globale e quindi secondo una declinazione della sostenibilità che è economica, sociale, ambientale e climatica. Nel quadro della nuova architettura della PAC si crede di poter osservare che le misure tradizionali, quali la *condizionalità*, verranno superate e integrate da nuovi impegni collegati alle questioni climatico-ambientali. Queste trovano conferma non solo nella definizione degli obiettivi – che dovranno essere in linea con le finalità del *Green Deal* – ma soprattutto nella definizione dei piani strategici: nella Raccomandazione per i piani strategici per l'Italia, la Commissione individua quattro aree volte a promuovere un settore agricolo resiliente e diversificato che garantisca la sicurezza alimentare, che sia capace di rafforzare la tutela dell'ambiente

<sup>16</sup> Direttiva (CE) 2009/128 del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 ottobre 2009 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi.

<sup>17</sup> Il Regolamento (UE) 2020/2220 del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 dicembre 2020 ha prorogato il periodo di durata dell'attuale quadro del pacchetto di riforma della PAC del 2013 fino al 31 dicembre 2022.

<sup>18</sup> Cfr. art. 91 e ss. della Proposta di Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio del 1 giugno 2018, COM(2018)392.

e l'azione per il clima, e rafforzare il tessuto socio economico delle zone rurali e promuovere l'innovazione tecnologica<sup>19</sup>.

#### 4. REGOLE DI FILIERA E “ALIMENTO SOSTENIBILE” TRA ESIGENZE DI MERCATO E RELAZIONI CONTRATTUALI

Di fronte a un contesto normativo in forte evoluzione e non in grado di definire, allo stato, un quadro disciplinare uniforme e organico attraverso cui delineare le regole per la sostenibilità della filiera agroalimentare, le esigenze dettate dal mercato sembrano accelerare la definizione di sistemi produttivi coerenti con le finalità della sostenibilità. Invero, complice la crescente sensibilizzazione dei consumatori verso gli alimenti frutto di una produzione compatibile con gli obiettivi della sostenibilità, la ricerca di un alimento qualificabile come sostenibile, e in quanto tale distinguibile sul mercato, ha condizionato i sistemi produttivi e le relazioni tra imprese e tra imprese e consumatori.

Se si assume che la sostenibilità coinvolge il complesso delle attività che si sviluppano lungo la catena alimentare e si propone di eliminare o ridurre le esternalità negative, allora diviene oggetto di particolare interesse da parte del consumatore non solo l'alimento in quanto sostenibile, ma l'intero processo produttivo, che implica un giudizio di valore sull'attività economica considerata meritevole solo se rispetta l'ambiente secondo i canoni della sostenibilità. In altri termini, la sostenibilità diviene regola che le parti volontariamente definiscono nell'ambito delle proprie relazioni contrattuali per produrre un alimento sostenibile. Sul piano oggettivo, ciò risulta perseguibile attraverso regole unitarie dell'intero ciclo produttivo e gli strumenti di certificazione, o protocolli e regolamenti che coinvolgono tutti gli operatori e che condizionano le fasi della filiera e che, all'atto finale, si traducono in segni o marchi attraverso cui veicolare apposite informazioni volontarie (i.e. *Green claim*). In particolare, su base volontaria le parti definiscono, in piena autonomia, i termini contrattuali per la produzione di un prodotto, e la sua successiva trasformazione o lavorazione in modo da poter qualificare il prodotto come sostenibile. Un atto rilevante, che se da un lato segna l'attenzione del mercato, dall'altro condiziona fortemente la produzione agricola in quanto obbliga le imprese ad adeguarsi a modelli e sistemi produttivi maggiormente compatibili che spesso esigono anche investimenti in tecnologia.

<sup>19</sup> Raccomandazione della Commissione per il *Piano strategico della PAC dell'Italia* del 18 dicembre 2020, COM(2020)396.

Nella stessa prospettiva si colloca su un diverso piano, questa volta soggettivo, l'attenzione che diverse imprese agricole e industrie alimentari hanno dimostrato verso la necessità di perseguire attraverso la propria attività anche finalità di interesse collettivo. Il riferimento è alle c.d. "società *benefit*", che si riscontrano in molte realtà anche del settore alimentare, attraverso cui perseguire oltre alla partecipazione agli utili una o più finalità di beneficio comune a favore della collettività e operano in modo responsabile, sostenibile e trasparente nei confronti della collettività, dell'ambiente e del territorio<sup>20</sup>. Questo si sostanzia nel perseguimento di una o più esternalità positive (o nella riduzione degli effetti negativi) a vantaggio della collettività e/o di altri portatori di interessi, del territorio o dell'ambiente, e rappresenta l'elemento che consente di indicare le *società benefit* quali società contributive o rigenerative, differenziandole dalle società estrattive. Il concetto di beneficio comune si colloca perfettamente nell'ambito dei 17 *SDGs* e, più in particolare, del *Green Deal*. Posto che tutti i modelli societari possono costituirsi o trasformarsi in società *benefit*, tale qualifica è subordinata al rispetto di una serie di adempimenti societari, tra cui indicare nell'oggetto sociale le finalità di beneficio comune che si intendono perseguire, disciplinando i conseguenti obblighi degli amministratori o soggetti delegati.

Se le fattispecie citate mettono in luce una combinazione favorevole di interessi e approcci normativi, ove le iniziative volontarie, che coinvolgono anche il pubblico e il privato, in cui il pubblico assume un ruolo guida e costituisce il denominatore comune di questi istituti giuridici, non si può non rilevare che sul piano concreto è nel mercato che si misura maggiormente il peso della sostenibilità a dimostrazione della sensibilità crescente del consumatore europeo. Nel prevedere modelli di consumo alimentare sostenibili, particolare attenzione è rivolta a veicolare particolari informazioni sugli alimenti a vantaggio di un consumo che oltre a essere sano e salutare provenga da fonti sostenibili. Negli ultimi anni le imprese hanno sentito sempre di più la necessità di comunicare il proprio impegno sul fronte della sostenibilità, anche in considerazione della riscontrata maggiore disponibilità da parte dei consumatori ad acquistare prodotti e servizi rispettosi dell'ambiente e della comunità, attraverso l'impiego di specifici *claim* oppure marchi ecologici o certificazioni per attestare una filiera interamente *green* e sostenibile.

È quindi possibile osservare come la tematica della sostenibilità rappresenti un interessante punto di incontro tra la disciplina del contratto e l'ambiente, e ciò in quanto la tutela ambientale tende a "funzionalizzare" il rapporto contrattuale in ragione degli interessi di matrice ambientale ove il primo diventa

<sup>20</sup> L'Italia è stata la prima a introdurre in Europa una disciplina specifica avente a oggetto le società *benefit* con la l. 28 dicembre 2015, n. 208 (Legge di Stabilità 2016), in vigore dal 1° gennaio 2016.

funzionale alla realizzazione degli obiettivi del secondo, con conseguenze rilevanti anche sul piano dell'interpretazione dei precetti contrattuali.

## 5. CONCLUSIONI

La prospettiva dell'indagine sul piano giuridico evidenzia la complessità assiologica del termine e l'assenza di disposizioni normative unitarie capaci di delineare i precetti da applicare alla filiera agroalimentare. Rileva, invero, precisi obiettivi riportati nel *Green Deal* e un indirizzo programmatico estremamente ampio che si ricava dagli atti di *soft law* ove la sostenibilità si pone quale chiave di sintesi di interessi apparentemente non convergenti posti in linea in funzione del proclamato interesse ambientale e dell'esigenza di un approccio che coinvolge tutti i settori produttivi. La realizzazione di tali obiettivi da raggiungere attraverso una strategia di lungo periodo e una serie di adempimenti normativi mette ulteriormente in luce l'attualità della questione e l'impegno assunto a livello europeo a dimostrazione della necessità di coinvolgimento che supera i confini dei singoli Stati membri e che si estende all'intera comunità.

L'idea di base che si ricava dall'insieme degli atti europei è una esigenza di trattare la *sostenibilità* coinvolgendo l'intera filiera agroalimentare con conseguenze sul piano giuridico, oltre che pratiche. Poiché, se l'obiettivo è la sostenibilità ambientale questa dovrebbe essere perseguita a tutto tondo in ragione della sua pluridimensionalità con riferimento a tutti i fattori che determinano, direttamente o indirettamente, uno squilibrio. In altri termini, nella *food system*, ove la catena alimentare rinviene una forte e stringente regolamentazione in ragione della *food safety*, ma anche della *food security*, l'inserimento della sostenibilità acquisisce un particolare peso in quanto rappresenta un obiettivo da perseguire attraverso la definizione di regole – incentivanti, e quindi da adottare su base volontaria, o obblighi specifici – trasversali a tutte le attività attraverso cui rimuovere o comunque ridimensionare le esternalità negative. La produzione di alimenti non risponde, infatti, più ai soli criteri della sicurezza alimentare, dettati dal reg. 178/2002, ma viene declinata al soddisfacimento di esigenze di portata generale e di natura trasversale per garantire un consumo responsabile del cibo. Il raggiungimento degli obiettivi della sostenibilità (ambientale, sociale economica) nella produzione agroalimentare e l'immissione sul mercato di "alimenti sostenibili" pone diverse questioni giuridiche.

Tecnologia e scienza, economia e ambiente, etica e diritto, sono oggi alla base del processo che lo sviluppo sostenibile ha avviato per perseguire gli obiettivi dichiarati. In questa prospettiva, si ritiene di poter osservare che

questa fase storica rappresenta indubbiamente un momento di transizione che si esaurirà, in un tempo non troppo lungo, nel momento in cui oltre agli obiettivi il legislatore avrà previsto regole comportamentali e precetti da poter osservare e applicare anche nel sistema alimentare. Una fase di transizione segnata da alcune incertezze soprattutto con riguardo alla conformazione dell'attività produttiva in funzione appunto della sostenibilità, posto che il raggiungimento degli obiettivi indicati rappresenta una sfida da perseguire non solo a livello locale, ma implica una partecipazione globale perché coinvolge l'intera umanità.

#### RIASSUNTO

Il riferimento alla sostenibilità se rapportata al sistema della filiera agroalimentare prospetta in chiave giuridica diverse questioni, alcune delle quali di difficile soluzione ove si considerino l'ampiezza degli interessi coinvolti e le attività che intervengono lungo la filiera. Il perseguimento degli obiettivi della sostenibilità, infatti, tenuto conto della sua multidimensionalità (*i.e.* ambientale, sociale, economica) e della sua dimensione globale, per la produzione di "alimenti sostenibili" portano il giurista a mettere in luce i molteplici aspetti dello sviluppo sostenibile nelle fasi non solo della produzione (riduzione dell'uso dei pesticidi, implementazione delle regole sul benessere animale), ma anche nel riequilibrio della ripartizione del valore lungo la filiera volto a garantire un reddito adeguato ai produttori, e nel garantire condizioni eque sul piano del lavoro in agricoltura, e nella diffusione di pratiche di *marketing* responsabili, nella disciplina sull'etichettatura sostenibile e sulle informazioni nutrizionali, nella riduzione degli sprechi. La dimensione economica e giuridica della filiera agroalimentare rappresenta l'ambito di intervento degli obiettivi della sostenibilità, in attuazione delle politiche europee del *Green Deal*, e ancor più della strategia *from Farm to Fork*, che richiede di essere considerata nel suo complesso in una prospettiva unitaria per l'interconnessione degli operatori economici legati da relazioni contrattuali per la cessione dei prodotti lungo la filiera, e ugualmente sul piano del coinvolgimento degli attori politici. Una visione complessa che si traduce in un quadro normativo articolato anche sul piano delle fonti normative multilivello (internazionali, europee, nazionale e regionale) e in continua evoluzione, ove occorre individuare le categorie di strumenti regolativi appropriati e valutarne l'efficacia, in relazione all'intero quadro normativo, che non implica sovrapporre discipline giuridiche esistenti (in particolare la *food safety* e la *food security*), quanto piuttosto incidere attraverso regole sui processi produttivi e, quindi, anche sulla destinazione degli alimenti.

#### ABSTRACT

The reference to sustainability in relation to the agri-food chain system raises several legal questions, some of which are difficult to be resolved, given the scale of the interests

involved and the activities that take place along the chain. In fact, the pursuit of sustainability objectives, taking into account its multidimensionality (*i.e.* environmental, social, economic) and its global dimension, for the production of “sustainable food” leads the jurist to highlight the multiple aspects of sustainable development not only in the phases of the production (reduction to the use of pesticides, implementation of animal welfare practices) but also in the rebalancing of the distribution of the value along the chain aimed at guaranteeing an adequate income for producers and in ensuring fair labour conditions in agriculture, and in the dissemination of responsible marketing practices, in the discipline of sustainable claims and nutritional information, and finally in the reduction of food waste and loss. The economic and legal dimension of the agri-food chain represents the scope of intervention of the sustainability objectives, implementing the *European Green Deal*, and more in detail the “*From Farm to Fork Strategy*”. The former requires to be considered in a unitary perspective for the interconnection of economic operators, linked by contractual relations for the transfer of products along the chain, and equally in terms of the involvement of political stakeholders. This represents a complex vision which is transposed into a regulatory framework that it is also articulated in terms of multilevel regulatory sources (international, European, national and regional) in continuous evolution, where it is necessary to identify the appropriate categories of regulatory instruments and assess their effectiveness, in relation to the entire regulatory framework, which does not imply overlapping existing legal disciplines (with particular reference to food safety and food security), but rather affecting production processes and, therefore, the destination of food, through specific rules.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALBISINNI F. (2014):  *Mercati agroalimentari e disciplina di filiera*, in «Rivista di diritto alimentare», fasc. 1, 4.
- COSTATO L. (2020): *La politica Agricola dell'Unione europea dopo il Covid-19*, in «Rivista di diritto agrario», I, pp. 690-695.
- GLIESSMAN S.R. (2014): *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food System*, CRCF Press.
- GRASSI S. (2012): *Problemi di diritto costituzionale dell'ambiente*, Giuffrè, Milano, 122-124.
- JANNARELLI A. (2013): *I prodotti agricoli tra alimenti e merci: alle radici moderne dell'“eccezionalità” agricola*, in «Rivista di diritto agrario», I, pp. 430-438.
- JANNARELLI A. (2015): *Cibo e diritti. Per un'agricoltura sostenibile*, Cacucci ed., Bari.
- JANNARELLI A. (2018): *Il diritto agrario del nuovo millennio tra food safety, food security e sustainable agriculture*, in «Rivista di diritto agrario», I, pp. 548-556.
- LUCIFERO N. (2018): *Il regolamento (UE) 2018/848 sulla produzione biologica. Principi e regole del nuovo regime nel sistema del diritto agroalimentare europeo*, in «Rivista di diritto agrario», I, 477.
- LUCIFERO N. (2021): *La sostenibilità nel sistema della filiera agroalimentare: questioni giuridiche e problemi interpretativi legati alla sua conformazione ai paradigmi dello sviluppo sostenibile*, in *La sostenibilità in agricoltura e la riforma della PAC*, a cura di S. Masini e V. Rubino, Cacucci ed., Bari, pp. 109-139.
- MASINI S. e RUBINO V. (a cura di) (2021): *La sostenibilità in agricoltura e la riforma della PAC*, Cacucci ed., Bari.

- PENNASILICO M. (2016): *Contratto e ambiente. L'analisi "ecologica" del diritto contrattuale*, ESI, Napoli.
- SNYDER F. (1994): *Soft law and Institutional Practice in the European Community*, in MARTIN S., *The Construction of Europe: Essays in honor of Emile Noël*, Dordrecht, 198.

LUIGI FRUSCIANTE<sup>1</sup>, NUNZIO D'AGOSTINO<sup>1</sup>

## Nuove frontiere del miglioramento genetico per affrontare i cambiamenti climatici

<sup>1</sup> Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II

### INTRODUZIONE

È ormai noto che il cambiamento climatico ha un impatto diretto sull'agricoltura. Negli ultimi decenni si è registrato un innalzamento della temperatura media globale associato a un incremento di fenomeni meteorologici di intensità estrema. La temperatura media della superficie del pianeta è aumentata di circa 0,9° Celsius dalla fine del XIX secolo; un cambiamento principalmente provocato dalle emissioni antropiche di gas serra (Asseng et al., 2015). Gran parte del riscaldamento si è verificata negli ultimi trentacinque anni. La generale tendenza al riscaldamento è confermata dal fatto che gli ultimi sette anni sono stati i sette anni più caldi mai registrati da quando viene monitorata la temperatura media della superficie terrestre (ovvero dal 1850; <https://climate.nasa.gov/>). L'aumento globale della temperatura ha conseguenze irreversibili sul nostro ecosistema, tra le quali l'estinzione di specie e una sensibile riduzione della produttività delle colture. Questo spiega la crescente attenzione verso i processi di "riscaldamento globale" degli ultimi anni (Fahad et al., 2017). Primavera precoci, gelate tardive, estati molto calde e siccitose, violenti temporali estivi con piogge intense e grandinate sono tutti fenomeni ascrivibili al riscaldamento globale. La percezione precoce dello stress da parte delle piante è indispensabile per attivare risposte rapide ed efficienti e innescare i processi di adattamento ambientale immediato (Becklin et al., 2016). Le piante rilevano gli stress ambientali in modo specifico e, di conseguenza, attivano sistemi di segnalazione cellulare a cascata, modulando l'espressione dei geni e assemblando la risposta complessiva con l'obiettivo di ampliare il tasso di sopravvivenza in ambienti ostili.

La risposta allo stress da temperature estreme induce cambiamenti nella respirazione e nella fotosintesi; aumento della produzione e accumulo di specie reattive dell'ossigeno (ROS); variazioni nel contenuto di metaboliti sensibili allo stress, quali zuccheri solubili, aminoacidi, acidi organici, poliammine e lipidi; e cambiamenti nell'organizzazione delle strutture cellulari, che sono accompagnati dalla produzione di fitormoni, antiossidanti e altre molecole protettive (Nievola et al., 2017).

La risposta molecolare alla siccità innesca principalmente la riprogrammazione trascrizionale e fisiologica del metabolismo mediata dall'acido abscissico (ABA), oltre all'incremento del contenuto di proteine con un ruolo decisivo nell'osmo-regolazione, nell'attività antiossidante, nell'embriogenesi tardiva, nella regolazione trascrizionale (Mathur and Roy, 2021). Anche la tolleranza al sale è mediata dall'ABA e dall'etilene che determinano un controllo fine dell'omeostasi ionica. Un alto livello di ioni nel suolo compromette il normale assorbimento dell'acqua da parte delle radici, aumentando la citotossicità e lo squilibrio di pH/nutrienti (Isayenko and Maathuis, 2019). Generalmente, le piante sottoposte a deficit idrico in ambiente con elevata salinità aumentano l'efficienza di assorbimento dell'acqua dal suolo in modo da preservare il turgore cellulare. Inoltre, chiudono gli stomi per ridurre l'evapotraspirazione e alterano il proprio metabolismo per adattarlo alle risorse di carbonio disponibili.

L'esposizione continua a stress ambientali sta mettendo a dura prova l'agricoltura con gravi e irreversibili perdite di prodotto. Per mitigare i danni, è necessario coltivare varietà che meglio si adattino alle mutevoli condizioni ambientali.

In tale contesto, è sempre più rilevante adoperare misure di adattamento, intese come adeguamento da parte dei sistemi naturali o antropici alle attuali o future sollecitazioni determinate dai cambiamenti climatici e dai loro effetti. Pertanto, la comunità scientifica si sta impegnando nell'accrescere e perfezionare le conoscenze sulla risposta delle piante agli stress indotti dai fattori ambientali, così da fornire una più rapida ed efficace modalità d'intervento.

#### LE NUOVE FRONTIERE DELLA SELEZIONE GENETICA

L'adattamento delle piante alle mutevoli condizioni ambientali consente, da un lato, di contenere e attenuare i potenziali danni che ne derivano, dall'altro, di sfruttare eventuali opportunità di selezione. Una strategia sostenibile per far fronte a condizioni ambientali avverse è lo sviluppo di nuovi genotipi/varietà con una capacità di adattamento alle nuove condizioni ambientali e una più elevata tolleranza agli stress. I metodi tradizionali di miglioramento

genetico per stress ambientali comportano la coltivazione di genotipi sottoposti a stress singoli o multipli, e la selezione di linee che mostrano rese maggiori rispetto a varietà di riferimento (questo fornisce una misura diretta della tolleranza allo stress). Tuttavia, la tolleranza agli stress è un fenomeno complesso, controllato da più geni e fortemente influenzato dalle variazioni ambientali. Proprio a causa dei fattori ambientali incontrollabili e dell'influenza di stress diversi, può essere difficile selezionare, attraverso le tecniche convenzionali, genotipi tolleranti a un determinato stress. Vi è, dunque, la necessità di adottare tecniche innovative ed efficienti di miglioramento genetico per facilitare l'ottenimento di linee migliorate per la resistenza a stress abiotici.

Negli ultimi anni, lo sviluppo di tecniche di selezione molecolare e la loro applicazione hanno completamente rigenerato le metodologie di miglioramento genetico. La selezione assistita da marcatori (*marker-assisted selection*, MAS) si è rapidamente diffusa ed è stata utilizzata per complementare la selezione fenotipica tradizionale, agevolando la selezione delle regioni genomiche contenenti quei loci con effetto quantitativo (*quantitative trait loci*, QTL) su un determinato carattere.

Tuttavia, nonostante gli innumerevoli sforzi, sono state poche le varietà migliorate per la resistenza a stress ottenute con l'ausilio della MAS. In alcune specie, come orzo, brassica, fagiolo dall'occhio, mais, patata, riso, sorgo, pomodoro e grano, sono stati individuati QTL per caratteri associati alla tolleranza alle elevate temperature, tra i quali caratteri legati all'allegagione, peso della granella, tasso di riempimento delle cariossidi, fertilità della spigetta, germinabilità del polline e crescita del tubo pollinico (Jha et al., 2014). Per i caratteri con eredità poligenica, controllati da molti loci con effetto "minore", è molto più efficiente ricorrere a strategie di selezione in grado di predire il potenziale genomico di un determinato individuo.

Un approccio di selezione genomica (*genomic selection*, GS) di solito consente una migliore previsione delle potenziali prestazioni di un genotipo, poiché fornisce una stima diretta della probabilità che esso possieda alleli superiori. La selezione basata su dati genomici offre nuove opportunità per accrescere l'efficienza dei programmi di selezione delle piante riducendo il costo per ciclo e il tempo necessario per sviluppare una nuova varietà. I costi decrescenti dei sistemi di genotipizzazione ad alta densità basati sull'identificazione dei polimorfismi a singolo nucleotide (*single nucleotide polymorphism*, SNP) e lo sviluppo di metodi statistici in grado di prevedere con precisione gli effetti dei marcatori, hanno portato ad applicare la GS in diverse colture. Studi recenti hanno dimostrato che la GS è caratterizzata da una maggiore precisione di previsione rispetto alla MAS per quei caratteri controllati da un gran numero di QTL (Bassi et al., 2016).

Pertanto, disporre di piattaforme di selezione genomica ad alta processività, che consentono di misurare in modo sempre più accurato il “reale” effetto delle mutazioni, rappresenta una risposta concreta per contrastare le perdite di produzioni dovute al mutamento climatico in atto.

#### CATTURARE L'ENTITÀ DELLA VARIAZIONE GENOMICA IN SPECIE D'INTERESSE AGRARIO ATTRAVERSO L'ANALISI DEL PAN-GENOMA

La disponibilità di una sequenza genomica di riferimento è di eccezionale valore per la ricerca di base e per il miglioramento genetico. Ciononostante, il genoma di un singolo individuo non rappresenta correttamente l'ampia diversità all'interno di una particolare specie o di una discendenza. La crescente diffusione delle tecnologie di sequenziamento ad alto rendimento e il drastico calo dei costi di sequenziamento hanno favorito il ri-sequenziamento, intero o parziale, dei genomi di ulteriori individui di una stessa specie. Ciò ha già permesso l'analisi dello “spazio genico” e lo studio dello spettro allelico di diverse specie d'interesse agrario, fornendo nuove opportunità per la valutazione della diversità genetica a livello di popolazione.

Una delle ultime strategie per catturare e studiare l'estensione e la distribuzione della diversità genetica è la costruzione di un pan-genoma (Bayer et al., 2020; Della Coletta et al., 2021). Il pan-genoma, il cui concetto è stato introdotto da Tettelin et al. (2005), è il complemento completo di geni in una data specie. È costituito da un genoma “core”, che include geni condivisi tra tutti gli individui della specie, e un genoma “dispensabile” (detto anche genoma “accessorio” o “variabile”), che comprende geni presenti in alcuni ma non tutti gli individui (fig. 1). Il genoma “dispensabile” svolge un ruolo chiave nell'adattamento ad ambienti diversi. Valori inferiori all'85% del rapporto genoma “core”/pan-genoma suggeriscono un'abilità potenziale di adattamento. Tale abilità è assai maggiore nelle piante, il cui genoma “core” rappresenta dal 40 all'80% del pan-genoma (Tranchant-Dubreuil et al., 2019).

La migliore strategia per sviluppare un pan-genoma è quella di sequenziare non solo accessioni rappresentative delle specie coltivate oggetto di studio, che dovrebbero essere raccolte da diverse località geografiche e dovrebbero rappresentare discendenze filogeneticamente distanti, ma anche un numero considerevole di specie selvatiche. Ciò è necessario per catturare la maggiore variabilità genetica possibile all'interno di una discendenza che possa contribuire alla rilevazione di alleli benefici, eventualmente associati a importanti caratteri agronomici, che possono poi essere introdotti in *cultivar* élite.

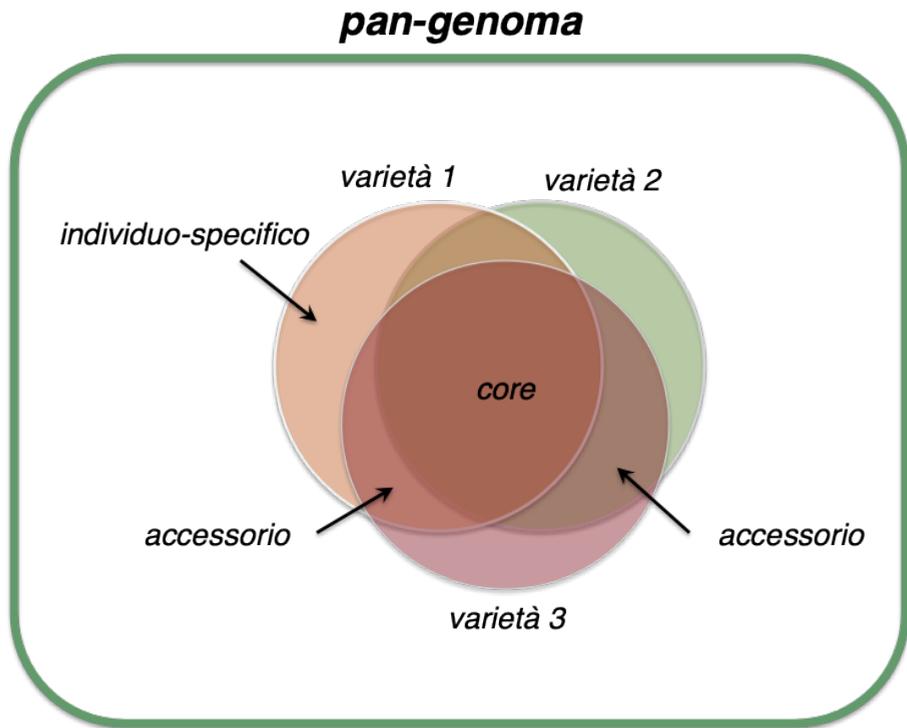


Fig. 1 Un pan-genoma è costituito dal genoma “core”, che include geni presenti in tutti i genomi analizzati; dal genoma “accessorio” che comprende geni presenti in alcuni ma non tutti gli individui; e dal genoma “individuo-specifico”

Negli ultimi anni, sono stati resi pubblici diversi pan-genomi in diverse colture (Golicz et al., 2016; Ou et al., 2018; Zhao et al., 2018) con lo scopo di identificare la base genetica di caratteri complessi e caratterizzare la variazione genomica responsabile della propensione adattativa alle diverse nicchie ecologiche. Recentemente è stato sviluppato il primo pan-genoma di pomodoro, che include alcune specie selvatiche (Gao et al., 2019). Lo studio ha evidenziato che i genomi delle accessioni selvatiche di pomodoro codificano per un numero maggiore di geni, suggerendo così una graduale perdita di geni durante la domesticazione, e che i geni responsabili della risposta agli stress sono sovra-rappresentati nei genomi selvatici. L'estensione di questo tipo di studi ad altre specie d'interesse agrario rappresenta un passo fondamentale per identificare e caratterizzare il “carico genico” perso durante la domesticazione e per fornire una preziosa risorsa che i *breeder* e gli scienziati possono sfruttare per identificare i geni che controllano caratteri economicamente importanti.

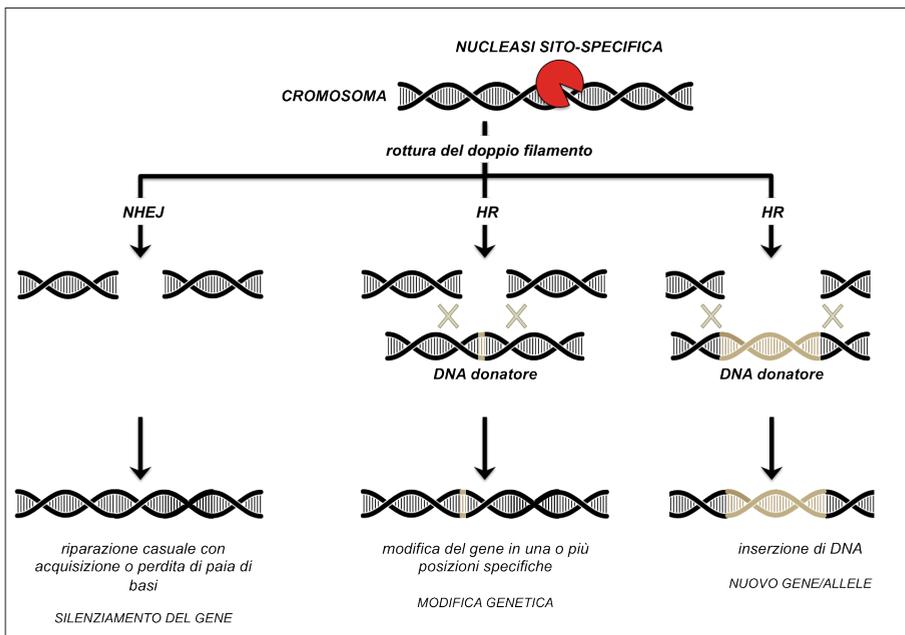


Fig. 2 Una nucleasi sito-specifica in associazione con la sequenza di DNA bersaglio determina una rottura del doppio filamento. La riparazione del DNA può avvenire tramite giunzione non omologa delle estremità («non-homologous end joining»; NHEJ) o ricombinazione omologa («homologous recombination»; HR) utilizzando un DNA donatore. La riparazione del DNA può provocare mutazioni casuali sito-specifiche che determinano il silenziamento del gene bersaglio; un DNA donatore è utilizzato per indurre specifici cambiamenti della sequenza nucleotidica mediante HR; un nuovo frammento di DNA è integrato nel genoma della pianta tramite HR

MIGLIORAMENTO GENETICO E NUOVE TECNOLOGIE DI MODIFICAZIONE DIRETTA DEL GENOMA

Nell'ultima decade, le nuove tecnologie di modificazione diretta del genoma (*genome editing*) hanno rivoluzionato il campo della scienza della vita e dell'agricoltura. Queste tecnologie si basano su nucleasi sito-specifiche (*site-directed nuclease*, SDN) ingegnerizzate che consentono di superare le barriere d'incompatibilità sessuale tra le diverse specie e di introdurre varianti alleliche nelle piante coltivate, generando *cultivar* con nuovi caratteri (Cardi et al., 2017) (fig. 2). Contrariamente all'approccio transgenico, che porta a inserimenti casuali e, molto spesso, fenotipi casuali, i metodi di modificazione diretta del

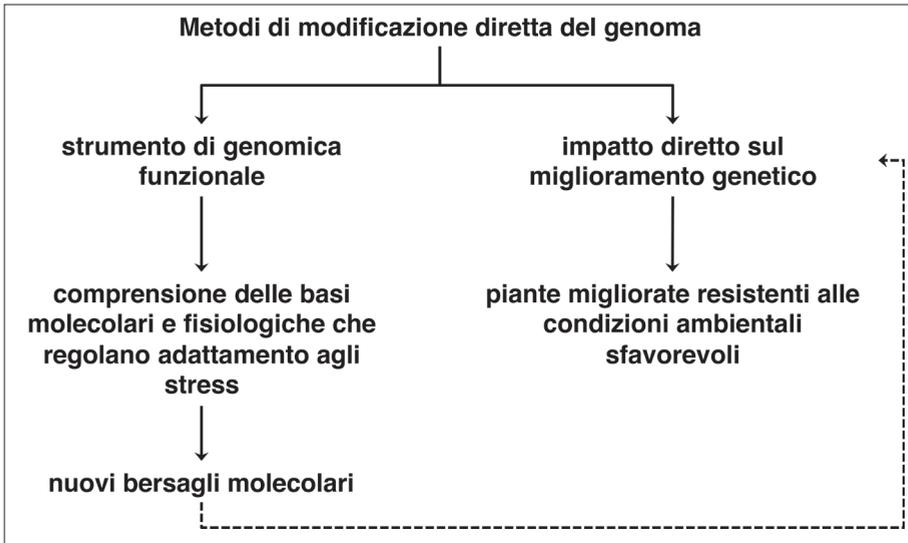


Fig. 3 Strategie di applicazione delle tecniche di modificazione diretta del genoma per affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico in atto

genoma producono mutanti definiti, diventando così un potente strumento di genomica funzionale e miglioramento genetico (fig. 3). Le varietà migliorate con questo metodo possono essere utilizzate direttamente in agricoltura. Le SDN come le nucleasi ZFN (*zinc finger nuclease*) e le nucleasi TALEN (*transcription activator-like effector nucleases*) operano attraverso la fusione di domini di legame al DNA (*DNA-binding domain, DBD*) specifici con una nucleasi. Dopo il riconoscimento della sequenza bersaglio da parte dei DBD, le nucleasi determinano la rottura del doppio filamento di DNA causando mutazioni (delezioni/inserzioni) e relativa perdita di funzione del gene (Cardi et al., 2017). Più di recente, la tecnologia CRISPR-Cas (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats - Cas*) ha permesso di sviluppare nucleasi ingegnerizzate capaci di guidare la modifica su una sequenza bersaglio mediante un RNA guida (gRNA) appositamente progettato (Doudna and Charpentier, 2014; Wanda et al., 2020).

Tuttavia, a causa della natura complessa degli stress abiotici non sono disponibili molti studi che vantano l'applicazione della tecnologia CRISPR-Cas per l'ottenimento di nuove *cultivar* tolleranti. Sicuramente grazie agli importanti progressi raggiunti nella comprensione della regolazione trascrizionale, della trasduzione del segnale e dell'espressione genica delle piante sottoposte a stress abiotici, oggi, possiamo disporre di nuovi bersagli molecolari (i.e.,

geni) coinvolti nella tolleranza agli stress da impiegare per migliorare varietà di interesse (Zafar et al., 2020).

Come accennato in precedenza, i metodi di modificazione diretta del genoma sono talvolta impiegati come potente strumento di genomica funzionale al fine di comprendere le basi molecolari e i processi fisiologici che regolano l'adattamento delle piante agli stress abiotici nel breve e nel lungo periodo (fig. 3).

Ad esempio, dati di espressione genica hanno evidenziato che il gene *SlNPR1* è espresso in tutti i tessuti vegetali ed è fortemente indotto dallo stress idrico nella pianta di pomodoro. Il sistema CRISPR/Cas9 è stato utilizzato per generare mutanti *slnpr1* nel *background* genetico della cultivar 'Ailsa Craig'. I mutanti hanno generalmente mostrato una ridotta tolleranza alla siccità con una maggiore apertura stomatica, una maggiore perdita di elettroliti, livelli superiori di malondialdeide e perossido d'idrogeno e ridotta attività degli enzimi ad azione antiossidante rispetto alle piante *wild type* (WT) (Li et al., 2019).

Il sistema CRISPR/Cas9 è stato anche impiegato per ottenere mutanti *loss-of-function* del gene *SIMAPK3*. Sottoposti a stress idrico, i mutanti *slmapk3* hanno mostrato, sintomi di avvizzimento più gravi, contenuto di perossido d'idrogeno più elevato, e hanno subito danni irreversibili alle strutture di membrana rispetto alle piante WT (Wang et al., 2017).

Il sistema CRISPR/Cas9 è stato, inoltre, utilizzato per generare mutanti in riso del gene *OsSAPK2* (*SAP osmotic stress/ABA-activated protein kinase 2*). Analisi di espressione genica hanno rivelato che l'espressione di *SAPK2* è fortemente indotta da stress idrico, NaCl e glicole polietilenico, ma non dall'ABA. Analisi fenotipiche hanno dimostrato che i mutanti *sapk2* (i) sono insensibili all'ABA durante le fasi di germinazione e post-germinazione; (ii) sono sensibili alle condizioni di siccità, con tassi di sopravvivenza inferiori rispetto alle piante WT; (iii) mostrano una maggiore perdita d'acqua, un contenuto inferiore di prolina e zucchero solubile, proporzioni più elevate di stomi completamente aperti, superiori livelli di ROS ed inferiore attività degli enzimi ad azione antiossidante (Lou et al., 2017).

Altre volte, invece, i sistemi di *editing* del genoma hanno un impatto ancora più diretto sul miglioramento genetico volto a migliorare la tolleranza agli stress abiotici (fig. 2). Seguono alcuni degli esempi più recenti.

Il gene *ENHANCED RESPONSE TO ABA1* (*ERA1*) codifica per la subunità beta della farnesiltransferasi e regola la via di segnalazione dell'ABA e la risposta alla disidratazione. Linee mutanti di riso *osera1*, caratterizzate da mutazioni *frameshift* indotte da CRISPR/Cas9, mostrano (i) una maggiore crescita delle radici primarie; (ii) una maggiore sensibilità all'ABA e (iii) una

migliore risposta allo stress idrico in virtù di un'efficiente regolazione stomatica (Ogata et al., 2020).

Il gene ARGOS8, regolatore negativo di risposta all'etilene, è stato modificato in mais con l'intento di variarne i *pattern* di espressione genica (i.e., un'espressione ubiquitaria ed elevata in diversi tessuti e stadi di sviluppo) mediante inserzione del promotore GOS2 nella regione 5'UTR. I mutanti ottenuti hanno mostrato un aumento significativo della resa in granello in condizioni di stress e nessuna perdita di resa in condizioni di buona irrigazione (Shi et al., 2017).

Il gene bersaglio OsRR22 è stato modificato da Zangh et al. (2019) con l'intento di migliorare la tolleranza alla salinità del riso. I risultati hanno mostrato che, allo stadio di plantula, la tolleranza alla salinità delle linee mutanti omozigoti T2 era significativamente superiore rispetto alle piante WT.

Un gene di regolazione dello sviluppo, OsEPFL9 (*Epidermal Patterning Factor like-9*), noto anche come STOMAGEN, è stato modificato in riso. Il gene bersaglio è un regolatore positivo dello sviluppo degli stomi. I mutanti *loss-of-function* generati presentano una densità stomatica delle foglie inferiore; sono in grado di trattenere l'acqua e mostrano una migliore tolleranza alla siccità (Yin et al., 2017).

Questo elenco rappresenta una ridotta serie di esempi dell'applicazione delle più avanzate tecniche d'ingegneria genetica per generare piante migliorate tali da resistere in condizioni ambientali sfavorevoli e/o per aiutare gli scienziati che si occupano di ricerca di base a scoprire potenziali soluzioni alle sfide poste dal cambiamento climatico in atto.

## RIASSUNTO

Per mitigare i danni dovuti alla continua esposizione delle piante d'interesse agrario agli stress ambientali è necessario sviluppare e coltivare varietà che meglio si adattino al cambiamento climatico. Tuttavia, la tolleranza agli stress è un fenomeno complesso, controllato da più geni ed è fortemente influenzato dalle variazioni ambientali. A causa di fattori ambientali incontrollabili e dell'influenza di stress diversi, è necessario ricorrere a tecniche di miglioramento genetico più mirate al fine di ottenere più facilmente linee tolleranti. Negli ultimi anni, lo sviluppo di tecniche di selezione molecolare e la loro applicazione hanno drasticamente trasformato le strategie di miglioramento genetico. Tuttavia, per caratteri a eredità poligenica, è preferibile utilizzare strategie in grado di predire il potenziale genomico di ciascun individuo. I costi decrescenti dei sistemi di genotipizzazione ad alta densità basati sui polimorfismi a singolo nucleotide (SNP) e lo sviluppo di metodi statistici in grado di prevedere con precisione gli effetti dei marcatori hanno portato ad applicare la selezione genomica in diverse colture. D'altro canto, il sequenziamento dei genomi di ulteriori individui di una stessa specie sta consentendo la costruzione di pan-genomi for-

nendo nuove opportunità per la valutazione della diversità genetica a livello di popolazione e per l'identificazione di geni che controllano caratteri economicamente importanti.

Nell'ultimo decennio, le "tecnologie di modificazione diretta del genoma" hanno rivoluzionato il campo delle scienze della vita e dell'agricoltura. Queste tecnologie, che si basano su nucleasi sito-specifiche ingegnerizzate, permettono di superare le barriere d'incompatibilità tra le diverse specie e d'introdurre geni/alleli nelle piante coltivate, generando *cultivar* con caratteri nuovi o migliorati. Contrariamente all'approccio transgenico classico, i metodi di modificazione diretta del genoma producono mutanti definiti, diventando così un potente strumento di genomica funzionale e miglioramento genetico. Le varietà migliorate con questo metodo possono essere utilizzate direttamente in agricoltura.

#### ABSTRACT

Cultivars that are more suited to climate change need to be grown to mitigate damage due to continued exposure of crops to environmental stresses. However, stress tolerance is a complex phenomenon controlled by multiple genes and it is strongly influenced by environmental variations. Due to uncontrollable environmental factors and the influence of different stresses, it is necessary to resort to more targeted breeding techniques in order to more easily obtain tolerant lines. In recent years, the development of marker-assisted selection techniques and their application have transformed breeding strategies. However, for traits with polygenic inheritance, it is preferable to use strategies capable of predicting the genomic potential of each individual.

The descending costs of high-throughput genotyping systems and the development of statistical methods capable of precisely identifying marker effects have led to the application of genomic selection in different crops. On the other hand, the genome sequencing of a growing amount of individuals within the same species is allowing the construction of pan-genomes, thus providing new opportunities for the assessment of genetic diversity at the population level and for the identification of genes/alleles that control economically important traits. Over the past decade, genome editing technologies have revolutionized the field of life science and agriculture. These technologies, which are based on site-directed engineered nucleases, allow to overcome the barriers of incompatibility between different species and to introduce genes/alleles into cultivated plants, generating cultivars with novel/improved traits. Contrary to the classical transgenic approach, genome editing methods generate defined mutants, thus becoming a powerful functional genomics and genetic improvement tool. Varieties improved with this method can be directly used in agriculture.

#### REFERENZE

- ASSENS S., FOSTER I.A.N. & TURNER N.C. (2011): *The impact of temperature variability on wheat yields*, «Global Change Biology», 17 (2), pp. 997-1012. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x

- BASSI F.M., BENTLEY A.R., CHARMET G., ORTIZ R. & CROSSA J. (2016): *Breeding schemes for the implementation of genomic selection in wheat (Triticum spp.)*, «Plant Science», 242, pp. 23-36. doi: 10.1016/j.plantsci.2015.08.021.
- BAYER P.E., GOLICZ A.A., SCHEBEN A., BATLEY J. & EDWARDS D. (2020): *Plant pan-genomes are the new reference*, «Nature plants», 6 (8), pp. 914-920. doi: 10.1038/s41477-020-0733-0.
- BECKLIN K.M., ANDERSON J.T., GERHART L.M., WADGYMAR S.M., WESSINGER C.A. & WARD J.K. (2016): *Examining plant physiological responses to climate change through an evolutionary lens*, «Plant Physiology», 172 (2), pp. 635-649. doi:10.1104/pp.16.00793.
- CARDI T., D'AGOSTINO N. & TRIPODI P. (2017): *Genetic transformation and genomic resources for next-generation precise genome engineering in vegetable crops*, «Frontiers in Plant Science», 8, 241. doi: 10.3389/fpls.2017.00241
- DELLA COLETTA R., QIU Y., OU S., HUFFORD M.B. & HIRSCH C.N. (2021): *How the pan-genome is changing crop genomics and improvement*. *Genome Biology*, 22 (1), pp. 1-19. doi: 10.1186/s13059-020-02224-8.
- DOUDNA J. A. & CHARPENTIER E. (2014): The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9, «Science», 346 (6213). doi: 10.1126/science.1258096.
- FAHAD S., BAJWA A.A., NAZIR U., ANJUM S.A., FAROOQ A., ZOHAIB A. ... & HUANG J. (2017): *Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options*, «Frontiers in Plant Science», 8, 1147. doi:10.3389/fpls.2017.01147.
- GOLICZ A.A., BAYER P.E., BARKER G.C., EDGER P.P., KIM H., MARTINEZ P.A. ... & EDWARDS D. (2016): *The pangenome of an agronomically important crop plant Brassica oleracea*, «Nature communications», 7 (1), 1-8. doi: 10.1038/ncomms13390.
- ISAYENKOV S.V. & MAATHUIS F.J. (2019): *Plant salinity stress: many unanswered questions remain*, «Frontiers in Plant Science», 10, 80. doi: 10.3389/fpls.2019.00080.
- JHA U.C., BOHRA A. & SINGH N.P. (2014): *Heat stress in crop plants: its nature, impacts and integrated breeding strategies to improve heat tolerance*, «Plant Breeding», 133 (6), pp. 679-701. doi: 10.1111/pbr.12217.
- LI R., LIU C., ZHAO R., WANG L., CHEN L., YU W. ... & SHEN L. (2019): *CRISPR/Cas9-Mediated SINPR1 mutagenesis reduces tomato plant drought tolerance*, «BMC Plant Biology», 19 (1), pp. 1-13. doi: 10.1186/s12870-018-1627-4.
- LOU D., WANG H., LIANG G. & YU D. (2017): *OsSAPK2 confers abscisic acid sensitivity and tolerance to drought stress in rice*, «Frontiers in Plant Science», 8, 993. doi: 10.3389/fpls.2017.00993.
- MATHUR P. & ROY S. (2021): *Insights into the plant responses to drought and decoding the potential of root associated microbiome for inducing drought tolerance*, «Physiologia Plantarum», 172 (2), pp. 1016-1029. doi: 10.1111/ppl.13338.
- NIEVOLA C.C., CARVALHO C.P., CARVALHO V. & RODRIGUES E. (2017): *Rapid responses of plants to temperature changes*, «Temperature», 4 (4), pp. 371-405. doi: 10.1080/23328940.2017.1377812.
- OGATA T., ISHIZAKI T., FUJITA M. & FUJITA Y. (2020): *CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of OsERA1 confers enhanced responses to abscisic acid and drought stress and increased primary root growth under nonstressed conditions in rice*, PloS one, 15 (12), e0243376. doi: 10.1371/journal.pone.0243376.
- OU L., LI D., LV J., CHEN W., ZHANG Z., LI X. ... & ZOU X. (2018): *Pan-genome of cultivated pepper (Capsicum) and its use in gene presence-absence variation analyses*, «New Phytologist», 220 (2), pp. 360-363. doi: 10.1111/nph.15413.
- SHI J., GAO H., WANG H., LAFITTE H.R., ARCHIBALD R.L., YANG M. ... & HABBEN J.E.

- (2017): *ARGOS 8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions*, «Plant Biotechnology Journal», 15 (2), pp. 207-216. doi: 10.1111/pbi.12603.
- TETTELIN H., MASIGNANI V., CIESLEWICZ M.J., DONATI C., MEDINI D., WARD N.L. ... & FRASER C. M. (2005): *Genome analysis of multiple pathogenic isolates of Streptococcus agalactiae: implications for the microbial "pan-genome"*, «Proceedings of the National Academy of Sciences», 102 (39), 13950-13955. doi: 10.1073/pnas.0506758102.
- TRANCHANT-DUBREUIL C., ROUARD M. & SABOT F. (2019): *Plant pangenome: impacts on phenotypes and evolution*, «Annual Plant Reviews», doi: 10.1002/9781119312994.apr0664.
- WADA N., UETA R., OSAKABE Y. & OSAKABE K. (2020): *Precision genome editing in plants: state-of-the-art in CRISPR/Cas9-based genome engineering*, «BMC Plant Biology», 20, pp. 1-12. doi: 10.1186/s12870-020-02385-5.
- WANG L., CHEN L., LI R., ZHAO R., YANG M., SHENG J. & SHEN L. (2017): *Reduced drought tolerance by CRISPR/Cas9-mediated SIMAPK3 mutagenesis in tomato plants*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 65 (39), pp. 8674-8682. doi: 10.1021/acs.jafc.7b02745.
- YIN X., BISWAL A.K., DIONORA J., PERDIGON K.M., BALAHADIA C.P., MAZUMDAR S. ... & BANDYOPADHYAY A. (2017): *CRISPR-Cas9 and CRISPR-Cpf1 mediated targeting of a stomatal developmental gene EPFL9 in rice*, «Plant Cell Reports», 36 (5), pp. 745-757. doi: 10.1007/s00299-017-2118-z.
- ZAFAR, S. A., ZAIDI, S. S. E. A., GABA, Y., SINGLA-PAREEK, S. L., DHANKHER, O. P., LI, X., ... & PAREEK, A. (2020). Engineering abiotic stress tolerance via CRISPR/Cas-mediated genome editing. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 470-479. doi: 10.1093/jxb/erz476.
- ZHANG A., LIU Y., WANG F., LI T., CHEN Z., KONG D. ... & LUO L. (2019): *Enhanced rice salinity tolerance via CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the OsRR22 gene*, «Molecular Breeding», 39 (3), 1-10. doi: 10.1007/s11032-019-0954-y.
- ZHAO Q., FENG Q., LU H., LI Y., WANG A., TIAN Q. ... & HUANG X. (2018): *Pan-genome analysis highlights the extent of genomic variation in cultivated and wild rice*, «Nature genetics», 50 (2), pp. 278-284. doi: 10.1038/s41588-018-0041-z.

SIMONE ORLANDINI<sup>1</sup>

## La sostenibilità nei sistemi agrari

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI) - Università di Firenze

### INTRODUZIONE

Prima dell'era industriale la nostra società viveva principalmente con produzioni derivanti dalle attività agricole e con prodotti dell'artigianato locale. L'agricoltura forniva derrate alimentari, mangimi e foraggi per gli allevamenti, fibre tessili vegetali e animali per la produzione di tessuti e legname per la produzione di energia per il riscaldamento, per la lavorazione di materiali e per la cottura dei cibi. Nella seconda metà del secolo scorso la globalizzazione ha portato a un surplus delle produzioni e dei consumi, compresi quelli energetici e alimentari. Questo ha cambiato radicalmente le nostre abitudini e le economie locali che venivano da esse alimentate, con impatti anche sulla sostenibilità economica e ambientale degli stessi consumi.

Il settore agricolo è uno dei contesti che nel corso degli anni è andato incontro a mutamenti, sfide e progressi per soddisfare il fabbisogno alimentare della popolazione mondiale in costante crescita e con esigenze e bisogni in continuo mutamento. Per i sistemi agrari in particolare è necessario aumentare l'efficienza di uso delle risorse, ossia incrementare la produzione, ma impiegando un minor quantitativo di input, mantenendo al contempo alti standard produttivi, qualitativi e ambientali, garantendo sostenibilità anche economica e sociale. Questo è raggiungibile attraverso una intensificazione sostenibile dell'agricoltura basata sull'applicazione della conoscenza e sull'utilizzo degli strumenti messi a disposizione della tecnologia e dal progresso scientifico. Serve inoltre collaborazione e conoscenza reciproca tra consumatore e produttore.

Documento di riferimento in questo contesto è Agenda 2030 che riporta i 17 goals della sostenibilità. Il settore agricolo, pur non essendo direttamente

riportato fra i 17 obiettivi, trova stretti legami diretti e indiretti con la quasi totalità di essi, in tutti e tre i pilastri di riferimento: economico, sociale e ambientale. Pur con le difficoltà contingenti, anche legate alla pandemia che ancora ci affligge, l'agricoltura riesce a dare un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi che sono stati prefissati per il 2030 e che potrebbero auspicabilmente portare benefici per l'ambiente e per tutta la popolazione.

#### I SISTEMI AGRARI

Il reale progresso dei sistemi agrari dovrebbe portare a raggiungere contemporaneamente un duplice e ambizioso traguardo: produzione e sostenibilità. Ovviamente i concetti sopra riportati possono essere declinati in modi diversi e talvolta, erroneamente, considerati contrapposti. Per quanto riguarda la produzione, in funzione dei contesti ambientali, tecnologici e sociali, è necessario considerare aspetti qualitativi e quantitativi. Nel contesto della sostenibilità, è importante che i tre pilastri vengano tenuti in considerazione in modo concorde, evitando che si vada in una direzione che possa ostacolare il raggiungimento degli altri. In questo ambito, risulta evidente la contrapposizione che talvolta si manifesta, fra sostenibilità economica e gli aspetti sociali e ambientali. È invece essenziale per una gestione efficiente e moderna dei sistemi agrari, che i tre aspetti possano essere affrontati in modo integrato.

Il raggiungimento di quanto sopra descritto principalmente si origina da attività di miglioramento genetico (sviluppo di nuove varietà) e dal progresso tecnologico (nuove tecniche colturali). In particolare, possono essere riportati alcuni punti di riferimento sui quali l'attività dovrebbe svilupparsi o che dovrebbero essere tenuti in considerazione, anche per l'adozione di specifiche misure per prevenire le eventuali criticità che potrebbero insorgere:

- aumento della popolazione;
- nuove esigenze alimentari (maggior popolazione anziana, maggior reddito pro-capite, passaggio da una alimentazione di sussistenza a una a base di cibi elaborati);
- abbandono della campagna (urbanizzazione e uso del suolo);
- nuovi mercati per l'agricoltura (dall'alimentare, alle fibre, alla farmaceutica, alle energie);
- ricerca di un prodotto di qualità, sano, locale, a basso impatto ambientale e economicamente giusto (anche per il produttore);
- ricerca di superficie coltivabile;

- conservazione del territorio;
- assecondare i consumi e le richieste di mercato;
- ridurre gli sprechi;
- mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Di particolare rilievo è l'attenzione che la politica e i consumatori stanno mettendo verso l'adozione di pratiche sostenibili. In questo modo gli agricoltori possono trovare un terreno fertile adottando pratiche sostenibili in quanto, da un lato, creano i presupposti per ricevere i contributi comunitari previsti dalla PAC e, dall'altra, riscuotono il gradimento dei consumatori. A tale scopo risulta particolarmente importante l'adozione di adeguati protocolli e di indicatori di sostenibilità.

#### I PROTOCOLLI DI SOSTENIBILITÀ

Il bilancio di sostenibilità descrive in modo completo l'azienda non solo dal punto di vista finanziario, ma anche dal punto di vista sociale, ambientale e del territorio. Si tratta di una integrazione volontaria delle preoccupazioni sociali ed ecologiche delle imprese nelle loro operazioni commerciali e nei loro rapporti con le parti interessate. Il bilancio sociale è l'esito di un processo con cui ci si rende conto delle scelte, delle attività, dei risultati e dell'impiego di risorse in un dato periodo, in modo da consentire agli interlocutori di conoscere e formulare un proprio giudizio su come venga realizzata la missione produttiva e di tutela ambientale.

Ad esempio, seguendo lo schema della guida dell'OIV sulla viticoltura sostenibile, è possibile rilevare che la gestione sostenibile dei sistemi agrari prende in considerazione i sistemi di produzione e di trasformazione del prodotto, associando contemporaneamente la durata economica delle strutture e dei territori, l'ottenimento di prodotti di qualità, la presa in considerazione delle esigenze di una *smart agriculture*, dei rischi legati all'ambiente, la sicurezza dei prodotti e la salute dei consumatori e la valorizzazione degli aspetti patrimoniali, storici, culturali, ecologici e paesaggistici.

Fondamentali a questo scopo i protocolli che descrivono la tecnologia necessaria per rispondere agli obiettivi prefissati. Quindi consentono l'attuazione di una produzione sostenibile a livello ambientale, sia nelle fasi di produzione, sia di trasformazione, comprendendo il confezionamento, il trasporto e la distribuzione della piccola e grande distribuzione.

## GLI INDICATORI DI SOSTENIBILITÀ

Gli indicatori (ambientali) sono strumenti che rappresentano in modo sintetico e significativo un determinato fenomeno e permettono di valutarlo e di compararlo nel tempo e nello spazio. L'indicatore fornisce informazioni in forma sintetica, semplice di un fenomeno più complesso e con significato più ampio. Si tratta di uno strumento in grado di rendere visibile un andamento o un fenomeno che non è immediatamente percepibile. Caratterizza in modo qualitativo o quantitativo l'elemento osservato. Un indicatore riassume quindi il comportamento di un fenomeno monitorato.

Numerose sono le caratteristiche che un indicatore dovrebbe presentare:

- standardizzare l'informazione;
- rappresentativo del fenomeno analizzato;
- permettere il confronto tra territori diversi (ad esempio ai diversi livelli regionale, nazionale, europeo);
- consentire l'analisi dell'andamento e delle tendenze nel corso del tempo;
- semplificare il processo di comunicazione attraverso il quale l'informazione è fornita all'utente;
- affidabilità e facilità di misurazione;
- fornire informazioni chiare e precise;
- aggregabile in base agli impatti considerati;
- derivare da dati facilmente e ampiamente disponibili;
- versatile rispetto a nuovi input e informazioni;
- devono essere coerenti con le indicazioni normative;
- rappresentare la problematica che descrivono;
- validità scientifica;
- applicabili a diversi contesti territoriali;
- essere di facile interpretazione e comunicazione.

Nel caso dei sistemi agricoli, numerosi studi riportano gli indicatori di sostenibilità adottati, che qui di seguito vengono riportati:

- contenuto di sostanza organica nel suolo (% di sostanza organica o di Carbonio (C) organico, Rapporto C:N ...);
- fertilità biologica suolo (indice QBS, biomassa microbica...);
- fertilità fisico-chimica del suolo (porosità, struttura, CSC, presenza di nutrienti etc.);
- erosione del suolo (parametri USLE, % di suolo con vegetazione);

- agro-biodiversità (numero di specie coltivate nello spazio e nel tempo, inerbimento, rotazioni, sovesci...);
- lisciviazione e runoff di nutrienti (quantità di N e P lisciviati per unità di superficie e di prodotti e concentrazione di nitrati nelle acque);
- lisciviazione e runoff di fitofarmaci (quantità e concentrazione della sostanza e dei suoi metaboliti nelle acque di lisciviazione, per unità di superficie e di prodotto);
- sostenibilità del processo di smaltimento imballaggi e plastiche (es. kg di plastica, quantità di materiale biodegradabile rispetto al no biodegradabile);
- emissioni di gas serra, in campo e in fase di trasformazione (GWP per unità di prodotto o di superficie);
- biodiversità (vegetazione ai bordi dei campi, Indici di biodiversità, fasce tampone, biodiversità di fauna ed insetti);
- apporto di nutrienti e bilancio dell'azoto (quantità apportate, bilancio dei nutrienti adottato, utilizzo di leguminose);
- quantità e tipo di fitofarmaci apportati per ettaro;
- quantità di acqua irrigua consumata nella fase di produzione e trasformazione (acqua blu e grigia, efficienza d'uso);
- consumo di energia fossile in fase di trasformazione e produzione (efficienza uso di energia, Carbon footprint, LCA);
- consumo di bioenergia.

Da evidenziare che se una performace ambientale viene calcolata e riferita all'unità di superficie coltivata produrrà un valore differente rispetto a quella calcolata su unità di prodotto. Ad esempio, le emissioni di N<sub>2</sub>O dal suolo in colture erbacee in rotazione in biologico sono minori rispetto a quelle delle stesse colture in convenzionale se riferite all'unità di superficie coltivata, ma se come riferimento si prende l'unità di prodotto ottenuto, le emissioni di N<sub>2</sub>O tra biologico e convenzionale sono simili.

Esistono inoltre degli indicatori integrati che comprendo al loro interno la sintesi di più processi. Fra questi è possibile ricordare la "Valutazione Del Ciclo Di Vita" (LCA) che è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia e di energia e delle emissioni nell'ambiente, e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. Importanti anche gli indicatori che appartengono alla famiglia delle "impronte". Ad esempio, il "carbon footprint" misura l'impatto dell'attività antropica sul cambiamento climatico. Rappresenta il totale delle emissioni di gas ad effetto serra, o clima-alteranti (Greenhouse Gas-GHG),

prodotte direttamente o indirettamente da un sistema (prodotto, organizzazione, servizio) e dovute all'attività antropica. Il "water footprint" rappresenta invece l'insieme dei consumi idrici di un sistema produttivo o di un prodotto finito. Suddivide l'acqua in tre componenti: l'acqua verde si riferisce al consumo di risorse idriche contenute nelle piante e nel suolo sotto forma di umidità. Questa frazione serve a comprendere il valore dell'agricoltura non irrigua in termini di risparmio di risorse idriche blu. Queste ultime si riferiscono al consumo delle risorse idriche superficiali e profonde lungo tutta la catena di produzione di un determinato bene. Infine l'acqua grigia si riferisce all'inquinamento delle risorse idriche ed è definita come il volume di acqua dolce necessario per diluire il carico di inquinanti generato da un determinato processo.

Studi sono stati condotti per analizzare l'impatto ambientale di colture erbacee. Ad esempio, i dati raccolti evidenziano che il frumento presenta un sequestro netto di carbonio, con una impronta limitata o negativa. I risultati possono variare in funzione delle condizioni ambientali del luogo di coltivazione, ma appare evidente che l'innovazione delle tecniche agronomiche potrà portare a un aumento della produzione e a un miglioramento dell'efficienza dei fattori della produzione, con ulteriori benefici in termini di sostenibilità economica e ambientale. Per quanto riguarda l'impronta di carbonio della produzione di frumento sulla base dell'analisi del ciclo di vita (LCA), si evidenzia che i fattori più importanti che determinano le emissioni di carbonio sono l'applicazione di fertilizzanti azotati, la combustione della paglia e infine il consumo di energia da parte dei macchinari. Allo stesso tempo, evidenti sono i contributi al sequestro del carbonio, che includono il ritorno della paglia del raccolto, mentre benefici possono essere ottenuti dal controllo nell'applicazione di fertilizzanti azotati chimici e dalla lavorazione minima. Una recente analisi condotta in Italia ha confermato che le operazioni di concimazione e le lavorazioni rappresentano infatti le fonti di impatto più rilevanti. Significativo il fatto che l'efficienza di uso dell'azoto risulti in generale molto bassa, compresa fra il 30% e il 40%, ma che possa essere significativamente incrementata attraverso avvicendamenti con leguminose in grado di apportare consistenti quantità di azoto.

## CONCLUSIONI

In conclusione, le sfide che l'agricoltura dovrà sostenere nei prossimi anni richiedono sforzi intensi e integrati da parte di tutti i soggetti coinvolti nelle filiere produttive: ricercatori, amministratori pubblici, tecnici, agricoltori,

industria, distribuzione, consumatori. Solo attraverso una visione condivisa e di prospettiva, sarà possibile conseguire il duplice obiettivo di produrre e di rispettare l'ambiente. Il settore primario, che da sempre mostra una estrema fragilità e che garantisce redditi limitati agli agricoltori, dovrà essere accompagnato nell'adozione di protocolli in grado di aumentare l'efficienza dei fattori produttivi, dall'acqua, all'energia, all'azoto, etc. In questo si potrà ridurre lo spreco di risorse, mantenendo, se non aumentando, la qualità e quantità dei prodotti.

Importante riportare, per concludere, una lista dei principali servizi ecosistemici che vengono richiesti ai sistemi agricoli, funzionale a rendere evidente la complessità delle sfide che dovranno essere affrontate e, speriamo, vinte:

- la produzione di cibo;
- l'utilizzo di risorse energetiche;
- il controllo degli infestanti;
- l'impatto delle coltivazioni sulla qualità delle acque di rilascio;
- la stabilizzazione del clima;
- la fertilità del suolo.

Avere una buona dotazione di servizi ecosistemici significa avere una maggior "ricchezza" pro-capite in termini di capitale naturale e culturale ed al contempo un livello superiore di salubrità e resilienza dei territori.

#### RIASSUNTO

La gestione dei sistemi agrari deve oggi tenere conto degli obiettivi, talvolta purtroppo contrapposti, di produttività e sostenibilità. Il primo per far fronte alle crescenti esigenze alimentari di una popolazione sempre più numerosa, il secondo sulla spinta di criticità ambientali drammatiche. L'innovazione tecnologica fornisce un essenziale supporto per il raggiungimento di questi obiettivi, sia attraverso una quantificazione oggettiva della sostenibilità (impronta del carbonio, idrica, LCA, ecc.), sia fornendo ai tecnici un supporto straordinario di dati e informazioni per guidare e ottimizzare la gestione e programmazione culturale e aziendale. A partire dalla scelta delle colture e delle tecniche di impianto, fino alla gestione della difesa, concimazione, irrigazione e raccolta, i tecnici possono beneficiare in tempo reale di dati con ottima risoluzione spaziale e temporale, sulla cui base poter scegliere i tempi e le modalità di applicazione dei mezzi tecnici per il raggiungimento dei prefissati obiettivi di produzione e sostenibilità. In questo contesto favorevole, un ruolo di primo piano è anche svolto da regolamenti nazionali e comunitari volti a favorire l'adozione di tecniche produttive sostenibili e da una attenzione crescente da parte dei consumatori verso i prodotti a basso impatto ambientale.

## ABSTRACT

*Sustainability in agricultural systems.* The management of agricultural systems nowadays must consider the objectives, sometimes unfortunately opposed, of productivity and sustainability. The first to meet the growing food needs of an increasingly large population, the second driven by dramatic environmental problems. Technological innovation provides essential support for the achievement of these objectives, both through an objective quantification of sustainability (carbon footprint, water, LCA, etc.), and by providing technicians with extraordinary support of data and information to guide and optimize crop and farm management and planning. Starting from the choice of crops and planting techniques, up to the management of protection, fertilization, irrigation and harvesting, technicians can benefit in real time from data with excellent spatial and temporal resolution, on the basis of which they can choose the times and methods of application of the technical tools to achieve the pre-established production and sustainability objectives. In this favourable context, a leading role is also played by national and EU regulations aimed at encouraging the adoption of sustainable production techniques and by a growing attention on the part of consumers to products with low environmental impact.

RAFFAELLO GIANNINI<sup>1</sup>

## La sostenibilità nei sistemi forestali

<sup>1</sup> Accademia dei Georgofili

### I CAMBIAMENTI CLIMATICI FATTORI IRREVERSIBILI

I frequenti e intensi disastri ambientali che si sono susseguiti nel recente passato, ma che sono presenti tutt'oggi provocando effetti devastanti in numerose aree del nostro pianeta, confermano, purtroppo, come i cambiamenti climatici, che si originano in gran parte da una sconsiderata attività antropica, incidano in profondità sugli ecosistemi terrestri. Particolare insistenza e recrudescenza è manifesta su quelli forestali compromettendone la loro funzionalità, ma anche la loro stessa esistenza.

Nel Sesto Rapporto dei cambiamenti climatici reso noto il 9 agosto 2021, lunghe ondate estreme di calore (in Oregon si sono registrati valori di temperatura di 46°C, nell'ovest del Canada, Vancouver, fino a 49,5°C), alluvioni e inondazioni, periodi di prolungata siccità, sono indicati come fattori irreversibili.

Vengono, tra l'altro, associati alla diffusione di incendi, catastrofi che in aree montane, così diffuse come quelle presenti nel nostro Paese, coinvolgono come ulteriore concausa, forte erosione del suolo e dissesto idrogeologico. Questi effetti negativi possono agire congiuntamente e non possono essere considerati più come eventi straordinari, ma rappresentano emergenza diffusa con frequenza in continuo aumento anche per la carenza di altrettanta diffusa prevenzione e salvaguardia.

Invero il rapporto non comunica qualcosa di veramente nuovo da quanto indicato, sebbene come previsioni, all'inizio degli anni '90 del secolo scorso (Giannini e Magnani, 1994). Oggi la situazione è ancora peggiore e si parla di "codice rosso" per la Terra anche a causa dell'aumento nell'atmosfera dei valori di CO<sub>2</sub>, delle deposizioni di N e dei particolati. Tra l'altro ciò determina una conseguenza immediata di natura sociale ed economica rappresentata dalla

riduzione della presenza umana in loco (abbandono) a cui corrisponde un incremento dell'urbanizzazione la quale si insedia e si sviluppa, molto spesso, a scapito dei territori più idonei per la produzione delle derrate alimentari. Questo ultimo fatto e la scarsa considerazione della destinazione agricola (anche se realizzata da millenni, nelle medie latitudini, con l'eliminazione della foresta che dominava il paesaggio) in una scala di valutazione di uso del suolo sollevano non poche perplessità.

Tutto ciò accade in concomitanza della frequenza e intensità degli effetti causati dai disturbi naturali estremi come uragani, tempeste di vento (in Europa più frequenti e dannosi degli incendi fino al 2019) ovvero gli incendi naturali in foresta. Ricordo le più recenti: la tempesta di vento in Toscana (Gianini, 2015a) e Vaia sulle Alpi orientali in Veneto (Chirici et al., 2016; Chirici et al., 2019): gli incendi nell'area mediterranea – solo in Italia nell'estate del 2021 sono stati percorsi dal fuoco oltre 158 mila ettari (EFFIS, European Forest Fire Information), circa 1/3 dell'area interessata a livello europeo –, quelli nelle foreste semi-vergini della Taiga in Siberia (un unico grande incendio ha interessato oltre 9 milioni di ettari) e in quelle della Columbia Britannica in Canada, in California e Oregon negli Stati Uniti di America.

In tale complesso scenario, vorremmo disporre, perché necessario e improcrastinabile, di linee guide operative, confortate da un rigoroso supporto scientifico, per una gestione sostenibile delle foreste tese a favorire l'uso delle loro risorse nel rispetto della loro conservazione, della loro funzionalità e potenzialità produttiva. In questo senso è necessario appropriarsi di una strategia dinamica del problema ben sapendo che le soluzioni devono inserirsi su una visione virtuosa globalizzante, in cui il corretto uso delle risorse consideri gli aspetti ambientali allo stesso livello di importanza di quelli sociali ed economici (Orlandini, 2019; Giannini et al., 2019).

Siamo di fronte a un quadro di difficile comprensione a causa del numero delle interrelazioni che si vengono a creare tra le componenti coinvolte che deve avere comunque visibilità per una gestione sostenibile efficace delle foreste le cui fondamenta risiedono nella comprensione di come boschi diversi, presenti in ambienti differenti, corredati da patrimoni genetici e potenziali adattativi specie/specifici, siano capaci di resistere e reagire all'azione delle componenti dei cambiamenti in atto (Borghetti et al., 2014; Bottacci, 2020).

#### IL RAPPORTO UOMO/FORESTA

Il percorso nel tempo del rapporto uomo/foresta ha seguito due domini contrastanti. Il primo, che potremmo definire “risolutivo”, vede l'eliminazione

della foresta per creare spazi a favore delle produzioni agricole e dell'urbanizzazione; il secondo imperniato sulla frammentazione, l'erosione e quindi lo sfruttamento per disporre comunque di benessere economico con una conseguente riduzione delle specifiche componenti e quindi di una profonda alterazione delle proprie caratteristiche modificandone, con cambiamenti spesso permanenti (specie, struttura, numero e densità degli esseri viventi in essi presenti). In questo secondo caso si è fatto ricorso però anche a modelli d'uso rispettosi della complessità e funzionalità dell'ecosistema bosco nonché della sua perpetuità.

Si sottolinea come il dominio "risolutivo", ovvero la deforestazione, permanga diffuso in molte aree del nostro pianeta (occorrono soia e olio di palma per mangimi e bioenergia; si cerca oro e terre rare). Così divengono contraddittori e quasi beffardi i contemporanei appelli che ripetutamente indicano l'essenziale ruolo svolto dalla presenza del bosco e la necessità di ricorrere a una gestione sostenibile dell'ecosistema foresta per una sua conservazione.

Invero in Toscana la superficie della foresta è aumentata come risposta allo spopolamento delle campagne nonché all'abbandono delle attività agricole e zootenico-pastorali. Dal 1954 ad oggi il bosco è avanzato di circa 2.500 ettari/anno (Regione Toscana, 2020).

Quali beni e servizi sono richiesti oggi alla foresta e quali e quanti di questi possono essere realmente forniti?

In un contesto di sostenibilità le foreste sono considerate a pieno titolo "capitali vantaggiosi" in quanto capaci di fornire flussi diversificati di beni e servizi. Presiedono e governano i cicli bio-geo-ecologici degli ecosistemi terrestri, processi fondamentale di vita per l'uomo.

Sono fonte primaria di biomassa legnosa e di prodotti non legnosi.

Le richieste di mercato del bene legno non coprono le esigenze delle filiere di trasformazione. Anche la più antica e diffusa filiera, quella foresta-legno-energia (che tra l'altro non può considerarsi pienamente sostenibile in quanto fonte di produzione di CO<sub>2</sub> e di particolato che permangono elevati anche a causa dell'impiego nel nostro Paese, a tutt'oggi, di una impiantistica di trasformazione obsoleta) non è più soddisfatta in varie aree del pianeta terra. Del resto, secondo quanto indicato da AIEL (Associazione Italiana Energie Agroforestali), in Italia la biomassa legnosa è utilizzata, quale fonte di calore, da circa il 25% delle famiglie: sono circa 15milioni di tonnellate di biomassa legnosa (3,1 e 11,3 rispettivamente di pellet e legna da ardere).

In effetti diffuse sono le piantagioni specificatamente destinate alla produzione di legno anche in regime di *agroforestry*, che seguono modelli selvicolturali appropriati che considerano l'arboricoltura da legno, ma anche la sostituzione delle cenosi naturali con specie più produttive. Al proposito si

cita il modello di produzione legnosa diffuso negli stati del sud-est degli USA (*tree farms*) che prevede la preparazione e la lavorazione del suolo su decine di migliaia di ettari, l'impiego di popolazioni e tipi migliorati geneticamente, il ricorso a tecniche raffinate di coltivazione, massimizzazione della logistica con raccolta e utilizzo dell'intera pianta (foglie/radici).

Le foreste forniscono ancora servizi ecologici di attenuazione degli effetti delle componenti climatiche estreme tra cui le così dette “bombe d'acqua e di calore”, ma anche servizi estetici e spirituali che condizionano la vita. Sono attuali e in espansione quelli associati alle proprietà bioattive fornite dall'atmosfera forestale in quanto mezzo terapeutico caratterizzato da effetti farmaceutici coinvolti oggi nel trapasso da onda emotiva a puntuali approcci scientifici (Antonelli et al., 2020; Meneguzzo e Zabini, 2020).

Più in generale si può affermare che l'insieme dei servizi che la foresta può esplicare è amplissimo costituendo “benessere pubblico” per cui è necessario perseguire una gestione sostenibile che alla conservazione ecologico-naturalistica ed estetico-paesaggistica, associi metodi di corretto uso, difesa e ripristino, ovvero che faccia ricorso a modelli operativi di coltura organizzati e definiti attraverso parametri scientifici di conoscenza del bosco.

Particolare attenzione sarà richiesta per il ruolo che il bosco rappresenta soprattutto per le comunità presenti nelle aree interne montane del nostro Paese: una fondamentale risorsa economica con propositive possibilità di integrazione territoriale con i prodotti agricoli, il pascolo, la zootecnia, il turismo, la fauna selvatica; integrazione che risulterà vincente nella conservazione e valorizzazione dell'ambiente, del paesaggio, della storia e delle tradizioni.

## SOSTENIBILITÀ E BIODIVERSITÀ

Punto cruciale nella gestione sostenibile delle risorse del nostro pianeta è rappresentato dalla conservazione della biodiversità in generale e della variabilità genetica in particolare. Difatti la funzionalità degli ecosistemi è relata con le caratteristiche e le proprietà delle componenti che li edificano congiuntamente a quelle collettive che derivano dalla loro organizzazione e dagli effetti delle interazioni che si vengono a instaurare a livello di processo.

Il controllo di tali processi è determinato dalla componente genetica dei genomi degli organismi presenti a livello dell'ecosistema che è supportata dalla variabilità espressa dalla complessiva strutturazione dei geni che si configurano come il motore che conferisce perpetuità al sistema da una generazione all'altra. È chiaro allora che la perdita di variabilità diviene reale minaccia alla sopravvivenza.

La diversità assume rilevanza poi nei confronti della produttività essendo correlata con i cicli biogeochimici che nel loro insieme di variabilità differenziale concorrono alla loro stabilità e conservazione. Conoscere tali relazioni rappresenta il punto focale per la comprensione dei processi che governano l'evoluzione, l'adattamento e la presenza delle specie (Giannini e Nocentini, 2010).

Gli alberi forestali, che sono i driver dell'ecosistema bosco, sono obbligati a una lunga immobilità, ma a livello di popolazione sono stati capaci di adattarsi a nuove condizioni ambientali seguendo il risultato dell'azione congiunta dei fattori evolutivi, della plasticità fenotipica e infine anche della migrazione e insediamento in ambienti più adatti. La dimostrazione di tutto ciò ci viene fornita dallo studio dei percorsi e degli insediamenti dei tipi forestali dopo l'ultima glaciazione che evidenzia la diversità autoecologica tra specie pioniere e definitive, ma anche gli effetti della coabitazione e concorrenza interspecifica e la lunghezza temporale necessaria dei percorsi (secoli e millenni).

Il cambiamento globale antropogenico ha operato e opera in tempi relativamente brevi (anni) instaurando scenari ambientali sconosciuti agli alberi (ma a tutto il mondo vegetale che è posizionato al primo livello delle catene trofiche alimentari): ciò può portare a forti e nuove pressioni selettive anche se la presenza di elevata plasticità può costituire aiuto indispensabile di sopravvivenza. In questo scenario una elevata specializzazione, massima espressione di adattamento, può divenire efficace strumento di eliminazione.

Ecco che un'ampia variabilità a livello individuale e di popolazione costituisce il potenziale più efficace di resistenza e resilienza ai nuovi stress. Tra l'altro la diversità tra i taxa ai differenti ambienti, rappresentata e promossa dalla diversità delle frequenze geniche, riflette l'evoluzione adattiva che è osservabile perché ereditabile. In tal senso la genetica quantitativa prende in esame le variazioni fenotipiche generazionali attraverso i valori di ereditabilità che indicano quanto i caratteri che si manifestano diversi siano sotto controllo genetico (Giannini, 2009; Giannini et al., 2019).

#### LA RICERCA DI UN PERCORSO VIRTUOSO

Il rapporto uomo/foresta instauratosi nel tempo ha avuto effetti molto diversificati, ma anche nei casi di basso impatto la visione del bosco inglobava e coinvolgeva questa come soggetto/oggetto fonte della produzione della materia prima legno perché di fatto questa era ed è rimasta bene indispensabile di vita. Il ruolo di altri servizi è stato compreso solo in momenti storici più recenti: esempio, il bosco luogo di sacralità, il bosco serbatoio di Carbonio.

In un contesto di sostenibilità si impone la ricerca del migliore compromesso tra il prelievo della biomassa e la conservazione dei più alti livelli della funzionalità dell'ecosistema foresta. Lo studio temporale di tale compromesso è di fatto il percorso storico della selvicoltura che si appropria della cultura della coltura del bosco mezzo e strumento d'uso.

Da quanto abbiamo già indicato, emerge che il miglior equilibrio dinamico deve considerare prioritaria la conservazione della strutturazione genetica nello spazio e nel tempo perché i complessi genici sono la base fondamentale dell'adattamento evolutivo bene di inestimabile utilità che, tra altro, è impossibile prevedere quale ruolo assumerà nel futuro.

La selvicoltura che si identifica nella scienza e nell'arte di utilizzo dei boschi attraverso i principi dell'ecologia forestale applicati all'impianto, alla rinnovazione, alla modalità di prelievo della biomassa, arreca comunque condizionamenti nella collettività della cenosi forestale nella quale i singoli individui «non si ripartiscono il lavoro, ma si condizionano reciprocamente» (De Philippis, 1949).

Il selvicoltore, che diventa gestore e decisore operativo, deve concentrare l'attenzione sull'insieme degli alberi che lo circondano e individuare quelli che possono essere soppressi in un contesto dinamico finalizzato alla conservazione per il futuro della efficienza funzionale, ma anche strumentale dovendo mediare tra richieste economiche della società ed esigenze ecologiche e non ultimi i diritti della foresta (Ciancio, 2021). Al primo punto di tale pensiero è collocato lo sforzo di contenere al massimo i fattori di disturbo e quindi la modalità di realizzazione del prelievo nel tempo e nello spazio (Clauser, 2021). Per far ciò dispone quasi esclusivamente di strategie che regolano la densità degli alberi. Ecco che al selvicoltore è richiesto di possedere un alto livello di “sapere” e di “mestiere”: il primo si acquisisce prevalentemente dalla lettura dei “libri”; il secondo si realizza vivendo nel bosco per conoscerne la dinamica. Il bosco a un primo impatto può apparire un sistema statico: al contrario possiede nella complessità, una dinamicità intrinseca elevatissima, purtroppo ancora troppo poco conosciuta soprattutto a livello di processo per le difficoltà di studio delle mutevoli condizioni storico-ambientali che si sviluppano in cicli temporali molto lunghi. Quali tratti, funzioni e processi hanno operato e contribuito nel consentire di ammirare e godere oggi della presenza delle sequoie nel Parco di Yosemite in California il cui insediamento è molto probabilmente relato con un grande incendio avvenuto qualche millennio fa? La stessa domanda può essere fatta per le leccete ancestrali del Supramonte di Urzulei e di Orgosolo in Sardegna (Puxeddu, 2021).

In un contesto prevalentemente conservativo si indicano due scenari già descritti anche nel recente passato (Giannini et al., 1999; Giannini e Susmel,

2006; Giannini et al., 2019) che hanno piena validità tutt'oggi e per i quali sono prevedibili interventi puntuali di gestione.

Indichiamo le *foreste di conservazione* che svolgono funzioni incentrate sulla stabilità funzionale e quindi sulla biodiversità che è massima nella maturità biologica. Questa differisce dalla maturità strettamente economica.

Quindi le *foreste polifunzionali* per le quali sono prevedibili diversità d'uso. La coltivazione si attua con l'individuazione e l'applicazione di modelli colturali riferibili a una selvicoltura a favore di una rinnovazione naturale del soprassuolo e di percorsi operativi capaci di raggiungere il migliore equilibrio dinamico fra le funzioni produttiva, protettiva ed estetico-ricreativa della foresta. Occorre valorizzare l'esigenza di mantenere un flusso continuo di prodotti e funzioni esaltando l'incremento dei valori intrinseci e la riduzione degli effetti indesiderati (Nocentini et al., 2020). Si condivide pienamente la preoccupazione espressa recentemente da Marco Borghetti sulla persistenza di una gestione mono-obiettivo imperniata sul taglio a raso per la foresta boreale e argomentata perché coerente con l'obiettivo della transizione ecologica verso la bio-economia (in particolare in Svezia tra l'altro patria di Greta Thunberg!) (Borghetti, 2021). Questa coerenza risulta parziale in quanto riferita a un solo aspetto ignorando la multifunzionalità della foresta che è insita nella propria complessità.

Risulta chiara perciò la necessità di disporre di parametri documentali di ampio dettaglio sulle caratteristiche strutturali del soprassuolo e sulla specificità della dinamica dei cicli successionali del popolamento per definire la quantità dell'incremento di accrescimento annuale che può essere prelevata e le modalità operative di come questa può essere recuperata. In questo senso è valida ancora l'affermazione di Hanns Carl von Carlowitz che nel 1713 indicava che il prelievo non doveva superare l'incremento di crescita del bosco. Ricordo come il valore dell'altezza degli alberi con chioma posizionata nel piano dominante del soprassuolo ( $H_d$ ) sia utilizzato come indice della fertilità della stazione e della normalità produttività potenziale del soprassuolo. Susmel (1956) per i consorzi disetanei *Picea/Abies/Fagus* indica la normalità della biomassa, stimata a metà del periodo di curazione, attraverso la formula  $H_d^2/3$ .

La ricerca in questo campo ha avuto uno sviluppo notevole mettendo a disposizione innovative tecniche di rilevamento da distanza, sistemi satellitari e di archiviazione di dati temporali (Chirici, 2020).

Nelle fustaie i trattamenti selvicolturali si applicano con l'obiettivo di affinare la composizione e la struttura riconsiderando la validità dei presupposti che rappresentano la base dottrinale della normalizzazione e regolazione del popolamento anche se i cambiamenti del trattamento richiedono alta perizia

attuativa che si acquisisce attraverso una continua e attenta osservazione dinamica del bosco in relazione ai prelievi dell'utilizzazione eseguita in precedenza. Esaltare la biodiversità e la sua conservazione, favorire la rinnovazione naturale senza escludere situazioni particolari di valore storico, paesaggistico o economico in cui si possa derogare a favore della rinnovazione artificiale. È necessario operare con gradualità facendo ricorso alle conoscenze fornite dalla ricerca scientifica, ma anche mantenere alti i livelli provvigionali in relazione alla potenzialità produttiva della stazione e avere come obiettivo il raggiungimento di un equilibrio colturale che per approssimazioni successive tenda a quello naturale. Questo potrebbe essere raggiunto attraverso l'impiego di sistemi selvicolturali disetaneiformi e/o a tagli successivi non uniformi che caratterizzano il soprassuolo per una più ampia eterogeneità strutturale associata ad un incremento dell'accumulo di Carbonio nelle varie fasi di sviluppo del popolamento.

Il governo a ceduo, così diffuso nel caso della proprietà privata, è modello di utilizzazione codificato dalla dottrina che viene praticato in un contesto di sostenibilità economica, ma non esclude un forte impatto ambientale tra cui la riduzione della diversità vegetazionale (Heydari et al., 2021). Permangono motivi di riflessione soprattutto se consideriamo la maggiore o minore resistenza e resilienza rispetto alla fustaia nei confronti dell'azione di fattori meteorici estremi relati ai cambiamenti climatici. D'altra parte è diffusa una politica gestionale tesa a valorizzare il ceduo, che non in tutte le situazioni è da condividere e che non dovrebbe configurarsi come una campagna a favore di una gestione finalizzata a un più intenso sfruttamento della biomassa legnosa, bensì diretta alla valorizzazione degli assortimenti legnosi che tali soprassuoli potrebbero fornire e che forse non forniscono per scarsa imprenditorialità dei portatori di interesse (Giannini, 2015b, 2016; Giannini et al., 2014; Giannini et al., 2019).

Esistono invero situazioni a elevato degrado ambientale in cui si rende necessario il ripristino della copertura forestale attraverso il rimboschimento.

Sono continui gli inviti tesi ad adottare politiche finalizzate a rendere "più verde" il nostro pianeta per contrastare e mitigare l'azione dei cambiamenti climatici attraverso una salvaguardia degli ecosistemi forestali e un incremento sostanziale della loro superficie con la "piantagione di nuovi alberi" (Giannini, 2011; Grassi et al., 2017; Marchetti et al., 2019; Giannini et al., 2019). Sono inviti da accogliere con entusiasmo, ma conosciamo anche le grandi difficoltà coinvolte. La realizzazione di nuovi boschi implica necessariamente un progetto coinvolgente che operi su scala nazionale (in tal senso operò la legislazione sulla Bonifica nel 1923 e nel 1952) che preveda la localizzazione e la disponibilità delle aree dove rimboschire, la garanzia di un supporto finanziario certo e una pianificazione di appositi servizi inseriti in un contesto di sviluppo sostenibile coinvolgente gli aspetti ambientali ed economico-sociali del territorio, quindi la

scelta delle specie e del materiale di propagazione, la preparazione del suolo, la tecnica e densità d'impianto, la protezione, le cure colturali (Giannini, 1999). La vulnerabilità (instabilità statica per concorrenza, stress biotici e abiotici) dei popolamenti artificiali, soprattutto se monospecifici di conifere, richiede comunque diradamenti indispensabili, anche quando valutati "pre-commerciali", che si accompagnano per tutta la vita del nuovo soprassuolo e che dovrebbero essere predisposti a favore di una rinaturalizzazione spontanea che potrebbe contribuire alla futura rinnovazione con l'insediamento di specie autoctone tipiche del piano vegetazionale in cui si opera (Giannini et al., 2019).

#### UNA CERTEZZA PER IL FUTURO

Gli alberi forestali per le loro caratteristiche biologiche e per la posizione di driver che rivestono a livello di ecosistema, assumono ruolo essenziale per la storia evolutiva degli organismi terrestri del nostro pianeta e di conseguenza per la biodiversità globale.

È forse questo il primo livello di interesse su cui edificare e sviluppare una gestione sostenibile dei sistemi forestali.

Alcune specie risalgono a periodi molto antichi, altre hanno avuto origine più recente, ma ambedue i gruppi sono accumulati da una lunga immobilità congiunta a un ricco dinamismo a livello di popolazione. La selvicoltura, che sottende l'uso dei beni e dei servizi della foresta a utilità delle esigenze umane, deve operare in modo tale che questa ricchezza di polimorfismi adattativi sia preservata. La perdita non potrà essere mai riconquistata.

Nella pratica la gestione è incentrata sulla regolazione della densità e della distribuzione nello spazio degli alberi stessi, ma gli effetti riguardano modifiche anche molto rilevanti a livello sistemico e ambientale coinvolgendo la presenza/assenza di un sottobosco e/o l'insediamento delle stesse o diverse specie arboree, ma anche la presenza/assenza di funghi, licheni, insetti. Non dimentichiamo poi l'impatto determinato dall'allontanamento dal suolo dei fusti abbattuti dall'intervento. Conoscere, comprendere e attenuare gli effetti negativi della "coltura" solleva problemi di non facile soluzione.

Nel corso del tempo, ma soprattutto negli ultimi decenni i modelli selvicolturali sono stati oggetto di accesi dibattiti indirizzati a sostenere i concetti della scienza della sostenibilità che, in un contesto di globalizzazione, attribuisce alle azioni della società umana gli impatti devastanti dei cambiamenti climatici e nello stesso tempo fa proprio il paradigma dello "spazio di sicurezza" (Rockstrom et al., 2009) in cui i limiti operativi sono definiti da fattori e processi biofisici fondamentali per la biosfera.

Questi fatti invitano ad approfondire le conseguenze delle modalità operative della gestione forestale in quanto questa ultima potrebbe svolgere ruolo essenziale nella capacità di mitigazione da parte delle foreste.

È sempre più diffusa oggi la necessità di operare in un contesto di naturalità che si ottimizza riducendo i fattori di disturbo (Bottacci, 2020). Occorre allora caratterizzare in modo più puntuale le funzioni delle aree forestali descrivendo come siano capaci di svolgere i vari servizi e quindi quantificare la loro posizione in una scala di importanza economico-sociale ed ambientale. Sarebbe utopistico pensare che il bosco possa sempre e comunque esprimere beni congiunti di intensità massima. Tra l'altro occorre riconoscere il valore della presenza di emergenze antropologiche, storico-tradizionali e di folklore alle quali ancora oggi viene riconosciuto un alto valore positivo gestionale.

#### RIASSUNTO

L'attività antropica, nella ricerca del proprio benessere, ha alterato profondamente le caratteristiche degli ecosistemi naturali modificandone la struttura, il numero e la densità degli esseri viventi in essi presenti. A livello mondiale la superficie boscata diminuisce sempre più a causa della deforestazione e dei cambiamenti climatici antropogenici associati e/o consequenziali ai danni da uragani, vento e incendi. Questi fatti permangono sebbene da oltre mezzo secolo si indichi l'essenziale ruolo svolto dal bosco e la necessità di ricorrere ad una gestione sostenibile dell'ecosistema foresta.

I boschi, se gestiti in modo rispettoso, sono capaci di fornire flussi diversificati di funzioni e servizi. Essenziale è il ruolo di conservazione della biodiversità. La gestione forestale deve essere orientata quindi verso strategie diversificate per preservare le specie con particolare riguardo per quelle a rischio di estinzione per riduzione numerica e/o per alterazione degli habitat, ma anche conservando la variabilità genetica inter ed intra specifica. Perseguire una politica gestionale per entità naturali di forte attrattiva ecologico-naturalistica, scenica ed estetico-paesaggistica, significa individuare e perseguire metodi di gestione definiti attraverso parametri che non possono prescindere dalla conoscenza della funzionalità del bosco. Occorre reperire tali conoscenze da trasferire alla gestione delle foreste coltivate e validare i modelli colturali che in queste vengono applicati attraverso ricerche ad elevata integrazione a livello di singolo individuo e di comunità.

L'allontanamento sempre più spinto dalla naturalità comporta una semplificazione a livello di ecosistema che se ripetuta nel tempo ha come conseguenza una riduzione della funzionalità e della potenzialità produttiva.

#### ABSTRACT

*Sustainability of Forest Ecosystems.* The primary ground of silviculture is the eco-biological knowledge of forest ecosystems, as well as the understanding of relationships among func-

tionality, productivity and stability. In these relationships, high genetic diversity has been shown to enhance ecological efficiency on spatial scale and over various interval of time. As forest trees are the drivers of forest ecosystems, their perpetual existence is fundamental for the presence of organism's associations and for their functionality. In this contest, genetic diversity is the key component for the survival of the forest tree populations and, at the same time, the basis of sustainability because it provides leading material for continued adaptation ed evolution.

The forest ecosystem management is directed to define the best approaches with high protection levels from ecological, historical, anthropological and landscape point of view. A major challenge facing modern silviculture is the reconcile the traditional objectives of timber production with the demand for multifunctional forest ecosystems which arises from the society. The preservation of the functionality is strictly related to the forest genetic pool which is the basis of bio-diversity, as it represent the basis for adaptation and survival of populations and species on relation also to the effects of climate changes.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANTONELLI M., DONELLI D., BARBIERI G., VALUSSI M., MAGGINI V., FIRENZUOLI F. (2020): *Aromaterapia naturale: benefici per la salute dell'aria forestale*, in MENEGUZZO F., ZABINI F., *Terapia Forestale*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 2020. ISBN 978 88 8080 430 7. [www.edizioni.cnr.it](http://www.edizioni.cnr.it), pp. 67-75.
- BORGHETTI M. (2021): *Preoccupazioni per la foresta boreale in Europa*, «Forest@», 18, pp. 38-40.
- BORGHETTI M., COLANGELO M., RIPULLONE F., RITA A. (2021): *Ondate di siccità e calore, spunti per una selvicoltura adattativa*, «Forest@», 18, pp. 49-57.
- BOTTACCI A. (2020): *Lo spazio ed il tempo per le foreste resilienti*, «L'Italia Forestale e Montana», 75, pp. 69-81.
- CLAUSER F. (2021): *Produzione biologica, produzione industriale del bosco e recoveryplan*, «L'Italia Forestale e Montana», 76, pp. 137-140.
- CHIRICI G. (2020): *Una nuova era nell'uso del telerilevamento a supporto della pianificazione sostenibile del territorio Big Data e intelligenza artificiale a portata di mano*, «Contesti», 1, pp. 14-35.
- CHIRICI G., BOTTALICO F., GIANNETTI F., ROSSI P., DEL PERUGIA B., TRAVAGLINI D., NOCENTINI S., MARCHI E., FODERI C., FIORAVANTI M., FATTORINI L., GUARIGLIA A., CIANCIO O., BOTTAI L., CORONA P., GOZZINI B. (2016): *Stima dei danni da vento ai soprassuoli forestali in Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015*, «L'Italia Forestale e Montana», 71, pp. 197-213.
- CHIRICI G., GIANNETTI F., TRAVAGLINI D., NOCENTINI S., FRANCINI S., D'AMICO G., CALVO E., FASOLINI D., BROLL M., MAISTRELLI F., TONNER J., PIETROGIOVANNA M., OBERLECHNER K., ANDRIOLO A., COMINO R., FAIDIGA A., PASUTTO I., CARRARO G., ZEN S., CONTARIN F., ALFONSI L., WOLYNSKI A., ZANIN M., GAGLIANO C., TONOLLI S., ZOANETTI R., TONETTI R., CAVALLI R., LINGUA E., PIROTTI F., GRIGOLATO S., BELLINGERI D., ZINI E., GIANELLE D., DALPONTE M., POMPEI E., STEFANI A., MOTTA R., MORRESI D., GARBARINO M., ALBERTI G., VALDEVIT F., TOMELLERI E., TORRESANI M., TONON G., MARCHI E., CORONA P., MARCHETTI M. (2019): *Forest damage inventory after the "Vaia" storm in Italy*, «Forest@», 16, pp. 3-9.

- CIANCIO O. (2021): *I diritti del bosco: un problema di natura etica e giuridica*, «L'Italia Forestale e Montana», 76, pp. 101-107.
- DE PHILIPPIS A. (1949): *I diradamenti boschivi*, Universitaria Editrice, Firenze, pp. 340.
- GIANNINI R. (1999): *Rimboschimento*. In *Ecologia Applicata (Società Italiana di Ecologia)*, a cura di A. Provini, S. Galassi, R. Marchetti, Citta Studi Edizioni, Torino, pp. 505-516.
- GIANNINI R. (2009): *Selvicoltura e variabilità genetica: funzionalità e conservazione degli ecosistemi forestali*, Atti Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura, Taormina, 16-19 ottobre 2008, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 55-59.
- GIANNINI R. (2011): *Utilità e servizi delle foreste: demagogia o tecnica dello struzzo?*, «L'Italia Forestale e Montana», 66, pp. 463-467.
- GIANNINI R. (2013): *Conservazione della diversità genetica e Global Change*, «L'Italia Forestale e Montana», 68, pp. 117-122.
- GIANNINI R. (2015a): *Luragano del 5 marzo 2015*, «Forest@», Sisefeditor.org, <https://sisef.org/2015/03/26/editoriale-luragano-del-5-marzo-2015/>.
- GIANNINI R. (2015b): *La valorizzazione della biomassa legnosa*, in *Il vino nel legno*, a cura di R. Giannini, Firenze University Press, Firenze, pp. 111-129.
- GIANNINI R. (2016): *Legno ed enologia*, «L'Italia Forestale e Montana», 71, pp. 319-329.
- GIANNINI R., MAGNANI F. (1994): *Effects of climate on the genetic diversity of forest trees*, «Annali di Botanica», 52, pp. 175-183.
- GIANNINI R., SUSMEL L. (2006): *Foreste, boschi, arboricoltura da legno*, «Forest@», 3, pp. 464-487.
- GIANNINI R., NOCENTINI S. (2010): *Selvicoltura: biodiversità, risorse genetiche, aree protette e fauna*, «L'Italia Forestale e Montana», 65, pp. 97-111.
- GIANNINI R., GIORDANO E., STETTLER R.F. (1999): *Biodiversità e miglioramento genetico in una selvicoltura sostenibile*, Atti del II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia 24-27 giugno 1998, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 175-210.
- GIANNINI R., MALTONI A., MARIOTTI B., PAFFETTI D., TANI A., TRAVAGLINI D. (2014): *Valorizzazione della produzione legnosa dei boschi di castagno*, «L'Italia Forestale e Montana», 69, pp. 307-317.
- GIANNINI R., BERNETTI G., CAVALLI R., CIANCIO O., GROSSONI P., LA MARCA O., SANESI G., SCARASCIA MUGNOZZA G., UZIELLI L. (2019): *Foreste e verde urbano: un percorso tra sostenibilità e criticità. Quale sostenibilità nella gestione forestale?*, «I Geogofili. Atti della Accademia dei Geogofili», serie VIII, vol. 16, pp. 436-474.
- GRASSI G., HOUSE J., DENTENER F., FEDERICI S., DEN ELZEN M., PENMAN J. (2017): *The keyrole of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation*, «Nature Climate Change», 7, pp. 220-226.
- MARCHETTI M., MOTTA R., SALBITANO F., VACCHIANO G. (2019): *Piantare alberi in Italia per il benessere del pianeta. Dove come e perché*, «Forest@», 16, pp. 59-65.
- MENEGUZZO F., ZABINI F. (a cura di) (2020): *Terapia Forestale*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma. ISBN 978 88 8080 430 7. [www.edizioni.cnr.it](http://www.edizioni.cnr.it), pp. 1-125.
- NOCENTINI S., CIANCIO O., PORTOGHESI L., CORONA P. (2020): *Historical roots and the evolving science of forest management under a system perspective*, «Canadian Journal of Forest Research», 5, pp. 163-171.
- ORLANDINI S. (2019): *Sostenibilità della coltivazione del nocciolo in Italia*, «I Geogofili. Atti della Accademia dei Geogofili», serie VIII, vol. 16, pp. 218-219.
- PUXEDDU M. (2021): *Giganti d'Ogliastra: grandi alberi relitti di Sardegna*, «L'Italia Forestale e Montana», 76, pp. 197-203.
- ROCKSTRÖM J., STEFFEN W., NOONE K., PERSSON Å., CHAPIN III F.S., LAMBIN E.F.,

- LENTON T.M., SCHEFFER M., FOLKE C., SCHELLNHUBER H.J., NYKVIST B., DE WIT C., ASTANZA R., SVEDIN U., FALKENMARK M., KARLBERG L., CORELL R.W., FABRY J., HANSEN J., WALKER B., LIVERMAN D., RICHARDSON K., CRUTZEN P., FOLEY J.A. (2009): *A safe operating space for humanity*, «Nature», 461, pp. 472-475.
- REGIONE TOSCANA (2020): *Rapporto sullo stato delle foreste in Toscana 2019*, Compagnia delle foreste Ed., Arezzo, pp. 184.
- SUSMEL L. (1956): *Leggi di variazione dei parametri della foresta disetanea normale*, «L'Italia Forestale e Montana», 11, pp. 3-9.

PAOLO SCKOKAI<sup>1</sup>

## I nuovi modelli di consumo “sostenibile”

<sup>1</sup> Università Cattolica del Sacro Cuore – Piacenza

### LE DETERMINANTI DELLA DOMANDA DI ALIMENTI

La domanda di alimenti risponde a una molteplicità di fattori, che possiamo classificare almeno in tre gruppi: i fattori economici (il prezzo dell'alimento, il prezzo dei potenziali prodotti sostituti, il reddito delle famiglie), i fattori socio-demografici (le dinamiche della popolazione, le dinamiche familiari e quelle sociali) e l'evoluzione dei gusti e delle preferenze individuali.

In questo lavoro, analizzando il tema dei consumi di prodotti “sostenibili”, ci soffermeremo essenzialmente su fenomeni legati all'evoluzione dei gusti e delle preferenze degli individui, con particolare riferimento alla realtà italiana. Non bisogna però dimenticare che le scelte dei consumatori sono sempre influenzate da un mix di fattori, in cui anche le prime due categorie (fattori economici e fattori socio-demografici) giocano un ruolo fondamentale. Ad esempio, con riferimento ai fattori economici, il prezzo cui un determinato prodotto “sostenibile” viene messo in vendita è sempre un elemento di scelta cruciale e dobbiamo aspettarci che, se esistono sul mercato prodotti almeno parzialmente sostituibili, il differenziale di prezzo con questi ultimi possa determinare la scelta tra un prodotto e l'altro. Lo stesso vale per il reddito: anche per i prodotti “sostenibili”, dobbiamo aspettarci che la domanda cresca in periodi in cui la situazione economica generale è positiva e il reddito disponibile delle famiglie tende a salire, mentre, per motivi opposti, la domanda calerà nei periodi di crisi economica.

Qualcosa di analogo vale per le determinanti socio-demografiche dei consumi. Fenomeni che hanno caratterizzato il nostro Paese negli ultimi decenni, come l'allungamento della vita media, la riduzione del tasso di natalità e gli intensi flussi migratori, hanno cambiato in modo radicale la struttura del-

la popolazione, con un impatto inevitabile sui modelli di consumo. Questo vale anche per importanti fenomeni sociali come la crescente partecipazione delle donne al mercato del lavoro o la crescita dei single e delle famiglie mono-genitoriali. È infatti prevedibile che la fascia di popolazione sensibile al tema dei consumi “sostenibili” si concentri tra le famiglie più giovani, relativamente meno numerose e con redditi medio-alti, mentre questa sensibilità cali, ad esempio, tra le famiglie numerose e tra quelle immigrate, almeno per le prime generazioni. Infine, se alcuni dei cambiamenti indotti dalla pandemia da Covid-19 dovessero diventare strutturali (ad esempio la riduzione del pendolarismo e dei viaggi di lavoro e l’aumento del lavoro agile), dovremmo probabilmente aspettarci modelli di consumo “sostenibile” molto più centrati sui consumi a casa che su quelli fuori casa.

#### I MODELLI DI CONSUMO SOSTENIBILE

Avendo presente questo contesto, il tema dei nuovi modelli di consumo, derivanti dall’evoluzione delle preferenze dei consumatori, ha assunto negli ultimi tempi un ruolo centrale nella domanda di alimenti. Ci sono almeno cinque driver fondamentali che stanno generando questi nuovi modelli di consumo. Il primo è senza dubbio la *relazione tra alimentazione e salute*: i consumatori sono sempre più consapevoli dell’importanza dell’alimentazione per la loro salute fisica e psicologica, e da questa consapevolezza nascono scelte di consumo mirate al benessere della persona. Il secondo è il *rapporto tra l’alimentazione e l’ambiente*: i consumatori sono sempre più consapevoli che i processi produttivi delle materie prime agricole e della trasformazione alimentare, così come alcuni comportamenti di noi cittadini/consumatori, impattano sulla qualità dell’ambiente in cui viviamo, e anche da questo nascono precise scelte di consumo. Ma esistono almeno altri tre fattori importanti di evoluzione dei gusti: *il contenuto di servizio degli alimenti*, che risponde a esigenze quali la praticità e il risparmio di tempo, che continuano a essere molto rilevanti, *il piacere dell’alimentarsi*, che fa invece riferimento ai significati edonistici/conviviali che i consumatori attribuiscono al cibo, e la *territorialità*, che tende invece a enfatizzare il legame tra il cibo e le tradizioni/cultura alimentare di un dato territorio.

Anche se tutti i fattori menzionati contribuiscono a disegnare i modelli attuali di consumo, è soprattutto dai primi due driver, i rapporti alimentazione-salute e alimentazione-ambiente, che si sono sviluppati quelli che oggi chiamiamo modelli di consumo “sostenibile”. Un primo segnale che i consumi stanno cambiando profondamente viene dall’osservazione dei trend di

lungo periodo dei dati ISTAT sui consumi alimentari (ISTAT, 2021): nel periodo 2006-2014, il periodo della più profonda crisi economica del dopoguerra, i consumi alimentari a prezzi costanti<sup>1</sup> sono diminuiti di circa il 13%, un dato molto eclatante, che è stato recuperato solo in parte negli anni successivi, visto che tra il 2014 e il 2020 la crescita è stata solo del 6%. Questo calo così massiccio sembra in contraddizione con la banale osservazione che, in uno scenario in cui la popolazione italiana è rimasta sostanzialmente stabile, intorno ai 60 milioni di abitanti, ci si aspetta che la contrazione dei consumi interessi tutti i capitoli della spesa delle famiglie, ma non la spesa alimentare, considerata un bene essenziale cui non si può rinunciare. In realtà, questo calo ha ragioni più profonde, che vanno molto al di là dell'andamento della congiuntura economica. In primo luogo, esso riflette l'andamento demografico: una popolazione che invecchia, tende naturalmente a ridurre i consumi pro capite. Ma il dato demografico spiega solo in parte questo trend complessivo: tutti gli esperti sono concordi nell'attribuirlo da un lato alla riduzione dell'apporto calorico pro-capite, derivante dalla crescente sensibilità dei consumatori al binomio cibo-salute, e dall'altro alla riduzione degli sprechi alimentari, legato invece al binomio alimentazione-ambiente.

Se i dati aggregati già suggeriscono cambiamenti strutturali importanti, scendendo nel dettaglio dell'andamento delle vendite di specifiche categorie di prodotti, si può apprezzare ancora di più l'impatto che i nuovi modelli di consumo stanno avendo sul mercato alimentare. In questa sede, faremo riferimento ai dati dell'ultima edizione del rapporto dell'Osservatorio Immagino (2021), nato nel 2018 per monitorare i mercati a partire dal contenuto dell'etichetta dei prodotti, lo strumento di comunicazione più importante tra imprese e consumatori. Il rapporto in questione incrocia i dati relativi alle etichette dei prodotti (ingredienti, tabelle nutrizionali, loghi e certificazioni, claim e indicazioni di consumo) con i dati di vendita raccolti da Nielsen mediante i codici a barre, sia presso i punti vendita della GDO (*retail panel*), sia presso le famiglie (*consumer panel*). I prodotti vengono classificati secondo specifici segmenti di mercato, distinti sulla base delle caratteristiche dell'etichetta, e molti di questi segmenti fanno chiaramente riferimento all'area dei consumi “sostenibili”. Il campione monitorato è di circa 120.000 prodotti, comprendenti però una quota significativa di prodotti non alimentari, e vale circa 39 miliardi di euro nel 2020, pari a circa l'83% delle vendite di super e ipermercati in Italia, con una copertura che è ovviamente molto ampia per ca-

<sup>1</sup> I dati dei consumi a prezzi costanti, pur essendo espressi in unità monetarie, consentono di calcolare variazioni nel tempo che rappresentano cambiamenti effettivi delle quantità consumate, in quanto totalmente depurati dell'effetto prezzi.

regorie come gli alimenti confezionati e i surgelati (quasi il 90%) e molto più bassa per l'ortofrutta (intorno al 35%), dove la quota di prodotti etichettati è molto più contenuta.

Procedendo in ordine di importanza, possiamo innanzitutto evidenziare come, nel campione Immagino, siano oltre 10.000 i prodotti che riportano in etichetta un richiamo esplicito ai temi della sostenibilità (es.: materia prima da agricoltura biologica; uso ridotto di prodotti chimici in agricoltura e/o di antibiotici negli allevamenti; riduzione dell'impronta carbonica e in generale delle emissioni climalteranti; certificazioni relative a processi produttivi sostenibili; commercio equo e solidale; rispetto del benessere animale; gestione sostenibile delle risorse di base, come l'acqua o il suolo...). Le vendite di questi prodotti valgono oltre 10 miliardi di euro, che corrispondono a circa il 26% del volume d'affari coperto dall'indagine, con una crescita del 7,6% nel 2020. Si tratta di una quota di mercato molto rilevante che, anche tenendo conto della bassa copertura del campione in alcuni settori, in primis il fresco e l'ortofrutta, implica comunque che i prodotti "sostenibili" rappresentino ormai una fetta molto importante del mercato alimentare.

A completamento di questa analisi, è importante evidenziare il tema del packaging, e in particolare quello relativo alla riciclabilità della confezione in cui gli alimenti vengono venduti. Tra i prodotti inclusi nel campione Immagino, sono circa il 30% quelli che riportano informazioni relativi alla riciclabilità del packaging, che per oltre l'80% dei casi è totalmente o largamente riciclabile. Questo 30% di prodotti vale però circa il 49% delle vendite, a dimostrazione di come i prodotti attenti al tema del packaging siano quelli a più alto valore commerciale.

Infine, una fetta sempre più importante del mercato alimentare è caratterizzata da messaggi in etichetta che richiamano ai cosiddetti elementi *lifestyle*. Valgono infatti ben 3,2 miliardi di euro (con un +7% nel 2020) le vendite di prodotti che richiamano in etichetta l'alimentazione vegetariana o vegana (di gran lunga i più importanti), cui bisogna aggiungere i prodotti con richiami all'alimentazione halal e kosher, decisamente meno importanti ma in grande crescita.

Se poi allarghiamo lo sguardo a quei segmenti di mercato che guardano in modo più specifico al binomio alimentazione-salute, abbiamo anche in questo caso comparti in grande crescita. Ad esempio, i prodotti cosiddetti *free from* valgono quasi 7 miliardi di euro (+3,3% nel 2020), e al loro interno alcuni dei segmenti più importanti richiamano chiaramente i temi della sostenibilità (senza conservanti, senza olio di palma, senza additivi...), mentre i prodotti *rich in* valgono 3,4 miliardi (+4,6% nel 2020), e anche in questo caso contengono categorie chiaramente legate al mondo dei prodotti "sostenibili" (integrali, ricchi di fibre...).

## IL CASO DEI PRODOTTI DA COLAZIONE

A titolo di esempio, si propongono qui di seguito alcuni elementi di un'analisi recentemente effettuata da chi scrive in collaborazione con la società di ricerche di mercato IRI e riguardante i cambiamenti nelle abitudini degli italiani relativamente ai prodotti da prima colazione nel periodo 2014-18.

I dati delineano un quadro molto chiaro dell'impatto dei nuovi trend di consumo sulla prima colazione degli italiani. Il crollo delle vendite di latte fresco è molto consistente (oltre il 15% in 4 anni), con punte superiori al 30% per il latte fresco intero. La categoria del latte parzialmente scremato è di gran lunga la più consumata, ma anche in questa categoria si registrano cali delle vendite molto consistenti sia per il fresco (-26,1%), sia per l'UHT (-17,5%). A questi cali fanno da contraltare i tassi di crescita a due o tre cifre delle bevande sostitutive del latte, ma, se questi ultimi non sono sorprendenti, è invece sorprendente il livello assoluto delle vendite in volume di alcune categorie: le vendite di latte UHT delattosato superano quelle del latte UHT intero, mentre le bevande UHT di soia vendono più del latte fresco intero. È quindi evidente che non si tratta più di sviluppo di prodotti di nicchia, ma di un vero e proprio cambiamento strutturale dei gusti e delle preferenze dei consumatori. Qualcosa di analogo sta succedendo per i prodotti solidi da colazione, sia nel segmento dei biscotti che in quello dei cereali da colazione, in cui, in un quadro di forte calo delle vendite, in particolare per i biscotti (quasi il 30% in meno in quattro anni), si assiste, in entrambi i segmenti, alla sostituzione dei prodotti classici con quelli integrali. Nel segmento dei cereali il “sorpasso” tra le due categorie è già avvenuto da qualche anno, mentre in quello dei biscotti è prevedibile che avvenga a breve, visto il tasso di crescita dei biscotti integrali (+48% in quattro anni) rispetto al forte declino di quelli classici (-57% nello stesso periodo).

## IL RUOLO DELLE POLITICHE PUBBLICHE

Questa analisi relativa ai dati di mercato ci mostra come i prodotti alimentari “sostenibili” abbiano indubbiamente già conquistato fette importantissime di mercato che, anche correggendo per le caratteristiche del campione Immagino, si stima interessino circa il 20% delle vendite alimentari in Italia. A questo risultato, già molto rilevante, potrebbero contribuire, soprattutto nei prossimi anni, politiche pubbliche finalizzate a incentivare l'adozione di diete più salutari e più sostenibili. Questa sembra essere infatti la direzione intrapresa dall'Unione Europea (UE) nel documento “Farm-to-Fork Strategy” (F2FS)

(European Commission, 2020), pubblicato nel 2020 per declinare gli obiettivi del Green Deal europeo nel settore agro-alimentare.

Nella sezione dedicata alla promozione di diete più salutari e sostenibili, la F2FS parte dalla considerazione che gli attuali modelli di consumo non siano sostenibili, né da un punto di vista della salute delle persone né dal punto di vista del loro impatto ambientale. Per questa ragione, si individua la necessità di attuare specifiche politiche UE che, nell'arco di un decennio, stimolino un cambiamento nelle diete, da un lato mediante un riequilibrio dal punto di vista nutrizionale (riduzione dell'apporto calorico medio, e in generali di cibi ricchi di grassi, sale e zuccheri, favorendo invece l'aumento del consumo di ortofrutta, legumi e derivati integrali dei cereali), e dall'altro attraverso una riduzione dell'impatto ambientale del consumo di alimenti, riducendo in particolare le emissioni di gas climalteranti derivanti dalle filiere di produzione. Gli strumenti individuati nella F2FS sono potenzialmente molto impattanti, e per questo stanno suscitando un dibattito molto acceso tra gli addetti ai lavori: (i) l'adozione di un sistema armonizzato obbligatorio di etichettatura nutrizionale per i prodotti confezionati; (ii) l'estensione dell'obbligo dell'indicazione d'origine della materia prima; (iii) il riordino degli schemi volontari di etichettatura "green", in modo da riuscire ad applicare un modello armonizzato di etichettatura riguardante gli aspetti salutistici e ambientali del consumo di ciascun alimento; (iv) l'adozione di incentivi fiscali, legati in particolare all'IVA, per incoraggiare l'adozione di diete più salutari e sostenibili. Senza entrare in dettaglio della discussione di ciascuno di questi strumenti, risulta comunque chiaro come l'UE voglia affidarsi sostanzialmente a due leve: quella più *soft* della comunicazione ai consumatori, in cui ricadono i primi tre strumenti di etichettatura/certificazione, e quella più *hard* degli incentivi/disincentivi fiscali.

Da quando la F2FS è stata pubblicata, il dibattito si è subito concentrato sul sistema di etichettatura nutrizionali, che l'UE vorrebbe adottare molto velocemente (Egnell et al, 2018; European Commission, 2020). Su questo tema però le divisioni sono molto profonde: com'è noto, molti Paesi del Centro-Nord Europa spingono per l'adozione dei sistemi basati sui colori verde/giallo/rosso (dalla *traffic-light label* adottata già da tempo nel Regno Unito al *nutriscore* messo a punto in Francia), mentre i Paesi mediterranei, e in particolare l'Italia, si oppongono fortemente, perché molti prodotti DOP/IGP verrebbero classificati col colore giallo o rosso per effetto dell'apporto calorico elevato e/o dei contenuti relativamente alti di grassi, zuccheri o sale. La proposta italiana del cosiddetto *nutrinform battery*, basato sul contributo di ciascun alimento ai fabbisogni giornalieri raccomandati di calorie e di principi nutritivi, raccoglie ancora molte perplessità, soprattutto per le difficoltà che i consumatori potrebbero incontrare nella sua interpretazione.

Su questo tema il dibattito, anche in sede scientifica, è destinato a continuare, ma sembra abbastanza ovvio prevedere che un accordo su un sistema di etichettatura nutrizionale efficace e trasparente per i consumatori possa evitare il ricorso a strumenti ancora più impattanti, come quelli fiscali (Thow et al., 2014; Bonnet et al., 2020). Una rimodulazione dell’IVA che aumenti le aliquote per i prodotti ricchi di grassi/zuccheri/sale (in linea con le *fat tax* e *sugar tax* già sperimentate in alcuni paesi UE), seppure accompagnata da analoghe riduzioni fiscali per prodotti ricchi in vitamine o fibre (ad esempio l’ortofrutta), incontrano già oggi una netta opposizione da parte degli operatori. Opposizione che diventa persino più forte per l’ipotesi di tassazione degli alimenti in funzione delle emissioni di gas serra derivanti dai loro processi produttivi (la cosiddetta *carbon tax*), anch’essa proposta nella F2FS, che finirebbe col penalizzare fortemente le produzioni di origine animale. Le simulazioni disponibili mostrano infatti come la gestione di questi strumenti fiscali non sia per niente semplice e il loro impatto effettivo sia legato comunque a complessi meccanismi di sostituzione tra prodotti.

#### RIASSUNTO

I consumi alimentari in Italia stanno cambiando in modo molto rilevante, sia in termini di composizione media della spesa alimentare, sia in termini di specifici prodotti consumati. I driver del cambiamento dei consumi alimentari sono legati sia a importanti fenomeni socio-demografici che caratterizzano la società italiana (invecchiamento della popolazione, immigrazione, nuove dinamiche familiari, nuovi modalità di gestione del lavoro e del tempo libero...), sia alle nuove esigenze che i consumatori manifestano nei confronti del cibo. Tra questi nuovi trend, giocano un ruolo fondamentale la crescente consapevolezza del rapporto tra alimentazione e salute e la sostenibilità dei comportamenti di consumo. In questo contesto, il presente lavoro analizza i dati principali relativi all’andamento della domanda alimentare in Italia, utilizzando sia le fonti ufficiali ISTAT che i dati provenienti dalle più importanti società di ricerche di mercato. In particolare, il lavoro cerca di analizzare in dettaglio le caratteristiche dei nuovi trend di consumo (prodotti, volumi e trend di crescita), soffermandosi su alcuni casi studio. Il lavoro si conclude con alcune considerazioni riguardanti il ruolo delle politiche in questa specifica area di applicazione.

#### ABSTRACT

*New Models of Sustainable Food Consumption.* Food consumption patterns in Italy are significantly changing over time, both in terms of food expenditure composition and in terms of specific products consumed. The main drivers of change are related both to

important socio-demographic trends that characterise the Italian society (i.e. population aging, immigration, new household dynamics, new features of work and leisure time,..) and to the new features of consumer demand. Among these new trends, the relationship between food and health and the sustainability of food consumption behaviour play a key role. In this context, this paper wishes to analyse the main data concerning food demand trends in Italy, using both the official statistics (ISTAT) and the data coming from the most important market research companies. In particular, the paper tries to analyse the features of the new consumption trends (products, quantities and growth rates), focusing on some case studies. The paper ends with some considerations concerning the role of policies in this specific areas.

#### BIBLIOGRAFIA

- BONNET C., BOUAMRA-MECHEMACHE Z., RÉQUILLART V. & TREICH N. (2020): *Regulating meat consumption to improve health, the environment and animal welfare*, «Food Policy», 101847.
- EGNELL M., TALATI Z., HERCBERG S., PETTIGREW S., JULIA C. (2018): *Objective Understanding of Front-of-Package Nutrition Labels: An International Comparative Experimental Study across 12 Countries*, «Nutrients», 10 (10), 1542.
- EUROPEAN COMMISSION (2020): *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system*, COM/2020/381 final. Available at: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-annex-farm-fork-green-deal\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-annex-farm-fork-green-deal_en.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION (2020): *Report from the Commission to the European Parliament and the Council regarding the use of additional forms of expression and presentation of the nutrition declaration*, COM(2020) 207 final. Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2020\)207&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2020)207&lang=en)
- ISTAT (2021): *Conti e aggregati economici nazionali. Spesa per consumi finali delle famiglie*. Disponibile su <http://dati.istat.it/>.
- OSSERVATORIO IMMAGINO (2021): *Le etichette dei prodotti raccontano i consumi degli italiani*, GS1 Italy. Disponibile su <https://osservatorioimmagino.it/>.
- THOW A.M., DOWNS S. & JAN S. (2014): *A systematic review of the effectiveness of food taxes and subsidies to improve diets: understanding the recent evidence*, «Nutrition reviews», 72 (9), pp. 551-565.

## Considerazioni conclusive

L'incontro è stato organizzato per affrontare alcune tematiche di estrema attualità, che fortemente coinvolgono l'agricoltura e che hanno ripercussioni globali in tema di risorse e impatti sui cambiamenti climatici. Sempre maggiore attenzione è infatti posta alla sostenibilità, impegnando così l'agricoltura in una transizione radicale verso un sistema circolare, solido e resiliente. Le relazioni hanno affrontato il tema in modo ampio, a partire dalle implicazioni principali legate al passaggio da un sistema lineare alla economia circolare che si basa su un uso più efficiente delle risorse naturali non rinnovabili e la valorizzazione degli scarti, che diventano essi stessi risorse, oltre che sulla estensione della vita utile dei prodotti. Fondamentale in questo contesto il ruolo dei consumatori e l'accesso degli agricoltori alle informazioni e innovazioni. Fra queste rientrano a pieno titolo i risultati del miglioramento genetico, soprattutto in considerazione del fatto che negli ultimi anni lo sviluppo di tecniche di selezione molecolare e la loro applicazione hanno drasticamente cambiato le metodologie, i tempi e la qualità dei risultati ottenibili. È stato quindi messo in evidenza che la sostenibilità, se rapportata al sistema della filiera agroalimentare, prospetta in chiave giuridica diverse questioni, alcune delle quali di difficile soluzione ove si considerino l'ampiezza degli interessi coinvolti e le attività che intervengono lungo la filiera. Sia nei sistemi forestali, sia in quelli agrari la sostenibilità assume un ruolo essenziale e crescente. I servizi ecosistemici prodotti dai boschi rappresentano oggi un valore imprescindibile, che deve però coniugarsi con la produzione di reddito. Analogamente nei sistemi agrari la produzione deve garantire il raggiungimento dei diversi ambiti della sostenibilità, economica, sociale e ambientale. Infine, è stato messo in evidenza il ruolo dei consumatori. Al momento, fra i driver del cambiamento dei consumi alimentari (invecchiamento della popolazione,

immigrazione, dinamiche familiari, gestione del lavoro e del tempo libero, ecc.), giocano un ruolo fondamentale la crescente consapevolezza del rapporto tra alimentazione e salute e la sostenibilità dei comportamenti di consumo, fra cui rientra pienamente la sostenibilità dei prodotti.