

## **Le parole del futuro**



**Università Cattolica del Sacro Cuore**

**Facoltà di Scienze agrarie,  
alimentari e ambientali**

# **Agricoltura Alimentazione Ambiente**



**VITA E PENSIERO**



[www.vitaepensiero.it](http://www.vitaepensiero.it)

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail: [autorizzazioni@clearedi.org](mailto:autorizzazioni@clearedi.org) e sito web [www.clearedi.org](http://www.clearedi.org)

© 2021 Vita e Pensiero - Largo A. Gemelli, 1 - 20123 Milano

ISBN 978-88-343-4738-6

# Indice

Premessa	7
<i>Agricoltura</i>	23
Il contributo dei prodotti tipici alla promozione dello sviluppo rurale	23
Le nuove frontiere della genetica e della genomica	29
Smart farming e agricoltura di precisione	36
La tutela degli allevamenti potenziando il benessere animale	42
Agricoltura sostenibile per una transizione ecologica	48
<i>Alimentazione</i>	55
L'importanza della sicurezza e della salubrità degli alimenti	55
L'innovazione nelle tecnologie alimentari	61
La valorizzazione del food Made in Italy nel mondo	68
La sostenibilità della produzione alimentare	74
La consapevolezza alimentare del consumatore-cittadino	80

<i>Ambiente</i>	87
Il climate change: strategie di adattamento e di mitigazione	87
Le energie rinnovabili e i biomateriali	93
La tutela delle biodiversità	99
Residui, contaminazione e tracciabilità nel food system	105
L'economia circolare e gli obiettivi di sviluppo sostenibile	111
Gli Autori	119

## Premessa

### *Rivoluzioni agricole e storia dell'umanità*

La storia dell'agricoltura è intrinsecamente legata alla storia dell'umanità. L'agricoltura nacque diecimila anni fa, quando l'uomo abbandonò il nomadismo, basato sulla caccia, sulla pesca e sulla raccolta di frutti ed erbe spontanee, e cominciò a riconoscere e custodire i semi, a proteggere i suoi terreni, ad allevare gli animali, a far nascere accanto a sé il suo cibo. L'agricoltura portò al genere umano fonti di nutrimento che erano varie in qualità e abbondanti in quantità. L'allevamento permise all'uomo di avere latte, pelli, uova, carne senza doversi allontanare per cacciare. Questa lenta ma inesorabile evoluzione, accanto alla scoperta del fuoco, portò non solo ad un maggiore benessere fisico, dimostrato dall'aumento della popolazione che passò da 5 a 500 milioni di persone, ma comportò una spinta evolutiva che coinvolse anche il comportamento e che portò ad una nuova vita sociale, basata su nuovi valori etici e culturali.

Le Sacre Scritture sono piene di riferimenti all'agricoltura, alcuni passi dei Vangeli descrivono con dettaglio i prodotti della terra, gli attrezzi e le caratteristiche colturali, rappresentando una sorta di manuale dell'agricoltu-

ra delle diverse epoche che sono narrate. La figura dell'agricoltore che coltiva, lavora e custodisce emerge fin dalla *Genesi* in cui, dopo la creazione, «non c'era un uomo che lavorasse il suolo», ma allora «Il Signore Dio prese l'uomo e lo pose nel giardino di Eden, perché lo coltivasse e lo custodisse». L'agricoltura è però un tema ricorrente, la ritroviamo anche nell'Ultima Cena, considerando che il patto d'amore tra Gesù e i suoi apostoli viene suggellato con due simboli che rappresentano pienamente il lavoro agricolo: il pane e il vino. Altrettanto importante è il ruolo dell'allevamento e tantissimi sono i riferimenti metaforici e reali ai pastori, primi allevatori della storia.

Il termine *Rivoluzione agricola* è stato impiegato per la prima volta per designare le trasformazioni dell'agricoltura verificatesi in Inghilterra tra il XVIII e il XIX secolo. Il concetto è stato poi applicato in altri contesti geografici e in altri momenti storici con l'intento di evidenziare momenti di transizione verso forme più moderne di agricoltura. La prima rivoluzione agricola, anche indicata come Riforma dell'Agricoltura (XVIII sec.) è quella che permise di superare il metodo della rotazione triennale medievale che prevedeva la coltivazione a rotazione di due territori mentre il terzo veniva lasciato a riposo. La nuova rotazione permetteva di far precedere la coltivazione del grano da una leguminosa simbiotica (trifoglio ed erba medica). Coltivando, inoltre, piante foraggere, si è dato grande impulso anche all'allevamento animale. L'ultima Rivoluzione agricola, quella dell'ultimo secolo, ha permesso all'agricoltura di diventare produttivamente intensiva e in grado di sostenere un aumento demografico



che ha portato la popolazione mondiale da 2,5 miliardi di persone nel 1950 a 6 miliardi nel 2000. Gli ultimi cento anni di storia hanno visto un grandissimo sviluppo dell'agricoltura, che grazie alla tecnologia si è sviluppata più rapidamente nel XX secolo che in tutta la storia precedente. Il motore a combustione interna è solo uno e forse il primo dei grandi protagonisti dell'aumento di produzione del ventesimo secolo. Il primo trattore a benzina di successo fu costruito negli Stati Uniti nel 1892, che passò da avere 600 trattori nel 1907 ad averne 3.400.000 nel 1950. Insieme alla meccanizzazione non vanno dimenticate le altre grandi innovazioni: il miglioramento genetico e l'introduzione di nuove tecniche agricole, tra cui l'avvento di fertilizzanti azotati di sintesi, l'impiego di agrofarmaci e l'esteso uso delle tecniche irrigue. In realtà l'ultima rivoluzione agricola non si è mai fermata ed anche oggi siamo nel mezzo di una transizione verso una più moderna forma di agricoltura che porterà a nuove e diverse colture in grado di affrontare il cambiamento climatico, e si avvarrà sempre più di nuove tecnologie che miglioreranno la qualità delle produzioni garantendo il rispetto dell'ambiente.

### *La storia e il posizionamento attuale della Facoltà delle 3A*

La Facoltà fu fondata nel 1953 da padre Agostino Gemelli, primo rettore dell'Università Cattolica, con l'obiettivo di diventare una Facoltà 'modello', in cui al progresso delle scienze si affiancava il primato dell'uomo.

Infatti, il fondatore metteva in guardia dal dimenticare che «l'Università contemporanea, se ha il dovere di collaborare per il progresso delle scienze e di seguire la metodologia richiesta da ognuna di esse, non deve però mai porre in secondo ordine ciò che esige il riconoscimento del suo primato, vale a dire l'uomo, la persona umana, il mondo della spiritualità».

La prima pietra della Facoltà di Agraria fu posta nel 1949 dal presidente della Repubblica Luigi Einaudi e un altro presidente, Segni, la inaugurò nel 1957; ma le origini della Facoltà risalgono al 1943. In quell'anno, infatti, il prefetto di Piacenza, Amerigo De Bonis, sottopose a padre Agostino Gemelli, rettore della Cattolica, il progetto di realizzare una Facoltà di Agraria modello, in una terra, come quella piacentina, ricca di coltivazioni e pronta a recepire la necessità di rinnovare le tecniche agricole. Padre Gemelli scelse Piacenza perché era una provincia all'avanguardia nell'agricoltura. Infatti a Piacenza erano sorti, già nell'Ottocento, i primi organismi cooperativi, tra cui il Consorzio Agrario, la Federconsorzi e soprattutto una famosissima Cattedra ambulante di Agricoltura, nata dalla collaborazione tra mondo accademico, organizzazioni agrarie e pubblica amministrazione, che offriva servizi tecnici e assistenza ai produttori per favorire la diffusione delle conoscenze agrarie e la sperimentazione delle innovazioni. La Cattedra ambulante si costituì nell'aprile del 1897 con la direzione di Ferruccio Zago. Zago restò a Piacenza per vent'anni, contribuendo in maniera determinante allo sviluppo dell'agricoltura locale. La Cattedra piacentina,

la settima sorta in Italia, divenne ben presto una delle più importanti a livello nazionale, e fu in grado di trascinare lo sviluppo agrario della provincia.

Con la creazione di una Facoltà d'Agraria, il fondatore intendeva perseguire un duplice scopo: da un lato preparare i tecnici per le aziende agricole; dall'altro promuovere ricerche scientifiche nel campo delle industrie agrarie, così da utilizzare al meglio i prodotti della terra. Si trattava quindi di dare vita ad una struttura dotata di adeguati impianti e di vasti campi sperimentali. Il segno di distinzione della Facoltà, rispetto alle altre in tutta Europa, è rappresentato, fin dall'inizio, dall'attrezzatura scientifica dei diciannove laboratori. Furono fatti arrivare da tutto il mondo apparecchi tra i più moderni, stanziando una somma di denaro pari quasi a quella investita per costruire e arredare l'edificio.

Nel 1984 venne aperta a Cremona una sede distaccata in cui si insediarono la Scuola e il Master in Economia del sistema agro-alimentare a cui si affiancarono alcuni corsi di studio, ma soprattutto il Centro per le ricerche biotecnologiche. Nel 2020 con il fondamentale contributo della Fondazione Arvedi-Buschini è stata aperta la nuova sede di Cremona nel monastero di Santa Monica. Frutto di un recupero urbanistico di assoluto livello, oggi la sede di Cremona ospita aule e laboratori costituendo insieme alla sede di Piacenza, progettata dal Baciocchi, un importante campus universitario all'avanguardia, dinamico e aperto. Il Campus universitario di Piacenza e Cremona, immerso nella cosiddetta 'Food Valley', è il contesto ideale per approfondire lo studio di tutte le dimensioni del

settore agro-alimentare in una prospettiva di filiera circolare, definita 'food system'.

La Facoltà, inizialmente presieduta dal prof. Vita, in seguito ha avuto come presidi nel corso dei suoi 68 anni di storia i professori Giuseppe Piana, Vittorio Cappa, Gianfranco Piva, Lorenzo Morelli e attualmente Marco Trevisan. Oggi la Facoltà rappresenta un punto di riferimento assoluto, riconosciuto a livello internazionale per gli avanzamenti nel campo della ricerca scientifica oltre che per la qualità e l'innovazione delle attività didattiche, non dimenticando il monito del fondatore.

La maggior parte degli insegnamenti erogati prevede esperienze pratiche di laboratorio, alcuni corsi di laurea sono interamente erogati in lingua inglese e la costruzione nel tempo di un ampio e qualificato network internazionale permette agli studenti di trascorrere periodi di studio all'estero presso importanti Università partner.

Se negli anni '50 l'obiettivo prioritario del sistema agro-alimentare era quello di incrementare la produttività, oggi questo settore è al centro di una vera e propria rivoluzione scientifica e tecnologica finalizzata a rendere i prodotti primari, così come quelli derivati da piante, animali e microrganismi più ecocompatibili, di migliore qualità e sempre più competitivi nei mercati internazionali. In linea con queste esigenze la Facoltà ha rinnovato costantemente i contenuti della propria attività scientifica e didattica, strutturandosi in quattro Dipartimenti (DiPROVES, DiANA, DiSTAS e DEA) sui quattro filoni principali di sviluppo della ricerca: produzioni vegetali, produzioni animali, alimenti ed economia, arrivando ad

approfondire l'evoluzione delle più sofisticate tecniche di produzione agricola, così come quelle della più moderna trasformazione industriale; il tutto ispirato dai principi della sostenibilità e della responsabilità nei confronti dell'ambiente. Per meglio rappresentare questa evoluzione continua dei temi di ricerca e conseguentemente di didattica nel 2013, al compimento dei 60 anni, il nome iniziale di Facoltà di Agraria è stato cambiato in Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali. L'efficacia dell'attività didattica è garantita da un rapporto ottimale tra numero di studenti e docenti. Inoltre, a ciò si accompagna un elevato numero di ore di esercitazioni in laboratorio, in azienda agraria sperimentale con una stalla 4.0 (CERZOO), grazie al contributo della Fondazione Invernizzi, e in visite sul campo, o nei diversi laboratori più direttamente collegati agli alimenti come il laboratorio di analisi sensoriale, la cantina o il mini-caseificio; si tratta di un fattore distintivo della Facoltà, molto apprezzato dagli studenti in quanto permette loro di sperimentare concretamente i principi studiati sui manuali teorici.

La Facoltà può vantare una fitta rete di relazioni, molto strette e collaborative, con le più importanti realtà aziendali operanti nel mondo agro-alimentare. Anche grazie a queste preziose sinergie gli studenti possono accedere ad un'ampia varietà di professioni, tanto che per molti di loro è possibile vivere un'esperienza di stage/tirocinio durante il percorso di studi e, soprattutto, al termine dello stesso oltre il 90% dei laureati trova un'occupazione coerente con le proprie competenze entro pochi mesi dal conseguimento della laurea.

## *Il food system e l'approccio integrato Farm-to-Fork*

Con il termine *food system* (in italiano: filiera) si intendono tutte le fasi di produzione degli alimenti dalla semina, al raccolto, sino alla trasformazione e commercializzazione, per finire con il consumo e il recupero degli scarti degli alimenti. Il sistema alimentare deve essere sostenibile e fornire alimenti salubri per soddisfare le esigenze alimentari attuali, mantenendo e garantendo la tutela dell'ambiente, ecosistemi sani che possano fornire cibo anche per le generazioni future impattando quanto meno è possibile sull'ambiente. Per essere sostenibile tale sistema deve incoraggiare le produzioni locali (prodotti DOP) rendendo fruibile e accessibile ai consumatori cibo sano e nutriente. Inoltre, deve tutelare gli agricoltori, i lavoratori, i consumatori e le comunità. Spesso viene chiamato *Farm to Fork* o anche *Seed to Spoon*, nonostante queste definizioni dimentichino la circolarità del sistema agroalimentare.

La strategia *Farm to Fork* è infatti cuore del Green Deal ed ha l'obiettivo ambizioso di rendere i sistemi alimentari equi, sani e rispettosi dell'ambiente. La sostenibilità diventa un prerequisito della resilienza, valore ancora più importante in momenti di crisi come la pandemia da Covid-19. Per questo è importante continuare l'evoluzione nel rispetto dell'ambiente dei sistemi alimentari che oggi rappresentano quasi un quinto delle emissioni globali di gas clima alteranti (GHG), consumano grandi quantità di risorse naturali, provocano una diminuzione di biodiversità e non consentono equi ritorni economici e mezzi di sussistenza per tutti gli attori, in particolare per

i produttori primari. La *Farm to Fork Strategy* nasce per indirizzare gli attuali sistemi alimentari su un percorso sostenibile in grado di promuovere nuove opportunità per gli operatori della catena del valore alimentare. Le nuove tecnologie e le scoperte scientifiche, unite alla crescente consapevolezza dei consumatori e alla domanda di cibo sostenibile, andranno a beneficio di tutti. Secondo la strategia *Farm to Fork* il sistema alimentare sostenibile dovrebbe:

- avere un impatto ambientale neutro o positivo;
- contribuire a mitigare il cambiamento climatico e adattarsi ai suoi impatti;
- investire la perdita di biodiversità;
- garantire la sicurezza alimentare, la nutrizione e la salute pubblica, assicurandosi che tutti abbiano accesso a cibo sufficiente, sicuro, nutriente e sostenibile;
- preservare l'accessibilità dei prodotti alimentari generando al contempo ritorni economici più equi, promuovendo la competitività del settore dell'approvvigionamento dell'UE e promuovendo il commercio equo.

### *La sinergia tra cultura/tradizione e innovazione*

Il Made in Italy agro-alimentare è famoso in tutto il mondo ed è un carattere distintivo della nostra cultura e della nostra economia. Questa rilevanza è testimoniata anche dal fatto che l'ONU e l'Unione europea hanno scelto l'Italia per farne sede della Food and Agriculture Organization (FAO) e dell'European Food Safety Authority (EFSA) rispettivamente.

La tradizione italiana nella trasformazione delle derrate agricole, vegetali e animali, in alimenti risale agli albori dell'Impero Romano, come riportato per esempio nei trattati scritti da Marco Gavio Apicio, per passare al medioevo in cui venne creato il formaggio Grana (differenziatosi solo recentemente nei due celebri formaggi a pasta dura: Grana Padano e Parmigiano Reggiano) e il prosciutto, due prodotti tipici della Pianura Padana. Non dobbiamo stupirci che l'Italia abbia un numero così elevato di prodotti DOP, IGP e IGT rendendoci i primi, ma anche i più copiati d'Europa. L'Italia è il Paese europeo con il maggior numero di prodotti agroalimentari a denominazione di origine e a indicazione geografica riconosciuti dall'Unione europea. Attualmente sono 315 i prodotti DOP, IGP, STG e 526 i vini DOCG, DOC, IGT. Dall'anno 2010, queste ultime certificazioni italiane vengono ricomprese nelle relative certificazioni europee. Questi numeri non fanno che dimostrare la grande qualità delle nostre produzioni, ma soprattutto sottolineano il forte legame che lega le nostre eccellenze agroalimentari al relativo territorio di origine. Il legame con il territorio è indissolubile e garantisce la salvaguardia degli ecosistemi e della biodiversità; insieme alla coesione sociale e alla prosperità economica dell'intera comunità. Inoltre, tali sistemi garantiscono anche la qualità e la sicurezza dei prodotti offrendo ai consumatori un livello di tracciabilità e di sicurezza alimentare più elevato rispetto ad altri prodotti.

Ma tradizione non significa esclusivamente conservazione bensì innovazione. Infatti, tutti i nostri prodotti sono frutto dell'innovazione, a suo tempo attuata per idearli.



Per questo motivo la ricerca nel settore agro-alimentare, e la nostra Facoltà in particolare, lavora in sinergia con moltissimi consorzi di tutela per innovare mantenendosi nel solco della tradizione. Per esempio, il continuo miglioramento della qualità del latte per produrre formaggio nasce dagli studi di microbiologia lattiero-casearia, con riduzione delle perdite nel formaggio stagionato, mentre l'alimentazione delle vacche è in evoluzione continua per coniugare qualità con produzione e sostenibilità. Lo sviluppo di packaging intelligente che allunga il tempo di conservazione degli alimenti negli scaffali dei supermercati e delle nostre case è un altro esempio di ricerca innovativa che mantiene la tradizione, rifornendo i consumatori odierni di prodotti che ricordano il passato mantenendo le loro caratteristiche organolettiche più a lungo.

### *Le sfide future della ricerca scientifica nell'agri-food*

Le sfide future del sistema agro-alimentare sono le sfide di sempre, ma coniugate in modo diverso, grazie alle quali la ricerca nel settore agro-alimentare ha fatto passi da gigante: garantire cibo per tutti, in modo il più possibile sostenibile per l'ambiente e producendo alimenti il più possibile sicuri dal punto di vista igienico-sanitario.

La sfida è la stessa che ci pone papa Francesco: «Come realizzare un'agricoltura a basso impatto ambientale? Come fare in modo che il nostro coltivare la terra sia al tempo stesso anche un custodirla? Solo così, infatti, le future generazioni potranno continuare ad abitarla e a coltivarla».

Queste sfide sono ancora più importanti se prendiamo in considerazione i seguenti numeri che ci danno contezza dell'urgenza di un'azione indirizzata alla sostenibilità:

- secondo la FAO nel 2020 2,3 miliardi di persone (pari al 30% della popolazione mondiale) non hanno avuto accesso in maniera continuativa durante l'anno a risorse alimentari adeguate;

- nel 2050 la popolazione mondiale raggiungerà i 9,7 miliardi per superare i 10 miliardi entro la fine del secolo (FAO);

- 56,7 Km<sup>2</sup> di suolo agricolo consumato in Italia nel periodo 2019-2020;

- secondo il rapporto FAO 2019 State of Food and Agriculture (SOFA), il 14% del cibo prodotto a livello globale viene perso durante la fase di produzione post-raccolta prima di raggiungere la fase di vendita al dettaglio del sistema alimentare.

Questi sono i principi che ispirano ogni nostra attività didattica e di ricerca. Abbiamo raccolto queste sfide nei prossimi capitoli, ripartendole sulle tre A che danno il nome alla nostra Facoltà: Agricoltura, Alimentazione, Ambiente. Attraverso i capitoli ripercorreremo le sfide e le prospettive future nella didattica e nella ricerca che saranno fondamentali per una transizione ecologica del sistema agricolo.

### *Formazione e terza missione: il ruolo sociale ed etico della Facoltà*

La Facoltà accoglie in pieno la mission stessa dell'Ateneo, e accanto alla didattica e alla ricerca pone partico-

lare attenzione al tema sociale con l'obiettivo di contribuire direttamente al progresso morale e materiale della società. L'articolo primo dello statuto, infatti, recita: «L'Università Cattolica, secondo lo spirito dei suoi fondatori, fa proprio l'obiettivo di assicurare una presenza nel mondo universitario e culturale di persone impegnate ad affrontare e risolvere, alla luce del messaggio cristiano e dei principi morali, i problemi della società e della cultura».

La nostra Facoltà è particolarmente attiva in progetti di cooperazione internazionale in cui collabora attivamente per il trasferimento di conoscenze per la produzione di cibo.

Con il supporto di Fondazione Invernizzi ha sviluppato il modello C3S per attivare lo sviluppo rurale nei Paesi in via di Sviluppo che trae origine dall'esperienza del progetto: *Produzione di cibo appropriato: sufficiente, sicuro e sostenibile* (C3S) realizzato prima e dopo EXPO2015 che, ricordo, aveva lo slogan *Nutrire il pianeta, energia per la vita*. Il modello è già stato applicato con successo in alcune regioni dell'India e dell'Africa e si ispira ai tre verbi che papa Francesco ha trattato dall'assemblea di Aparecida (2007) e che sono ritenuti necessari per affrontare i problemi socio-economici del momento: vedere (conoscere la realtà); giudicare (approfondire) e agire (trovare le soluzioni per migliorare la realtà). Così, dopo aver constatato che il mondo contadino dei Paesi poveri si dibatte in un circolo vizioso di povertà e assenza di sviluppo e che gli interventi attuati non hanno avuto grande successo, perché l'aiuto offerto ai piccoli contadini era in forma

irraggiungibile e senza alcuno sforzo per coinvolgerli, si è costruito il modello C3S basato su: attività conoscitive; attività sperimentali; organizzazione di forme di disseminazione delle nuove tecniche; aggregazione della popolazione in forme 'solidali' (associazioni e solo successivamente cooperative); razionalizzazione dell'approvvigionamento e dell'uso delle acque e delle risorse in genere. Con questa ricetta messa a punto dai ricercatori della nostra Facoltà è stato possibile trasferire conoscenze e competenze, che daranno frutti nel breve e nel lungo periodo permettendo lo sviluppo sostenibile delle aree più povere del Pianeta. L'ONU ha approvato l'Agenda 2030 per uno sviluppo sostenibile, i cui elementi essenziali sono i 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, diversi tra di loro, che sono oggetto di studio e attività da parte della Facoltà.

Il più importante di sicuro è l'obiettivo 2: porre fine alla fame, realizzare la sicurezza alimentare e una migliore nutrizione e promuovere l'agricoltura sostenibile, che è un poco il manifesto della Facoltà stessa. Ma anche altri obiettivi, come il 6 (Garantire la disponibilità e la gestione sostenibile delle risorse idriche), il 13 (Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze), il 14 (Conservare e utilizzare in modo durevole gli oceani, i mari e delle risorse marine), e il 15 (Proteggere, restaurare e promuovere l'uso sostenibile degli ecosistemi terrestri, gestire in modo sostenibile le foreste, lotta alla desertificazione, fermare e invertire il degrado del suolo e arrestare la perdita di biodiversità), sono ampiamente oggetto di ricerche in Facoltà.

Mi piace chiudere questa Premessa con un concetto

espresso da padre Gemelli nel discorso inaugurale della Facoltà nel 1953 che ben raffigura quanto fatto in sessantotto anni di storia: «Noi non ci stimiamo migliori di nessuno. Abbiamo solo un'ambizione: fare bene e compiutamente il nostro dovere nella ricerca scientifica e nella preparazione degli studenti».

MARCO TREVISAN

Preside della Facoltà di Scienze agrarie,  
alimentari e ambientali

#### RINGRAZIAMENTI

Questo libro non si sarebbe potuto scrivere senza il supporto e l'apporto di tutti i presenti e passati docenti della Facoltà, che con il loro impegno e ricerche hanno contribuito al progresso della conoscenza. Ma sicuramente è pubblicato grazie al lavoro di coordinamento e di revisione di Edoardo Fornari e Guendalina Graffigna.



# Agricoltura

## *Il contributo dei prodotti tipici alla promozione dello sviluppo rurale*

Con il termine di ‘prodotto tipico’ si intendono, in genere, sia prodotti agro-alimentari sia di artigianato, tradizionalmente connessi con un territorio delimitato e ben definito. Il legame tra prodotto e territorio può essere di diversa intensità, può avere una storia più o meno lunga, e può essere determinato da diversi fattori, sia ambientali che socio-economici e/o storico-culturali.

Tralasciando, in questa sede, i prodotti di artigianato non alimentare (ceramiche, ferro battuto, terrecotte, opere in legno lavorato ecc.), si possono distinguere almeno tre grandi tipologie di prodotti agro-alimentari che rientrano nella definizione di ‘tipici’: i prodotti protetti da Indicazioni Geografiche (IG), i Prodotti Agro-alimentari Tradizionali (PAT) come definiti dall’assetto normativo nazionale, gli altri prodotti legati ad un territorio ma non protetti né identificati formalmente in nessuna delle modalità precedenti. Si può anche ricordare che a livello UE, con il reg. 1151 del 2012, l’ultimo che modifica le norme sulle IG dei prodotti alimentari, ha introdotto anche la possibilità di un’indicazione facoltativa

di qualità denominata ‘prodotto di montagna’, che è stata recepita a livello nazionale con un decreto del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali del 2017 (Decreto 57167 del 26 luglio 2017). Questa indicazione facoltativa, ancora scarsamente utilizzata, potrebbe quindi ampliare ulteriormente le forme di legame tra prodotto e territorio.

Le indicazioni geografiche (IG) comprendono gran parte dei prodotti agro-alimentari più famosi, sia a livello nazionale che internazionale. Tali indicazioni sono nate in Francia e in Italia ben prima del regolamento n. 2018/1992<sup>1</sup> dell’Unione europea. Ma la tutela europea ha certamente rappresentato un grande passo in avanti e una grande opportunità di crescita: dal 1992 i prodotti potevano essere meglio riconosciuti, e protetti dalle imitazioni, sull’intero grande mercato europeo.

Le tipologie di IG sono due sia per i prodotti alimentari che per i vini, identificate allo stesso modo come Denominazioni di Origine Protetta (DOP) e Indicazione di Geografica Protetta (IGP), ma con alcune importanti differenze.

Negli alimenti, le DOP identificano prodotti per i quali l’intero processo produttivo, dalla materia prima al confezionamento del prodotto finale, è ottenuto all’interno di un territorio ben definito, nel rispetto di un disciplinare di produzione depositato e approvato dall’UE.

---

<sup>1</sup> Il primo regolamento europeo che ha istituito DOP e IGP, il 2081/1992, è stato successivamente sostituito dal Reg. 510/2006 e infine dal Reg. 1151/2012, quello attualmente in vigore.



Nel caso degli alimenti con IGP, invece, è sufficiente che una o alcune delle fasi del processo produttivo, quella/e più caratterizzanti, siano realizzate nel territorio identificato; le altre fasi del processo produttivo possono essere anche realizzate in altri territori. Se per le DOP dei vini il concetto applicato è sostanzialmente lo stesso di quello degli alimenti (tutto il processo produttivo è strettamente connesso con il territorio), nel caso delle IGP il legame è molto più forte di quello che si ha nel caso degli alimenti: in questo caso, infatti, l'85% delle uve utilizzate per produrre un vino IGP devono provenire dal territorio specifico. Nel caso dei vini, inoltre, c'è la complicazione determinata dal fatto che già prima della norma europea che ha introdotto DOP e IGP in questo settore<sup>2</sup> esistevano da tempo, almeno in Italia e Francia, altre denominazioni che legavano variamente i vini al territorio: la Denominazione di Origine Controllata (DOC), la Denominazione di Origine Controllata e Garantita (DOCG), e la Indicazione Geografica Tipica (IGT). Queste denominazioni sono rimaste, in Italia, come 'menzioni tradizionali', peraltro creando non poca confusione nei consumatori.

Il diverso legame di DOP e IGP può avere, ovviamente, effetti sull'economia locale, ma non è altrettanto ovvio stabilire a priori quali essi siano: una DOP che non riesce 'a decollare' dal punto di vista commerciale, di fatto fornisce un contributo modesto o nullo allo sviluppo locale, mentre una IGP di successo, anche se utilizza materie pri-

---

<sup>2</sup> Il Reg. n. 479/2008.

me o realizza una fase della trasformazione al di fuori del territorio delimitato, può contribuire in modo decisivo allo sviluppo socio-economico del territorio.

I Prodotti Agro-alimentari Tradizionali (PAT), invece, sono frutto di una normativa nazionale (D.Lgs. 30 aprile 1998 n. 173) che nasce da un lato per promuovere una valorizzazione del patrimonio gastronomico nazionale, ma anche per consentire deroghe alle modalità produttive per taluni prodotti alimentari. In questo caso esiste un registro dei PAT che viene gestito congiuntamente dalle regioni e dal Mipaaf<sup>3</sup>, e il legame tra prodotti, ma anche piatti tradizionali della cucina locale, e territorio, è molto variabile e non codificato in termini di materie prime. Si tratta, in sostanza, della presa d'atto dell'esistenza di prodotti gastronomici che hanno una diffusione territoriale e che in genere sono 'caratteristici' di un determinato luogo.

L'Italia è il Paese leader per numero di DOP e IGP nel settore alimentare (309 prodotti registrati nel 2020); nel settore vino, le DOP sono 410 (77 DOCG e 333 DOC), mentre le IGP sono 118. Secondo le valutazioni fornite dal Crea, il valore della produzione agro-alimentare dei prodotti DOP e IGP ammontava a 7,7 miliardi di euro, mentre con i vini si arriva a 17 miliardi di euro, pari al 19% del totale agro-alimentare<sup>4</sup>.

I PAT riportati nella ventunesima edizione annuale dell'elenco nazionale (pubblicata il 26/02/2021), sono ben 5.333 ma non esiste una quantificazione del loro im-

---

<sup>3</sup> Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

<sup>4</sup> CREA (2021), *L'agricoltura italiana conta*, Roma 2020.

patto economico. È evidente che questa ampia varietà di prodotti è frutto delle grandi diversità sia degli ambienti presenti nel nostro 'bel Paese', che della storia e della cultura dei diversi territori.

Nel dibattito che si è andato sviluppando nel tempo attorno ai prodotti tipici e al loro ruolo nello sviluppo rurale ed economico in generale, sono emerse valutazioni spesso molto discordanti. C'è chi ritiene che queste produzioni, per quanto interessanti, possano occupare solo nicchie di mercato limitate e quindi non possano svolgere un ruolo né importante né decisivo per la crescita dell'agro-alimentare nazionale. Altri, al contrario, sembrano avere una fiducia cieca e smisurata sulle potenzialità di queste produzioni, anche solo per la loro valenza culturale.

Per sviluppare una corretta ed equilibrata valutazione del ruolo che prodotti con indicazioni geografica, e tipici in generale, svolgono o potrebbero svolgere per l'economia agro-alimentare, sia locale che nazionale, è necessario tenere conto di almeno tre aspetti.

Innanzitutto, l'analisi deve considerare tutte le interazioni di filiera e di sistema che queste produzioni determinano: i salumi DOP hanno un effetto positivo sugli allevamenti suinicoli e sulla produzione di alimenti per suini; similmente per i formaggi. Ma si pensi anche alle interazioni dei prodotti con i settori della ristorazione e del turismo. In secondo luogo, la valutazione non deve essere di tipo statico ma dinamico. Molti prodotti 'locali', infatti, nel giro di alcuni anni sono cresciuti in modo spettacolare: basti pensare, ad esempio, alla Mozzarella di Bufala Campana DOP e all'Aceto Balsamico di Modena IGP.

In terzo luogo, sono sempre più numerosi i casi di prodotti di nicchia che, nonostante le dimensioni relativamente limitate in termini assoluti di fatturato, sono in grado di mantenere un'elevata redditività di talune filiere in territori altrimenti difficili, privi di fonti di reddito alternative, e fortemente a rischio dal punto di vista delle prospettive di sviluppo economico. Si pensi ai tanti casi di formaggi DOP di aree rurali con gravi problemi di sviluppo economico o di montagna (ad es. diversi pecorini DOP, Fontina, Puzzone di Moena ecc.).

Fino all'inizio degli anni Novanta, i prodotti tipici apparivano ai più, anche in contesto accademico, un semplice residuo del passato. Le uniche vere eccezioni erano rappresentate, forse, dai due formaggi grana, e dai due principali prosciutti DOP (Parma e San Daniele), oltre che dai vini.

Tuttavia, è oggi evidente che le produzioni tipiche, nel corso degli ultimi 30 anni sono state oggetto di una riscoperta, sia a livello produttivo che di consumo, che ne ha fatto un pilastro sempre più rilevante per la promozione della crescita dell'agro-alimentare e dell'economia in generale, non solo a livello nazionale.

Questa riscoperta, infatti, si è estesa ormai anche a livello globale: le produzioni agro-alimentari protette da indicazioni geografiche, infatti, sono diventate un elemento portante delle politiche di sviluppo agricolo promosse, ad esempio, dalla FAO<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Si vedano, ad esempio, gli studi pubblicati sul sito <http://www.fao.org/geographical-indications/en>.

## *Le nuove frontiere della genetica e della genomica*

Uno straordinario progresso delle tecnologie genomiche

La storia della biologia molecolare è la storia di un'osservazione di processi naturali e di un loro adattamento a scopi tecnologici. Gli enzimi con cui i batteri tagliano il DNA estraneo per difendersi furono utilizzati per tagliare e poi copiare geni di interesse; la comprensione biochimica del processo di replicazione del DNA permise a Mullis (premio Nobel nel 1993) di inventare la PCR – reazione a catena della polimerasi – che permette di ottenere miliardi di copie di un singolo gene e che decenni dopo è ancora utilizzata in qualsiasi laboratorio di biologia molecolare. Nel 1996 fecero il loro debutto nuove tecniche di sequenziamento (Next Generation Sequencing o NGS) che permettono la lettura di numerose migliaia di basi in poco tempo. Per capire cosa ciò significhi in termini di progresso tecnologico si pensi al progetto di sequenziamento del genoma umano. Lanciato nel 1990, si basò sulla tecnica Sanger e fu terminato nel 2003 con un costo approssimativo di 3 miliardi di dollari. Con le tecnologie oggi disponibili, chiunque può sequenziare il proprio genoma spendendo meno di 1.000 euro ed ottenendo il risultato in poche ore.

### Genomica e agro-biodiversità

Tra le migliaia di specie animali e vegetali ritrovabili in natura, un numero sorprendentemente basso è stato domesticato e poi allevato o messo in coltura dall'uomo. Cinque

specie animali (bovini, suini, capre, pecore e polli), quattro cereali (mais, frumento, riso e orzo) e tre legumi (fagiolo, pisello e lenticchia) producono la quasi totalità dei prodotti animali e vegetali consumati dall'uomo. La FAO stima che attualmente siano a rischio una razza animale ogni 3, che una su 10 sia ormai estinta e che il ritmo attuale di estinzione sia di una razza al mese. Lo stesso fenomeno è in atto per le varietà vegetali. Le cause sono principalmente socio-economiche, legate all'abbandono delle aree agricole marginali ed alla sostituzione delle razze e varietà locali con razze e varietà più produttive. Questa perdita di biodiversità è irreversibile. La biodiversità è alla base della capacità delle specie di sopravvivere ai mutamenti climatici in atto attraverso l'adattamento. Le varietà vegetali e le razze animali locali sono una preziosa riserva di varianti geniche che hanno permesso la loro sopravvivenza in ecosistemi molto diversi. Perdere biodiversità significa perdere queste varianti proprio quando ne abbiamo più bisogno e abbiamo a disposizione nuove tecnologie per identificarle e utilizzarle al meglio per aumentare la sostenibilità dell'agricoltura ed il benessere animale.

## Genomica e tracciabilità dei prodotti alimentari

La tracciabilità di un alimento è di grande importanza sia per i consumatori, per conoscerne l'origine e la sanità, sia per le industrie alimentari, per certificarne l'origine, il contenuto e prevenire adulterazioni. Le indagini molecolari basate sull'utilizzo del DNA sono caratterizzate da elevata accuratezza, sensibilità e riproducibilità e sono

indipendenti dalle condizioni ambientali. Tra le varie metodologie, l'utilizzo di marcatori molecolari è consolidato, mentre il sequenziamento di nuova generazione (NGS-Next Generation Sequencing) ha trovato più recentemente applicazione. In particolare, per i prodotti di origine vegetale, le principali applicazioni hanno riguardato il sequenziamento del genoma plastidiale, dei metagenomi ottenibili dalle matrici alimentari e il DNA metabarcoding. Per i prodotti animali le applicazioni riguardano la tracciabilità di specie attraverso l'analisi del DNA mitocondriale e l'attribuzione di razza. Il sequenziamento metagenomico (WMS-Whole Metagenome Sequencing) è una tecnologia ad alta processività di tutto il DNA contenuto in una matrice alimentare e permette di evidenziare simultaneamente la presenza di specie differenti, microorganismi inclusi, anche quando queste sono presenti in quantità molto ridotte. Il DNA metabarcoding consiste nella produzione di sequenze di DNA di regioni specifiche che vengono utilizzate come un codice a barre univoco per una determinata specie. Può essere utilizzato per ottenere informazioni quantitative circa l'abbondanza di una specie in un campione alimentare.

Genomica e microorganismi di interesse agrario, alimentare e ambientale

L'approccio microbiologico alla genomica segue due principali direzioni: lo studio di singoli ceppi (genomica microbica) e lo studio di comunità complesse ('metabarcoding').

Il sequenziamento di singoli genomi microbici (batteri, archaea e funghi) è attività routinaria in moltissimi laboratori: tramite questo approccio possiamo capire se un determinato ceppo presenta ad esempio antibiotico-resistenze, se può essere patogeno verso l'uomo, le piante o gli animali, se produce sostanze chimiche utili a contrastare altri microorganismi, se è in grado di stimolare la crescita delle piante agrarie, se svolge attività probiotiche. L'approccio metagenomico permette invece di studiare la composizione di comunità microbiche che possono essere formate anche da centinaia di specie differenti. Tramite questo metodo è possibile dare un cognome (e spesso un nome, ovvero arrivare al livello di specie) alle comunità microbiche di suoli, alimenti, ambienti intestinali, impianti di biogas e di qualsiasi altro ambiente di interesse. I vari risultati di interesse di questo approccio includono: la valutazione dell'impatto di sostanze chimiche o tecniche agronomiche sulle comunità microbiche del suolo, l'identificazione dei microorganismi maggiormente coinvolti nei processi di fermentazione degli alimenti, lo studio delle variazioni del microbioma intestinale di animali o dell'uomo in risposta all'alimentazione, alle malattie o ad altri fattori.

## Genomica e miglioramento genetico animale

Dal dopoguerra si è assistito ad una progressiva specializzazione delle razze zootecniche verso la produzione di un singolo prodotto: latte, carne, uova. Parallelamente si è assistito ad un aumento delle dimensioni e dell'indu-



strializzazione degli allevamenti, che oggi usano tecnologie avanzate per la gestione e il monitoraggio degli allevamenti. Management migliore e miglioramento genetico hanno determinato progressi impressionanti nelle produzioni zootecniche e nella loro efficienza. La selezione degli animali è oggi diretta a migliorare caratteri funzionali al benessere animale piuttosto che ad aumentare le produzioni. La scelta dei migliori riproduttori, una volta basata solamente sulla misura del fenotipo (es. parametri funzionali produttivi e riproduttivi) degli animali e del loro livello di parentela, ora utilizza informazioni raccolte sul DNA.

Si stima che la genomica abbia triplicato la velocità del miglioramento genetico nei bovini da latte permettendo di calcolare il valore genetico di un riproduttore alla nascita, senza aspettare i risultati del classico e lungo (4-5 anni) test di progenie.

In prospettiva la genomica giocherà un ruolo sempre più strategico nella selezione degli animali zootecnici e faciliterà il miglioramento genetico di caratteri difficili o costosi da misurare, come fertilità, tolleranza dello stress, resistenza alle malattie, impatto ambientale. Integrata con altre scienze-omiche aiuterà a comprendere le basi biologiche dei caratteri complessi, ad aumentare l'efficienza e la sostenibilità ambientale delle produzioni zootecniche e il benessere animale.

## Genomica e miglioramento genetico vegetale

Nel secolo scorso, l'attività di miglioramento genetico ha radicalmente modificato la capacità produttiva e le

caratteristiche morfologiche, fisiologiche e qualitative delle varietà coltivate. Molti altri caratteri hanno importanza nello sviluppo di moderne varietà (resistenza a malattie e a stress abiotici, efficienza fotosintetica, qualità) e la dissezione della loro base genetica e il clonaggio dei corrispondenti geni costituisce l'aspetto dominante della moderna genetica vegetale. A questo fine sono stati decisivi lo sviluppo di collezioni di mutanti, e le tecniche di trasformazione delle piante – causando sia la sovra-espressione sia il silenziamento di specifiche sequenze – che consentono di acquisire informazioni sulla funzione dei geni. Un nuovo impulso è recentemente derivato dall'uso di marcatori molecolari per localizzare sul genoma loci di interesse e per seguire la loro introgressione nelle nuove varietà. La selezione assistita da marcatori (MAS) e l'accumulo di diversi alleli favorevoli all'interno di un unico genotipo è un processo noto come piramidizzazione. Inoltre, la rivoluzione genomica attraverso il sequenziamento dei genomi e il risequenziamento del germoplasma ha fornito conoscenze di natura evolutiva, consente di identificare e annotare tutti i geni e offre un'illimitata fonte di marcatori molecolari facilmente automatizzabili e la possibilità della selezione mirata per larghi tratti del genoma o selezione genomica. In anni recenti, sono state sviluppate biotecnologie innovative che stanno rivoluzionando il modo di ottenere nuovi genotipi di piante agrarie e sono basate sulla mutagenesi mirata, sugli effetti epigenetici, sull'espressione locale di geni, sulla cisgenesi, sull'editing del genoma.

I genomi completi, l'editing del genoma e l'integrazione delle scienze -omiche

Un aspetto delle nuove frontiere della genomica è la decrittazione completa del DNA in molte specie e in molti individui per specie, per comprendere la basi genetiche della diversità individuale. I progetti di sequenziamento oggi caratterizzano migliaia o decine di migliaia di individui per specie e stanno per includere 1,5 milioni di specie con cellule nucleate (eucarioti), presenti sul nostro pianeta (*Life biogenome project*). Le informazioni che si otterranno saranno importantissime per comprendere la storia della vita sul nostro pianeta e per identificare i geni e i meccanismi biologici che permettono agli organismi di adattarsi a vivere in condizioni ambientali molto diverse.

Una seconda applicazione di frontiera è l'editing del genoma, un intervento di precisione che consente la correzione mirata di una sequenza di DNA. La tecnologia più utilizzata di editing è chiamata CRISPR/Cas9 e per questa invenzione le scienziate Charpentier e Doudna, hanno ricevuto nel 2020 il premio Nobel per la chimica. Il funzionamento del sistema CRISPR/Cas9 consiste in un primo passaggio in cui la molecola di RNA guida si assembla con l'enzima Cas9, formando il complesso CRISPR/Cas9, che inizia a scandagliare il DNA e taglia la sequenza bersaglio. A questo punto, è necessario riparare il DNA in modo mirato fornendo uno stampo che guida la riparazione base per base e permette di controllare il cambiamento della sequenza. CRISPR funziona in maniera universale, in tutti gli organismi viventi, ed ha applica-

zioni di biomedicina, per lo sviluppo di farmaci, la cura di malattie genetiche e metaboliche (terapia genica), il controllo di malattie batteriche e virali e per sviluppare test diagnostici anche per il coronavirus. Le applicazioni nella genetica e nel miglioramento genetico degli animali e delle piante riguardano lo sviluppo di varietà di piante resistenti a stress biotici e ambientali o anche le modifiche di organismi unicellulari, come le alghe usate come biofabbriche per la produzione di biocarburanti.

La ricerca anche nella nostra Facoltà ci porta sempre più ad una multidisciplinarietà ed integrazione di approcci. Nel settore delle produzioni vegetali sempre più studi si concentrano nel capire come piante e microrganismi interagiscano a livello di radici (rizosfera) e foglie (fillosfera) nei processi di nutrizione e difesa. A livello animale, la scienza della nutrigenomica si occupa di comprendere il ruolo dei microorganismi nei processi di nutrizione, benessere e malattia.

## *Smart farming e agricoltura di precisione*

### Smart farming

Il settore agricolo si evolve in parallelo a quello industriale. Così, come si parla di 'quarta rivoluzione industriale' si parla anche di Agricoltura 4.0. Le tecnologie abilitanti di questa quarta rivoluzione sono l'Internet of Things (IoT, connessione wireless di tanti oggetti intelligenti, o smart), il Cloud computing (gestione di elevate quantità di dati direttamente in rete), l'Industrial Analytics (analisi di un'am-

pia base di dati necessari alla produzione in tempo reale di informazioni utili per ottimizzare processi produttivi), la robotica avanzata (macchinari interconnessi e dotati di intelligenza artificiale), l'integrazione di tutte le componenti della catena del valore, dal produttore al consumatore, che comunicano tra di loro con approccio block-chain.

In questo contesto, 'smart farming' assume il significato di 'gestione agricola intelligente'; l'obiettivo è coniugare l'agricoltura tradizionale con nuove soluzioni digitali e tecniche. L'agricoltura di precisione' (precision agriculture) è parte integrante della smart farming, Essa è stata efficacemente definita come «un approccio alla gestione del processo produttivo agricolo che consenta di fare la cosa giusta, al momento giusto, nel punto giusto». Ciò permette di ottimizzare il processo produttivo in termini economici e ambientali, ma anche di qualità e salubrità dei prodotti agricoli, tramite interventi agronomici tempestivi e sito-specifici.

Di seguito vengono brevemente illustrati gli elementi principali dell'agricoltura di precisione nella loro sequenza logica: dal monitoraggio delle colture, alla gestione dei dati ottenuti, ai processi decisionali che derivano dall'analisi dei dati, all'automazione degli interventi.

## Il monitoraggio delle colture

Il monitoraggio dell'ambiente colturale è elemento chiave dell'agricoltura di precisione. Esso si basa sull'uso di sensori da remoto o di prossimità, che possono essere fissi all'interno o nelle vicinanze della coltura, posti a bordo

delle macchine agricole (proximal sensing), oppure su piattaforme satellitari o aerotrasportati da aerei o droni (remote sensing).

Un'importante applicazione dei sensori in ambito agricolo riguarda il rilevamento delle variabili meteorologiche e delle condizioni edafiche; questi dati sono, infatti, la base informativa su cui elaborare le strategie di gestione agronomica delle principali colture.

I sensori prossimali permettono il monitoraggio di caratteri legati all'accumulo di biomassa, alla presenza di acqua nei tessuti e al contenuto azotato della pianta. I sensori prossimali consentono di monitorare la coltura con risoluzioni spaziali di pochi cm e producono output preziosi per caratterizzare la vigoria delle piante, l'attitudine produttiva e la qualità dei frutti.

Il monitoraggio da remoto delle colture tramite l'acquisizione di immagini telerilevate da satelliti permette di captare il segnale proveniente dalla vegetazione, o dal suolo, in diverse regioni dello spettro elettromagnetico. Questi dati spettrali vengono poi convertiti nei principali parametri d'interesse agronomico grazie a relazioni empiriche ottenute durante attività sperimentali. I droni (velivolo senza pilota), rispetto ai satelliti, consentono una maggior duttilità e la capacità di raggiungere un migliore grado di precisione e risoluzione delle immagini.

## I Big Data

Il monitoraggio dell'ambiente culturale genera una grande quantità di dati eterogenei, raccolti in modo asincro-

no e con risoluzioni spaziali diverse, che devono essere gestiti nel modo opportuno. Al proposito, si ricorre sempre più spesso al termine Big Data, ossia raccolte di dati (Data) che siano estese (Big) in termini di: Volume, Velocità, Varietà e Veridicità.

L'insieme di strumenti, tecnologie e framework con cui vengono raccolti, conservati ed analizzati i Big Data trova aggregazione nella definizione di Big Data analytics. Le tipologie di analisi effettuate sui Big Data sono molteplici, ma è molto comune che vengano eseguite analisi dei gruppi (clustering) e studi di associazione e classificazione, al fine di identificare strutture nei dati (clustering) e possibili relazioni causa-effetto fra le variabili.

### Dai dati alla gestione delle colture

L'enorme quantità di dati che caratterizza l'ambiente culturale diventa utile nel momento in cui viene sintetizzata in informazioni utili alla gestione agronomica delle colture. I modelli matematici sono lo strumento più potente per raggiungere questo scopo. La modellistica fitopatologica è fra quelle che hanno trovato maggiori applicazioni. Essa consente di 'fare la cosa giusta al momento giusto' dell'agricoltura di precisione; i modelli, infatti, permettono di difendere le colture solo quando necessario e di individuare i momenti migliori per gli interventi.

In particolare, i modelli di processo (o meccanicistici) forniscono informazioni accurate e robuste sugli stadi di sviluppo dell'agente patogeno o del parassita, e

su come questi passino da uno stadio all'altro secondo flussi regolati da fattori ambientali, colturali, genetici e demografici.

Anche gli interventi a 'rateo variabile' trovano crescente interesse. Essi consentono di 'fare la cosa giusta al posto giusto' dell'agricoltura di precisione. Specifiche macchine operatrici (dette appunto a rateo variabile) consentono di effettuare una gestione sito-specifica e meccanizzata delle operazioni colturali. Grazie ai sistemi di posizionamento e navigazione satellitare, tali macchine operatrici sono in grado di 'dosare' l'intervento (dalla semina, alla fertilizzazione, irrigazione, distribuzione dei prodotti fitosanitari, fino alla raccolta) in base alle necessità delle piante nelle diverse aree all'interno di una stessa coltura, partendo dalle informazioni contenute in specifiche mappe di prescrizione redatte tramite l'elaborazione di immagini telerilevate o *on-the-go*, ossia direttamente dalla macchina operatrice.

L'automazione delle attività agricole: attuatori e robot

L'automazione dei processi agricoli è già una realtà. Le macchine intelligenti dotate di sensori e attuatori elettrici sono in grado di azionare movimenti automatici di parti di macchine svolgendo funzioni meccaniche con precisione; il dosaggio dei fertilizzanti, semi e mangimi ne sono un esempio.

Nell'ambito di questo processo di automazione, la robotica assume un ruolo sempre più importante, con diverse tipologie di robot in grado di realizzare svariate opera-



zioni colturali ('agrobot' o *agricultural robots*). Sussistono però elementi contrastanti che, da un lato, frenano la diffusione degli agrobot, dall'altro, spingono per una rapida introduzione. Tra il primo gruppo di fattori, oltre evidentemente a remore, dubbi e perplessità di tipo socio-economico (per esempio, costo e modalità di utilizzo, piani di ammortamento, impatto sul tasso di occupazione) spicca, per esempio nel caso del vigneto, la ritrosia a lasciare nelle mani di una 'macchina' l'esecuzione di operazioni che sono per natura parzialmente o talmente selettive, ovvero bisognose dell'intelletto umano.

Quali prospettive?

In prospettiva, la diffusione su larga scala delle tecniche di agricoltura smart sarà legata, in gran parte, alle scelte degli agricoltori. Essi, da un lato, dovranno acquisire le competenze richieste dalle nuove tecnologie e investire nell'acquisto di adeguati strumenti e attrezzature. Dall'altro lato, essi dovranno accettare le criticità di sistemi di gestione dati che presentano rischi di sicurezza informatica.

Per quanto concerne la disponibilità degli agricoltori a investire nelle nuove tecnologie, è fondamentale che la ricerca trovi soluzioni sempre più efficienti sotto tre punti di vista: tecnologico/agronomico, di semplicità d'uso ed economico. La riduzione dei costi delle tecnologie sarà comunque fondamentale per la diffusione dell'agricoltura di precisione.

Altro aspetto fondamentale è che le nuove tecnologie siano proposte attraverso strumenti facili da usare. I siste-

mi di supporto alle decisioni (DSS, dall'inglese Decision Support System) sono un esempio di successo su come rendere disponibili agli agricoltori informazioni molto complesse in modo semplice e intuitivo. I DSS sono piattaforme internet che forniscono informazioni preziose per migliorare la gestione delle colture.

Un problema da risolvere è quello del cosiddetto 'divario digitale' (*digital divide*), ossia il divario esistente tra chi ha accesso alle nuove tecnologie (in particolare a internet) e chi ne è escluso. Oltre alle ragioni economiche, il divario digitale può essere causato dalle competenze di ciascuno e dalla qualità delle infrastrutture presenti in loco.

Il futuro dell'agricoltura digitale passa anche attraverso la formazione di una nuova generazione di tecnici che sappia guidare questa transizione nella giusta direzione. Per questo motivo la nostra Facoltà ha attivato un corso di Laurea Magistrale in Agricoltura Sostenibile e di Precisione.

### *La tutela degli allevamenti potenziando il benessere animale*

La domesticazione di specie vegetali e animali è avvenuta circa 12.000 anni fa in relazione alle esigenze alimentari dei nostri antenati – in alternativa a caccia, pesca e raccolta di erbe-frutti-semi – per accrescere la quantità di cibo e garantirne la disponibilità continuativa; ma anche per svolgere molte attività umane (ad es., lavorazione del suolo, trasporti, edilizia), grazie al lavoro degli animali.

L'agricoltura si è progressivamente adeguata alle maggiori esigenze di alimenti per la crescita della popolazione mondiale, espandendosi su nuove superfici. Solo dagli anni '60, la disponibilità di strumenti tecnologici (ad es., selezione genetica, meccanizzazione, concimi di sintesi, fitofarmaci, antibiotici e farmaci vari, integratori alimentari) ha permesso di accrescere significativamente la produttività di piante e animali, attenuando così l'occupazione di nuove terre da coltivare. Sorprendentemente nei Paesi occidentali è sorta nel tempo una reazione di opposizione che considera l'agricoltura e la zootecnia intensive causa di tante problematiche del pianeta (ad es., inquinamento, emissione di gas serra (EGS), consumo di acqua, sfruttamento animali, ridotta biodiversità, malattie umane) e il sistema biologico, le diete vegetariana e vegana modalità più sostenibili. Ci sono ragioni oggettive alla base di queste visioni critiche, in quanto gli interventi adottati per rendere l'agricoltura sempre più produttiva hanno evidenziato non pochi errori, ma ciò non giustifica il ritorno ad una situazione preindustriale.

Gli animali producono alimenti essenziali per l'umanità

In quest'ultimo secolo vi è stato un significativo miglioramento qualitativo della dieta umana nei Paesi Sviluppati (PS) grazie ai maggiori consumi di Alimenti di Origine Animale (AOA) – latte, carni e uova – garantiti dalla crescita agro-zootecnica. Per contro, nei Paesi in Via di Sviluppo (PVS), il sistema agricolo di sussistenza consente consumi di AOA poco più che marginali (ad

es., 9 kg/capita/anno di carni contro 24 kg dei PS). Da ciò deriva una generale condizione di malnutrizione, fra i cui effetti negativi vi è anche il minore sviluppo cognitivo dei bambini.

## Principali forme di allevamento e loro conseguenze

I progressi tecnologici applicati alla zootecnia degli ultimi decenni hanno sicuramente avuto effetti positivi per l'umanità (maggiore disponibilità di cibo con qualità appropriata), per il pianeta (minore impatto ambientale e riduzione delle zoonosi) e per gli animali (protezione sanitaria e da carenze alimentari). Tuttavia, sono emersi effetti negativi con i sistemi zootecnici più intensivi e i mutati stili di vita umani come: il consumo eccessivo di alimenti animali ha causato patologie nella popolazione; l'aumento di allevamenti ha aumentato le EGS, il consumo di acqua e l'inquinamento di acque superficiali; peggioramento delle condizioni di vita degli animali. In realtà, molti di questi problemi si sono verificati nelle fasi iniziali del processo di intensificazione quando l'applicazione delle tecnologie non era attenta alla cura ambientale e al benessere animale.

Fra gli effetti negativi vi è l'uso di alimenti utili alla popolazione umana nella dieta animale (tra il 33-50% dei cereali prodotti nel mondo). Infatti, il ricorso al pascolo avviene per una quota minoritaria degli allevamenti mondiali e prevalgono i sistemi misti cerealicolo-zootecnici, per i quali l'inclusione di cereali nelle diete è visto come uno spreco. Tuttavia, la corretta valutazione di tale scelta

richiede altri elementi di giudizio, quali il destino delle terre emerse sul pianeta. La superficie complessiva, emersa e non ricoperta da ghiacci, è circa 13,3 miliardi di ettari: 1,5 coltivati (10% del totale nei PS e l'11% nei PVS) e 3,3 (20% circa del totale nei PS e il 26% nei PVS) destinata a varie forme di pascolamento. Qualora tale area non ospitasse greggi o mandrie gestite dall'uomo sarebbe popolata da animali selvatici che provocherebbero analoghi impatti sull'ambiente per EGS o consumo di acque superficiali, con scarso contributo per l'uomo. I pascoli perenni rappresentano dunque un'enorme risorsa per l'umanità poiché assicurano considerevoli produzioni animali, sono superfici semi-naturali che non subiscono l'impatto delle attività agricole di coltivazione, rappresentano un importante *carbon sink*, ovvero un ecosistema che 'assorbe' CO<sub>2</sub>, specie se associato a colture forestali.

Quindi l'allevamento animale richiede anche l'impiego di prodotti che potrebbero fungere da alimenti per l'uomo, ma il loro utilizzo è spesso necessario per ottimizzare le diete animali, che non possono essere fatte solo da foraggi e sottoprodotti vegetali – vero e proprio esempio di economia circolare *ante litteram* – proprio per garantirne produttività e benessere.

## Produzioni animali e impatto ambientale

Una severa criticità concerne l'impatto ambientale degli allevamenti, che tuttavia non può essere valutato in modo disgiunto dalle esigenze umane sopra evidenziate. È indiscutibile che la produzione di AOA deve avvenire senza

compromettere la continuità del sistema pianeta, ma ciò deve avvenire nella logica di salvaguardare tutti gli esseri viventi (One Health). Le implicazioni sono numerose e suggeriscono una rivalutazione dei vantaggi offerti dai sistemi silvo-pastorali, in quanto evitano la trasformazione arativa del suolo, e una valutazione delle EGS più corretta per confrontare le varie fonti di emissione, esprimendole per unità di prodotto. Le stime attuali evidenziano come l'impatto dell'agricoltura sul pianeta sia sensibilmente diminuito ricorrendo a forme intensive di allevamento.

### Allevamento e benessere animale (BA)

La sua definizione è assai controversa, ma vi è una generale concordanza nel giudicarlo sulla base delle 'cinque libertà': 1. da sete, fame e malnutrizione, 2. da condizioni climatico-ambientali sfavorevoli, 3. da dolore, ferite e malattie, 4. di manifestare il comportamento di specie, 5. da paura e disagio psichico. Queste libertà sono state suggerite come garanzia minima per il BA, ma rappresentano anche le regole base per conseguire ottimali risposte produttive e di efficienza, quindi di economicità per gli allevamenti. Pertanto, appare ovvio che il sistema produttivo dovrà sempre più accudire gli animali per salvaguardarli il più possibile da ogni avversità (tutela del BA) e per ottimizzare l'efficienza biologica ed economica. La libertà di 'esprimere i comportamenti naturali' appare la più difficile da soddisfare nei sistemi intensivi, ma è innegabile che anche in natura non sono quasi mai garantite tutte le cinque libertà, anzi spesso sono più a lungo disattese.

Una via per risolvere la questione è la valutazione del BA, ma ad oggi non esiste un metodo soddisfacente per tutte le esigenze della società, che sono di natura etica, legale, politica, gestionale, scientifica, di marketing. Le attese sono considerevoli, perché innalzare il livello di BA significa migliorare contemporaneamente: le condizioni di vita, la salute, le performance, la qualità delle produzioni e la sostenibilità. Monitorare oggettivamente il BA sarà dunque sempre più necessario per ottimizzare gli allevamenti. Poter valutare il grado di adattamento degli animali a contesti di vita differenti renderà più accettabili gli allevamenti intensivi, pur non risolvendo la questione della possibile sofferenza connessa al confinamento. Il modello di valutazione del BA dovrà basarsi su indici oggettivi, scientificamente testati e capaci di rilevare la risposta animale in ogni condizione di vita.

### Considerazioni conclusive

La crescita della popolazione umana richiede una superficie (coltivata o meno) sempre maggiore per garantire la corretta alimentazione. Da un lato ciò sottrae spazio alla natura, specie con sistemi agro-zootecnici poco intensivi, e dall'altro comporta fenomeni che impattano ulteriormente sulle condizioni del pianeta. L'impatto sul pianeta non è dunque dell'agricoltura, ma della popolazione che aumenta in continuo per numero e per esigenze nutrizionali. Se, dunque, coltivazione ed allevamento sono indispensabili per la vita dell'uomo, è essenziale sviluppare tecnologie per realizzarli nel modo meno impattan-

te possibile. In futuro sarà necessario puntare ad elevate produzioni, ricorrendo alla scienza e alle tecnologie eticamente fondate. In questa ottica il ricorso agli animali potrà continuare se l'uomo saprà assicurare condizioni di vita accettabili e a basso impatto.

In sostanza la sopravvivenza sul pianeta richiederà un'intensificazione sostenibile (= maggior efficienza, con meno impatto) del sistema agro-zootecnico, mediante l'uso di strategie che: (i) rendano compatibile il BA e l'efficienza delle produzioni, aumentando la produttività e migliorando condizioni di salute, nutrizione e comfort (*zootecnia di precisione*); (ii) facilitino l'adattamento dei sistemi di allevamento ai cambiamenti climatici potenziando la risposta immuno-metabolica degli animali e innovando le strutture di ricovero; (iii) ottimizzino l'alimentazione (*precision feeding*) nei sistemi estensivi (pascolo) ed intensivi, ad esempio includendo materiali non convenzionali (come enzimi, oli essenziali, insetti) per diminuire il ricorso ad alimenti comuni all'uomo.

### *Agricoltura sostenibile per una transizione ecologica*

Le agricolture di ieri, oggi, domani

Si è sempre ritenuto che investire in beni fondiari fosse garanzia di sicurezza, al punto che risulta facile forzare un fortunato slogan relativo ai diamanti per applicarlo ai terreni agricoli: «un suolo è per sempre». Ma l'agricoltore, e tanto più l'agronomo, sa che non è così: chi non cura la propria terra non può che riscontrare una riduzio-



ne progressiva della fertilità. Ora, questa verità si fa più concreta secondo la scienza recente, che ha constatato il degrado degli agrosistemi se condotti in modo irrazionalmente intensivo<sup>6</sup>.

Perciò, l'agronomia ha dato vita ad un ripensamento teorico ed operativo verso modelli di coltivazione compatibili con l'uso appropriato delle risorse<sup>7</sup>, che oggi si riverbera nel concetto di transizione ecologica e con quello di Agricoltura Sostenibile. Si può parlare di una rivoluzione silenziosa<sup>8</sup> in atto, che il grande pubblico non conosce e sulla quale è utile dare un minimo dettaglio, rispondendo alle domande: Quante Agricolture ci sono? E qual è l'Agricoltura che oggi si insegna nella nostra Università?

Parlare di forme diverse di Agricoltura può confondere il lettore, per cui sarebbe utile una specie di lessico familiare. Limitandoci all'Agricoltura Conservativa o Sostenibile essa rappresenta un sistema di produzione agricola che integra aspetti agronomici, ambientali e socioeconomici e che, nel contempo, ha di mira la protezio-

---

<sup>6</sup> *Lettera Enciclica Laudato Si' del Santo Padre Francesco sulla cura della casa comune*, 19, 2015. Si avverte una crescente sensibilità riguardo all'ambiente e alla cura della natura, e matura una sincera e dolorosa preoccupazione per ciò che sta accadendo al nostro pianeta.

<sup>7</sup> LS, 5. Ogni aspirazione a curare e migliorare il mondo richiede di cambiare profondamente gli stili di vita, i modelli di produzione e di consumo, le strutture consolidate di potere che oggi reggono le società.

<sup>8</sup> D.R. HUGGINS - J.P. REGANOLD, *No-Till: The quiet revolution*, in «Scientific American», 2008, pp. 71-77.

ne dell'acqua, dell'aria e del suolo. I suoi capisaldi sono (FAO)<sup>9</sup>:

- la riduzione delle lavorazioni del suolo fino alla non-lavorazione (*no-till*);
- la copertura permanente del suolo con i residui delle colture precedenti e con le colture di copertura;
- le rotazioni colturali.

Non sono concetti nuovi per un agronomo, ed è utile ribadire che la nostra didattica universitaria non li ha mai tralasciati, ma è importante averli messi in risalto ed aggiornati come strumenti innovativi per conferire all'agricoltura un respiro ecologico e una dimensione sostenibile.

Questo ripensamento dell'agricoltura determina anche una mitigazione del cambiamento climatico, che prende il nome di *Carbon Farming*<sup>10</sup>, «Agricoltura del Carbonio», che mira a «coltivare carbonio nel terreno» sottraendolo all'atmosfera. Anche nell'Azienda Sperimentale della Facoltà (CERZOO, Centro Ricerche per la Zootecnica e l'Ambiente) le prove sperimentali dimostrano l'efficacia dell'Agricoltura Conservativa. La ragione è che – ispirandosi all'agroecologia – cerca di travasare i meccanismi dell'ecosistema dentro l'agricoltura.

---

<sup>9</sup> FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), *Conservation Agriculture*, 2021. Url <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

<sup>10</sup> COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021), *Technical Guidance Handbook – setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission*, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby.

Quei meccanismi, infatti, sono gratuiti, autoconservativi e resilienti, e tutte le volte che se ne integra qualcuno nell'agrosistema, se ne sfruttano i cosiddetti servizi ecosistemici, ottenendo una riduzione degli input esterni e dell'impronta ecologica. Produrre cibo in quantità sufficiente, di alta qualità organolettica e salutistica, in maniera sostenibile, con il minimo impatto ambientale è infatti il compito etico di questa nuova agricoltura, nel solco della transizione ecologica.

### Le innovazioni nella difesa delle colture

Aumentare la produzione razionalizzando le risorse naturali e diminuire l'impatto ambientale sono le principali sfide dell'agricoltura contemporanea per le quali nasce il piano strategico *Farm to Fork* elaborato dalla Commissione Europea come parte dell'*European Green Deal*. È un piano decennale per guidare la transizione verso un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente.

Ogni anno si impiegano in Italia 4,85 kg ha<sup>-1</sup> di agrofarmaci, di cui il 61% sono fungicidi (più di due terzi a base di rame e di zolfo, usati anche in agricoltura biologica). Oggi, infatti, i fungicidi sono ancora uno strumento chiave nella produzione integrata e nel biologico. Un loro uso sostenibile deve basarsi su una conoscenza approfondita delle loro caratteristiche, in particolare del MoA (*Mode of Action*) e del PMoA (*Physical Mode of Action*). Il MoA definisce la modalità di azione di una sostanza attiva verso gli organismi bersaglio e risulta fonamen-

tale per stimare il rischio di resistenza nelle popolazioni dei patogeni. Il PMoA comprende le caratteristiche che influenzano l'uso pratico, in particolare: il tipo di attività del fungicida (preventiva, curativa o eradicante), la sua localizzazione sui (o nei) tessuti della pianta, la dinamica nel tempo e il suo effetto, ovvero durata e grado di attività del fungicida.

La ricerca però continua a sviluppare mezzi e tecnologie per aumentare la protezione delle colture e ridurre l'impatto ambientale. La crescente disponibilità di agenti di biocontrollo (microrganismi che contrastano i patogeni), *botanicals* e altre sostanze naturali che esplicano un'azione diretta sui patogeni, e induttori di resistenza, ha ampliato le possibilità di scelta dei prodotti fitosanitari. Anche se la loro efficacia non è sempre costante, dipendendo da molteplici fattori, il loro uso rientra pienamente in una logica integrata, olistica, che prevede l'impiego di varietà resistenti, di misure agronomiche per ridurre il rischio di infezione, e di interventi di sanificazione che riducono l'inoculo svernante dei patogeni. Infatti, anche un prodotto meno efficace, ma applicato su una popolazione ridotta del patogeno, può garantire lo stesso livello di controllo di un prodotto più efficace applicato però su una popolazione abbondante. È necessario abbandonare l'empirismo che, in passato, ha accompagnato lo sviluppo e l'impiego di questi prodotti. Solo con la ricerca è possibile caratterizzarli, definirne l'attività, i meccanismi d'azione e le condizioni d'impiego, per delineare le migliori strategie per un loro utilizzo sicuro.

## L'innovazione dei biostimolanti

Tra le innovazioni agricole, i biostimolanti sono molto promettenti. Si tratta di prodotti a base di estratti naturali o microrganismi benefici, capaci di migliorare la risposta delle colture, attraverso i) un aumento dell'efficienza d'uso o disponibilità dei nutrienti per la pianta, ii) una migliore tolleranza agli stress, e/o iii) un incremento della qualità dei prodotti agricoli. Possono aiutare la pianta a resistere agli stress (elevate temperature, siccità, salinità del suolo) o migliorare la qualità tecnologica, funzionale o sensoriale del prodotto. Essendo prodotti naturali, incontrano la richiesta di maggiore sostenibilità del comparto agro-alimentare e sono ammessi anche in agricoltura biologica.

Si distinguono in:

- sostanze di sintesi: prodotte da reazioni chimiche;
- sostanze naturali o botaniche: si estraggono da matrici naturali;
- microrganismi: entità microbiologiche identificate dalla specie e dal ceppo e definite in termini di cellule vitali o spore per massa.

Tra le sostanze chimiche, poche sono quelle riconosciute come biostimolanti: le sostanze umiche, gli idrolizzati di proteine, gli estratti di alghe e il chitosano. Le sostanze umiche sono una componente della materia organica del suolo. Gli idrolizzati proteici sono miscele di aminoacidi e peptidi ottenuti per idrolisi chimica o enzimatica di proteine vegetali o animali. Le alghe brune sono le più usate e sono ricche di polisaccaridi come

componenti bioattivi, mentre quelle rosse sono dotate di carragenine. La chitina e il chitosano sono entrambi polisaccaridi bioattivi.

I microrganismi benefici agiscono da induttori di resistenza, ovvero stimolano le difese della pianta, riducendo l'uso di agrofarmaci. Diversi ceppi microbici inducono cambiamenti biochimici nella pianta, rendendola meno suscettibile ai funghi ed insetti patogeni. Quali siano le molecole e/o le componenti cellulari responsabili di tali meccanismi è ancora oggetto di indagine, ed anche nella nostra Facoltà si conducono studi in tal senso. Così come per quanto riguarda la sicurezza dei microorganismi utili, siano essi biostimolanti o agenti di difesa. Al momento le specie ammesse come biostimolanti sono molto limitate. La ricerca lavora alla valutazione della sicurezza (assenza di patogenicità per l'uomo e le piante, assenza di geni di antibiotico-resistenze diffusibili) per allargare la platea dei ceppi utilizzabili.

# Alimentazione

## *L'importanza della sicurezza e della salubrità degli alimenti*

### La sicurezza degli alimenti

Il termine 'sicurezza degli alimenti' nella lingua italiana presenta due connotazioni differenti: *Food Security* e *Food Safety*. Secondo la definizione data dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), «la *Food Security* esiste quando tutte le persone in ogni momento hanno accesso fisico ed economico a cibo sufficiente, sicuro e nutriente che soddisfi i loro bisogni dietetici e le loro preferenze alimentari per una vita attiva e sana». Differentemente, *Food Safety* o salubrità alimentare può essere descritta come la garanzia che i prodotti alimentari non abbiano effetti dannosi sulla salute dei consumatori, per la presenza di pericoli chimici, fisici o biologici. Nel corso di questo capitolo, al fine di evitare fraintendimenti, si utilizzeranno i termini inglesi.

### Le malattie alimentari

L'OMS ha identificato oltre 200 malattie di origine alimentare (*Food born diseases*), definite come le malattie in-

fettive o le intossicazioni causate dal consumo di alimenti o di acqua contaminati, stimando a livello globale che le malattie alimentari colpiscano ogni anno 600 milioni di persone con oltre 400.000 decessi. Nei Paesi a basso reddito i casi di malattie alimentari presentano un'incidenza decisamente più alta rispetto agli altri paesi ed in particolare rispetto all'Unione europea, dove i casi di decessi sono nell'ordine di qualche decina. Ad esempio, in Africa le malattie diarroiche, derivate dall'ingestione di acqua e alimenti contaminati da virus e batteri enteropatogeni, causano la morte di 230.000 persone ogni anno, di cui oltre 90.000 sono bambini sotto i cinque anni, secondo una stima dell'OMS.

### Il sistema europeo per la *Food Safety*

L'Unione europea (UE) dal 2002, in risposta alle crisi alimentari che hanno caratterizzato la fine degli anni '90, ha adottato una serie di scelte politiche comuni, riformando sostanzialmente il sistema per la protezione dei consumatori dalle malattie alimentari. Questo nuovo approccio, definito dal regolamento CE N. 178/2002<sup>1</sup>, si basa su tre componenti: la valutazione del rischio (RA), la gestione del rischio (RM) e la comunicazione del rischio (RC). RA è il processo scientifico che individua

---

<sup>1</sup> Regolamento (Ce) N. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio del 28 gennaio 2002 che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare.



e caratterizza i pericoli, valuta l'esposizione e fornisce una dimensione del rischio, sulla base delle informazioni scientifiche. RM è la fase politica e decisionale che, utilizzando i dati derivanti dalla RA, esamina le alternative di intervento e definisce le misure per la protezione dei consumatori, degli animali in allevamento e dell'ambiente. RC è lo scambio interattivo di informazioni sui rischi alimentari tra i responsabili della RA, i gestori del rischio e tutti gli attori del sistema alimentare, inclusi i consumatori.

Nella UE la RA è svolta dall'EFSA (Autorità Europea per la Sicurezza degli Alimenti), mentre i responsabili della RM sono la Commissione e il Parlamento europeo, insieme ai governi degli stati membri, con i loro organi di controllo e ispezione.

Un aspetto centrale del sistema di *Food Safety* nella UE è il concetto di sicurezza degli alimenti esteso, *from farm to fork* (dal campo alla tavola): si riconosce che la qualità e salubrità di un alimento al momento del consumo dipendono dalle buone prassi di sicurezza in tutti i passaggi del sistema alimentare, dalla produzione delle materie fino alla fase di immissione sul mercato. A vent'anni dall'entrata in vigore del regolamento CE N. 178/2002, il concetto di gestione del rischio si è ulteriormente ampliato e presenta maggiori livelli di complessità, considerando anche l'impatto dei processi del sistema alimentare sull'ecosistema.

L'applicazione del sistema di *Food Safety*, delineato dalla *General Food Law* e meglio specificato nei diversi regolamenti che definiscono gli standard di igiene, ha

consentito alla UE e ai suoi stati membri di divenire l'area geografica e politica con la minor incidenza di malattie alimentari. Per questo motivo, negli ultimi anni il sistema della UE è divenuto il modello di riferimento internazionale per l'efficacia nel promuovere un elevato livello di sicurezza e bassi rischi per i consumatori e l'ambiente.

*Food Safety*: una priorità per la salute pubblica e per lo sviluppo sostenibile

La *Food Safety* è una delle componenti fondamentali della *Food Security*, influenzando sostanzialmente la disponibilità e l'utilizzo di cibo. Al fine di limitare l'insicurezza alimentare occorre ridurre la proporzione di alimenti contaminati che, dovendo essere tolti dal mercato, contribuiscono ad incrementare le perdite e gli sprechi di alimenti. Questo processo diventa fondamentale anche alla luce della situazione attuale, nella quale alcuni elementi di criticità sono stati individuati:

- la pandemia da SARS-CoV-2;
- la presenza di rischi emergenti con un impatto negativo sulla salute dei consumatori;
- il cambiamento climatico, come causa di nuovi rischi alimentari.

Gli effetti negativi della pandemia sull'economia mondiale hanno ridotto la disponibilità di alimenti e la possibilità di accesso al cibo per le popolazioni più vulnerabili e il numero di persone malnutrite è risalito al 10% della popolazione mondiale, con un aumento importante nell'ul-

timo anno<sup>2</sup>, allontanando il raggiungimento dell'obiettivo di sviluppo sostenibile *Zero Hunger* delle Nazioni Unite.

Inoltre, alcune epidemie alimentari verificatesi negli ultimi anni hanno reso evidente la necessità di analizzare e monitorare i rischi emergenti, definiti da EFSA come i rischi derivanti da un pericolo recentemente identificato per il quale può verificarsi un'esposizione, o i rischi connessi ad un'aumentata esposizione ad un pericolo noto.

Diversi fattori contribuiscono alla comparsa di *Emerging Risks*, come l'evoluzione dei microrganismi verso forme più aggressive, la diffusione della resistenza agli antimicrobici nelle filiere alimentari, l'utilizzo di composti chimici nei materiali a contatto con gli alimenti. Altri elementi sono i cambi di stile di vita dei consumatori e delle modalità di consumo degli alimenti, ad esempio la maggiore predisposizione al consumo di cibi crudi o le nuove tecnologie di processo degli alimenti. Anche gli effetti del cambiamento climatico sull'ambiente e sui sistemi di produzione di cibo sono una possibile causa di incremento dei pericoli alimentari e vengono considerati un rischio emergente.

Il ruolo della Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali nel sistema integrato per la *Food Safety*

Quanto sopra riportato sottolinea la complessità dei sistemi alimentari e delle azioni necessarie per difendere

---

<sup>2</sup> FAO - IFAD - UNICEF- WFP - WHO, *The state of Food Security and Nutrition in the world 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all*. Rome, FAO.

la salute dei consumatori e degli animali in allevamento e per proteggere l'ambiente sia a livello locale che globale. Condizioni essenziali affinché l'obiettivo di migliorare la sicurezza nei sistemi alimentari sia raggiunto sono lo sviluppo e il trasferimento di innovazioni tecnologiche e il capacity building, inteso come la formazione di nuove generazioni di esperti che sappiano gestire strategie innovative per un aumento dell'efficienza del sistema alimentare.

La nostra Facoltà negli ultimi anni è stata particolarmente attiva nell'operare sui temi di *Food Safety*. Questa istituzione accademica si occupa di tutte le fasi dei sistemi alimentari, con competenze nelle produzioni agrarie, nell'allevamento animale, nella trasformazione, nell'interazione tra processi agro-alimentari ed ambiente, nella nutrizione umana e nel rapporto con i consumatori. Tutte queste conoscenze sono essenziali per contribuire attivamente alla ricerca scientifica con gli approcci multi e transdisciplinari necessari al *food risk assessment*. Infatti, la Facoltà e i suoi membri collaborano attivamente con EFSA dalla sua istituzione nel 2003, mediante la partecipazione ai gruppi di lavoro e ai panel scientifici e tramite l'esecuzione di progetti di ricerca specifici.

Queste competenze di ricerca costituiscono la base dei programmi di formazione dei giovani italiani e stranieri che frequentano i corsi di studio della Facoltà, preparandoli ad un ruolo attivo nella società per la promozione della qualità della vita dei cittadini e per uno sviluppo sostenibile del sistema alimentare.

## *L'innovazione nelle tecnologie alimentari*

### Tecnologie alimentari: definizione e obiettivi

La tecnologia alimentare è la disciplina che studia i processi di conservazione e trasformazione di prodotti alimentari con molteplici obiettivi. Il primo obiettivo, pre-requisito obbligatorio per legge, è garantire la sicurezza igienico-sanitaria dei prodotti tramite l'eliminazione o il contenimento dei vari pericoli (biologici, chimici o fisici) che possono arrecare un danno alla salute del consumatore. Tra gli altri obiettivi l'estensione della vita commerciale (*shelf-life*) agendo sui diversi fattori che la determinano: ricetta, processi di trasformazione e conservazione, confezionamento. Obiettivo generale è la produzione di prodotti di qualità, dove «la qualità è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare le esigenze implicite ed esplicite del consumatore» (UNI EN ISO 9000:2000). La qualità comprende aspetti di sicurezza e di genuinità, caratteristiche nutrizionali e sensoriali (inevitabilmente perse e modificate durante la trasformazione e conservazione), aspetti di qualità di servizio (conservabilità, comodità d'uso e reperibilità) e requisiti di differenziazione, innovazione e standardizzazione.

### Innovazione di processo

L'innovazione di processo è probabilmente la più difficile da realizzare e comunicare al consumatore.

Storicamente le tecnologie alimentari si sono sviluppate per stabilizzare i prodotti dal punto di vista microbiologico. Le prime tecnologie sviluppate sono state quelle basate sull'utilizzo del calore, a partire dal 1809 con il processo di sterilizzazione commerciale o Appertizzazione, da Nicholas Appert, nel periodo delle campagne napoleoniche. La tecnologia di Appert prevedeva il confezionamento (in latta) di un alimento e il suo trattamento termico in acqua bollente a pressione ambiente a temperature inferiori ai 100°C. Lo sviluppo dei trattamenti di pastorizzazione a temperature più basse è avvenuto nel 1860 grazie agli studi di Pasteur su birra e vino. La scoperta nel 1910-20 dell'importanza del *C. botulinum* e delle sue proprietà portò all'esigenza di trattamenti sopra i 100°C e all'innovazione della pentola a pressione (autoclave).

Negli anni Cinquanta e Sessanta alcune innovazioni impiantistiche permisero processi in continuo e agitazione dei contenitori insieme all'applicazione del concetto dei trattamenti ad alta temperatura - tempi brevi (HTST, *high temperatures, short times*). Questo fu possibile grazie agli studi di Bigelow e Ball con lo sviluppo del primo metodo scientifico per il calcolo del processo minimo di sterilizzazione per gli alimenti confezionati e del primo metodo matematico per il calcolo di processo. Su questi studi si basa la definizione della FDA (Food and Drug Administration) del 1977 del processo termico minimo, ossia «l'applicazione di calore ad un alimento, prima o dopo il suo confezionamento in un contenitore ermeticamente sigillato, per un periodo di tempo e a una certa

temperatura scientificamente determinati per potere adeguatamente assicurare la distruzione dei microrganismi di pericolo per la salute pubblica». Agli inizi degli anni '60 innovazioni di impianti e specifici materiali plastici di confezionamento permisero lo sviluppo dei processi in asettico in cui l'alimento viene pastorizzato o sterilizzato prima del confezionamento, raggiungendo livelli qualitativi decisamente superiori secondo il principio HTST. Per ridurre ulteriormente il danno termico, soprattutto per gli alimenti solidi che non possono essere trattati in asettico, la ricerca scientifica ha lavorato e lavora allo sviluppo di tecnologie non convenzionali.

Tra le tecnologie non convenzionali di tipo termico vi sono quelle basate sul riscaldamento di tipo elettrico o elettromagnetico: il riscaldamento ohmico, a radio frequenze e a microonde. Queste tecnologie si caratterizzano per la capacità di raggiungere velocità di riscaldamento decisamente maggiori rispetto alle tecnologie convenzionali e, potenzialmente, un riscaldamento veloce e omogeneo anche per gli alimenti solidi. I diversi meccanismi di riscaldamento rendono però ancora più complessa la comprensione, descrizione, ottimizzazione e controllo dei processi di riscaldamento del prodotto. Le cose si complicano ulteriormente nel caso delle tecnologie non convenzionali non termiche. Nei trattamenti ad alta pressione la morte cellulare viene raggiunta in seguito a esposizioni brevissime ad alte pressioni (sino a 6.000 atmosfere) senza alcun riscaldamento della matrice. La pastorizzazione con alte pressioni offre il vantaggio di non dare alcun danno termico ai principi nutritivi ma

può portare a cambiamenti strutturali (rammollimento o indurimento) della matrice inaccettabili, limitandone l'applicabilità. Un'altra tecnologia non termica è quella basata sui campi elettrici pulsati (PEF, *pulsed electric fields*). Sottoposta a PEF, la matrice alimentare non si scalda, ma le membrane cellulari vanno incontro a dei fenomeni di rottura che portano alla morte dei microrganismi. I PEF applicati come pretrattamento nei processi di estrazione di succhi vegetali aumentano le rese di estrazione, e nei processi di essiccamento/liofilizzazione velocizzano il trattamento migliorando la qualità del prodotto finale.

Una tecnologia non termica che invece non ha trovato ampia diffusione è quella basata sull'impiego di radiazioni ionizzanti (gamma, x e beta), in quanto il consumatore teme che i prodotti irradiati possano avere effetti dannosi per la salute. Questo esempio introduce il problema della percezione, spesso negativa, che il consumatore ha nei confronti delle tecnologie alimentari. Fondamentale il ruolo del tecnico/ricercatore nel sapere comunicare correttamente al pubblico la natura e gli effetti delle tecnologie alimentari.

## Innovazione di prodotto

L'innovazione di prodotto è, invece, la tipologia di innovazione più facilmente capita dal consumatore. Innovare i prodotti è da sempre un elemento chiave delle strategie aziendali per mantenere i clienti ma anche per affrontare e conquistare nuovi mercati.



Uno degli esempi più interessanti è quello dell'evoluzione dell'impiego di grassi nell'industria alimentare. Il boom economico del secondo dopoguerra portò a diete ricche in cibi raffinati, zuccheri e grassi animali. La comprensione dei potenziali effetti dannosi dei grassi animali portò allo sviluppo delle margarine con processi di idrogenazione catalitica di oli vegetali insaturi. La scoperta della formazione di grassi insaturi trans dannosi con l'idrogenazione parziale portò alla ricerca di grassi vegetali naturalmente ricchi in grassi saturi e al progressivo successo dell'olio di palma, contrastato poi da una campagna mediatica supportata da motivazioni etiche e ambientali e da studi scientifici sulla formazione di composti dannosi in caso di lavorazione ad alte temperature (problema anche di altri oli vegetali). Le aziende scelsero tra due strategie: sviluppo di una filiera sostenibile certificata dell'olio di palma oppure una sua sostituzione con altri oli vegetali. Oggi alcuni filoni di ricerca si dedicano allo sviluppo di processi per la strutturazione di oli vegetali alternativi alla idrogenazione (ad es., oleogelificazione) per ottenere una consistenza solida mantenendo il profilo insaturo salutare.

Come per i grassi saturi e l'olio di palma, si è assistito a una proliferazione del 'free-from' nell'innovazione di prodotto. In alcuni casi il 'free-from' risponde a motivate esigenze di sviluppo di alimenti per consumatori con patologie, quali diabete, celiachia, intolleranze alimentari. Altre volte risponde a una non corretta associazione da parte del consumatore tra la mancanza di specifici componenti e una dieta più salutare.

In contrapposizione al ‘free-from’ la richiesta di prodotti ‘ricchi-in’, in particolare proteine, fibre e composti salutari che conferiscano al cibo sempre più un ruolo funzionale-curativo e terapeutico. La realtà della pandemia da Covid ha aumentato ad esempio la ricerca di prodotti che stimolino il sistema immunitario.

In riferimento alle proteine, la tendenza degli ultimi anni è anche verso proteine di origine vegetale, riflettendo i bisogni di consumatori *vegetariani*, *vegani*, *flexitariani* e *climatariani*. La produzione di prodotti analoghi di carne e derivati del latte ha richiesto la messa a punto di processi di estrazione di proteine vegetali e la loro funzionalizzazione, ad esempio attraverso processi di texturizzazione, per consentire di ottenere prodotti simili alla controparte animale, anche grazie all’impiego di altri ingredienti e additivi in opposizione al concetto di una etichetta *clean* e in parte a quello di una maggiore sostenibilità.

### Innovazione di packaging

L’entrata dei materiali plastici nel confezionamento alimentare ha portato a molte innovazioni e possibilità, in termini di convenienza d’uso e di estensione della *shelf-life* con conseguente potenziale riduzione dello spreco di cibo. Si pensi alle confezioni monodose, alle aperture facilitate, alla banda stagnata per le lattine. L’utilizzo delle atmosfere protettive, ossia la sostituzione dell’aria interna a una confezione con un’atmosfera più povera in ossigeno e più ricca in anidride carbonica e azoto è

una tecnologia di condizionamento in espansione, soprattutto per i prodotti freschi in grado di estendere la *shelf-life*.

A sua volta il materiale di confezionamento può modificare attivamente l'atmosfera a contatto con l'alimento o rilasciare componenti che contribuiscono al rallentamento del deperimento del prodotto. Si tratta dei packaging attivi, materiali che, grazie all'incorporazione di specifici componenti, possono ad esempio assorbire l'ossigeno o rilasciare molecole antiossidanti e antimicrobiche.

I packaging intelligenti, invece, sono sistemi che comunicano in maniera 'intelligente' con il consumatore in merito allo stato qualitativo del prodotto. L'esempio più semplice è un indicatore sulla confezione di un prodotto refrigerato che cambia colore se la temperatura di stoccaggio supera un valore massimo per un certo periodo di tempo, segnalando che il prodotto potrebbe non essere più buono pur se ancora entro la data di scadenza. Queste soluzioni possono contribuire a maggiori livelli di sicurezza per il consumatore.

Altre soluzioni prevedono etichette intelligenti che comunicano con il frigorifero segnalando prodotti in scadenza e suggerendo ricette per l'uso delle scorte. Soluzioni smart per aiutare un consumatore che a volte, forse, è poco smart.

## *La valorizzazione del food Made in Italy nel mondo*

Il ruolo della tradizione alimentare nelle scelte di consumo

Le scelte di consumo dipendono dalle preferenze individuali che, a loro volta, sono influenzate da una serie di fattori. Pensiamo per un momento a quando, nel punto vendita, ci troviamo di fronte alla categoria di prodotto che intendiamo acquistare: marche diverse, prezzi diversi, caratteristiche qualitative diverse. La decisione avviene in pochi attimi e, nel nostro inconscio, è basata su tutto ciò che riusciamo a percepire in quel momento. Poiché le caratteristiche intrinseche, ad esempio organolettiche, non sono percepibili, utilizziamo degli indicatori che invece lo sono: marca, origine, prezzo, informazioni in etichetta, e altri ancora. In più ci sono le esperienze di consumo passate, la nostra cultura alimentare, la tradizione dei consumi alimentari del territorio in cui viviamo. Il nostro Paese ha una storia millenaria che lo rende conosciuto in tutto il globo per l'arte, la cultura, e per la reputazione dei suoi prodotti alimentari. I consumatori esteri sanno che i prodotti italiani hanno, spesso, caratteristiche qualitative superiori, che li differenziano rispetto ad altri prodotti apparentemente simili. Ma qui entrano in gioco due fattori che possono portare a conseguenze assai negative per gli alimenti 'Made in Italy'. Il primo fattore è quello al quale si accennava, ossia la difficoltà che il consumatore incontra nella percezione delle caratteristiche rilevanti del prodotto. Se a questo si aggiunge la diversa 'cultura alimentare' dei consumatori, diventa subito chiaro come il problema

possa aggravarsi quando, ad esempio, un consumatore estero, conscio della reputazione dei prodotti italiani ma poco educato al loro consumo, si trova di fronte prodotti che mostrano tutti qualche segno distintivo di italianità, ma dei quali solo alcuni provengono realmente dall'Italia. Il secondo fattore deriva dalla rendita economica che la reputazione 'italiana' di un alimento garantisce ai produttori.

Il problema della 'concorrenza sleale': italiano è buono...  
ma non sempre

In qualsiasi mercato, non soltanto alimentare, esiste il fenomeno del 'free riding', che potremmo ironicamente tradurre come 'far soldi alle spese degli altri'. In altre parole, si tratta di un caso eclatante di competizione sleale, dove produttori attratti dai potenziali profitti in mercati con poche regole sfruttano la reputazione che, come abbiamo detto, i prodotti originali si sono guadagnati con secoli di storia e di tradizioni produttive territoriali basate sull'impiego di materie prime di alta qualità e di processi di trasformazione di eccellenza. A ciò si aggiunge un altro effetto negativo legato al fatto che diverse produzioni di qualità interessano aree produttive situate in ambienti svantaggiati di collina e montagna, nelle quali i costi di produzione sono necessariamente maggiori e dove la convenienza a produrre dipende dalle rendite che scaturiscono dai premi di prezzo che i prodotti riescono a guadagnarsi sui mercati. La presenza di prodotti non originali commercializzati a prezzi inferiori può determinare, nei casi frequenti nei quali il consumatore non

riconosca il prodotto originale, un deterioramento delle condizioni di vendita, che mette a rischio le attività agricole nelle zone svantaggiate.

Solo una progressiva armonizzazione delle regole commerciali e il mutuo riconoscimento di quelle non armonizzate potrebbero evitare le perdite di benessere causate da questi fenomeni che affliggono il settore agro-alimentare, fenomeni purtroppo generalizzabili anche ad altri settori produttivi, dove la qualità dei prodotti scaturisce da capacità e conoscenze legate all'origine.

### Approcci per l'autenticità delle produzioni agro-alimentari

L'autenticazione degli alimenti di solito comporta l'analisi di campioni per la determinazione di componenti specifici, onde verificare le informazioni dell'etichetta, tra cui l'origine geografica, le condizioni di conservazione e i metodi di lavorazione. In alternativa, l'autenticazione degli alimenti mediante la concessione di un certificato di carattere specifico, come la denominazione di origine protetta (DOP) o l'indicazione geografica protetta (IGP), è altrettanto importante. Nuovi metodi analitici, basati sulle tecniche -omiche (proteomica, genomica e metabolomica), stanno emergendo per verificare la qualità dei prodotti alimentari ed evitare le frodi alimentari.

### Le tecniche di tracciabilità

Tra i vari approcci proposti molto recentemente nella letteratura scientifica, la metabolomica (parte di un ap-

proccio multidisciplinare delle scienze ‘omiche’, cioè, genomica, trascrittomica e proteomica) che mira a valutare la correlazione tra i profili genotipici e fenotipici di un sistema biologico, che sono influenzati da cambiamenti genetici e ambientali, si è dimostrata estremamente promettente. I metaboliti secondari sono legati all’interazione con l’ambiente e sono quindi anche utili per la tracciabilità geografica di un alimento. Recenti studi metabolomici in letteratura scientifica hanno avuto come oggetto proprio prodotti con certificazione di origine, con l’obiettivo di verificare e confrontare le differenze metaboliche tra campioni certificati e non certificati. La metabolomica permette infatti di coprire tanto l’effetto dell’ambiente, ovvero le condizioni naturali (terroir), quanto il know-how locale (savoir-faire) e hanno dimostrato di essere importanti fonti di distintività dei prodotti che, una volta adeguatamente valorizzati e comunicati, potrebbero attirare l’attenzione e la preferenza dei consumatori. Non a caso, si parla di impronta chimica degli alimenti quale fusione di terroir e savoir-faire. Un approccio semplice alla tracciabilità, benché meno robusto, consiste nell’utilizzare un codice o una struttura per l’identificatore, relativo a una Traceability Resource Unit (TRU – identifica un lotto, un singolo campione, una tipologia produttiva ecc). Tale identificatore è normalmente numerico o alfanumerico, e la lunghezza può variare da pochi caratteri (per l’identificazione interna del lotto) a un paio di centinaia (per esempio per l’identificazione elettronica del prodotto dove il codice viene letto da un chip di computer associato al TRU).

L'evoluzione più robusta e moderna di questo approccio, che è suscettibile ad alterazioni in modo abbastanza semplice, è rappresentata dalla blockchain. Una blockchain è una struttura dati condivisa e non modificabile. Si tratta in altri termini di una lista crescente di record, chiamati blocchi, che sono collegati insieme in ordine cronologico usando la crittografia per garantirne l'integrità. Il contenuto dei blocchi, ovvero le informazioni presenti, non sono modificabili o eliminabili a meno di non invalidare l'intera blockchain. Non è necessario che i nodi coinvolti nella blockchain si controllino a vicenda o conoscano l'identità degli altri blocchi, in quanto la coerenza tra le varie copie e/o l'aggiunta di un nuovo blocco è di per sé regolata da un protocollo condiviso.

Poiché i blocchi contengono ciascuno informazioni sul blocco precedente, essi formano una catena, con ogni blocco aggiuntivo che rafforza quelli precedenti. Pertanto, le blockchain sono resistenti alla modifica dei loro dati perché, una volta registrati, non possono essere alterati retroattivamente senza alterare tutti i blocchi successivi. Le blockchain sono tipicamente gestite da una rete 'peer-to-peer' per essere utilizzate come un libro mastro distribuito pubblicamente, dove i nodi aderiscono collettivamente a un protocollo per comunicare e convalidare i nuovi blocchi. Sebbene fosse inizialmente limitata alle industrie finanziarie, col tempo la blockchain ha iniziato a spingere per l'adozione in altri settori. Al momento, l'industria alimentare sembra essere una delle destinazioni più inclusive per la tecnologia blockchain.



## L'analisi sensoriale

Nell'ambito della produzione alimentare in generale, e dei prodotti 'a marchio' Made in Italy in particolare, l'analisi sensoriale assume un ruolo esclusivo perché in grado di rappresentare la qualità percepita di un prodotto e di restituire impressioni, giudizi e valutazioni di gradimento da parte dei consumatori e di tutti gli operatori della filiera agro-alimentare.

Da quello che si definisce profilo caratterizzante di un prodotto, ossia l'espressione sensoriale della sua composizione, che ne delimita il 'range' di accettabilità da parte del mercato, l'analisi sensoriale riesce a monitorare ogni modifica applicata durante il processo di produzione proprio al fine di evitare tutti quegli scostamenti che possano allontanare il prodotto stesso dalla sua capacità di soddisfare le attese del consumatore. La valenza di quanto sopra affermato risulta evidente se si pensa al profilo caratterizzante la tipicità dei prodotti DOP e IGP.

Vino, olio, formaggi, salumi sono soltanto tra le più emblematiche categorie di prodotti il cui legame col territorio genera la necessità di formare 'mediatori sensoriali' in grado di coadiuvare il processo di comprensione del prodotto tradizionale attraverso l'esperienza sensoriale. È proprio qui che emerge il ruolo dell'alta formazione in analisi sensoriale e il suo intreccio con la tecnologia alimentare e le tecniche analitiche di supporto all'autenticità e alla tracciabilità. L'avallo sensoriale per i prodotti DOP e IGP è, infatti, un tassello imprescindibile per certificarne la denominazione di origine.

## *La sostenibilità della produzione alimentare*

### Filiere alimentari sostenibili

Il termine ‘sostenibile’ è un aggettivo che può essere affiancato a diversi concetti. L’essere umano, a causa delle reiterate azioni di distruzione dei sistemi naturali della Terra, si trova oggi nella condizione sempre più urgente di diventare sostenibile per poter continuare a vivere in maniera dignitosa nel rispetto della rigenerazione delle risorse che consuma. Sono soprattutto i sistemi alimentari, organizzati in filiere, ad avere una grande responsabilità sull’attuazione di un futuro di transizione sostenibile. Le attività agricole sembrano causare il 20-30% delle emissioni di gas serra responsabili dei cambiamenti climatici, il 70-75% del consumo di acqua, attraverso l’utilizzo di più del 50% della superficie terrestre, con valori numerici molto diversi da luogo a luogo e in funzione delle metodologie di misura adottate. La ricerca deve fornire strumenti gestionali e tecnologici, in grado di rendere le azioni sostenibili economicamente, ma anche dal punto di vista ambientale e sociale.

### Il significato della parola ‘sostenibilità’

In ambito ambientale, economico e sociale, la sostenibilità è il processo di cambiamento nel quale lo sfruttamento delle risorse, il piano degli investimenti, l’orientamento dello sviluppo tecnologico e le modifiche istituzionali sono tutti in sintonia e valorizzano il potenziale attuale

e futuro al fine di far fronte ai bisogni e alle aspirazioni dell'uomo.

Raggiungere l'integrazione di sostenibilità vuole dire mettere in relazione i tre mondi, ambientale-economico-sociale, ricercando un equilibrio soddisfacente tra le diverse componenti. Questo rapporto è definito come 'triple bottom line', termine utilizzato per la prima volta dall'ambientalista ed economista John Elkington nel 1997, «dobbiamo tenere presente che non è possibile raggiungere un livello desiderato di sostenibilità ecologica o sociale o economica (separatamente), senza raggiungere almeno un livello di base di tutte e tre le forme di sostenibilità, contemporaneamente». In aggiunta a questi tre elementi, che hanno radici nella realtà presente, se ne deve considerare un quarto: quello temporale. Purtroppo, siamo ancora lontani dal raggiungimento di queste integrazioni.

## Il riconoscimento internazionale

Il riconoscimento internazionale della sostenibilità, dopo vari *think tank* iniziati nel 1977, vede la sua realizzazione con gli SDGs (Sustainable Development Goals). Comincia già nel 2012, in Brasile, dove durante la conferenza delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile (conosciuta con il nome di Rio 2012 o Rio + 20 o Earth Summit 2012) i governi hanno preso l'impegno di creare degli obiettivi di sviluppo sostenibile da implementare alla scadenza degli MDGs (Millenium Development Goals).

Gli MDGs, presenti già dall'anno 2000, sono nati con lo scopo principale di compensare la concentrazione di ric-

chezza propria di quelle nazioni considerate più benestanti e civilizzate, puntando a garantire la dignità delle persone più povere. Gli MDGs miravano, quindi, ad intraprendere azioni con ricadute principalmente all'interno dei Paesi in via di sviluppo. Nel settembre del 2015 sono stati elaborati i 17 obiettivi di sviluppo (SDGs) che entrano come parte integrante nella Agenda per lo sviluppo sostenibile.

L'Agenda 2030, di cui fanno parte i 17 obiettivi, sancisce e funziona purtroppo attraverso accordi istituzionali deboli a livello intergovernativo, con la supervisione istituzionale lasciata al High-Level Political Forum on Sustainable Development, un organismo nuovo, privo di poteri che esulino da monitoraggio, valutazione e orientamento.

I nuovi SDGs pongono tutti i paesi sullo stesso piano in quanto nessun paese viene identificato come 'sviluppatore' e lasciano ampio spazio di espressione alle nazioni e agli *stakeholders*, caratteristica preziosa anche sul piano della ricerca.

## La misura della sostenibilità

Sono molti i metodi di valutazione applicabili agli obiettivi di sostenibilità e, più in generale, ai progetti di sostenibilità delle filiere agricole: l'*Analisi Multicriteria*, la *SWOT analysis*, la *Clusterizzazione*, l'*Analisi degli scenari* (come l'applicazione del metodo di analisi del ciclo di vita LCA), e le *Certificazioni di sostenibilità*.

Queste ultime sono strumenti di comunicazione su base volontaria. Esistono svariate certificazioni, talvolta anche

basate su standard ISO (esempio 9001, 14001), ma possono essere realizzate anche da privati (grande distribuzione, associazioni, sindacati, industrie) e dal settore pubblico. Queste certificazioni di norma comprendono aspetti soprattutto ambientali ma, ad esempio, la certificazione GRI misura la responsabilità sociale. In questo ambito la nostra Facoltà ha sviluppato progetti di filiera *ad hoc* basati su standard riconosciuti e su indicatori di misura digitalizzati. Un esempio è VIVA: Sostenibilità della Vitivinicoltura in Italia, certificazione pensata per la misura delle prestazioni di sostenibilità della filiera vite-vino<sup>3</sup>.

## Domanda di alimenti ‘sostenibili’ e politiche pubbliche

La domanda di alimenti risponde a numerosi fattori economici, socio-demografici e all’evoluzione dei gusti e delle preferenze individuali.

Essendo i prodotti ‘sostenibili’ mediamente più cari, dobbiamo aspettarci che la domanda calerà nei periodi di crisi economica e che la fascia di popolazione sensibile al tema dei consumi ‘sostenibili’ si concentri tra le famiglie più giovani, meno numerose e con redditi medio-alti.

La generazione dei nuovi modelli di consumo dipende da almeno cinque driver fondamentali: la *relazione tra alimentazione e salute*; il *rapporto tra alimentazione e ambiente*; il *contenuto di servizio degli alimenti*; il *piacere dell’alimentarsi* e la *territorialità*, con i primi due più responsabili per i modelli di consumo ‘sostenibile’.

---

<sup>3</sup> [www.viticolturasostenibile.org](http://www.viticolturasostenibile.org).

I dati ISTAT sui consumi alimentari<sup>4</sup> indicano che nel periodo della più profonda crisi economica del dopoguerra (2006-2014) i consumi alimentari a prezzi costanti sono diminuiti di circa il 13%, riflettendo l'andamento demografico (invecchiamento) ma anche la riduzione dell'apporto calorico (binomio cibo-salute) e la riduzione degli sprechi alimentari (binomio alimentazione-ambiente).

Il rapporto dell'Osservatorio Immagino (2021)<sup>5</sup> indica che ci sono oltre 10.000 prodotti con in etichetta un richiamo esplicito ai temi della sostenibilità (ad es., origine biologica; certificazioni sostenibili; commercio equo e solidale; benessere animale ecc.) e che corrispondono a circa il 26% del volume d'affari coperto dall'indagine. Inoltre, il 30% dei prodotti (il 49% delle vendite) riporta informazioni sulla riciclabilità del packaging.

Risultano poi in grande crescita i prodotti *free from*, i cui più importanti segmenti richiamano i temi della sostenibilità (senza conservanti, senza olio di palma, senza additivi, ecc.) e i prodotti *rich in*, anche in questo caso con categorie legate al mondo dei prodotti 'sostenibili' (integrali, ricchi di fibre ecc.).

I prodotti 'sostenibili' si stima, quindi, interessino circa il 20% delle vendite in Italia e il dato potrebbe aumentare con politiche pubbliche finalizzate a incentivare l'adozione di diete più salutari e più sostenibili, in linea

---

<sup>4</sup> ISTAT, *Conti e aggregati economici nazionali. Spesa per consumi finali delle famiglie*, 2021, <http://dati.istat.it/>.

<sup>5</sup> OSSERVATORIO IMMAGINO, *Le etichette dei prodotti raccontano i consumi degli italiani*, 2021, <https://osservatorioimmagino.it/>.

con la direzione intrapresa dall'Unione europea nel documento Farm-to-Fork Strategy (F2FS)<sup>6</sup>. Gli strumenti individuati sono: (i) l'adozione di un sistema armonizzato obbligatorio di etichettatura nutrizionale; (ii) l'obbligo dell'indicazione d'origine della materia prima; (iii) il riordino degli schemi volontari di etichettatura green; (iv) l'adozione di incentivi fiscali.

Sul tema del sistema di etichettatura nutrizionale le divisioni sono molto profonde. Molti paesi del Centro-Nord Europa spingono per l'adozione di sistemi basati sui colori verde/giallo/rosso (dalla *traffic-light label* del Regno Unito al *nutriscore* in Francia), mentre i paesi mediterranei, in particolare l'Italia, si oppongono perché molti prodotti DOP/IGP verrebbero classificati gialli o rossi. La proposta italiana del *nutrinform battery*, basato sul contributo di ciascun alimento ai fabbisogni giornalieri raccomandati, raccoglie molte perplessità per le potenziali difficoltà di interpretazione.

D'altra parte, gli strumenti fiscali sarebbero ancora più impattanti, come ad esempio un aumento dell'IVA per i prodotti ricchi di grassi/zuccheri/sale (tipo le *fat tax* e *sugar tax* già sperimentate in alcuni Paesi), seppure accompagnata da riduzioni fiscali per prodotti ricchi in vitamine o fibre (ad es., l'ortofrutta). O addirittura la tassazione in funzione delle emissioni di gas serra derivanti dai processi produttivi (*carbon tax*) che finirebbe col penalizzare fortemente le produzioni di origine animale.

---

<sup>6</sup> [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).

## *La consapevolezza alimentare del consumatore-cittadino*

L'alimentazione oggi è un'area sempre più centrale per i cittadini-consumatori. Area di espressione identitaria, di condivisione dei valori individuali culturali e sociali, di progettazione e gestione delle proprie traiettorie di salute. Se uno stile di vita (e alimentazione) sano può ridurre il rischio di mortalità fino al 66%, abitudini poco salutari accrescono il rischio di mortalità precoce<sup>7</sup>, favorendo lo sviluppo di patologie cronic-degenerative (come obesità, malattie cardiovascolari, diabete, tumori e patologie neurodegenerative), ed in generale comportano una riduzione della qualità della vita (OMS, 2011)<sup>8</sup>. Il consumatore di oggi risulta sempre più consapevole del suo ruolo attivo nel processo di consumo e più diffidente verso le promesse iperboliche delle campagne pubblicitarie di tipo 'push'. Egli richiede trasparenza e concretezza da parte di aziende e marche; richiede personalizzazione e supporto per riuscire a massimizzare non solo la sua esperienza di consumo ma anche la ricaduta di tale esperienza sulla sua qualità di vita. Questa nuova consapevolezza (e al tempo stesso complessità) degli individui è stata certamente fa-

---

<sup>7</sup> M. LOEF - H. WALACH, *The combined effects of healthy lifestyle behaviors on all-cause mortality: A systematic review and meta-analysis*, in «Preventive Medicine», 2012, 55(3), pp. 163-170.

<sup>8</sup> WORLD HEALTH ORGANIZATION GLOBAL STATUS REPORT ON NONCOMMUNICABLE DISEASES 2010, *Burden: Mortality, morbidity and risk factors*, 2011, pp. 9-3, [http://www.who.int/nmh/publications/ncd\\_report2010/en/](http://www.who.int/nmh/publications/ncd_report2010/en/).



vorita dalla Rivoluzione Digitale, che ha reso possibile un accesso incondizionato, immediato, semplificato e diffuso alle informazioni di ogni tipo, ivi comprese quelle relative alle caratteristiche degli alimenti, alla loro provenienza, alla loro salubrità<sup>9</sup>. Ciò comporta, per le aziende, la necessità di approcciare i consumatori con maggiore rispetto di quanto non fosse in passato, attivando con essi un flusso regolare di conversazioni ‘alla pari’ basate sui principi della trasparenza e dell’autenticità, nonché favorendo un crescente coinvolgimento degli stessi nei processi aziendali. Solo i modelli di business in grado di generare una *customer experience* positiva, infatti, possono innescare meccanismi virtuosi di passaparola favorevoli nei dialoghi ‘peer-to-peer’ e, di conseguenza, un miglioramento dei livelli di credibilità e di affidabilità dei brand.

La crescente consapevolezza e razionalità dei consumatori ha gradualmente modificato la gerarchia delle diverse fasi del classico *buying process*, aumentando notevolmente l’importanza della fase in cui si concretizza l’atto di acquisto vero e proprio. Ciò ha portato le imprese industriali e commerciali, soprattutto quelle operanti nel settore dei beni di largo consumo dove questo fenomeno si è affermato con maggiore evidenza, a sviluppare una nuova cultura di Shopper Marketing<sup>10</sup>. Si tratta di un rinnovato approccio al *path-to-purchase*, focalizzato in particolare ad approfondire,

---

<sup>9</sup> P. PERETTI, *Marketing digitale*, Apogeo, Milano 2011.

<sup>10</sup> V. SHANKAR - J.J. INMAN - M. MANTRALA - E. KELLEY - R. RIZLEY, *Innovations in shopper marketing: current insights and future research issues*, in «Journal of Retailing», 2011, 87 (1), pp. 29-42.

sia in termini di analisi che di sviluppo di iniziative commerciali dedicate, i comportamenti dei clienti/shopper nel momento preciso in cui perfezionano la loro scelta di acquisto, ovvero quando si trovano all'interno del supermercato (e più in generale presso qualsiasi luogo di vendita, fisico o virtuale che sia). La principale conseguenza di questa nuova configurazione del processo di acquisto è che una parte molto rilevante della competizione inter-brand si sposta dalle fasi preacquisto (quelle storicamente di competenza del Consumer Marketing, dall'innovazione di prodotto alla pubblicità out-of-store) a quella della scelta in senso stretto. Ciò ha spinto le principali imprese industriali a consolidare la funzione (e gli investimenti) di Trade Marketing al fine di migliorare le relazioni con i principali distributori, in modo da ottenerne la collaborazione e poter lavorare maggiormente sulle attività di marketing aventi come target lo shopper e le sue valutazioni/i suoi comportamenti in-store.

Inoltre, i consumatori risultano oggi iper-connessi ai canali digitali in tutti i momenti della vita. Peraltro, la rete è sempre più non solo un mezzo per cercare informazioni sui prodotti e/o per condividerle con altri consumatori, ma anche per mettere in atto comportamenti di acquisto. Si veda il trend crescente del canale e-commerce, che soprattutto nell'ultimo biennio ha registrato un vero e proprio 'boom', arrivando in Italia a raggiungere, nel 2021, quasi 40 miliardi di euro di fatturato complessivo (vendite di beni e servizi)<sup>11</sup>. Questa

---

<sup>11</sup> Fonte: Osservatorio eCommerce B2C (Politecnico di Milano), 07.07.2021.

dinamica particolarmente positiva ha riguardato anche il settore agro-alimentare, con un valore della spesa *food* online pari a 1.313 milioni nel 2020 ed a 965 milioni nei primi 8 mesi del 2021 (valore già sensibilmente superiore a quello consuntivo di fine anno del 2019, pari a 640 milioni)<sup>12</sup>. Le piattaforme digitali, però, sono anche il terreno di coltura ideale per la diffusione di notizie fallaci, le cosiddette ‘fake news’. Una notizia infondata si diffonde in modo inarrestabile e può avere conseguenze particolarmente negative per la salute delle persone e per l’andamento del mercato agro-alimentare. Le cosiddette ‘bufale’ in ambito alimentare generano una cascata di reazioni, all’interno della filiera produttiva, che possono riflettersi, a lungo termine, anche sulla salute del consumatore. In questo panorama, risulta di fondamentale importanza il ruolo che gli operatori del settore nelle scienze dell’alimentazione e della nutrizione devono ricoprire per individuare ed incidere sui punti deboli di questo processo comunicativo errato, che non fa altro che diffondere insicurezza, diffidenza e talvolta paura nel consumatore-cittadino, che naturalmente si possono diffondere nel momento in cui esso si trova di fronte a un fenomeno che non conosce.

Da una parte, infatti, i consumatori oggi appaiono sociologicamente aperti e predisposti alla collaborazione, tra di loro e con le aziende. È questo il caso di fenomeni come la *ethical consumption*, una pratica che predilige le realtà locali e territoriali come forma di garanzia non solo

---

<sup>12</sup> Fonte: IRI, canale ‘generalisti online’.

del consumatore finale, ma anche del produttore; lo *sharing consumption* (o *sharing economy*), definito come «un modello economico basato sulla condivisione, lo scambio, il commercio o il noleggio di prodotti e servizi, di cui si consente l'accesso al di là della proprietà», che nasce dalla volontà di reinventare il modo in cui si consuma; e la *subscription consumption*, dove il concetto di 'ownership' viene sostituito da quello di 'membership' (ne è un esempio la piattaforma Cortilia, che coniuga questi nuovi valori con la possibilità di sfruttare le potenzialità del web).

Dall'altra parte, però, non mancano episodi di scontro aperto che portano al vero e proprio boicottaggio e 'consumismo politico' che consistono nell'astenersi collettivo e/o organizzato dal consumo di un particolare prodotto se non rispondente alle proprie aspettative (si veda recentemente il caso dell'olio di palma e i movimenti 'contro' il latte vaccino).

Dal punto di vista psico-sociale, tuttavia, questo contesto complesso e, apparentemente, poco decifrabile, suggerisce un'importante opportunità di azione per gli attori impegnati nel settore agro-alimentare. Si tratta, infatti, di operare per un cambiamento culturale verso una diversa considerazione del consumatore e del suo ruolo nella filiera produttiva e verso rinnovate forme di partnership e collaborazione. Da una visione del mercato prioritariamente focalizzata sul prodotto e sullo sviluppo di processi innovativi atti a valorizzarne l'utilizzo, ad una visione del consumatore non solo come target/obiettivo di azioni di marketing, ma anche come un partner crucia-

le delle aziende nelle fasi di co-progettazione e co-produzione degli alimenti.

Una simile visione, denominata di *Consumer Engagement*, presuppone dunque la revisione dei paradigmi interpretativi e di azione che tradizionalmente hanno orientato la relazione fra produttori e consumatori nel campo agro-alimentare, in favore di un nuovo orientamento verso forme di collaborazione, di partecipazione e di partnership maggiormente significative, sostenibili e soddisfacenti per ambo le parti coinvolte.



# Ambiente

## *Il climate change: strategie di adattamento e di mitigazione*

### Cambiamento climatico e agricoltura

Cambiamento climatico e riscaldamento globale sono legati da una relazione causa-effetto e si potrebbe dire che il riscaldamento globale è, oltre ad uno degli aspetti del cambiamento climatico, la sua principale causa. Il riscaldamento climatico è inequivocabile: a partire dagli anni '50, gli aumenti della temperatura sono senza precedenti. L'atmosfera e l'oceano si sono riscaldati, le quantità di neve e ghiaccio sono diminuite e il livello del mare si è alzato. Nell'emisfero Boreale gli ultimi tre decenni sono stati i più caldi a partire dal 1850. Agricoltura e cambiamento climatico sono strettamente connessi. Il settore agricolo europeo nel 2015 è stato responsabile del 10% delle emissioni totali di gas a effetto serra, producendo complessivamente 426.473 kilotonnellate di anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub> eq) proveniente da gas a effetto serra diversi dalla CO<sub>2</sub><sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> EUROSTAT, *Agriculture forestry and fishery statistics*, <https://ec.europa.eu/eurostat/about/policies/copyright>.

Ma se è vero che il settore agricolo contribuisce al cambiamento climatico, è altrettanto vero che l'agricoltura stessa ne risente a causa:

- del cambiamento nell'intensità e nella distribuzione degli eventi piovosi;
- dell'aumento delle temperature;
- della diversa distribuzione delle stagioni;
- degli eventi meteorologici estremi, come ondate di calore, siccità, tempeste e inondazioni.

I sistemi umani e gli ecosistemi in Europa sono vulnerabili ai principali impatti dei cambiamenti climatici. Anche se alcuni possono essere positivi per alcune regioni dell'Europa settentrionale, la maggior parte di essi sarà negativa, colpendo regioni meridionali e sudorientali dell'UE ed esacerbandone la vulnerabilità.

È quindi necessario fronteggiarli percorrendo le strade della mitigazione e dell'adattamento. La prima prevede interventi per ridurre le emissioni di gas serra e stabilizzare la loro concentrazione in atmosfera attorno a valori che consentano di contenere l'aumento di temperatura entro limiti sostenibili. L'adattamento, invece, si pone l'obiettivo di limitare i rischi del cambiamento climatico attraverso l'adeguamento dei sistemi naturali e antropici.

Di seguito verranno affrontate le strategie di mitigazione e adattamento applicabili ai sistemi agricoli e zootecnici, nell'ottica di delineare i migliori scenari di sviluppo per il futuro e le relative implicazioni per la ricerca e per la didattica.



## Strategie di mitigazione e adattamento nelle produzioni agricole

L'incremento della temperatura globale svolge un'azione diretta sul ciclo fenologico e sulla fisiologia delle piante, ed un'azione indiretta influenzando dinamiche fondamentali quali il ciclo dell'acqua. Le strategie di mitigazione sono volte a limitare l'incremento delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera; le strategie di adattamento, invece, ad adeguare le tecniche e le colture alle nuove condizioni ambientali.

### *Strategie di mitigazione*

Il suolo costituisce una delle più grandi riserve di carbonio (C) sul nostro pianeta, contenendo circa il doppio del C presente in atmosfera e tre volte quello trattenuto dalla vegetazione. Preservare gli stock di C esistenti nei suoli o addirittura aumentarli è la prima e più efficace opzione da considerare.

In tal senso, il settore agricolo, attraverso le pratiche di gestione degli agro-ecosistemi può offrire un notevole contributo, aumentando il sequestro di CO<sub>2</sub> nel suolo, sotto forma di carbonio organico, e riducendo le emissioni di potenti GHGs, come il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), che trova nell'agricoltura la principale fonte emissiva nazionale<sup>2</sup>.

Tali sistemi, definibili come conservativi, si basano

---

<sup>2</sup> ISPRA, *Italian greenhouse gas inventory 1990-2018*, National Inventory Report 2020.

sull'impiego di tecnologie di agricoltura di precisione, pratiche agricole conservative (lavorazioni ridotte, non-lavorazione), rotazioni colturali equilibrate, consociazioni funzionali e colture di copertura appropriate. Altre strategie per l'incremento dello stock di carbonio sono l'adozione di sistemi agroforestali che potrebbero portare ad una riduzione del 43% delle emissioni europee di GHG a fronte di un limitato uso di suolo.

### *Strategie di adattamento*

Nel medio-lungo termine la selezione di colture tolleranti agli stress da alte temperature rappresenta una opportunità sebbene non facile in quanto la sensibilità a questa condizione è diversa tra le specie e varia durante il ciclo vegetativo di ogni pianta. Le recenti tecniche molecolari hanno permesso di stabilire che la resistenza e la tolleranza alle alte temperature sono controllate da numerosi geni, e in particolare che è fondamentale lo studio di specie selvatiche affini a quelle coltivate in quanto le forme spontanee sono spesso più tolleranti a stress abiotici di varia natura. Nelle piante arboree, un importante ruolo viene giocato dall'individuazione di portinnesti capaci di una migliore esplorazione del terreno coprendo un maggiore volume di suolo, e quindi sfruttando una maggiore riserva di acqua disponibile, e che consentano di sostenere la maggiore traspirazione causata dall'incremento delle temperature. Nel breve termine sono applicabili tecniche che mirano a dissipare il calore in eccesso, come irrigazioni climatizzanti, o che vadano a determinare una riduzione della radiazione assorbita dalla chioma, come

trattamenti fogliari che formano film riflettenti o l'utilizzo di reti ombreggianti.

## Strategie di mitigazione e adattamento nelle produzioni animali

Gli allevamenti zootecnici contribuiscono al 14,5% delle emissioni totali annuali di gas serra antropogenici a livello globale<sup>3</sup>. Il settore delle produzioni animali contribuisce indirettamente alle emissioni di gas serra principalmente dovute all'utilizzo del terreno e all'impiego di fertilizzanti chimici e lavorazioni per la produzione di alimenti zootecnici. Le emissioni dirette da fonti animali includono la fermentazione enterica, e le deiezioni<sup>4</sup>. A queste si aggiungono quelle che avvengono a monte del processo aziendale e includono, per esempio, le emissioni dovute alla produzione industriale degli input utilizzati in azienda (fertilizzanti, combustibili, macchinari ecc.).

La categoria di animali che contribuiscono maggiormente sono i bovini da carne che contribuiscono con il 41% delle emissioni, seguito da bovini da latte (20%), suini (9%), bufali (8%), pollame (8%) e piccoli ruminanti (6%).

---

<sup>3</sup> P.J. GERBER - H. STEINFELD - B. HENDERSON - B. MOTTET - A. OPIO - C. DIJKMAN - J. FALCUCCI - G. TEMPIO, *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*, FAO, Rome 2013.

<sup>4</sup> T. JUNGBLUTH - E. HARTUNG - G. BROSE, *Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores*, in «Nutr. Cycl. Agroecosyst.», 2001, 60, pp. 133-145.

Le misure di adattamento comportano modifiche ai sistemi di produzione e alla loro gestione, modifiche delle strategie di allevamento, cambiamenti istituzionali e delle politiche agrarie, e richiedono progressi della scienza e della tecnologia applicata all'allevamento zootecnico. Alcune delle opzioni tecniche riguardano il sequestro del carbonio, il miglioramento delle diete per ridurre la fermentazione enterica, il miglioramento della gestione delle deiezioni e un uso più efficiente dei fertilizzanti.

L'agrosilvicoltura può essere una soluzione per mantenere l'equilibrio tra produzione agricola, protezione ambientale e sequestro del carbonio. I sistemi misti coltura-allevamento possono migliorare l'efficienza producendo più cibo usando meno risorse, come l'acqua e il suolo. Particolare risalto va dato alla cosiddetta 'gestione sistemica' delle risorse di un territorio che necessitano però strategie politiche mirate.

## Il ruolo del miglioramento genetico

Il primo passo verso la selezione di animali zootecnici resistenti ai cambiamenti climatici è l'identificazione delle varianti genetiche con valore adattativo e la comprensione dei meccanismi fisiologici che rendono alcune razze locali in grado di prosperare in ambienti estremi.

Il secondo passo è la definizione degli obiettivi della selezione. Al miglioramento della quantità e l'efficienza delle produzioni deve essere affiancata la tolleranza, ad esempio, all'aumento della temperatura. La disponibilità di un'ampia biodiversità zootecnica accresce la probabi-

lità di identificare razze già adattate a condizioni climatiche critiche, o di allevare e produrre in ambienti subottimali.

Infine, per raggiungere lo scopo, occorre scegliere la strategia di miglioramento genetico più efficace. Le opzioni disponibili spaziano dalla selezione in purezza, all'utilizzo dell'incrocio controllato, fino alla introgressione di geni utili e, in *estrema ratio*, alla sostituzione delle razze presenti con altre più adattate.

Nel miglioramento genetico per l'adattamento gli strumenti di ultima generazione offrono prospettive e opportunità interessanti.

## *Le energie rinnovabili e i biomateriali*

### La bioeconomia

La bioeconomia, fondandosi sulla produzione e trasformazione di biomasse derivanti da animali, vegetali e microrganismi, coinvolge tutti i settori e i sistemi che si basano sulle risorse biologiche. Per sua natura la bioeconomia sostiene filiere integrate che, adottando principi di circolarità, sono fortemente connesse al territorio e, se ben gestite, permettono di aumentare la sostenibilità della produzione agricola. Per queste sue caratteristiche la bioeconomia riveste un ruolo centrale nel processo di transizione ecologica, in particolare sostenendo la produzione e l'impiego di fonti energetiche sostenibili e biomateriali. Un concetto centrale per lo sviluppo sostenibile della bioeconomia è quello di bioraffineria costituita da

processi integrati e ottimizzati in grado di massimizzare l'utilizzo di tutte le frazioni della biomassa, per trasformarle in un ampio spettro di prodotti ad elevato valore aggiunto, e di ridurre gli scarti.

Al fine di ottimizzare le caratteristiche qualitative della biomassa e di derivarne il massimo valore aggiunto possibile si applica il concetto di bio-cascading, o utilizzo sequenziale delle risorse per cui si deve evitare un uso diretto delle biomasse per la produzione di energia, favorendo utilizzi intermedi, a elevato valore aggiunto, seguiti da riutilizzi e ricicli per l'ottenimento di ulteriori prodotti, mentre la conversione energetica viene lasciata come ultimo passaggio della catena.

## Le bioenergie da colture dedicate

A partire dagli anni '90, grazie alle politiche volte a ridurre le cause del cambiamento climatico, sono cresciuti gli investimenti sulle bioenergie di 'prima generazione'. Queste, in mancanza di espliciti criteri per valutarne la sostenibilità, hanno avuto un impatto modesto sulla riduzione delle emissioni climalteranti e conseguenze ambientali negative, quali, ad esempio, l'abbattimento di foreste tropicali per dare spazio a piantagioni di palma da olio per soddisfare la domanda crescente di biodiesel. I criteri di sostenibilità, sanciti dalle più recenti direttive della UE sulle bioenergie, Renewable Energy Directive (RED) 1 del 2009 e la RED 2 del 2018, hanno quindi spostato l'attenzione verso le bioenergie di seconda generazione, che in larga parte si basano su tecnologie in

grado di saccarificare biomasse lignocellulosiche per la produzione di bioetanolo, e verso l'impiego di biomasse residuali o di scarto, mentre la coltivazione di specie dedicate è limitata ai terreni marginali non idonei alla produzione di cibo. Tra le ultime, grande rilevanza hanno specie graminacee rizomatose, quali il miscanto, la canna comune o il panico vergato, ed arboree a ciclo breve di ceduzione, quali pioppo, salice o robinia. Le coltivazioni poliennali da biomassa hanno dimostrato, in numerose sperimentazioni condotte in progetti di ricerca nazionali e internazionali partecipati dalla nostra Facoltà, di aumentare la fertilità del terreno e contribuire al sequestro di carbonio. Possono inoltre essere coltivate lungo i corsi d'acqua e ai margini dei campi per ridurre la lisciviazione e il trasporto nelle acque superficiali dei nitrati e di altri nutrienti. Garantendo una copertura continua ed abbondante del suolo fornisco un riparo per numerosi animali, favorendo quindi la biodiversità.

### Le bioenergie da sottoprodotti

Come le biomasse da colture dedicate, anche quelle da sottoprodotti (definiti dal D.lgs. 205/2010) possono essere destinate alla produzione di energia attraverso molteplici tecnologie. Considerando la diffusione sul territorio e la versatilità degli impianti di biogas, ci riferiremo in particolare alla digestione anaerobica. Il biogas consiste in una miscela di metano e anidride carbonica derivante dalla conversione biologica della biomassa in

assenza di ossigeno, in cui prendono parte complessi consorzi microbici. Nella digestione anaerobica, il ciclo di vita del carbonio e dell'azoto si chiudono con l'utilizzo del materiale in uscita dell'impianto (digestato) come fertilizzante, contribuendo alla circolarità dei sistemi agroindustriali. La valorizzazione energetica del biogas avviene tramite impianti CHP (Combined Heat and Power), che garantiscono la produzione contemporanea di energia elettrica e calore, con emissioni di molecole inquinanti relativamente basso. Si stanno tuttavia diffondendo tecnologie per l'upgrading del biogas (55% di metano) a biometano (95% di metano). Tali tecnologie si basano su tecniche fisico-chimiche oppure biologiche. Ad oggi, esistono cinque tecnologie fisico-chimiche a livello di maturità tecnologica commerciale e sono basate su assorbimento, adsorbimento e separazione tramite membrane. Tuttavia, l'upgrading del biogas di tipo biologico risulta più vantaggioso e meno costoso in quanto non si basa sulla rimozione della  $\text{CO}_2$  ma sulla sua conversione in ulteriore  $\text{CH}_4$  ad opera di microrganismi specializzati.

È importante sottolineare che per rendere tale metodo totalmente rinnovabile, l'idrogeno richiesto per la reazione deve a sua volta derivare da fonti rinnovabili. Per questo motivo si è concepita l'idea di sfruttare il processo di elettrolisi dell'acqua per produrre l'idrogeno necessario, utilizzando il surplus di elettricità generata da pale eoliche o pannelli solari. In questo contesto si sviluppa la tecnologia definita come 'power to gas' (P2G).



## Il fotovoltaico in agricoltura

La persecuzione degli ambiziosi obiettivi della transizione energetica potrà essere solo in parte soddisfatta dall'integrazione dei pannelli fotovoltaici su edifici e si stima che a breve si dovranno installare pannelli su circa 50.000 ha di suolo. Se da un lato è auspicabile che questa superficie provenga da spazi marginali, di basso valore ecologico, dall'altro si potrebbero sviluppare tecnologie agrivoltaiche, che integrano sullo stesso terreno pannelli fotovoltaici e coltivazioni agricole. Le ricerche in corso indicano che sotto l'agrivoltaico le colture aumentano l'efficienza d'uso dell'acqua, tollerano meglio le temperature elevate e sono protette da eventi meteorologici potenzialmente dannosi. In alcuni contesti l'agrivoltaico può quindi costituire un'opportunità per le aziende agricole e anche per i cittadini, che potrebbero creare comunità energetiche imperniata su sistemi agrivoltaici sviluppati in ambienti peri-urbani. Va in questa direzione il progetto dell'Università Cattolica del Sacro Cuore che intende costruire presso la sede di Piacenza un impianto agrovoltaico da 500 KW, in cui verranno effettuate sperimentazioni, realizzati orti sociali e, anche con l'aiuto degli studenti, saranno coltivati ortaggi per la mensa universitaria.

## I biomateriali e i prodotti alimentari

Pur non essendo il principale elemento responsabile dell'impatto ambientale dell'alimento, l'imballaggio è

spesso percepito dal consumatore come tale, in quanto componente fisico che il consumatore si trova a toccare, usare e smaltire più volte al giorno.

La sostenibilità complessiva dell'imballaggio dipende dal materiale costitutivo, ma anche dalle sue prestazioni sull'alimento. Ipotizzando una *shelf-life* costante dell'alimento, l'impatto ambientale dell'imballaggio può essere migliorato introducendo opzioni di fine vita che includano il riciclaggio o il compostaggio, oppure utilizzando biomasse rinnovabili. Negli ultimi anni c'è stato un notevole incremento nell'utilizzo della carta, tuttavia, le linee guida della CE alla Direttiva SUP hanno chiarito che solo i prodotti a base carta senza alcun rivestimento plastico sono identificati come alternative sostenibili ai prodotti plastici mono-uso (SUP). Molto si è investito sulle bioplastiche, termine che include plastiche biodegradabili, di origine (anche parziale) naturale (non fossile) (cosiddette bio-based), e che soddisfino entrambi i requisiti. La definizione non fa alcun riferimento alle proprietà di riciclabilità o compostabilità. Alcuni dei polimeri naturali su cui si è più investito, quali il polilattico e i poliidrossialcanoati, sono stati ricondotti al gruppo delle plastiche dalle linee guida SUP, in quanto il processo di polimerizzazione avviene in contesti industriali. Nel recepimento della Direttiva SUP, l'Italia si sta battendo per inserire almeno due eccezioni: i rivestimenti in plastica inferiori al 10% del peso totale e i prodotti in materiale biodegradabile e compostabile con percentuali di materia prima rinnovabile minimo del 40% (60% dal 1° gennaio 2024).

Restano altri polimeri naturali che possono essere utilizzati, quali proteine, cellulosa, amido e altri polisaccaridi, con problematiche legate spesso alle limitate prestazioni di barriera dei manufatti ottenuti.

Il ruolo della nostra Facoltà nel settore dei biomateriali per il settore agro-alimentare è molteplice, sia a livello di ricerca e sviluppo, che di didattica. È importante che i nostri laureati sappiano dialogare con tutti i componenti chiave della filiera dei biomateriali, dai produttori, agli utilizzatori, ai consumatori finali.

## *La tutela delle biodiversità*

### Introduzione

La biodiversità rappresenta la variabilità delle forme di vita o varietà degli organismi. Nell'ambito della biodiversità, l'agrobiodiversità rappresenta quella parte di variabilità associata alle specie utili per l'alimentazione e l'agricoltura e ai sistemi agricoli coltivati (agro-ecosistemi). Il tema della biodiversità di piante, animali e microrganismi è fortemente correlato alle attività di ricerca e di trasferimento tecnologico nel settore agro-alimentare, oltre che chiaramente in quello ambientale. Da un lato, infatti, l'agricoltura ha rappresentato storicamente un impatto negativo sulla biodiversità, specialmente quando espandendosi in zone naturali ha privilegiato e privilegiato i sistemi in mono-coltura. D'altro canto, i principali enti internazionali, Nazioni Unite in testa, riconoscono all'agricoltura un ruolo di primo piano nell'essere parte

della soluzione ai problemi di erosione della biodiversità. Tale contributo positivo rientra nei principi dell'agricoltura sostenibile, trattati anche in altri capitoli di questo volume. Come vedremo nel presente capitolo sono in atto iniziative e ricerche anche nella nostra Facoltà volte a misurare, valorizzare e tutelare la biodiversità di piante, animali e microorganismi.

La biodiversità animale e vegetale e la sua conservazione

La nascita dell'agricoltura, avvenuta nel corso della cosiddetta 'Rivoluzione del Neolitico' circa 10.000 anni fa, ha costituito una tappa fondamentale per l'evoluzione culturale dell'uomo e lo sviluppo di civiltà complesse, avviando un processo che ha trasformato progressivamente gli ecosistemi naturali in agro-ecosistemi. La domesticazione degli animali e dei vegetali di interesse agrario si verificò a quell'epoca e coinvolse solo un piccolo numero di specie dotate di caratteristiche idonee.

Dopo migliaia di anni di selezione antropogenica e/o naturale, la biodiversità delle piante e degli animali domestici è oggi alla base della sussistenza di quasi 8 miliardi di persone. Le specie domestiche sembrerebbero ben lontane da qualsiasi soglia di rischio di estinzione, ma una lettura dei dati più approfondita rivela una tendenza preoccupante. I dati raccolti indicano che il 7,7% delle razze di animali domestici presenti nel database FAO è classificato come già estinto, il 26,4% è a rischio di estinzione e per il 55,9% delle razze non ci sono informazioni disponibili poiché in molte aree del pianeta il monitoraggio del

livello di rischio non viene effettuato. Riguardo le risorse genetiche vegetali, solo una piccola parte è utilizzata per la produzione alimentare. Infatti, delle 250.000 specie conosciute dall'umanità, più di 30.000 sono commestibili, circa 7.000 sono state utilizzate per l'alimentazione, di queste circa solo 120 sono oggi coltivate, 9 forniscono più del 75% e solo 3 (frumento, mais e riso) forniscono più del 50% di cibo umano. In aggiunta, nell'ambito delle specie coltivate, la perdita di variabilità genetica è stata ampiamente documentata in tutto il mondo. Ad esempio, in Cina, di circa 10.000 varietà di grano coltivate alla fine degli anni '40, solo 1.000 ne erano rimaste trent'anni dopo. Negli Stati Uniti sono andate perdute circa il 95% delle varietà di cavoli, il 91% del mais, il 94% dei piselli, l'86% delle mele e l'81% del pomodoro rispetto a quelle coltivate nel secolo scorso.

La variabilità genetica è alla base della capacità delle specie di adattarsi ai cambiamenti ambientali. Una corretta gestione e conservazione di tale variabilità è quindi la *conditio sine qua non* per rispondere alle future esigenze del mercato alimentare o per selezionare razze di animali e varietà vegetali in grado di adattarsi a nuovi metodi di allevamento e coltivazione o a condizioni ambientali mutate e potenzialmente difficili (impoverimento dei pascoli, scarsità d'acqua, aumento delle temperature, esposizione a nuove malattie legate al cambiamento del clima ecc.).

Una volta identificate le razze, varietà o popolazioni prioritarie, esistono due modalità fondamentali con cui si può attuare la loro conservazione: *in situ* o *ex situ*.

I metodi *in situ* prevedono che i piani di tutela vengano attuati mantenendo le popolazioni all'interno del loro ambiente di origine, dove hanno evoluto le proprie caratteristiche distintive. Nel caso degli animali zootecnici e delle piante coltivate, si parla più spesso di conservazione *on farm*, in cui l'agricoltore è il 'custode' della biodiversità e garantisce la sopravvivenza di razze e varietà a rischio di estinzione. Nei metodi *ex situ* la conservazione viene attuata lontano dal luogo di origine seguendo alcuni principi non mutuamente esclusivi: i) prelievo dall'ambiente originario di un numero adeguato di animali o piante, che vengono spostati altrove e tutelati in luoghi appositamente predisposti; ii) raccolta di materiale biologico e sua conservazione nelle 'biobanche'; iii) realizzazione di banche del seme dove vengono conservati i semi delle specie di interesse alimentare e/o d'importanza economica, ma anche specie rare, minacciate, endemiche e protette per poterne tentare una successiva reintroduzione.

È inevitabile che agricoltura intensiva e conservazione della biodiversità siano in contrasto. Ma le razze e le varietà moderne sono state selezionate partendo da una elevatissima variabilità genetica disponibile proprio nelle tipologie locali. È indispensabile che questa diversità biologica non vada perduta proprio perché necessaria a garantire una fonte di geni utili per sviluppare nuove caratteristiche adatte a condizioni ambientali e di mercato in continua evoluzione. In sintesi, agricoltura industriale e conservazione della biodiversità devono essere rese compatibili, perché strettamente legate, e proprio le

biotecnologie possono permettere di ottimizzare questo processo.

## La biodiversità microbica e la sua conservazione

Uno degli aspetti più sorprendenti dei microorganismi riguarda la loro diversità, in parte ancora non del tutto conosciuta, che è anche alla base della loro capacità di adattamento a praticamente qualsiasi condizione ecologica esistente sulla Terra e forse anche su altri pianeti. Le stime attuali basate sullo studio del DNA ci dicono che potrebbero esistere sino a 1,6 milioni di specie di batteri ed archaea; al momento sono però state descritte solo 21.000 specie circa.

Studi molto importanti hanno dimostrato che specialmente in condizioni di stress specie presenti in proporzioni molto basse possono crescere sino a diventare persino dominanti. È il caso, ad esempio, di batteri e funghi in grado di degradare xenobiotici organici quali pesticidi o derivati dal petrolio, o di batteri con attività biostimolante il cui ruolo diventa cruciale in determinate condizioni di stress biotico o abiotico. L'ecologia microbica ci sta quindi insegnando il ruolo fondamentale che i microorganismi svolgono nel garantire la produttività degli ecosistemi agrari, la qualità dei comparti ambientali, la salubrità e la sicurezza degli alimenti. Dalla conoscenza ci si sta quindi avvicinando al concetto di gestione: con il termine di 'microbial resource management' si intendono tutte le attività volte a gestire in modo ottimale i microorganismi.

Un primo grande tema è il cosiddetto ‘bioprospecting’, ovvero l’esplorazione della biodiversità finalizzata alla scoperta di nuove risorse naturali con valore economico e sociale. Dal punto di vista microbiologico ciò significa studiare matrici di diverso tipo (alimenti, suoli, sedimenti, acque, aria, rifiuti) al fine di individuare, isolare e caratterizzare microorganismi con funzioni utili: ad esempio, starters per la produzione di alimenti, probiotici per l’uomo o gli animali, ceppi in grado di stimolare la crescita o la difesa delle piante, o di degradare sostanze inquinanti. L’approccio, quindi, è quello di coltivare in laboratorio i ceppi di interesse, caratterizzarli (anche tramite la genomica, discussa in un altro capitolo) e conservarli in appropriate collezioni microbiche tramite liofilizzazione o crioconservazione. Le collezioni microbiche comprendono sia collezioni private universitarie (quella della nostra Facoltà contiene diverse migliaia di ceppi) che collezioni pubbliche presso le quali è possibile depositare o reperire ceppi di interesse. I microorganismi così isolati e conservati possono poi essere utilizzati per scopi di ricerca e/o applicativi, in settori industriali di dimensioni anche molto cospicue, basti pensare ai probiotici o più recentemente ai microorganismi biostimolanti.

Una visione integrata della biodiversità dei sistemi agrari, alimentari e ambientali

Piante ed animali vivono in strette ed importanti simbiosi ed interazioni con microorganismi, oltre ovviamente alle interazioni trofiche che legano tutti e tre i gruppi



tra loro. La ricerca sulla biodiversità, sui suoi ruoli e la sua tutela e gestione diventa quindi sempre più interdisciplinare, come dimostrato dai numerosi progetti di Facoltà che coinvolgono insieme, tra gli altri, agronomi, microbiologi, fisiologi, zootecnici, nutrizionisti, patologi ed entomologi. Gli esempi sono numerosi: tra questi possiamo ricordare il settore della nutrigenomica, che studia le interazioni tra nutrizione animale, genetica e fisiologia animale e metagenomica microbica per migliorare il benessere e le performance animali; il settore dei microrganismi utili in agricoltura, nel quale agronomi, microbiologi, fitopatologi ed entomologi studiano le interazioni tra la biodiversità di microrganismi utili, microrganismi patogeni, insetti e piante, così da sviluppare nuove strategie di gestione agraria meno impattanti sull'ambiente e meno dipendenti dall'uso di sostanze chimiche di sintesi.

### *Residui, contaminazione e tracciabilità nel food system*

La sicurezza alimentare è definita come la garanzia che il cibo non possa causare danni al consumatore quando viene preparato e/o consumato secondo l'uso previsto. La qualità del cibo è invece definita dalla ISO come l'insieme delle caratteristiche di un prodotto che riguardano la sua capacità di soddisfare gli standard o i bisogni del cliente. I contaminanti chimici rientrano sia nel concetto di sicurezza che di qualità alimentare. All'interno dell'UE definiamo i contaminanti chimici negli alimenti come

«sostanze che non sono state aggiunte intenzionalmente agli alimenti, che possono essere presenti negli alimenti come risultato delle varie fasi della loro produzione, imballaggio, trasporto o conservazione».

I contaminanti ambientali: rischi emergenti e recenti trend analitici

Paracelso (medico, alchimista svizzero, 1493-1541) sosteneva, a ragione, che «tutte le sostanze sono veleni. La giusta dose differenzia il rimedio dal veleno». Gli *inquinanti ambientali* sono sostanze presenti nell'ambiente che arrecano danno agli organismi viventi. La loro origine può essere sia di natura antropica che naturale.

Quelli *emergenti* sono tipicamente presenti a basse concentrazioni e non sono ancora soggetti a particolari restrizioni. Solitamente non rientrano in campagne di monitoraggio ambientale di routine. Intorno a loro sono cresciute le preoccupazioni legate ai loro potenziali effetti negativi di (eco)tossicità. Il rischio nasce dal fatto che sono persistenti e/o si bioaccumulano negli organismi rappresentando un problema di lunga durata.

Classi comuni di tali sostanze sono: estrogeni naturali e sintetici, fitofarmaci, sostanze farmaceutiche e veterinarie, disinfettanti e biocidi, composti chimici usati in cosmetica, negli alimenti, nell'industria chimica oltre a nanomateriali, bisfenolo A (BPA), composti perfluoroalchilici (PFAS), microplastiche e fragranze.

Il comportamento nell'ambiente dipende da diversi fattori. La mobilità, la bioaccessibilità, la biodisponibi-

lità delle differenti sostanze chimiche sono aspetti fondamentali per una corretta stima del rischio per gli esseri viventi (organismi *bersaglio*).

Questi studi si avvalgono di misure sperimentali e la bontà del processo analitico impiegato riveste un ruolo essenziale. A tale scopo è nata la rete NORMAN ([www.norman-network.net](http://www.norman-network.net)) che raggruppa autorità competenti per offrire supporto tecnico e scientifico per migliorare lo scambio di informazioni sui contaminanti ambientali emergenti.

## I residui alimentari e la tutela del consumatore

La contaminazione degli alimenti può verificarsi naturalmente o risultare da pratiche di coltivazione o processi di produzione. Produrre cibo totalmente assente da ogni contaminazione è irrealistico, per quanto idealmente desiderabile. La domanda cruciale, in questo contesto, è: come determinare la soglia tra sicuro e non tollerabile? Alcuni contaminanti possono essere ‘accettabili’ negli alimenti a certi livelli o al di sotto di essi, mentre altri contaminanti non sono ammessi. Nel determinare il livello accettabile di un contaminante dobbiamo prendere in considerazione sia il livello ritenuto sicuro per il consumo mediante valutazione tossicologica, sia i livelli più bassi che possono essere raggiunti utilizzando le migliori pratiche industriali (in tal caso riferito ai principi ALARA - *As Low As Reasonably Achievable*).

I livelli massimi di residui (MRL), sono i valori normativi legalmente vincolanti. Uno strumento pubblico, uti-

lizzato per verificare la conformità dei prodotti alimentari con gli MRL, è il controllo ufficiale dei prodotti alimentari (in Italia in carico ad AUSL ed Istituto Superiore di Sanità). Si tratta di un programma coordinato di monitoraggio dell'UE volto ad escludere che gli alimenti presenti sul mercato contengano residui di contaminanti ad un livello superiore agli MRL.

Non dobbiamo tuttavia dimenticare, a fianco dei contaminanti, anche il rischio di adulterazione che, nel mercato globale di oggi, ha una portata sempre maggiore.

### Tracciabilità alimentare e autenticità: metodi genetici

La diagnostica fondata sull'utilizzo e analisi degli acidi nucleici, in particolare del DNA, sta acquistando sempre maggiore rilevanza nel settore agro-alimentare, sebbene non sia ancora così comune e diffusa come nella diagnostica medica umana e nelle indagini forensi. I principali ambiti di intervento sono collegati alla possibilità di identificare: la presenza/assenza di una particolare specie, vegetale o animale; la presenza di una varietà o razza specifica; la presenza di ingredienti derivati da organismi geneticamente modificati (OGM) o da organismi ottenuti mediante l'utilizzo delle più recenti tecniche di Genome Editing; la presenza di microrganismi patogeni.

L'applicazione di metodi genetici è basata sui seguenti presupposti: 1) gli acidi nucleici, in particolare il DNA, sono presenti in qualsiasi prodotto di derivazione animale o vegetale; 2) il DNA risulta relativamente resistente

alla degradazione, pertanto, nonostante le lavorazioni subite dagli ingredienti nel processo produttivo determinino frammentazione del DNA, è sempre possibile estrarne quantitativi sufficienti ad essere analizzati.

Rispetto ad altri metodi analitici, le analisi del DNA sono le uniche in grado di fornire indicazioni risolutive circa la presenza di una determinata specie e, nell'ambito della specie, di una particolare varietà o razza. In aggiunta, esse possono essere anche utilizzate per valutazioni quantitative sull'abbondanza di un particolare materiale in una miscela complessa, con particolare riferimento alla determinazione della presenza di OGM.

Le principali limitazioni relative all'applicazione delle analisi del DNA sono legate al fatto che il processo produttivo può degradare il DNA contenuto negli ingredienti e questo, benché non rappresenti un limite invalicabile, può influenzare la scelta del metodo analitico e i risultati delle analisi.

Recentemente, in aggiunta ad approcci più classici, sono state applicate tecniche innovative basate sulle metodologie di sequenziamento di nuova generazione (NGS, Next Generation Sequencing). L'NGS consente di generare, in poco tempo, quantitativi elevati di dati di sequenza, permettendo di caratterizzare approfonditamente l'informazione genetica immagazzinata in un genoma. Considerati i quantitativi molto elevati di dati generati, è importante potere disporre di competenze bioinformatiche per la gestione di tali Big Data.

## Tracciabilità alimentare e autenticità: metodi chimici

La tracciabilità alimentare indica la possibilità di seguire e quindi 'tracciare' ogni fase del percorso produttivo di un alimento, considerando l'intera filiera dello stesso in accordo ad un approccio 'from farm to fork'.

La conoscenza dell'intero percorso di un prodotto agroalimentare lungo la filiera permette di valutare la provenienza delle materie prime impiegate, il modo ed il luogo in cui sono state coltivate, la tipologia di trattamenti chimici che hanno subito o il tempo di raccolta, di macellazione e di preparazione.

I metodi di riconoscimento delle adulterazioni e gli studi di classificazione descritti sinora sono basati sulla determinazione quali- e quantitativa di analiti, siano essi elementi, composti o isotopi. Ad oggi, ci sono diverse tecniche chimico-strumentali per lo studio di tracciabilità ed autenticità di prodotto. Di seguito sono illustrate le più significative.

L'analisi degli isotopi stabili, sulla base dei differenti rapporti isotopici, permette di riconoscere molecole o elementi presenti in alimenti, aventi la stessa struttura chimica ma provenienti da materie prime diverse o elaborate con processi diversi, per esempio per sintesi biologica o industriale.

Le tecniche di analisi elementare, e in particolare quelle di spettroscopia atomica, sono in grado di determinare elementi a livello di tracce e ultratracce. Spesso questi elementi fungono da marcatori, fornendo informazioni sull'origine delle materie prime di un prodotto

alimentare. Le tecniche più nuove e di maggior utilità per l'autenticazione in campo agroalimentare sono le seguenti: spettroscopia di emissione atomica con plasma (ICP-AES); spettrometria di massa con plasma (ICP-MS).

Tra le tecniche più performanti vi sono anche le tecniche cromatografiche, utilizzate per separare e identificare singolarmente i componenti di una miscela complessa. Negli ultimi dieci anni, uno sviluppo importante della cromatografia è stato l'interfacciamento alla spettrometria di massa per ottenere strumenti ibridi ad alta risoluzione, in modo da valutare l'impronta chimica di un alimento, considerando le variazioni dei piccoli metaboliti (analisi nota come metabolomica non mirata) principalmente legati alle varie fasi del processo produttivo o all'origine dello stesso.

### *L'economia circolare e gli obiettivi di sviluppo sostenibile*

Nel 2014 la Commissione Europea (CE) ha elaborato un piano ambizioso fatto di un pacchetto di misure integrate con l'obiettivo non solo di ridurre la produzione di rifiuti, ma anche di promuovere la transizione verso un'economia circolare. Pertanto, il 2 dicembre 2015 la CE ha adottato la Comunicazione *L'anello mancante. Piano d'azione europeo per l'economia circolare*<sup>5</sup> e nel marzo 2020 ha proposto il

---

<sup>5</sup> CE 2015, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, *L'anello mancante* -

nuovo piano d'azione per l'economia circolare<sup>6</sup>. L'UE, infatti, si è pienamente impegnata a realizzare l'Agenda 2030 rilasciata dalle Nazioni Unite nel settembre 2015, come indicato nel Green Deal Europeo<sup>7</sup> e nel documento di lavoro dei servizi della CE *Delivering on the UN's Sustainable Development Goals*<sup>8</sup>. La strategia della CE *Dal produttore al consumatore per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente*<sup>9</sup> allinea crescita economica, cura dell'ambiente, attenzione alla salute, inclusione sociale ed è centrale per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite. Le indicazioni avanzate dalla CE chiamano a conversione l'intero sistema agro-alimentare. I decisori politici dovranno promuovere in modo corale la ricerca e la messa in pratica dei risultati della stes-

---

*Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, COM(2015) 614 final, Bruxelles, 2.12.2015.

<sup>6</sup> CE 2020, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva*, COM(2020) 98 final, Bruxelles, 11.3.2020.

<sup>7</sup> CE 2019, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, *The European Green Deal*, COM(2019) 640 final, Brussels, 11.12.2019

<sup>8</sup> COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT (2020), *Delivering on the UN's Sustainable Development Goals – A comprehensive approach*, SWD (2020) 400 final, Brussels, 18.11.2020.

<sup>9</sup> CE 2020, COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI, *Una strategia 'dal produttore al consumatore' per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente*.



sa, appoggiando finanziariamente i produttori nell'adozione delle innovazioni. Ma anche i consumatori svolgeranno un ruolo fondamentale diventando consapevoli che ogni scelta di consumo è atto di forte valore politico e simbolico. Per il loro coinvolgimento saranno fondamentali le campagne informative così come un'etichettatura chiara, semplice e armonizzata a livello UE sul valore nutrizionale e sugli impatti sociali e ambientali di ciascun prodotto, comprendendo tra questi anche la circolarità. Per facilitare il raggiungimento dell'Agenda 2030, nel febbraio 2021 è stata avviata dalla CE e dal programma ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) l'Alleanza Globale sull'Economia Circolare e l'Efficienza delle Risorse (GACERE)<sup>10</sup>.

## Scenari futuri e implicazioni per la ricerca

Il passaggio a un'economia circolare nel settore agro-alimentare comporta grandi sforzi in termini di ricerca. Dal lato della produzione è fondamentale fare avanzamenti per capire come poter ottenere nuovi prodotti dagli scarti del settore agro-alimentare e come applicare approcci di economia circolare in agricoltura. Una volta sviluppati i prodotti, è importante valutarne l'accettabilità dei consumatori<sup>11</sup>, soprattutto con riferimento ai

---

<sup>10</sup> [https://ec.europa.eu/environment/international\\_issues/gacere.html](https://ec.europa.eu/environment/international_issues/gacere.html).

<sup>11</sup> S. CODERONI - M.A. PERITO, *Sustainable consumption in the circular economy. An analysis of consumers' purchase intentions for waste-to-value food*, in «Journal of Cleaner Production», vol. 252, 10 April 2020, 119870.

consumatori più giovani che influenzano il mercato attuale e futuro<sup>12</sup>.

Ogni azione mirata a promuovere la circolarità ha necessariamente bisogno di una misurazione. Ma come si può misurare la circolarità nel settore agro-alimentare? Mentre per l'industria alimentare e per la distribuzione la cosa potrebbe essere più semplice e standardizzata, la specificità del settore agricolo rende necessario sviluppare indicatori di sostenibilità *ad hoc*<sup>13</sup>.

### L'economia circolare nel settore agricolo

Nell'ottica dell'economia circolare l'agricoltura può offrire una moltitudine di opportunità. Per esempio, considerando che la scarsità d'acqua e l'inquinamento delle acque sono due delle maggiori sfide che l'umanità deve affrontare a livello globale, il riuso dell'acqua in agricoltura, settore che copre il 70% dei prelievi di acqua dolce, diventa un tema particolarmente rilevante per sviluppi di ricerca futuri. A questo si aggiunge il riutilizzo e la valorizzazione dei residui e dei reflui del settore zootecnico le cui strategie di riutilizzo, ad

---

<sup>12</sup> S. CODERONI - M.A. PERITO, *Approaches for reducing wastes in the agricultural sector. An analysis of Millennials' willingness to buy food with upcycled ingredients*, in «Waste Management», 2021, 126, pp. 283-290.

<sup>13</sup> L. ROCCHI - L. PAOLOTTI - C. CORTINA - F.F. FAGIOLI - A. BOGGIA, *Measuring circularity: an application of modified Material Circularity Indicator to agricultural systems*, in «Agricultural and Food Economics», 2021, 9 (1), pp. 1-13.

oggi, non sono particolarmente vantaggiose dal punto di vista economico. Questo settore, infatti, è una parte fondamentale della moderna economia globale e in Europa è responsabile dell'81-86% delle emissioni associate al settore agricolo, che sono circa il 10% del totale delle emissioni di gas serra.

Inoltre, il settore agricolo produce grandi quantità di scarti. Tra i metodi per la loro valorizzazione vanno menzionati quelli che prevedono l'impiego per la loro conversione di varie specie di insetti, tra i quali riscuote interesse il Dittero Stratiomyidae, *Hermetia illucens*, le cui larve hanno una elevata capacità di adattarsi a substrati molto differenti convertendoli in biomassa larvale ad alto contenuto nutrizionale ed energetico. Questi processi sono di interesse sia a livello accademico che a livello industriale per il possibile impiego degli insetti per la produzione di mangimi e/o cibo, nonostante in Europa esistano ancora grandi vuoti legislativi e/o fortissime limitazioni a questi utilizzi<sup>14 15 16</sup>.

---

<sup>14</sup> A. VAN HUIS - B.A. RUMPOLD - H.J. VAN DER FELS KLERX - J.K. TOMBERLIN, *Advancing edible insects as food and feed in a circular economy*, in «Journal of Insects as Food and Feed», 2021, 7(5), pp. 935-948.

<sup>15</sup> L. PINOTTI - M. OTTOBONI, *Substrate as insect feed for biomass production*, in «Journal of Insects as Food and Feed», 2021, 7 (5), pp. 585-596.

<sup>16</sup> M. CHAVEZ - M. UCHANSKI, *Insect left-over substrate as plant fertiliser*, in «Journal of Insects as Food and Feed», 2021, 7 (5), pp. 683-694.

## L'economia circolare nell'industria alimentare

Le soluzioni per ridurre, recuperare e riciclare gli sprechi alimentari includono diverse opzioni attuali ed emergenti che per essere efficienti e largamente applicate, devono essere fattibili sia economicamente, sia tecnicamente, e sostenibili secondo le tre dimensioni: sociale, economica e ambientale. Infatti, nonostante le potenzialità permangono diverse criticità che includono, per esempio, aspetti logistici di raccolta e stabilizzazione dei residui, il costo e l'impatto ambientale dei processi di frazionamento/estrazione, e aspetti legali di definizione dei sottoprodotti.

Alcune delle possibili valorizzazioni sono processi consolidati, anche se non sempre ottimizzati. Si pensi ai pectici utilizzati nell'industria alimentare e da sempre recuperati dalle bucce di mela o agrumi residue dai processi di lavorazione che oggi sono oggetto di crescente interesse per le fibre funzionali utili, per esempio, in specifiche applicazioni alimentari di tendenza.

Il recupero di coloranti da sottoprodotti è tradizionale, ma oggetto di ricerca continua per lo sviluppo di sistemi di estrazione più sostenibili che trovino alternative all'impiego di solvente e riducano i consumi di energia e acqua. Inoltre, la ricerca è rivolta a massimizzare e preservare, sia in fase di estrazione che di impiego, le altre funzionalità benefiche spesso associate a quella colorante.

La componente proteica degli scarti è di interesse per la crescente richiesta di proteine per l'alimentazione umana e animale. In questo caso si studiano processi di separazione e idrolisi che possano generare peptidi spe-

cifici e funzionali non solo per aspetti nutrizionali, ma anche tecnologici. Inoltre, sono allo studio processi di fermentazione di scarti vegetali, tra i quali la coltivazione di funghi edibili. Tale opzione permette di sfruttare il processo di fermentazione allo stato solido per valorizzare residui e scarti vegetali producendo cibo sostenibile. La biomassa fungina è ricca in fibre e proteine, mentre il substrato esausto ricco degli enzimi extracellulari prodotti dal fungo durante la sua crescita può avere svariate applicazioni industriali nel settore alimentare, cosmetico e farmaceutico. Infine, acidi grassi insaturi interessanti per l'elevato valore nutrizionale o per altre applicazioni sono tradizionalmente estratti dai prodotti e dai sottoprodotti ittici.



## GLI AUTORI

Ajmone Marsan Paolo

Amaducci Stefano

Arata Linda

Bassani Andrea

Bassi Daniela

Battilani Paola

Bavaresco Luigi

Beone Gian Maria

Bertuzzi Terenzio

Boccaletti Stefano

Busconi Matteo

Caffi Tito

Callegari Maria Luisa

Camardo Leggieri Marco

Canali Gabriele

Cappa Fabrizio

---

\* Elenco completo dei docenti della Facoltà di Scienze agrarie, alimentari e ambientali all'1/11/2021.

Capri Ettore  
Castellari Elena  
Cocconcelli Pier Sandro  
Coderoni Silvia  
Colli Licia  
Dall'Asta Margherita  
Dordoni Roberta  
Fedele Giorgia  
Ferrarini Andrea  
Fiorini Andrea  
Fontana Alessandra  
Fornari Edoardo  
Frioni Tommaso  
Gabrielli Mario  
Gallo Antonio  
Gatti Marina  
Gatti Matteo  
Giorni Paola  
Giuberti Gianluca  
Gonano Stefano  
Graffigna Guendalina  
Lamastra Lucrezia  
Lambri Milena  
Lanciotti Claudia  
Languasco Luca



Lanubile Alessandra  
Lucchini Franco  
Lucini Luigi  
Marocco Adriano  
Masoero Francesco  
Mazzoni Emanuele  
Minuti Andrea  
Morelli Lorenzo  
Moschini Maurizio  
Negri Ilaria  
Negrini Riccardo  
Nicoli Aldini Rinaldo  
Patrone Vania  
Piccioli Cappelli Fiorenzo  
Poni Stefano  
Prandini Aldo  
Puglisi Edoardo  
Rama Daniele  
Rebecchi Annalisa  
Rossi Filippo  
Rossi Vittorio  
Sckokai Paolo  
Soregaroli Claudio  
Spigno Giorgia  
Suciu Nicoleta

Tabaglio Vincenzo

Tombesi Sergio

Trevisan Marco

Trevisi Erminio

Vercesi Alberto



Finito di stampare  
nel mese di novembre 2021  
da Litografia Solari  
Peschiera Borromeo (Mi)







