

CAPITOLO III

PRODUTTIVITÀ E SOSTENIBILITÀ IN AGRICOLTURA PER FRONTEGGIARE LE CRITICITÀ AMBIENTALI

SIMONE ORLANDINI, GIULIA GALLI

3.1. La macchina del clima

L'enciclopedia Treccani definisce il *bilancio termico globale* come «differenza tra la radiazione che arriva dal Sole sul nostro pianeta e quella rimmessa dal sistema terrestre verso lo spazio», e dà come risultato la radiazione netta. Tale bilancio non è uguale su tutto il globo: il picco di radiazione netta è concentrato sulla fascia equatoriale e diminuisce progressivamente avvicinandosi ai poli, poiché «l'asse di rotazione terrestre è quasi perpendicolare al piano dell'orbita intorno al sole». Questa disomogeneità nella distribuzione dell'energia influenza le correnti oceaniche e la circolazione atmosferica, muovendo masse di aria calda e fredda dai poli verso la fascia equatoriale e viceversa. Su scala locale, i movimenti delle masse d'aria, insieme alla distribuzione dei rilievi e dei corpi idrici, alla topografia e all'uso del suolo, determinano le aree climatiche, classificabili anche in funzione della scala spaziale e temporale di riferimento.

3.1.1. *L'effetto serra*

I raggi solari che colpiscono la Terra vengono in parte riflessi dall'atmosfera, in parte la penetrano. Nel secondo caso, una volta che

raggiungono la superficie terrestre, vengono assorbiti e riflessi in proporzione variabile in funzione dell'albedo della superficie. Successivamente, l'energia accumulata dalla superficie terrestre viene riemessa sotto forma di raggi infra-rossi (ovvero radiazione termica), che rimangono intrappolati al di sotto dello strato atmosferico. Tale fenomeno avviene perché alcuni gas presenti in atmosfera (denominati, appunto, *gas serra*) impediscono il passaggio della radiazione proveniente dalla superficie terrestre (Figura 3.1). Se da una parte questo fenomeno rende possibile la vita sulla Terra – senza, infatti, la temperatura terrestre sarebbe di circa $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – dall'altra, l'aumento della concentrazione di tali gas rappresenta la causa primaria del cambiamento climatico.

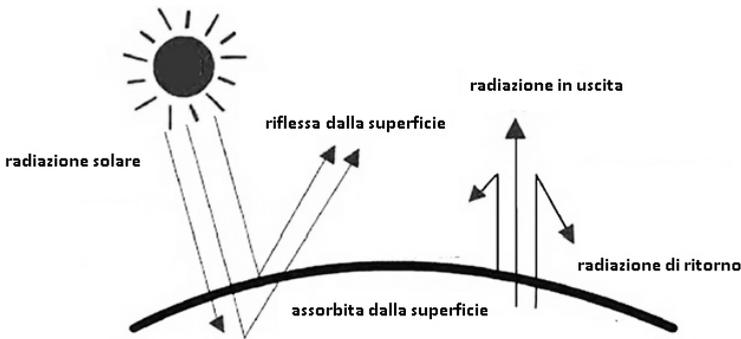


Figura 3. 1. Rappresentazione schematica dell'effetto serra.

I gas serra sono metano (CH_4), anidride carbonica (CO_2), ossido di azoto (N_2O), vapore acqueo (H_2O) e i clorofluorocarburi (CFC). Essi possono essere emessi, direttamente o indirettamente, da attività antropiche: il metano deriva principalmente da paludi, combustibili fossili, discariche, allevamento di animali ruminanti, risaie e combustione di biomassa; la CO_2 dal consumo di combustibili fossili, industrie e cambio di uso del suolo; l' N_2O da terreni agricoli, allevamento di bestiame e industria chimica.

Dalla seconda Rivoluzione Industriale in poi (avvenuta nella seconda metà del XIX secolo) si è assistito a un aumento delle emissioni dei gas serra e, conseguentemente, a un incremento delle loro concentrazioni in

atmosfera, a causa della diffusione delle industrie e dello sviluppo economico dei Paesi europei. Questa tendenza è cresciuta gradualmente e sta continuando ancora oggi. Per fare un esempio, la concentrazione della sola CO₂ è passata da circa 336 ppm nel 1979 a 418 ppm nel 2023 (Figura 3.2).

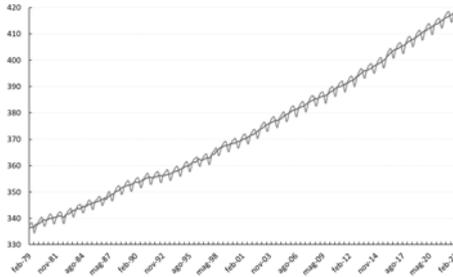


Figura 3.2. Concentrazione di CO₂ atmosferica mensile (linea ondulata) e annuale (linea continua) dal 1979 al 2023. (Grafico elaborato da dati di Our World in Data).

3.1.2. *Interconnessioni delle sfide globali*

Sebbene gran parte delle emissioni avvenga nei Paesi più ricchi e industrializzati (Stati Uniti, Europa, Giappone, Corea, negli ultimi anni Cina, Brasile, India), gli effetti si ripercuotono maggiormente sui Paesi in via di sviluppo, spesso già caratterizzati da climi estremi (soprattutto il continente africano e il sud-est asiatico). In queste regioni, le popolazioni devono fronteggiare alluvioni, innalzamento del livello del mare, siccità, processi di desertificazione e impoverimento dei suoli e, di conseguenza, malnutrizione e crisi alimentari. Tali fenomeni, sempre più ricorrenti a causa del cambiamento climatico, rendono inabitabili le regioni colpite, costringendo le popolazioni a lasciare le loro zone d'origine: la Banca Mondiale ha stimato che entro il 2050 le persone costrette a spostarsi all'interno del proprio paese – i così detti *migranti* o *rifugiati climatici* – saranno circa 216 milioni. È quindi chiaro che, in un'epoca caratterizzata dalla globalizzazione, è necessario prendere provvedimenti a livello mondiale per agire su tutti i settori; secondo il World Economic Forum, infatti, contrastando la crisi climatica si avrebbero effetti positivi sulla sicurezza alimentare, sulla sicurezza idrica, su povertà, benessere (World

Economic Forum, 2011). L'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), l'organo delle Nazioni Unite che studia e monitora il cambiamento climatico antropico e che ogni anno pubblica un report sul suo andamento, ha calcolato che la temperatura media mondiale ha superato di 1 °C i livelli pre-industriali e ha stimato che un ulteriore aumento di 1.5 °C comporterebbe effetti catastrofici (Pörtner et al., 2022). A fronte di questi scenari, negli anni si sono susseguiti incontri fra Paesi in cui sono stati firmati accordi internazionali per la riduzione delle emissioni. Fra i più importanti ci furono il protocollo di Kyoto, firmato dai paesi membri dell'ONU nel 1997, e l'accordo di Parigi del 2015, con cui i Paesi firmatari si impegnavano a contenere l'aumento della temperatura ben al di sotto di 2 °C, possibilmente entro 1.5 °C (Consiglio dell'Unione Europea, 2023). Nello stesso anno è anche stata sottoscritta dai membri ONU l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, una lista di 17 obiettivi che costituiscono un quadro di azione e cooperazione internazionale in ambito sociale, economico, ambientale, politico. Anche l'Unione Europea ha formulato un piano di azione in linea con gli accordi internazionali approvando nel 2021 la legge europea sul clima, che vincola giuridicamente gli Stati membri a promulgare leggi per ridurre del 50% le emissioni di gas serra entro il 2030 e raggiungere la neutralità carbonica (ovvero l'equilibrio fra emissioni e sequestri di carbonio) nel 2050.

3.2. Gli effetti

Seppur in modo più o meno marcato e con ripercussioni di diverso tipo, tutte le aree del pianeta sono interessate e subiscono gli effetti del cambiamento climatico. In generale, si osservano variazioni di tendenza, persistenza, intensità e frequenza dei fenomeni climatici. In Italia, gli effetti si esprimono principalmente con la tendenza all'aumento della temperatura e della siccità unita a cambiamenti nella distribuzione delle precipitazioni. In Toscana, i dati forniti annualmente dal Consorzio LaMMA indicano come si sia verificato un aumento della temperatura media di 1.2 °C in 50 anni (cioè dal 1955 al 2022, ovvero +0.6 °C rispetto alla media del periodo 1981-2010 e +0.2 °C rispetto al 1991-2020). Tale innalzamento è da imputare principalmente alle temperature estive, che

hanno mostrato un aumento più marcato rispetto alle altre stagioni: la media estiva nelle Province di Arezzo, Firenze, Grosseto e Pisa è infatti aumentata di 2.1 °C negli ultimi 50 anni (fino ad arrivare a +4 °C se si prende come riferimento il periodo 1961-1990) (Figura 3.3). Oltre alle temperature, anche le ondate di calore sono aumentate. Questo fenomeno è definito dai tecnici del LaMMA come un periodo che dura da 3 a 6 giorni («ondata di calore breve») oppure pari o superiore a 7 giorni («ondata di calore lunga») consecutivi in cui la temperatura, sia minima che massima, è molto sopra la media. In Toscana nel 2022 ci sono state 1 ondata di calore lunga e 4 brevi (Consorzio LaMMA, 2022).

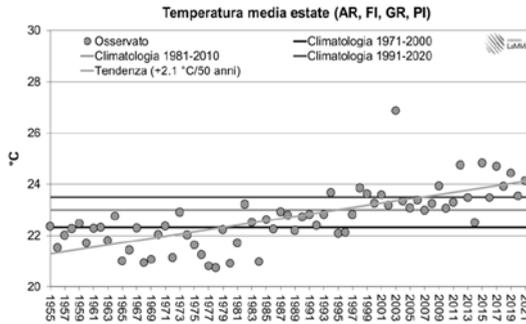


Figura 3.3. Aumento della temperatura media delle estati dal 1955 al 2022 nelle provincie di Arezzo, Firenze, Grosseto e Pisa, con riferimento alla media di tre serie di annate. (Consorzio LaMMA, <http://www.lamma.toscana.it/news/estate-2022-la-seconda-piu-calda-di-sempre>).

Per quanto riguarda gli inverni, questi sono sempre più miti (con un aumento della temperatura media invernale toscana di 0.9 °C dal 1955) e gli episodi di «giorni molto freddi» (ovvero i giorni caratterizzati da una temperatura media giornaliera inferiore di almeno una deviazione standard rispetto al normale) sempre più rari (Consorzio LaMMA, 2021) (Figura 3.4). Un altro aspetto legato all’instabilità delle temperature dovuta al cambiamento climatico sono le gelate tardive, la cui frequenza non è variata sostanzialmente, ma è aumentata la loro pericolosità, poiché sempre più spesso anticipate da temperature miti.



Figura 3.4. Numero di giorni molto freddi in inverno negli inverni dal 1955-56 al 2020-21 nelle provincie di Arezzo, Firenze, Grosseto e Pisa. (Consorzio LaMMA, <https://www.lamma.toscana.it/news/inverno-2020-21-il-secondo-piu-piovoso-degli-ultimi-60-anni>).

Le gelate tardive sono particolarmente pericolose per l'agricoltura, poiché possono verificarsi dopo la ripresa vegetativa delle piante e danneggiare le giovani strutture vegetative, come gemme o fiori.

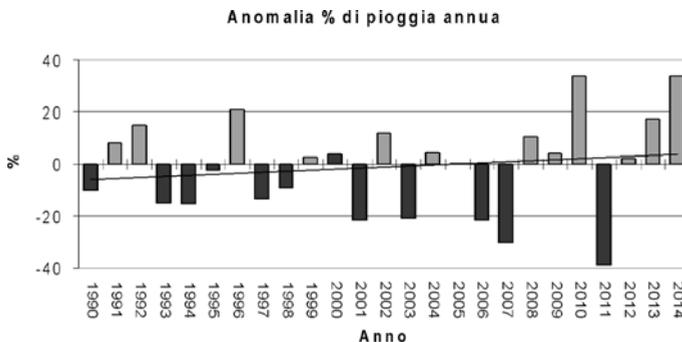


Figura 3.5. Anomalia (%) di pioggia annuale dal 1990 al 2014. Gli istogrammi chiari rappresentano surplus pluviometrici, quelli scuri rappresentano anni con deficit pluviometrico. (Consorzio LaMMA, Cambiamenti climatici in Toscana 1990-2015).

Per quanto riguarda le precipitazioni, in Toscana piove in modo diverso. Anche se i quantitativi annuali sono pressappoco costanti, si assiste all'alternarsi di annate in cui si hanno surplus di pioggia ad annate di deficit, il cui divario è sempre più marcato anno dopo anno (Figura 3.5). Inoltre, il cambiamento del regime pluviometrico è evidente, con piogge molto intense legate alle alte temperature raggiunte dal mare e

dall'atmosfera, seguiti da periodi prolungati di siccità. Questo mette a dura prova le attività produttive, a partire dal settore primario, e porta progressivamente ad un impoverimento delle riserve idriche.

3.3. Gli impatti

L'agricoltura è sia una delle principali fonti di gas serra, sia una delle prime vittime del riscaldamento globale. Per quanto riguarda le specie vegetali – coltivate e non – i fattori che hanno più impatto sono CO₂, temperatura, acqua.

3.3.1. CO₂

Da un lato, un'alta concentrazione di CO₂ atmosferica può avere effetti positivi sulle produzioni vegetali, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo, in termini di riduzione della respirazione notturna, aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua, maggior produzione di antiossidanti, incremento della fotosintesi nelle piante C3 e, in generale, maggiori produzioni. Dall'altro, però, tende a ridurre il raffreddamento evaporativo, produce minori quantità di micro- e macronutrienti, limita la fotosintesi oltre un certo limite (acclimatazione fotosintetica), riducendo così la qualità delle produzioni. L'aumento di CO₂, tuttavia, è solitamente accompagnato dall'aumento delle temperature e, per questo motivo, gli eventuali effetti positivi che comporterebbe in quanto a resa e qualità sono annullati dal concomitante aumento delle temperature (Bisbis et al., 2018).

3.3.2. Temperatura

Le piante reagiscono in diversi modi allo stress termico: prima di tutto, tendono ad aprire gli stomi per cercare di raffreddare i propri tessuti aumentando l'evapotraspirazione, ma perdendo così liquidi e riducendo l'uso efficiente di acqua. Inoltre, subiscono stress ossidativo, la crescita e la produzione vengono arrestate o ridotte e la germinazione dei semi è

inibita. La temperatura influisce anche sulla fisiologia vegetale, ad esempio sulla fioritura.

Le piante, infatti, devono accumulare una certa quantità di freddo (espressa in *unità di freddo*, UF, ovvero il numero di ore con temperatura inferiore a 7 °C) affinché superino la dormienza invernale e riprendano l'attività vegetativa. Questo fabbisogno, quantitativamente diverso da specie a specie, deve essere soddisfatto durante le stagioni autunnale e invernale; pertanto, inverni miti portano a un ritardo o al mancato accumulo di UF. A seconda della posizione geografica, si possono osservare tendenze diverse: in zone caratterizzate da inverni più miti, l'aumento delle temperature invernali fa sì che la soglia di UF necessarie per la ripresa vegetativa sia raggiunta più tardi (o mai, nei casi più gravi), causando una fioritura ritardata e stentata - le UF, infatti, sono correlate negativamente con l'epoca di fioritura e positivamente con l'intensità di fioritura (Bartolini et al., 2019). In zone con inverni rigidi, il fabbisogno in freddo viene comunque raggiunto, ma in questo caso le temperature invernali più alte accorciano la dormienza e anticipano sia la fioritura che le altre fasi fenologiche (comprese la maturazione e l'epoca di raccolta). Quando ciò accade, il rischio di esposizione alle gelate tardive aumenta (Kunz e Blanke, 2022). L'aumento della temperatura influisce anche sulla qualità interna ed esterna delle produzioni: specialmente nelle colture orticole, colpi di calore possono causare bruciature apicali, rottura dei frutti, forma e dimensione alterate; modificare la quantità di zuccheri, amido, macro e micronutrienti e altre sostanze (Bisbis et al., 2018). Infine, l'aumento generale delle temperature causa la variazione degli areali e delle stagioni di produzione. In particolare, si osservano tre tendenze principali:

1. l'espansione degli areali di produzione di certe colture anche in zone tradizionalmente non vocate
2. l'ampliamento della stagione produttiva
3. lo spostamento degli areali di produzione verso nord e quote maggiori, con graduale abbandono delle zone meridionali.

3.3.3. *Acqua*

Le piante reagiscono allo stress idrico in vari modi: al contrario dello stress termico, tendono a chiudere gli stomi per ridurre la traspirazione, inibendo però la fotosintesi; anche in questo caso vanno incontro a stress ossidativo, alla riduzione o all'arresto della crescita e della produzione, fino a subire danni cellulari. Anche la mancanza d'acqua può influenzare la fisiologia: per esempio, la germinazione dei semi è ritardata, si verifica uno squilibrio fra lo sviluppo delle radici e delle strutture epigee, la produzione di polline è ridotta. Inoltre, la produzione è minore sia per quantità che per qualità e il tasso di germinazione risulta ridotto (Dietz et al., 2021).

3.3.4. *Patogeni*

Un importante aspetto relativo agli impatti dei cambiamenti climatici in agricoltura è l'effetto sui patogeni e sugli insetti. L'aumento delle temperature, della concentrazione di CO₂ e la variazione dei regimi pluviometrici possono avere conseguenze in termini di aumento del numero di generazioni all'anno, poiché si estende la stagione favorevole allo sviluppo di parassiti; spostamento o ampliamento dell'areale di diffusione, a causa della variazione del clima a livello regionale; aumento dell'intensità di attacco per condizioni climatiche favorevoli o mancanza di nemici naturali; variazione degli equilibri nell'interazione pianta-patogeno; maggior suscettibilità nelle piante sottoposte ad altri stress (per esempio idrico o termico); maggior probabilità di diffusione di specie aliene invasive che possono trovare ambienti favorevoli al loro sviluppo. Tutto questo rende molto difficile l'adozione di idonei protocolli di difesa con conseguenze talvolta drammatiche in termini di danni alle colture e alla vegetazione.

3.4. **Adattamento e mitigazione**

Al di là del settore agricolo, i sistemi antropici risentono integralmente degli effetti della crisi climatica, in misura diversa a seconda del loro grado di vulnerabilità, e cioè della suscettibilità di far fronte agli effetti nega-

tivi dei cambiamenti climatici, compresa la variabilità e gli estremi atmosferici o della resilienza con cui fanno fronte ad eventi traumatici in maniera positiva. Dal momento che parte degli effetti negativi in atto sono ormai irreversibili, è necessario elaborare strategie per convivere con il cambiamento climatico. Esse possono essere identificate, da un lato, con l'*adattamento*, ovvero modificando azioni e comportamenti umani per limitare i danni e, dall'altro, con la *mitigazione* e cioè agendo sulle cause per diminuire le emissioni di gas serra e aumentare il sequestro di carbonio. Entrambe le strategie sono necessarie per fronteggiare le conseguenze della crisi climatica, ma devono essere pianificate accuratamente e implementate, soprattutto le seconde. Infatti, se l'efficacia dell'adattamento ha ripercussioni sul presente, le azioni di mitigazione avranno effetto sul lungo termine. L'agricoltura può e deve avere un ruolo centrale nella lotta al cambiamento climatico, pertanto modificare gli attuali sistemi di produzione agricola è di fondamentale importanza.

3.4.1. *Strategie di adattamento*

In agricoltura, le strategie di adattamento possono essere divise in due categorie, a seconda che siano attuabili nel breve o lungo termine. Le prime interessano: (1) la gestione dei sistemi colturali (avvalendosi di tecnologie di miglioramento genetico, che permettono di selezionare varietà con requisiti termici specifici o con rese meno variabili; modificando le pratiche agronomiche in termini di date di semina e lavorazioni; migliorando l'uso di fertilizzanti e pesticidi); (2) la conservazione della risorsa idrica nel suolo, per esempio riducendo le lavorazioni per minimizzare l'evaporazione (tecniche di lavorazione minima, lavorazione conservativa, pacciamatura) o gestendo al meglio l'irrigazione, somministrando quantità d'acqua calibrate secondo le reali esigenze colturali e per mezzo di impianti di irrigazione efficienti.

L'adattamento di lungo periodo, invece, include: (1) la pianificazione nell'assegnazione dei terreni alle varie colture per ottimizzarne o stabilizzarne la produzione; (2) lo sviluppo di designer-cultivar che si adattino rapidamente agli stress climatici e biotici (calore, acqua, insetti nocivi, malattie); (3) la sostituzione di certe colture con altre per conservare

l'umidità del suolo; (4) l'alterazione del microclima per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua (ad esempio costruendo barriere frangivento, eseguendo tecniche di taglio incrociato o multi colmo); (5) i cambiamenti nella gestione dei nutrienti per migliorare crescita e resa delle colture.

3.4.2. *Strategie di mitigazione*

Le strategie di mitigazione concorrono a stabilizzare le concentrazioni atmosferiche dei gas serra ad un livello non pericoloso per i sistemi fisici e biofisici attraverso due azioni:

1. la diminuzione delle emissioni (tramite l'uso razionale dell'energia e di nuovi vettori energetici, l'efficienza energetica, la produzione di bioenergie da colture e residui agricoli);
2. l'aumento degli assorbimenti (tramite la forestazione e riforestazione e l'adozione di pratiche agricole e forestali per il sequestro di carbonio nel suolo).

Altri interventi che riguardano il settore agricolo possono essere: (1) la corretta gestione delle colture (per ciò che concerne l'agronomia, la gestione dei nutrienti, la gestione del suolo e dei residui, la gestione delle risorse idriche, la messa a riposo degli appezzamenti, il cambio di destinazione d'uso del suolo); (2) il miglioramento della gestione del pascolo (in quanto a intensità di pascolo, aumento della produttività, gestione dei nutrienti, gestione degli incendi, introduzione delle specie); (3) il ripristino delle terre degradate con benefici nel controllo dell'erosione, modifiche nel contenuto di sostanza organica e di nutrienti; (4) il miglioramento della gestione delle produzioni animali, attuando cambiamenti strutturali e gestionali; (5) la gestione del letame (sua migliore conservazione e manipolazione, trasformazione tramite digestione anaerobica, uso più efficiente come fonte di nutrienti); (6) la produzione di bioenergia dai residui colturali.

3.5. Innovazione sostenibile

A partire dagli anni '90, la comunità internazionale ha cominciato a riunirsi periodicamente (tramite le COP, Conference of the Parties) per trovare soluzioni per ridurre le emissioni di gas serra. Il primo risultato significativo fu raggiunto nel 1997 con l'accordo di Kyoto, con cui i Paesi sviluppati si impegnavano in modo giuridicamente vincolante a raggiungere l'obiettivo di ridurre del 5% rispetto ai livelli del 1990 le emissioni di gas serra. Successivamente, vennero organizzate altre COP, fra cui la più significativa fu quella di Parigi del 2015, in cui i Paesi firmatari si impegnavano a mantenere l'aumento totale della temperatura ben al di sotto dei 2 °C, possibilmente entro 1.5 °C. Oltre alle COP, altri incontri sono stati periodicamente organizzati da Organismi internazionali allo scopo di stabilire quali obiettivi e azioni intraprendere. Alcuni dei risultati più recenti sono rappresentati dall'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (ONU) e dal Green Deal europeo.

3.5.1. *Agenda 2030*

Nel 2015 l'Organizzazione delle Nazioni Unite ha redatto l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, incentrata su 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs) che gli Stati membri si impegnano a raggiungere. I SDGs, a loro volta divisi in traguardi interni, sono i seguenti:

1. Sconfiggere la povertà
2. Sconfiggere la fame
3. Salute e benessere
4. Istruzione di qualità
5. Parità di genere
6. Acqua pulita e servizi igienico-sanitari
7. Energia pulita e accessibile
8. Lavoro dignitoso e crescita economica
9. Imprese, innovazione e infrastrutture
10. Ridurre le disuguaglianze
11. Città e comunità sostenibili

12. Consumo e produzione responsabili
13. Lotta contro il cambiamento climatico
14. Vita sott'acqua
15. Vita sulla Terra
16. Pace, giustizia e istituzioni solide
17. Partnership per gli obiettivi

L'agricoltura è direttamente coinvolta in alcuni dei SDGs (per esempio i numero 2, 3, 7, 11, 12, 13, 14 e 15) e indirettamente con gli altri, in quanto tutti gli obiettivi sono strettamente interconnessi l'uno con l'altro. Nell'Agenda 2030 non sono incluse solamente le problematiche ambientali o climatiche. La sostenibilità, infatti, è definita come la condizione di uno sviluppo in grado di assicurare il soddisfacimento dei bisogni della generazione presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di realizzare i propri (Treccani, 2023) e comprende tanto gli aspetti ambientali quanto quelli economici e sociali. Pertanto, anche l'agricoltura, perché sia sostenibile, deve i) garantire produzioni economicamente vantaggiose per gli agricoltori, ii) assicurare la sicurezza sul lavoro di tutti gli operatori e iii) migliorare la sua impronta ambientale riducendo le emissioni di gas serra e aumentando i sequestri di carbonio.

3.5.2. *European Green Deal e PAC*

Nel 2021 il Parlamento Europeo ha approvato la legge europea sul clima (European Green Deal), che rende giuridicamente vincolante l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra del 55% entro il 2030 e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Una delle sue azioni chiave è la strategia *From Farm to Fork*, un piano messo a punto dalla Commissione europea per raggiungere un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente (Commissione Europea, 2023). Essa non è vincolante di per sé, ma rappresenta una sorta di guida per gli Stati che dovranno sviluppare politiche in linea con la Politica Agricola Comune (PAC). Gli obiettivi fissati dal green deal per il settore agroalimentare sono:

1. garantire la sicurezza alimentare;
2. ridurre l'impronta carbonica e ambientale del sistema alimentare europeo e rafforzarne la resilienza;
3. guidare una transizione globale verso una sostenibilità competitiva.

La PAC, quindi, allinea l'agricoltura al Green Deal, in particolare con gli obiettivi di i) costruire un sistema alimentare sostenibile attraverso la strategia *farm-to-fork*; ii) integrare una nuova strategia sulla biodiversità tutelando e migliorando la varietà di piante e animali nell'ecosistema rurale; iii) aggiornare e sostenere la strategia forestale, mantenendo le foreste in buono stato; iv) contribuire a un piano d'azione per l'azzeramento dell'inquinamento, salvaguardando risorse naturali quali l'acqua, l'aria e il suolo; v) contribuire in generale all'azione per il clima del Green Deal per conseguire l'obiettivo di azzerare le emissioni nette nell'UE entro il 2050.

La strategia *farm-to-fork* fissa quattro obiettivi principali in altrettanti settori, obiettivi che il sistema agricolo europeo dovrà raggiungere entro il 2030. Essi sono: 1) ridurre del 50% l'uso di pesticidi chimici di sintesi; 2) dimezzare la perdita di nutrienti nel suolo, mantenendone al tempo stesso la fertilità, e ridurre di almeno il 20% l'uso di fertilizzanti; 3) ridurre del 50% le vendite di antimicrobici per gli animali d'allevamento e per l'acquacoltura; 4) aumentare la percentuale di terreni agricoli a coltivazione biologica (+25%). Questi numeri possono sembrare ambiziosi o addirittura irrealistici da concretizzare, ma possono essere raggiunti se sarà attuata una ripianificazione generale dei sistemi agricoli. Per esempio, l'obiettivo di diminuzione dell'uso di pesticidi chimici può essere raggiunto solo tramite una gestione integrata (*integrated pest management*, IPM), ovvero avvalendosi di sistemi di monitoraggio delle popolazioni o delle infezioni dei patogeni, determinando soglie di tolleranza e di intervento, applicando mezzi di difesa fisici e/o biologici, pianificando strategie anti-resistenza e impiegando prodotti di sintesi come ultima scelta e solo in assenza di alternative. Se questo tipo di gestione non sarà applicata, si stima che si avrà una perdita di produzione del 20-40% co-

me conseguenza dell'abolizione dei pesticidi (Lykogianni et al., 2021). Quanto all'obiettivo di dimezzare la perdita di nutrienti, ciò sarà possibile grazie all'adozione di innovazioni tecnologiche che permettano di mettere in campo sistemi sempre più efficienti di agricoltura di precisione.

3.5.3. *Intensificazione sostenibile*

Di fatto, la sfida posta dai provvedimenti legislativi citati è riuscire ad aumentare la produttività diminuendo gli impatti, concetto riassumibile con *intensificazione sostenibile*. Con questo termine si intende l'aumento delle rese agricole e il relativo guadagno per unità di spazio e tempo senza causare impatti negativi su suolo, atmosfera e acqua ed evitando di pregiudicare l'integrità degli ecosistemi (Cassman e Grassini, 2020). L'intensificazione sostenibile si può intendere in termini di: rese per unità di input (energia, acqua, nutrienti); richiesta di input; impatto sulla qualità del suolo; impatto sulle risorse naturali e sugli ecosistemi. Può inoltre essere pianificata sia a livello locale (campo, azienda, regione) sia a livello nazionale o globale.

Fra i principi cardine dell'intensificazione sostenibile ci sono: (1) la riduzione dell'uso del suolo e l'impiego di risorse rinnovabili; (2) migliorare l'efficienza d'uso delle risorse e ottimizzare l'applicazione di input esterni; (3) sfruttare le differenze fra cultivar per adattare le colture alle caratteristiche pedo-climatiche dei territori; (4) la diversificazione delle produzioni (per evitare il rischio di una perdita totale di guadagno in caso di un'annata sfavorevole per certe colture ma non per altre); (5) ridurre lo spreco alimentare. Per allineare la gestione dell'azienda agricola a tali principi, è possibile mettere in atto pratiche quali: (1) *conservation tillage* (ovvero una gestione del suolo che implichi il minor numero possibile di lavorazioni meccaniche); (2) la rotazione colturale; (3) l'inserimento, a fianco della coltura principale, di cover *crops* e *intercropping* (per garantire la copertura permanente del suolo, nonché la protezione dello stesso e della risorsa idrica); (4) attuare una difesa integrata (cioè una difesa fitosanitaria che si avvale di mezzi meccanici e biologici, piuttosto che chimici); (5) sfruttare i benefici del miglioramento genetico; (6) la gestione ottimale dell'irrigazione tramite sistemi di distribuzione di precisione e

altamente efficienti; (7) l'inclusione di sistemi di acquacoltura o di allevamento che re-impieghino i co-prodotti, chiudendo il ciclo produttivo.

3.5.4. *Innovazione e prospettive*

Nell'agricoltura italiana, attualmente, le maggiori criticità sono rappresentate dalla riduzione del contenuto di sostanza organica nei suoli, dalla bassa efficienza della concimazione e conseguente perdita di nutrienti, dagli alti livelli di degradazione ed erosione del suolo, dall'impiego massiccio di fitofarmaci, dalla progressiva riduzione della disponibilità di acqua irrigua, dall'ingente produzione di rifiuti e residui e dagli elevati consumi energetici. In questo scenario, l'innovazione tecnologica rappresenta un'opportunità per una miglior gestione futura dei sistemi agricoli. Le tecnologie informatiche come *internet of things*, *intelligenza artificiale*, *cloud computing* e altro sono e dovranno essere sempre più diffuse e accessibili agli operatori del settore.

La diffusione e la continua evoluzione dei sistemi di supporto decisionale (DSS) è indicativa di come le tecnologie informatiche possano aiutare gli agricoltori a decidere, come appunto suggerisce il nome stesso, se e come agire durante tutte le fasi della gestione colturale. I DSS, basati su tecnologie ICT (Information and Communications Technology, cioè l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni), sono in grado di raccogliere ed elaborare dati in tempo reale così da fornire informazioni riguardanti tutti gli aspetti legati alla coltivazione, dalla densità di semina, alla distribuzione sito-specifica di nutrienti, alla previsione delle infestazioni di parassiti o malattie, alla qualità e quantità della produzione. Sulla base dell'output fornito dal DSS, l'agricoltore valuta la situazione corrente e decide se e in che modo operare.

Per far sì che questi strumenti siano sempre più usati, è importante formare operatori del settore (a partire dagli agricoltori fino ai consulenti) che siano in grado di diffondere la conoscenza di tali tecnologie innovative. Questo è possibile solo tramite la formazione continua e l'aggiornamento professionale. È stato dimostrato, infatti, che esiste un gap fra il mondo della ricerca che sviluppa le nuove tecnologie e il mon-

do agricolo che dovrebbe utilizzarle: le pratiche e gli strumenti che maggiormente ridurrebbero l'impatto ambientale della agricoltura trovano ridotto impiego tra gli agricoltori per motivi economici (in termini di minor profitto) poiché spesso troppo costosi (Kleijn et al., 2019). Gli autori dell'indagine suggeriscono che, affinché le strategie di intensificazione sostenibile vengano adottate, è necessario agire su tre fronti: (1) i processi di mercato, che rendano i benefici economici diretti e vantaggiosi per tutti gli operatori; (2) l'opinione pubblica e la sensibilità dei consumatori, che devono cambiare i loro schemi di consumo; (3) gli strumenti regolatori, che devono includere azioni a livello politico-economico a favore di pratiche sostenibili.

In conclusione, le azioni proposte per indirizzare il settore agroalimentare verso una maggior sostenibilità sono:

1. investire in ricerca, innovazione e trasferimento delle conoscenze
2. fare formazione tecnica per i produttori
3. educare i consumatori a un consumo consapevole
4. mettere in atto tecniche agricole e di trasformazione rispettose dell'ambiente, tramite una gestione razionale ed efficiente della risorsa idrica e della fertilizzazione e diffondendo l'agricoltura di precisione
5. gestire al meglio le fonti energetiche e progettare, dove possibile, sistemi di produzione a ciclo chiuso
6. sviluppare un'innovazione tecnologica e un'agricoltura 4.0
7. creare nuovi modelli di economia circolare

BIBLIOGRAFIA

- BARTOLINI S., MASSAI R., IACONA C., GUERRIERO R., VITI, R. *Forty-year investigations on apricot blooming: Evidences of climate change effects*, in «Scientia Horticulturae», vol. 244 (2019), pp. 399–405.
- BISBIS M.B., GRUDA N., BLANKE, M. *Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – A review*, in «Journal of Cleaner Production», vol. 170 (2019), pp. 1602–1620.
- BONAVITA M., *Bilancio termico globale*, in «Enciclopedia della Scienza e della Tecnica», Treccani, Roma 2008.
- CASSMAN K. G., GRASSINI P., *A global perspective on sustainable intensification research*, in «Nature Sustainability», vol. 3(4) (2020), pp. 262–268.
- COMMISSIONE EUROPEA. *Farm to Fork strategy*. Pagina web https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_it. Ultimo accesso il 22/08/2023.
- CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA. *Accordo di Parigi sui cambiamenti climatici*. Pagina web <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>. Ultimo accesso il 21/08/2023.
- CONSORZIO LAMMA. *Cambiamenti climatici in Toscana 1990-2015*, Firenze 2015.
- CONSORZIO LAMMA. *Inverno 2020-21: il secondo più piovoso degli ultimi 60 anni*. Pagina web <https://www.lamma.toscana.it/news/inverno-2020-21-il-secondo-piu-piovosio-degli-ultimi-60-anni>. Ultimo accesso il 22/08/2023.

- CONSORZIO LAMMA. *Estate 2022: la seconda più calda di sempre*. Pagina web
<http://www.lamma.toscana.it/news/estate-2022-la-seconda-piu-calda-di-sempre>.
 Ultimo accesso il 22/08/2023.
- CONSORZIO LAMMA. *Ondata di calore: quale definizione?* Pagina web
<https://www.lamma.toscana.it/news/ondate-di-calore-qual-e-definizione#:~:text=À%20questo%20punto%2C%20quando%20la,di%20calore%20di%20breve%20durata>. Ultimo accesso il 22/08/2023.
- DIETZ K.J., ZÖRB C., GEILFUS C.M. *Drought and crop yield*, in «Plant Biology» vol. 23(6), (2021), pp. 881–893.
- ENCICLOPEDIA TRECCANI, *Sostenibilità*, Enciclopedia on line. Pagina web
<https://www.treccani.it/enciclopedia/sostenibilita#:~:text=sostenibilit%C3%A0%20Nelle%20scienze%20ambientali%20ed,future%20di%20realizzare%20i%20propri>. Ultimo accesso il 23/09/2023.
- KLEIJN D., BOMMARCO R., FIJEN T.P.M., GARIBALDI L.A., POTTS S.G., VAN DER PUTTEN W.H. *Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice*, in «Trends in Ecology & Evolution», vol. 34(2) (2019), pp. 154–166.
- KUNZ A. E BLANKE M. *60 Years on — Effects of Climatic Change on Tree Phenology — A Case Study Using Pome Fruit*, in «Horticulturae» vol. 8, (2022), pp. 110.
- LYKOGIANNI M., BEMPELOU E., KARAMAOUNA F., ALIFERIS, K.A. *Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture*, in «Science of The Total Environment», vol. 795, (2021), pp. 148625.
- OUR WORLD IN DATA. *Global atmospheric CO₂ concentration*. Pagina web
https://ourworldindata.org/explorers/climate-change?facet=none&country=OWID_WRL-Gulkana+Glacier-Lemon+Creek+Glacier-OWID_NAM-South+Cascade+Glacier-Wolverine+Glacier&Metric=CO%E2%82%82+concentrations&Long-run+series=false. Ultimo accesso il 25/08/2023
- PÖRTNER H.O., ROBERTS D.C., POLOCZANSKA E., MINTENBECK K., TIGNOR M., ALEGRIA A., CRAIG M., LANGSDORF S., LÖSCHKE S., MÖLLER V., OKEM A. *IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2022.

THE WORLD BANK. *Climate Change Could Force 216 Million People to Migrate Within Their Own Countries by 2050*, press release NO: 2022/12/CCG, 2021.
<https://www.worldbank.org/en/news/pressrelease/2021/09/13/climate-change-could-force-216-million-people-to-migrate-within-their-own-countries-by-2050>.

WORLD ECONOMIC FORUM. *The Global Risks Report 2011 6th Edition (Issue January)*, 2011. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2011/>