Presidenza del Consiglio dei Ministri
Nucleo Valutazione e Verifica Investimenti Pubblici

Dipartimento per la programmazione e il coordinamento della politica economica

**Marzo/Maggio2025**

**Oggetto: L'impatto dei Cambiamenti Climatici sull'Agricoltura**

## Sommario


**Premessa** ..... **1**

**1. Cambiamenti climatici e Agricoltura** ..... **2**

**2. Cambiamenti climatici futuri: impatto e rischi per l'Agricoltura in Italia** ..... **3**

**3. Mitigazione e adattamento in Agricoltura** ..... **16**

**3.1 Mitigazione nel settore agricolo** ..... 16

**3.2 Adattamento in Agricoltura** ..... 20

**4. Cambiamenti Climatici e Agricoltura: quadro normativo** ..... **24**


## Premessa

Come confermato anche dagli ultimi rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[1] e della World Metereological Organization (WMO)[2], a livello planetario le temperature medie stanno rapidamente salendo, con importanti conseguenze su criosfera, distribuzione e intensità delle precipitazioni, temperature dei mari, frequenza e intensità dei fenomeni meteo estremi. In questo quadro l'area mediterranea rappresenta un "hot spot" del cambiamento climatico, ovvero una regione in cui il clima sta cambiando più rapidamente della media globale. Ciò spiega perché, anche in Italia, negli ultimi decenni si sia osservato un sensibile aumento del numero, intensità e durata delle ondate di calore, una maggior frequenza di eventi piovosi estremi e, al tempo stesso, anche un incremento dei periodi siccitosi. Questo rapido cambiamento delle caratteristiche del clima, inevitabilmente, sta creando grosse difficoltà al settore dell'Agricoltura (produzione vegetale e produzione animale) e, considerando gli scenari climatici futuri, rende necessarie delle tempestive e adeguate azioni di adattamento e mitigazione, nonché un aggiornamento della normativa che regola il settore. In questo documento, viene quindi descritto il modo in cui il cambiamento climatico sta influenzando l'Agricoltura e qual è l'impatto che si stima avrà nel prossimo futuro, alla luce degli scenari climatici più credibili. Inoltre, vengono analizzati gli aspetti relativi alle misure di *adattamento* che è possibile adottare, nonché il contributo in termini di *mitigazione*

[1] AR6, Sixth Assessment Report. IPCC, 2021. https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/ .

[2] State of the Global Climate 2023. WMO-No. 1347.

dei cambiamenti climatici che il settore stesso può fornire. Si ricorda, al riguardo, che con tali espressioni ci si riferisce usualmente a tutte quelle strategie, azioni e comportamenti che contribuiscono a ridurre il più possibile i danni causati dai cambiamenti climatici e trarre beneficio dai loro effetti positivi (*adattamento*), nonché a contrastare e rallentare i cambiamenti climatici futuri, intervenendo sulle cause degli stessi (*mitigazione*)[3]. Obiettivo principale dell'adattamento è quindi quello di rendere popolazione, territorio e attività produttive più "resistenti" agli effetti dei cambiamenti climatici, mentre la mitigazione, attraverso la riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti, mira a rendere meno intensi (e perciò meno pericolosi) i futuri cambiamenti climatici. Azioni di adattamento e mitigazione che per l'Agricoltura appaiono indispensabili. Nell'ultima parte del documento viene descritto l'attuale quadro normativo, con i trattati e le misure di maggior rilievo, sia a livello internazionale che nazionale, riguardanti il rapporto tra clima e Agricoltura.

## 1. Cambiamenti climatici e Agricoltura

In base a un Rapporto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente[4], sono numerose le conseguenze dei cambiamenti climatici sulla **produzione vegetale.** In particolare, si osservano: un sensibile cambiamento del ciclo fenologico (il ciclo vitale delle piante), con anticipo di fioritura e data di raccolta; una maggior richiesta di risorsa idrica, soprattutto a causa di un incremento dei tassi di evapotraspirazione; uno spostamento delle aree idonee alle diverse colture verso latitudini e quote sempre più alte, in risposta all'aumento delle temperature medie; un incremento della produttività nel Nord Europa (condizioni climatiche più favorevoli) e una diminuzione nel Sud Europa (condizioni meno favorevoli); un aumento dei danni causati da eventi meteo-climatici estremi (grandine, alluvioni, siccità, caldo intenso); un incremento dei danni causati da agenti patogeni e insetti nocivi. Un recente studio[5] evidenzia inoltre come, soprattutto oltre i 30° di latitudine (e quindi anche in Italia), l'aumento delle temperature abbia causato un accorciamento della stagione di crescita delle colture, con conseguente diminuzione del contenuto di sostanze nutrienti.

Importante anche l'impatto dei cambiamenti climatici sulla **produzione animale**. Per questo settore si evidenziano soprattutto rilevanti conseguenze sulla capacità di produzione, con significative differenze tra le diverse regioni del continente: in particolare, si riscontrano effetti negativi sulla produttività degli allevamenti e sul benessere del bestiame soprattutto in Europa Meridionale, a causa di peggiori condizioni ambientali, di una riduzione della resa dei pascoli e di una maggior diffusione di agenti patogeni e parassiti; al contrario, si osserva la tendenza a un aumento della produttività degli allevamenti nelle regioni più settentrionali del continente, dove le condizioni climatiche stanno diventando più favorevoli, soprattutto grazie a periodi di freddo meno frequenti e meno intensi.

[3] Cfr., ad es, A. Bonomo, Il potere del clima. Funzioni pubbliche e legalità nella transizione ambientale, Bari, 2023, 88.

[4] Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report No. 04/2029.

[5] Y. Xiangning, Impacts of Global Climate Change on Agricultural Production: A Comprehensive Review. Agronomy 2024.

Nelle pagine che seguono, considerando gli scenari climatici più probabili, si procederà quindi ad analizzare quale sarà, in futuro, l'impatto dei cambiamenti climatici sul settore agricolo.

## 2. Cambiamenti climatici futuri: impatto e rischi per l'Agricoltura in Italia

In base a quanto contenuto nel citato rapporto dell'Agenzia Europea per l'Ambiente, in futuro, nel Sud Europa, le maggiori criticità causate dal cambiamento climatico all'Agricoltura riguarderanno la disponibilità idrica: la produzione agricola e quella animale verranno inevitabilmente limitate dalla difficoltà a garantire un'efficace irrigazione dei campi e un'adeguata fornitura agli allevamenti, dove l'acqua viene utilizzata per abbeverare il bestiame, garantire la pulizia degli ambienti, consentire il funzionamento delle attrezzature ed eseguire la macellazione.

Nel dettaglio, le principali proiezioni climatiche[6] descrivono per l'Italia un futuro caratterizzato da temperature medie in crescita, precipitazioni più irregolari ed eventi meteo-climatici estremi più frequenti – cambiamenti che, inevitabilmente, avranno un forte impatto sull'Agricoltura nel nostro Paese. In base a un recente studio voluto dalla Commissione per l'Agricoltura e lo Sviluppo Rurale del Parlamento Europeo[7], nella parte meridionale del continente (e quindi anche in Italia) i problemi maggiori saranno causati proprio dall'aumento del numero di giorni di caldo intenso e da una maggior frequenza della siccità.

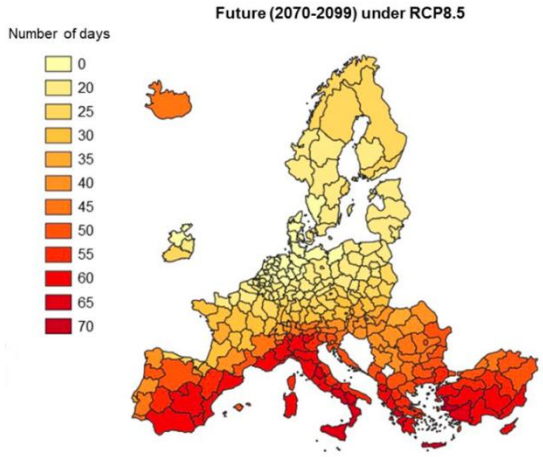



Figura 1: aumento del numero di giorni di caldo intenso per la parte finale del secolo (periodo 2070-2099) rispetto alla media del trentennio 1981-2010, nel caso dello scenario climatico RCP8.5, caratterizzato da rapido aumento delle temperature medie planetarie. (Fonte: EEA, 2022)

[6] Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2023.

[7] The impact of the extreme climate events on agricultural production in the EU. European Parliament, 2023.

In particolare, come descritto in un rapporto del Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)[8], per quel che riguarda le **produzioni vegetali** si osserveranno diverse importanti conseguenze, tra cui: la riduzione di resa dei raccolti per le colture a ciclo primaverile ed estivo (ad esempio mais, girasole, barbabietola da zucchero), quando saranno maggiori i problemi causati da caldo intenso e scarsa disponibilità di acqua; diminuzione della resa del frumento al Sud e Isole, mentre è possibile un incremento al Nord; spostamento verso nord delle aree idonee alla coltivazione di olivo e vite; incremento dei danni da eventi meteo-climatici estremi; aumento dei fabbisogni idrici delle colture (più alti tassi di evapotraspirazione) a fronte di una minor disponibilità di acqua; impatto negativo dell'incremento delle concentrazioni atmosferiche di $CO_2$ sulle proprietà nutrizionali dei prodotti vegetali (ad esempio: meno contenuto proteico nei cereali, con conseguenze peggioramento della qualità di panificazione del grano), ma anche possibile incremento del tasso fotosintetico favorito dalla maggior presenza di questo gas; minor contenuto di minerali quali zinco e ferro.

Tra le colture che in tutta Europa, e in particolare in Italia, soffriranno maggiormente, spiccherà il mais, soprattutto in condizioni di non efficiente irrigazione; scenari più eterogenei invece si prospettano per quel che riguarda il frumento. In particolare, con un aumento delle temperature di 2 gradi rispetto all'era pre-industriale (circa 0,6 gradi in più dello stato attuale) si stima che nel Sud Europa il calo dei raccolti sarà compreso fra il 4% e il 22% in condizioni di efficiente irrigazione e ben al di sopra del 50% (con picchi oltre 80%) nel caso di non adeguata irrigazione[9].

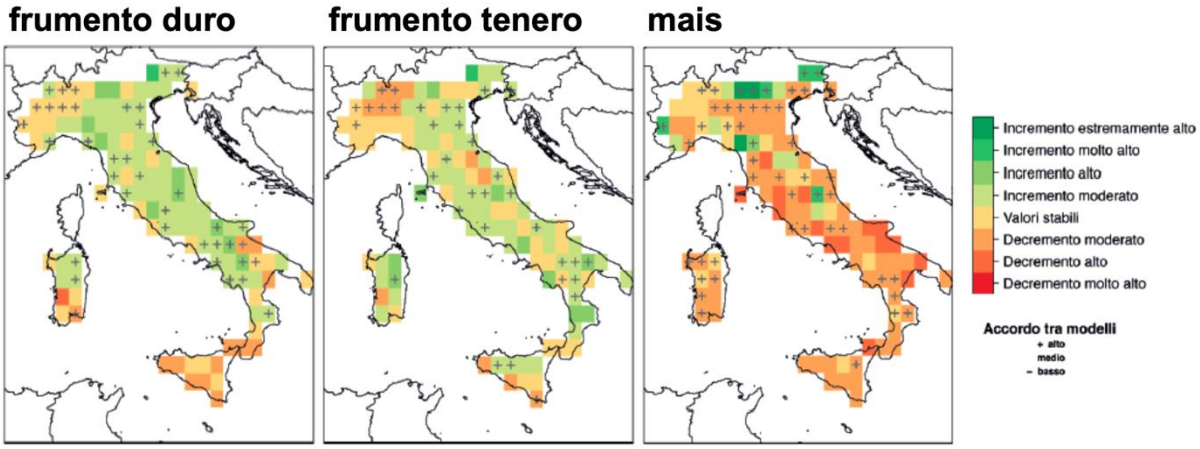



Figura 2: variazione di resa attesa nel periodo 2036-2065, per frumento duro, frumento tenero e mais, nelle ipotesi di un rapido aumento delle temperature medie (scenario RCP8.5) in base alle simulazioni di 5 diversi modelli climatici. (Fonte: Mereu et al. 2020)

[8] Analisi del Rischio. I cambiamenti climatici in Italia. CMCC, 2020.

[9] J. Hristov et al., Analysis of climate change impacts on RU agriculture by 2050, EUR 30078 RN, Publications Office of European Union, Luxembourg, 2020.

Il cambiamento delle condizioni climatiche favorirà, a scapito delle produzioni autoctone, anche una maggior diffusione delle **colture tropicali**, tra cui in particolare kiwi, mango e avocado. Del resto, grazie al recente cambiamento climatico, già oggi coltivazioni di kiwi sono presenti in gran parte delle Regioni italiane, di mango in Sicilia, Calabria, Puglia e Basilicata, di avocado in Sicilia, Calabria, Puglia, Basilicata, Sardegna e Lazio[10]. In realtà sono numerose le colture tropicali già presenti in Italia, e tra queste vi sono anche papaya (Sicilia), frutto della passione (Sicilia, Calabria, Basilicata), banana (Sicilia, Puglia), tamarillo (Sicilia), caffè (Sicilia), canna da zucchero (Calabria), macadamia (Calabria).

**Cambiamenti climatici e pasta**

L'Italia risulta essere prima al mondo per produzione di pasta, con approssimativamente 3,7 milioni di tonnellate tra pasta secca e pasta fresca, pari a una quota di mercato a scala globale di circa il 22%[11], e di cui oltre la metà (circa il 56%) è dedicata all'export. Il nostro Paese spicca anche per consumo medio pro-capite, con circa 23 kg all'anno, di gran lunga avanti a Tunisia (17 kg all'anno) e Venezuela (15 kg all'anno). La pasta secca rappresenta circa il 95% della produzione nazionale complessiva e l'85% del valore generato, molto di più quindi della pasta fresca. Quasi il 60% della produzione di pasta secca si concentra nelle regioni centrali e meridionali, mentre oltre il 90% della produzione di pasta fresca si colloca nel Nord Italia. La Regione in cui si osserva la quota più alta è la Campania: da sola conta per il 19% della produzione nazionale di pasta, davanti all'Emilia-Romagna (18%).
L'Italia è anche tra i maggiori produttori mondiali di grano duro, cioè la materia prima fondamentale della pasta secca, ma nonostante ciò la produzione nazionale non è sufficiente a soddisfare la domanda interna, per cui il nostro Paese è costretto a importarne dall'estero circa 1,9 milioni di tonnellate, che ne fanno il quarto maggior importatore a scala mondiale. Il grano duro importato arriva principalmente da Canada, Francia e Grecia. Una quota, quella del grano duro importato, che nei prossimi anni rischia di aumentare a causa dei cambiamenti climatici.

**Impatto su resa e qualità del grano duro**

Nonostante il grano duro mostri un'adattabilità relativamente alta, e sicuramente superiore a quella di tante altre colture, alla scarsità d'acqua e agli stress termici, non c'è dubbio che i cambiamenti climatici previsti per il futuro rischino di comprometterne la resa e la qualità, con un impatto importante su alcune delle sue caratteristiche, che contribuiscono a determinare la consistenza e il sapore del prodotto finale. Il caldo intenso, specie se associato a stress idrico, appare in particolare in grado di condizionare negativamente la qualità proteica del grano duro[12]. Il contenuto proteico è, peraltro, un elemento fondamentale, perché rappresenta una delle caratteristiche essenziali che definiscono la qualità del frumento duro utilizzato per la produzione della pasta, in quanto influenza, ad esempio, la tenuta alla cottura della pasta stessa. L'aumento delle temperature medie ha inoltre un impatto negativo sulle concentrazioni dei nutrienti contenuti nel grano duro e anche sulla sua vulnerabilità ad agenti patogeni e parassiti. Ne è dimostrazione il caso della ruggine gialla

[10] AA.VV., Atti del Congresso Geografico Italiano, Volume 1, Padova 2021.

[11] L'industria pastaria in Italia. Area Studi Mediobanca, 2023.

[12] Z. Flagella, Qualità nutrizionale e tecnologica del frumento duro. Italian Journal of Agronomy, 2006.

del frumento, malattia che, rara nel nostro Paese fino alla fine degli anni '90, negli ultimi decenni si è diffusa in modo significativo proprio a causa delle mutate condizioni climatiche e che può provocare perdite del raccolto fino al 20%. Questa patologia è provocata dal fungo *puccinia striiformis*, la cui presenza è favorita da stagioni invernali miti, come quelle che con sempre maggior frequenza si osservano nel nostro Paese: durante la stagione fredda il fungo può infatti sopravvivere nel terreno o all'interno dei tessuti vegetali fino a una temperatura di 5 gradi sotto zero, al di sotto quale invece viene neutralizzato[13]. I prolungati periodi di siccità hanno invece conseguenze evidenti soprattutto sulla resa dei raccolti, causandone una significativa diminuzione, specie se la scarsità d'acqua interessa il periodo dopo la fioritura[14]: effetti negativi che possono comunque essere notevolmente ridotti attraverso una efficace irrigazione.

**La produzione di grano duro del futuro**

Da quanto premesso deriva che la produzione nazionale di grano duro rischia di pagare un conto salato ai cambiamenti climatici. In particolare, in conseguenza dell'aumento dello stress idrico causato dall'effetto combinato di precipitazioni in calo e temperature in aumento, la produzione di grano duro potrebbe ridursi di oltre il 20% in circa un quarto del territorio italiano[15], e addirittura in alcune aree marginali (zone collinari e semi-aride) di quasi l'80% se non supportata da efficaci sistemi di irrigazione. Al contrario, in quelle aree del nostro Paese in cui l'aumento del caldo sarà più contenuto, e le variazioni delle precipitazioni meno marcate, l'impatto negativo dei cambiamenti climatici potrebbe essere compensato dall'effetto fertilizzante dovuto alla maggior presenza di anidride carbonica in atmosfera, limitando di molto il calo di produttività. In tal senso è molto probabile una sensibile diminuzione dei raccolti di grano duro al Sud e Isole, e un aumento invece in diverse zone del Nord, specie quelle ove le precipitazioni complessive non mostreranno cali significativi.

Se la diminuzione delle precipitazioni totali, prevista soprattutto per il Sud Italia, costituirà senza dubbio un problema per la coltura del grano duro, rendendo peraltro necessaria una più efficace attività di irrigazione, di carattere diverso l'effetto della maggior irregolarità con cui cadranno le piogge. Nelle annate, e nelle regioni, in cui i quantitativi annui non mostreranno significative riduzioni, l'estremizzazione delle piogge, ovvero il fatto che queste arrivino concentrate in meno eventi più intensi, alternati a fasi asciutte più frequenti e prolungate, potrebbe costituire un vantaggio e favorire una maggior produttività[16]. Questo significa che, in alcune zone del Nord Italia, dove le proiezioni climatiche suggeriscono che le precipitazioni complessive non subiranno variazioni apprezzabili, mentre gli eventi piovosi andranno incontro a una maggior estremizzazione, è probabile che la produzione di grano duro vada incontro a un aumento. Insomma, nell'ambito degli scenari climatici più probabili, nei prossimi decenni è credibile attendersi una diminuzione della produzione nazionale di grano duro, specie nell'eventualità che non si provveda a misure che possano garantire una più efficace irrigazione, ma con importanti differenze attraverso il Paese, per cui a una sensibile diminuzione della produzione nelle regioni del Sud potrebbe corrispondere un aumento dei raccolti in alcune zone del Nord.

[13] L. Ma, Effect of Low Temperature and Wheat Winter-Hardiness on Survival of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* under Controlled Conditions. PLoS One, 2015.

[14] R. Mohammadi, Effects of post-flowering drought and supplemental irrigation on grain yield and agro-phenological traits in durum wheat. European Journal of Agronomy, 2024.

[15] Le Modificazioni climatiche e i rischi naturali. Atti delle giornate di studio. IRPI CNR, Bari 10-11 marzo 2011.

[16] A.F. Feldman et al., Large global-scale vegetation sensitivity to daily rainfall variability. Nature, 2024.

Notevoli anche le difficoltà che i cambiamenti climatici causeranno alla **produzione animale**: bestiame esposto per periodi più lunghi a stress da caldo, con conseguenti negativi effetti su produttività, crescita e riproduzione; minore disponibilità di acqua; maggior esposizione ad agenti patogeni; disponibilità di pascoli e foraggio più irregolare. La specie che risulteranno più esposte ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici sono i ruminanti da latte e i suini, con una vulnerabilità alta, mentre si stima una vulnerabilità media per gli avicoli e bassa per i ruminanti da carne. Inoltre, vi sono evidenze di un probabile deterioramento dei **pascoli montani** del Nord Italia, in termini di una riduzione della loro superficie e di un'alterazione del valore nutrizionale del prodotto, con inevitabili conseguenze sugli allevamenti (e relativi prodotti) delle regioni alpine[17]. Tutti rischi confermati dai risultati degli studi più recenti[18], nei quali si evidenziano anche altre importanti criticità cui potrebbero andare incontro i diversi settori del comparto agricolo italiano a causa dei futuri cambiamenti climatici.

**Cambiamenti climatici e ZOOTECNIA**

La zootecnia in Italia mostra numeri importanti, e contribuisce in modo notevole anche alle esportazioni, delle quali rappresenta, considerando tutti assieme carni preparate, carni fresche congelate e prodotti lattiero-caseari, circa il 15% del totale del settore agroalimentare[19]. Analizzando la composizione degli allevamenti a scala nazionale[20], nel nostro Paese si contano oltre 5,5 milioni di bovini, circa 400 mila bufalini, 6,5 milioni di ovini, quasi un milione di caprini, oltre 400 mila equini, più di 9 milioni di suini e circa 140 milioni di avicoli[21]. Un settore di grande importanza, che però inevitabilmente soffre l'impatto dei cambiamenti climatici, soprattutto per quel che riguarda l'approvvigionamento idrico e l'esposizione a episodi di caldo intenso, con conseguenze notevoli sul benessere degli animali e quindi sulla produzione degli allevamenti.

**Impatto su resa e qualità delle produzioni animali**

Il cambiamento climatico mostra effetti significativi sulla zootecnia soprattutto nei termini in cui aumenta l'esposizione degli animali a stress termici (caldo intenso), che ne compromettono benessere e salute, con conseguenze evidenti su tasso di crescita, fertilità e anche quantità e qualità degli alimenti (ad esempio latte

[17] F. Casale et al., Climate change effects upon Pasture in the Alps: the case of Valtellina Valley, Italy. Climate, 2022.

[18] G. Pulighe et al., Climate change impact on yield and income of Italian agriculture system: a scoping review. Agricultural and Food Economics, 2024.

[19] Commercio con l'estero dei prodotti agroalimentari 2023. CREA, 2024.

[20] ISTAT, Consistenza degli allevamenti. 2023.

[21] Tendenze e dinamiche recenti – Avicoli. ISMEA, Maggio 2024.

o uova) prodotti[22]. A risultare nocivi per il benessere degli animali sono soprattutto i picchi di caldo umido intenso, che ne causano anche un evidente incremento della mortalità[23].
Lo stress da calore viene quindi favorito da situazioni in cui si combinano alte temperature ambientali ed elevati tassi di umidità dell'aria, ovvero proprio quelle condizioni che in Italia, a causa del cambiamento climatico, tendono a presentarsi con sempre maggior frequenza. Il cambiamento climatico però influenza la produzione animale anche attraverso quelle modifiche dell'ambiente che favoriscono la diffusione di insetti vettori di agenti patogeni pericolosi per gli animali.
Peraltro, anche la produttività dei pascoli, fondamentali soprattutto per l'allevamento all'aperto, risente fortemente dei cambiamenti climatici, specie nella misura in cui la maggior frequenza di eventi meteo estremi, piogge irregolari e periodi di siccità ne limitano la produzione. Inoltre l'impatto dei cambiamenti climatici sugli allevamenti si concretizza anche attraverso un aumento, talvolta insostenibile, dei costi di produzione: esposta, in tal senso, soprattutto la zootecnia di montagna, su cui si basano anche produzioni dell'eccellenza casearia, dal grande valore economico. Per gli allevamenti montani i costi, specie a causa dell'impatto di energia, carburanti e mangimi, risultano sensibilmente maggiori rispetto a quelli che pesano su analoghe aziende situate in aree pianeggianti.

**Clima futuro e zootecnia**

Le principali insidie che il cambiamento climatico porterà in futuro alla zootecnia riguardano senz'altro il caldo e la siccità[24]: ondate di caldo intenso più numerose e periodi siccitosi più frequenti metteranno a serio rischio le produzioni animali, rendendo indispensabili delle opportune misure di adattamento. Una maggior mortalità tra gli animali, specie negli allevamenti intensivi, è attesa in particolare a causa dell'aumento dello stress da caldo[25], che provocherà inevitabilmente anche una diminuzione di quanto da loro prodotto, come ad esempio il latte[26]. L'aumento delle temperature medie, al di là degli episodi di caldo intenso, causerà inoltre un'inevitabile maggiore esposizione degli animali ad agenti patogeni di varia natura, attraverso diversi meccanismi: una più rilevante presenza degli insetti, come la *culicoides imicola*, che diffondono pericolose malattie quali la febbre catarrale dei bovini (nota anche come *lingua blu*) o la peste equina africana[27]; una più facile sopravvivenza di virus e batteri durante la stagione invernale, a causa di periodi di gelo via via meno frequenti; una più vasta diffusione di insetti "alieni" che, originari delle regioni tropicali, troveranno nell'area mediterranea condizioni climatiche sempre più spesso a loro favorevoli. La siccità invece metterà a rischio l'approvvigionamento alimentare degli allevamenti, compromettendo sempre più di frequente il raccolto del foraggio loro destinato.
Come per altri prodotti di grande valore dell'agroalimentare italiano, i cambiamenti climatici rischiano di mettere in grosse difficoltà anche alcuni importanti marchi a denominazione di origine o a indicazione

[22] L. Bertocchi et al., Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. Animal, 2014.

[23] E. Morignat et al., Quantifying the influence of ambient temperature on dairy and beef cattle mortality in France from a time-series analysis. Environmental Research, 2015.

[24] M. Bindi et al., The response of agriculture in Europe to climate change. Regional Environmental Change, 2010.

[25] J.R. Turnpenny, Integrated models of livestock systems for climate change studies. 2. Intensive systems. Global Change Biology, 2001.

[26] S. Hempel et al., Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts. Earth System Dynamics, 2019.

[27] E.A. Gould, Potential arbovirus emergence and implications for the United Kingdom. Emerging Infectious Diseases.

geografica legati alla zootecnia, quali ad esempio i formaggi DOP (Denominazione di Origine Protetta), IGP (Indicazione Geografica Protetta) e STG (Specialità Tradizionali Garantite): marchi di eccellenza che però, spesso, contemplano disciplinari molto rigidi, in cui l'alimentazione dei capi di bestiame richiede l'utilizzo di prodotti agricoli tipici della specifica regione geografica e la cui regolare disponibilità, di conseguenza, risulterà a rischio proprio a causa dei cambiamenti climatici.

Di notevole importanza è soprattutto l'impatto sul **settore vitivinicolo**, specie considerando che il vino risulta essere il prodotto agroalimentare maggiormente esportato del nostro Paese, con un peso del 7,6% sul totale del settore nel primo semestre 2024, per un ammontare di circa 2,6 miliardi di euro[28]. Nello specifico, per il settore vitivinicolo italiano i problemi maggiori deriveranno dall'aumento delle temperature e da una maggior irregolarità delle precipitazioni (e quindi un aumento della frequenza sia dei periodi siccitosi che di quelli particolarmente umidi), con conseguenze di vario tipo, tra cui: spostamento delle aree idonee alla coltivazione delle diverse varietà; accorciamento del periodo di maturazione; una diminuzione di resa del raccolto; uno spostamento dei vitigni più pregiati verso quote più alte; una maggior esposizione a insetti nocivi, parassiti e agenti patogeni.

Tra le malattie e gli organismi che diventeranno più aggressivi vi sono la *peronospora*, agente patogeno il cui sviluppo è favorito da piogge intense che rendono l'ambiente umido e temperature relativamente alte, e la *cocciniglia della vite*, la cui popolazione sopravvive più numerosa durante inverni meno rigidi. Tuttavia, l'aumento delle temperature medie, oltre a favorire inverni più miti e a rendere i picchi di caldo estivo più intensi, causerà anche un ulteriore anticipo del ciclo fenologico, spostando sempre di più la fase di maturazione proprio nel periodo più caldo dell'estate[29].

In generale, i risultati dello studio[30] del CMCC già citato e di altre ricerche descrivono, come conseguenza dei cambiamenti climatici, un probabile calo della qualità del prodotto finale e della redditività del settore vitivinicolo. Per limitare tali negativi effetti, si renderà opportuno adottare adeguate misure di adattamento.

**Cambiamenti climatici e viticoltura**

La viticoltura italiana è riconosciuta a livello internazionale come tra le più esposte agli effetti dei cambiamenti climatici, tanto che vaste aree del nostro territorio rischiano di non essere più idonee, in futuro, per la coltivazione dell'uva[31]. Un problema notevole, considerando l'importanza di tale settore per il nostro Paese. In effetti, tale vitale comparto dell'economia italiana denuncia delle difficoltà, come dimostra il fatto

[28] Scambi con l'estero. La bilancia agroalimentare italiana nel I semestre 2024. ISMEA, 2024.

[29] C. van Leeuwen, Climate change impacts and adaptations of wine production. Nature, 2024.

[30] Analisi del Rischio. I cambiamenti climatici in Italia. CMCC, 2020.

[31] Università di Bordeaux. Loreti, Crisi climatica in Italia a rischio il 90% della viticoltura in pianura e nelle coste, La Repubblica.https://www.repubblica.it/ilgusto/2024/03/27/news/vino_crisi_clima_viticoltura_pianura_e_costa_rischia_di_sparire_universita_bordeaux-422382133/.

che nel 2023 l'export nazionale sia calato tanto in termini di volumi che di valore[32], con un recupero solo parziale nel corso del 2024[33]. Come è emerso nel corso del recente G7 che si è tenuto a Siracusa (si rinvia in proposito alla Dichiarazione congiunta dei Ministri dell'agricoltura), i cambiamenti climatici sono la principale minaccia per la produzione agricola sia sotto il profilo quantitativo che qualitativo[34]. La vendemmia 2023 è stata, ad esempio, la più scarsa degli ultimi 76 anni in Italia, con un calo netto del 23% rispetto all'annata precedente[35]. Ciò appare strettamente collegato ai cambiamenti climatici, con le piogge che, sempre più spesso concentrate in brevi periodi particolarmente umidi, rappresentano per la viticoltura un pericolo paragonabile a quello della siccità[36]. Tra i principali responsabili di questo declino vi sono quindi, come già scritto, i cambiamenti climatici, anche attraverso una maggiore esposizione ad agenti patogeni: la peronospora, malattia crittogamica[37] della vite che si manifesta con la defoliazione e la perdita dei grappoli, è ad esempio favorita da aumento delle temperature, siccità, piogge abbondanti concentrate in poche ore e irraggiamento solare più intenso[38].

**Impatto su resa e qualità dell'uva**

La scarsità d'acqua e l'aumento dell'evapotraspirazione rappresentano le maggiori criticità che investono il settore vitivinicolo, poiché hanno un impatto significativo sulla resa e sulla qualità della vendemmia. Sempre più spesso le precipitazioni risultano al di sotto di quelle richieste per una coltivazione economicamente sostenibile della vite, tanto da richiedere l'apporto di acqua da irrigazione, possibilità che a oggi incontra numerosi «paletti» normativi, oltre ad incidere in negativo a livello di «impronta ecologica»[39]. Vero è che, a causa dei cambiamenti climatici, i vigneti non irrigui sono soggetti a pesanti conseguenze derivanti dalle sempre più frequenti ondate di calore, con un impatto negativo su tutta la filiera[40]. Le temperature più elevate, specie durante la stagione della crescita, possono causare un aumento del contenuto di zuccheri e una degradazione degli acidi organici, mentre, nel favorire un anticipo dei cicli di sviluppo della vite, e quindi anche della vendemmia, inevitabilmente causano pure una riduzione del tempo utile per l'accumulo di composti aromatici nelle uve[41]. Inoltre, periodi di caldo intenso durante la fase di maturazione possono

[32] ISMEA Mercati. https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/13000 .

[33] Osservatorio Uiv-Vinitaly. Frena l'export di vino italiano, +4,7% a valore nel semestre. Osservatorio Uiv-Vinitaly, -10% a giugno ne dimezza la crescita, ANSA. https://www.ansa.it/canale_terraegusto/notizie/business/2024/08/30/frena-lexport-di-vino-italiano-47-a-valore-nel-semestre_75ca77be-bee3-499d-a0d2-4660efb36167.html.

[34] Dichiarazione congiunta dei Ministri G7 dell'Agricoltura, https://www.g7italy.it/wp-content/uploads/G7-Agriculture-Ministers-Communique-2024_Final.pdf .

[35] Assoenologi, ISMEA e Uiv. G. dell'Orefice, Nel 2023 la vendemmia più scarsa degli ultimi 76 anni, Il Sole 24 Ore, 18 marzo 2024. https://www.ilsole24ore.com/art/nel-2023-vendemmia-piu-scarsa-ultimi-76-anni-AFQTYs5C .

[36] P. Di Carlo et al., Precipitation intensity under a warming climate is threatening some Italian premium wines. Science of the Total Environment, 2019.

[37] Le *malattie crittogamiche* sono malattie dei vegetali causate da funghi o batteri.

[38] O. Ashenfelter et al, Climate change and wine: a review of the economic implications. Journal of Wine Economics, 2016.

[39] A. Tomaz et. al., Water and carbon footprints in irrigated vineyards: as on-farm assessment. Irrigation Science, 2024.

[40] A. Arak, Climate change and adaptive strategies on viticulture. Open Agriculture», 2024.

[41] L. Forni, Economic and climate challenges in the Mendoza wine region. Discussion Brief, Stockholm Environment Institute, 2018.

provocare una minor acidità e un calo delle concentrazioni di antociani[42] e flavonoidi in genere[43], polifenoli che si trovano principalmente nella buccia dell'uva e che influenzano colore e aroma del vino. Più in generale l'aumento delle temperature medie e la maggior esposizione a picchi di caldo intenso può influenzare in maniera negativa la qualità del vino, portando a maturazioni «asincrone» e a scompensi nel quadro analitico generale (ad esempio pH, acidità, ossigeno disciolto, torbidità, grado zuccherino)[44]. Studi condotti su numerose coltivazioni presenti in Italia hanno mostrato un anticipo medio di 13-19 giorni, rispetto alla metà degli anni '80, per le date di fioritura, vendemmia e raccolto[45], in conseguenza dell'aumento delle temperature medie, comprese quelle del suolo, che nello specifico conducono ad un germogliamento precoce[46]. I cambiamenti climatici non condizionano solo la fisiologia e la fenologia della vite, ma influiscono anche sullo sviluppo dei metaboliti nell'acino, con effetti diretti e indiretti sulla loro composizione e concentrazione. Ecco allora che i vini tendono ad avere una gradazione alcolica più elevata e una minore acidità[47], tutti aspetti che ne possono alterarne il profilo sensoriale[48]. L'aumento delle temperature, la minore disponibilità di acqua e l'instabilità climatica favoriscono anche la diffusione di nuovi parassiti e di affezioni della vite, come dimostrato dalla maggior incidenza di malattie quali il «mal dell'esca», il «legno nero» e la «flavescenza dorata». Questo stato di cose sollecita un aumento dell'utilizzo dei fitofarmaci e di analoghi trattamenti, che incidono sia sui costi di produzione che sull'impatto ambientale, tanto che la ricerca di tecniche vitivinicole più sostenibili si rivela oggi una priorità.

**Le produzioni vinicole del futuro**

Entro la fine di questo secolo la mappa mondiale del vino è destinata a notevoli e inevitabili cambiamenti. Da una parte è prevista una riduzione della superficie complessiva coltivata e dall'altra è atteso anche uno spostamento dei vitigni verso regioni, o quote, che attualmente sono considerate marginali o inadatte: in particolare si stima che, a livello globale, la coltivazione della vite si sposterà progressivamente verso latitudini sempre più alte e a quote via via più elevate[49]. E in molte regioni questo spostamento dei vigneti verso quote più alte si sta già osservando. Prendendo poi in considerazione le produzioni di qualità, la vulnerabilità del comparto appare anche maggiore. Fondata sulle specificità del territorio, dove le caratteristiche del terreno e del clima, nonché il contesto socio-culturale, permettono la realizzazione di un prodotto unico, la produzione vitivinicola a denominazione di origine, o a indicazione geografica, si trova

[42] L. Haselgrove et al., Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of Vitis vinifera L cv. Shiraz grape berries. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2000.

[43] M.O. Downey et al., Cultural Practice and Environmental Impacts on the Flavonoid Composition of Grapes and Wine: A Review of Recent Research. American Journal of Enology and Viticulture, 2006.

[44] N. Ollat et al., Climate change impacts and adaptations: new challenges for the wine industry. Journal of Wine Economics, 2016.

[45] M. Faralli et al, Four decades in the vineyard: the impact of climate change on grapevine phenology and wine quality in northern Italy. OENO One, 2024.

[46] E. Duchêne et al., The challenge of adapting grapevine varieties to climate change. Climate Research, 2010.

[47] C. van Leeuwen et al., An update on the impact of Climate change in viticulture and potential adaptations. Agronomy, 2019.

[48] E. Neethling et al., Change in climate and berry composition for grapevine varieties cultivated in the Loire Valley. Climate Research, 2012.

[49] L. Hannah, Climate change, wine and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012.

localizzata in un'area geografica talvolta ristretta, in ogni caso determinante ai fini della qualità del prodotto[50], e che inevitabilmente mal si concilia con strategie di adattamento che contemplino lo spostamento della produzione verso latitudini o quote differenti, alla rincorsa del clima che cambia[51].

Anche la **produzione di frutta e verdura** verrà fortemente influenzata dall'aumento delle temperature medie e dalla maggiore irregolarità delle piogge, con effetti che riguarderanno soprattutto alcuni aspetti, tra cui un anticipo dei tempi di maturazione e un abbassamento della qualità del prodotto finale. La resa dei raccolti invece mostrerà variazioni eterogenee in base al prodotto considerato, anche se nella maggior parte dei casi si osserverà una diminuzione. La qualità della frutta, nel complesso, verrà influenzata negativamente, soprattutto a causa dell'accorciamento della stagione invernale e dei picchi di caldo più intensi e frequenti. L'aumento delle temperature medie e la maggior irregolarità delle piogge inoltre contribuirà ad accrescere l'esposizione dei prodotti ortofrutticoli a parassiti e insetti nocivi, tra cui in particolare: la *mosca dell'olivo*, la cui presenza aumenterà soprattutto grazie a inverni più miti, che favoriranno un allungamento della stagione riproduttiva e una minor mortalità delle larve; i *nematodi galligeni*, parassiti che aggrediscono gli ortaggi e in particolare patate, pomodori e melanzane, e per i quali ci si può attendere una maggior proliferazione grazie agli inverni più miti, durante i quali con minor frequenza gelerà il terreno; la *carpocapsa*, insetto nocivo soprattutto per mele e pere, la cui presenza sta aumentando a causa di stagioni invernali meno rigide e primavere anticipate, che ne favoriscono una maggior proliferazione. Anche numerose specie aliene, cioè insetti e agenti patogeni che non sono tipici del nostro Paese e arrivano, al contrario, da regioni lontane del mondo, grazie alle mutate condizioni climatiche in futuro troveranno sempre più, in Italia, un ambiente a loro favorevole e causeranno quindi maggiori problemi. Tra le specie aliene più nocive vi sono la *cimice asiatica* che, originaria dell'Asia Orientale, aggredisce un gran numero di colture ortofrutticole e non solo (è dannosa anche per mais e soia), e la *xylella fastidiosa*, batterio assai nocivo soprattutto per l'olivocoltura (e in misura minore anche per la viticoltura), originario del continente americano e favorito dalle alte temperature. Come già evidenziato per il settore vitivinicolo e per il settore zootecnico e suoi derivati, anche per i prodotti ortofrutticoli emergono inoltre interessanti considerazioni riguardanti i prodotti a marchio DOP (Denominazione di Origine Protetta) o IGP (Indicazione Geografica Protetta), in quanto la produzione di alcuni prodotti tipici potrebbe spostarsi geograficamente proprio a causa dei cambiamenti climatici[52].

**Cambiamenti climatici e settore olivicolo-oleario**

[50] A. Bonfante et al., A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. Science of the Total Environment, 2018.

[51] G. Leedon et al., Consuming the earth? Terroir and rural sustainability. Journal of Rural Studies, 2021.

[52] D. Salpina et al., Contextual vulnerability to climate change of heterogeneous agri-food geographical indications: A case study of the Veneto region (Italy). Environmental Science and Policy, 2022.

Oltre il 90% della produzione mondiale di olio di oliva proviene dal Mediterraneo[53], e in tale quadro l'Italia copre una fetta importante di mercato. Tuttavia nell'ultimo periodo la produzione nazionale di olio ha subito una notevole contrazione, tanto che il fatturato degli operatori del settore è sceso, nel 2023, del 4%[54] rispetto all'anno precedente. Più in generale si stima che, nei prossimi decenni, la maggior parte delle aree olivicole saranno interessate da una diminuzione della produzione a causa dell'aumento delle temperature medie e di precipitazioni più irregolari ed estreme[55], soprattutto nell'Italia Centrale e Meridionale. Del resto le condizioni climatiche risultano sempre più spesso avverse alla coltivazione dell'olivo, con inevitabili perdite in termini di rese e di qualità dell'olio, soprattutto a causa di scarsa disponibilità di acqua per l'irrigazione.
Le temperature elevate, associate alla scarsità di acqua, possono infatti limitare in maniera significativa l'attività vegeto-produttiva degli ulivi, in quanto influiscono sulla regolare traspirazione delle foglie.

**Impatto su resa e qualità dell'olio d'oliva**

I cambiamenti climatici pongono sfide sempre più rilevanti al settore olivicolo-oleario anche sotto il profilo economico: forti anomalie climatiche, in particolare quelle legate all'aumento delle temperature medie, compromettono in maniera sempre più frequente e significativa la produzione di olio d'oliva nell'area mediterranea[56]. Condizioni termiche sfavorevoli (soprattutto in estate e in autunno) influenzano, in particolare, il contenuto di acido oleico e di altri acidi grassi insaturi nell'olio[57] [58], e più in generale le sue proprietà organolettiche. Inoltre, la maggior frequenza con cui si presentaneo eventi meteo estremi (vento forte[59], troppa pioggia, elevata umidità dell'aria), causano difficoltà nell'impollinazione nonché la caduta precoce di fiori e frutti.
Gli stress termici e idrici hanno un notevole impatto negativo sulla fioritura, tanto da causarne, rispetto al passato, un anticipo che varia tra i 12 e i 30 giorni, specie per alcune varietà, tra le quali ad esempio il Moraiolo, il Frantoio e il Leccino: gli inevitabili squilibri fisiologici che ne derivano si ripercuotono sulla produzione di olio[60], attraverso una scarsa fruttificazione e una maggiore esposizione ai parassiti, come ad

[53] L. Cacchiarelli et al., The value of the certifications of origin: a comparison between the Italian olive oil and wine markets. British Food Journal, 2016.

[54] The European House Ambrosetti. Citato nell'articolo: Agroalimentare strategico per l'economia italiana: vale il 19 % del PIL, La Repubblica – A&F Economia, 9 maggio 2024. https://finanza.repubblica.it/Pages/News/Item.aspx?ID=57_2024-05-09_TLB.

[55] H. Fraga et. al, Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies. Agronomy, 2021.

[56] I. Guise et al., Climate change is expected to severely impact Protected Designation of Origin olive growing regions over the Iberian Peninsula. Agricultural Systems, 2024.

[57] G.P. Garcia-Inza et al., Proportion of oleic acid in olive oil as influenced by dimensions of the daily temperature oscillation. Scientia Horticulturae, 2018.

[58] G.P. Garcia-Inza et al., Responses to temperature of fruit dry weight, oil concentration, and oil fatty acid composition in olive (Olea europaea L. var "Arauco"). European Journal of Agronomy, 2014.

[59] I venti possono avere un notevole impatto sul livello qualitativo e quantitativo della produzione: quelli di forte intensità, sempre più frequenti nel corso degli ultimi anni, possono causare la rottura dei rami e far cadere fiori e frutti; mentre quelli provenienti dal mare, portando con sé la salsedine, provocano un effetto corrosivo sulle foglie e sui germogli; quelli troppo freddi, così come quelli troppo caldi, rappresentano una minaccia per germogli, fiori e frutti.

[60] H. Mairech et al., Sustainability of olive growing in the Mediterranean area under future climate scenarios: exploring the effects of intensification and deficit irrigation. European Journal of Agronomy, 2021.

esempio la mosca olearia[61]. Oltre agli stress termici divenuti più frequenti, i problemi maggiori derivano dai prolungati periodi di siccità e dalla conseguente scarsità di acqua per l'irrigazione: l'irrigazione, infatti, ha evidenti effetti benefici sull'olivicoltura, perché ne aumenta la resa e la qualità del frutto proprio in occasione dei periodi di siccità[62], considerando che gli stress derivanti dalla scarsità di acqua alterano la capacità e il potenziale dell'olivo in modo irreversibile, specie oltre una determinata soglia[63].

A causa delle condizioni climatiche meno favorevoli, nell'ultimo quinquennio si sono succeduti diversi pessimi raccolti, e addirittura la stagione 2022/23 si è chiusa con un calo della produzione del 56% in Spagna e del 27% in Italia[64]: una situazione legata soprattutto ad alcune importanti anomalie meteo-climatiche, tra cui siccità, gelate tardive ed eccessive piogge primaverili, che hanno inciso sulle piante, sui fiori e sui frutti[65], con inevitabili ripercussioni sull'industria della trasformazione e conseguente aumento dei prezzi per i consumatori[66].

Anche il 2024 ha fatto segnare un -32% nella produzione di olio di oliva (complessivamente pari a 224 mila tonnellate mancanti), una resa tra le più basse mai registrate[67]. Non è perciò improprio affermare che, se il trend climatico rimarrà questo, a medio-lungo termine la stessa sostenibilità colturale dell'olivicoltura mediterranea rischia di risultare compromessa.

A livello globale, nei prossimi decenni il cambiamento delle condizioni climatiche, con l'aumento delle temperature associato a più frequenti prolungati periodi di siccità, potrebbe causare trasformazioni senza precedenti delle zone adatte alla coltivazione dell'olivo in tutto il bacino del Mediterraneo, spostando la sua presenza progressivamente verso aree caratterizzate da altitudine e latitudine[68] maggiori. Del resto l'olivo oramai compare, o meglio in alcuni casi ricompare, in Regioni quali il Piemonte e il Friuli-Venezia Giulia e si spinge sempre più verso zone fino a poco tempo fa considerate non idonee alla sua coltivazione[69].

In effetti già da tempo si assiste a una progressiva «migrazione» verso nord della tradizionale area di coltivazione dell'olivo, tipica delle zone del Centro e del Sud Italia. In particolare, dopo un primo insediamento nella zona del Lago di Garda, l'olivo sta arrivando fino alle vallate alpine, dal Trentino alla

[61] La mosca dell'olivo crea danni sia in modo diretto che indiretto: nel primo caso attraverso l'attività stessa delle larve che, alimentandosi, buca e scava le olive, compromettendone così la consistenza e, spesso, causandone addirittura la caduta prematura dai rami; nel secondo caso influenzando negativamente la qualità dell'olio ricavato dalle olive colpite, il quale risulta in generale caratterizzato da eccessiva acidità e cattivo sapore.

[62] L. Trabelsi et al., Impact of drought and salinity on olive potential yield, oil and fruit qualities (cv. Chemlali) in arid climate. Agricultural Water Management, 2022.

[63] Ibid., p. 13.

[64] Spagna ed Italia sono il primo e secondo produttore mondiale di olive, seguiti da Turchia e Tunisia.

[65] L'allegagione consiste in una fase di passaggio, durante la quale si osserva la caduta della corolla dei fiori e la trasformazione dei fiori fecondati in frutti. Rappresenta un momento fondamentale per lo sviluppo del raccolto e quindi per la produzione di olio. A influenzare lo sviluppo dell'allegagione ci sono, oltre che al processo di impollinazione e quindi di fecondazione dei fiori, anche l'andamento climatico e l'eventuale aggressione di parassiti.

[66] UNAPROL (Consorzio Olivicolo Italiano). M. Cappellini, Crisi climatica falcia la produzione di olio d'oliva: prezzi alle stelle, Il Sole 24 Ore, 21 settembre 2023. https://www.ilsole24ore.com/art/olio-d-oliva-prezzi-stelle-e-non-scenderanno-almeno-due-anni-AFtM7Xv.

[67] Consiglio Oleicolo Internazionale. P. Esposito, L'Italia dell'olio arretra ancora, ItaliaOggi, 18 dicembre 2024.

[68] F. Gambella et al., Moving towards the north? The spatial shift of olive groves in Italy. Agricultural Economics, 2021.

[69] T. Sarnari, Olio d'oliva. Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare, 2023.

Valle di Susa, e potrebbe sovrapporsi in parte con le aree dedicate alla viticoltura in zone collinari come le Langhe piemontesi, dove al contrario l'eccesso di calore estivo sta causando un progressivo spostamento verso quote più alte dei vigneti (in sostanza, zone collinari e montane, molto nell'entroterra, stanno diventando progressivamente adatte alle esigenze dell'olivo)[70].
Per di più, a seguito dell'aumento delle temperature e degli episodi di precipitazioni eccessive (che provocano danni altrettanto importanti della scarsità idrica), alcuni patogeni dell'olivo, come ad esempio l'occhio di pavone, la cercosporiosi, i marciumi radicali, la verticilliosi e la rogna dell'olivo, hanno mostrato maggiore diffusione e aggressività sulle piante colpite[71].

**Le produzioni olivicole del futuro**

Da quanto sopra evidenziato, è possibile affermare che il cambiamento climatico è destinato a incidere sempre più pesantemente sul comparto olivicolo-oleario. Va peraltro posto in rilievo come le proprietà organolettiche e i benefici per la salute derivanti dall'olio d'oliva – che è uno dei principali pilastri della dieta mediterranea – rischino di essere irrimediabilmente compromessi dai cambiamenti climatici[72].
Se negli anni scorsi si era verificato un crollo del prezzo dell'olio extravergine d'oliva, pur di fronte a notevoli costi di produzione – conseguenza diretta, questi ultimi, delle criticità legate direttamente o indirettamente agli eventi meteo estremi – il mercato sta ora mostrando una tendenza di segno opposto, che ha però conseguenze negative sui consumatori, come dimostrato dal fatto che questo prodotto di qualità viene utilizzato sempre meno dagli italiani, i quali tendono a sostituirlo con il più economico olio di semi: una vera e propria «rivoluzione» nelle abitudini alimentari (e culturali) del nostro Paese[73].
A ciò si aggiungono inevitabili interrogativi sulla possibilità che il sistema delle DOP e delle IGP possa «sopravvivere» all'aumento delle temperature medie, alla siccità sempre più frequenti e agli eventi meteo estremi (nubifragi, grandine, trombe d'aria) via via più numerosi.
L'olivicoltura va peraltro valutata anche in termini di contributo che essa fornisce alla biodiversità[74] e ai servizi ecosistemici[75], riconoscendo che la migrazione delle aree di coltivazione dell'olivo potrebbe provocare un impoverimento dei naturali *habitat* di riferimento, come pure dei cambiamenti, o addirittura dei pesanti squilibri, nella biodiversità delle zone in cui le produzioni tenderanno a trasferirsi a causa dell'aumento delle temperature[76].

[70] C.A. Klun, Langhe e Monferrato riscoprono l'olio: la produzione sale del 30%, Il Sole 24 Ore, 30 ottobre 2023. https://www.ilsole24ore.com/art/langhe-e-monferrato-riscoprono-l-olio-produzione-sale-30percento-AFUsry8.

[71] Pests and diseases of the olive tree. Final Report. EIP-AGRI Focus Group, Commissione Europea, 2020.

[72] I. Mascio, Insight into the European Union community trademarks olive oils traceability: the use of DNA markers as the most effective approach. Trends in Food Science & Technology, 2024.

[73] ISTITUTO PIEPOLI. M. Cappellini, Troppo caro: un italiano su tre non compra più l'olio extravergine di oliva, Il Sole 24 Ore, 7 marzo 2024. https://www.ilsole24ore.com/art/troppo-caro-italiano-tre-non-compra-piu-l-olio-extravergine-oliva-come-prima-AF8NzfxC .

[74] R. Fekete et al., The role of olive groves in the conservation of Mediterranean orchids. Global Ecology and Conservation, 2023.

[75] M. Torres-Miralles et al., Employing contingent and inferred valuation methods to evaluate the conservation of olive groves and associated ecosystem services in Andalusia (Spain). Ecosystem Services, 2017.

[76] G. Guzmán et al., Expansion of olive orchards and their impact on the cultivation and landscape through a case study in the countryside of Cordoba (Spain). Land use policy, 2022.

Per quanto sopra descritto, i cambiamenti climatici non hanno soltanto conseguenze ambientali, ma anche profonde **ripercussioni economiche e sociali** per l'Agricoltura italiana. La riduzione delle rese agricole, la perdita di qualità dei prodotti e i maggiori costi di produzione legati alla gestione delle risorse idriche e ai danni causati da eventi meteo-climatici, rischiano di compromettere la competitività del settore agricolo sui mercati internazionali. Questo può tradursi in una diminuzione del reddito per le aziende agricole e, in alcuni casi, portare all'abbandono delle attività rurali, causando spopolamento delle aree interne e un aumento della disoccupazione nelle comunità agricole. A maggior ragione diventano quindi fondamentali delle adeguate misure di mitigazione e adattamento, che possano limitare i futuri cambiamenti climatici e, al contempo, rendere il settore più resistente ai pericoli di natura meteo-climatica.

## 3. Mitigazione e adattamento in Agricoltura

Come tante altre attività umane, anche l'Agricoltura contribuisce alle emissioni di gas climalteranti, cioè di quelle sostanze che, meglio note come *gas serra*, sono in grado di alterare il clima trattenendo all'interno dell'atmosfera un surplus di calore. In particolare, a livello UE, l'Agricoltura è responsabile di circa il 10% delle emissioni di gas climalteranti e un'analisi dell'Agenzia Europea per l'Ambiente[77] mostra un trend di riduzione attualmente piuttosto lento, quantificato in appena il 4% nel periodo 2005-2021.

Le emissioni del settore sono costituite principalmente da metano, protossido d'azoto e anidride carbonica, generati soprattutto da fermentazione enterica dei ruminanti (quindi un prodotto del metabolismo animale), lavorazione dei terreni, gestione delle deiezioni del bestiame e decomposizione di sostanza organica nelle risaie. Tuttavia, il settore ha un grande potenziale di riduzione e potrebbe quindi contribuire in modo importante al raggiungimento degli obiettivi europei di ***mitigazione*** (cioè riduzione delle emissioni nette di gas climalteranti) indicati per il 2030 e il 2050.

Indipendentemente dalle future misure di mitigazione, sono comunque di fondamentale importanza anche le azioni che consentono all'Agricoltura una maggior resistenza ai cambiamenti climatici che, come descritto nella prima parte di questo documento (Impatto dei Cambiamenti Climatici sull'Agricoltura – Parte 1), hanno un impatto notevole sul settore. L'***adattamento*** comprende quindi tutte quelle misure e attività che possono contribuire a rendere il settore agricolo meno vulnerabile alle conseguenze dei cambiamenti climatici.

### 3.1 Mitigazione nel settore agricolo

[77] Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. EEA 2023.

L'obiettivo di abbattere le emissioni di gas climalteranti prodotte dall'Agricoltura può essere raggiunto attraverso varie pratiche, che comprendono modifiche e innovazione nelle metodologie di produzione, variazioni nella tipologia di prodotto coltivato, diversa gestione delle risorse utilizzate (tra cui in primo luogo acqua ed energia).

La UE, per ridurre il bilancio netto delle emissioni del settore agricolo, indica quattro percorsi principali[78]:

- ✓ **Riduzione delle emissioni di metano** generate dal bestiame durante i processi digestivi, da ottenere grazie a programmi mirati di alimentazione degli animali;
- ✓ **Riduzione delle emissioni del letame** attraverso la sua trasformazione anaerobica[79], in modo che produca biogas da utilizzare per produrre l'energia necessaria all'azienda agricola;
- ✓ **Riduzione delle emissioni dei terreni agricoli** attraverso l'ottimizzazione delle attività di fertilizzazione, ad esempio grazie alle pratiche dell'agricoltura di precisione;
- ✓ **Aumentare le quantità di carbonio catturate e immagazzinate** dal terreno utilizzando adeguate e più efficaci tecniche di gestione dei campi.

Più in generale, alla mitigazione, può quindi contribuire in modo importante la pratica di **un'agricoltura più sostenibile**, che comprenda cioè l'adozione di *coltivazioni biologiche* e *gestione conservativa dei campi*. **L'agricoltura biologica, che non prevede l'utilizzo di pesticidi o fertilizzanti chimici, garantisce ad esempio una riduzione diretta delle emissioni di gas serra**: i fertilizzanti azotati infatti rilasciano in atmosfera diverse sostanze, tra cui il protossido d'azoto ($N_2O$), che è un efficace gas serra. **L'agricoltura conservativa** implica di ridurre al minimo indispensabile la lavorazione del terreno e di mantenere inoltre il suolo sempre coperto da vegetazione, alternando colture diverse (*rotazione delle colture*): tale pratica previene l'erosione del suolo, ne migliora la fertilità e, soprattutto, **riducendo la lavorazione, comporta anche una riduzione diretta delle emissioni di gas serra**.

Un contributo alla mitigazione può arrivare anche da una più efficace integrazione della **tecnologia**, soprattutto laddove questa consenta di rendere **più efficiente il processo produttivo e quindi, chiaramente, di ridurre anche le emissioni**. In tal senso un ruolo importante lo possono svolgere tutti quei sistemi che permettono di praticare un'***agricoltura di precisione***, la quale consente di ottimizzare l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi, riducendo di conseguenza le emissioni.

Il settore inoltre può favorire la mitigazione anche **preservando gli ecosistemi agricoli**, garantendo in tal modo una maggior capacità dell'ambiente di sequestrare e bloccare l'anidride carbonica atmosferica (*carbon farming*), fissando il carbonio in vegetali e suolo, così da ridurre la presenza di questo gas climalterante nell'atmosfera. Tutto ciò può avvenire, ad esempio, attraverso la *protezione della*

[78] Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Report No 04/2019.

[79] La scarto organico animale viene decomposto da particolari batteri in un ambiente privo di ossigeno e a temperatura controllata (*digestione anaerobica*) restituendo come risultato una miscela gassosa utilizzabile come fonte di energia, per produrre elettricità.

*biodiversità*, la *valorizzazione degli scarti* della produzione vegetale e animale, la *riforestazione* delle aree non utilizzate per la produzione. Sono ad esempio **pratiche che favoriscono la cattura del carbonio, e al contempo preservano la qualità dell'ambiente**: lasciare i residui vegetali sul terreno dopo il raccolto anziché rimuoverli e bruciarli; evitare di lasciare i terreni incolti in alcuni periodi dell'anno, utilizzando colture di stagione; prediligere la rotazione delle colture anziché le monoculture; integrare nei terreni coltivabili aree boschive o dedicate al pascolo.

Tuttavia, un contributo notevole alle emissioni prodotte dal settore agricolo arriva indubbiamente dalla produzione animale, principalmente a causa del metano prodotto dai ruminanti.

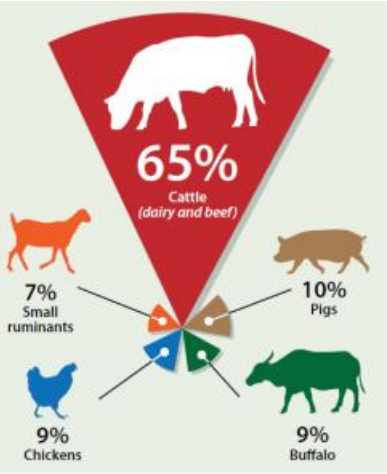



Figura 2: emissioni di gas climalteranti da produzione animale suddivise per specie. (Lifecycle Analysis, Gerber et al., 2013)

In tal senso, alcuni studi[80] suggeriscono che **una migliore gestione della nutrizione del bestiame**, in particolare privilegiando l'alimentazione al pascolo, sarebbe in grado di far calare sensibilmente le quantità di gas serra emesse. Più in generale, una più efficiente gestione dell'alimentazione degli animali, evitando di eccedere nelle razioni ma garantendo al contempo cibo di qualità e alta digeribilità, con il giusto apporto di sostanze nutrienti (anche attraverso l'utilizzo di addittivi alimentari), può **garantire la produttività dell'allevamento favorendo al contempo una riduzione delle emissioni**[81].

**Mitigazione attraverso l'alimentazione del bestiame**

L'alimentazione degli animali ha un impatto diretto sulle emissioni di gas serra prodotte dagli allevamenti. In particolare, per i ruminanti, alimenti a bassa digeribilità conducono a minori emissioni

[80] W.R. Teague et al. The role of ruminants in reducing agriculture's carbon footprint in North America. Journal of Soil and Water Conservation, 2016.

[81] Reducing greenhouse gas emissions from livestock: best practice and emerging options. The Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases – Sustainable Agriculture Initiative Platform. 2015 https://www.saiplatform.org/uploads/Modules/Library/lrg-sai-livestock-mitigation_web2.pdf.

di metano, ma comportano anche una minor produttività dell'animale, per cui in realtà le emissioni per unità di prodotto (carne, latte o derivati) tendono al contrario ad aumentare[3].

Una più efficace e corretta alimentazione del bestiame, che si traduca in una maggiore efficienza del processo di nutrizione, può quindi garantire un contributo alla mitigazione, sia riducendo l'intensità delle emissioni per unità di prodotto, sia diminuendo le emissioni complessive dell'intero processo di alimentazione (dalla produzione del cibo alla sua somministrazione). In tal senso l'impiego di integratori alimentari e concentrati rappresenta una soluzione utile a rendere l'allevamento più produttivo riducendone, al contempo, le emissioni medie. Anche l'utilizzo di alimenti alternativi, rispetto a quelli tradizionali, può contribuire all'azione di mitigazione: nei ruminanti l'utilizzo di soia piuttosto che di insilati[82] di mais o di leguminose, rispetto a paglia e foraggi essiccati, favorisce una diminuzione della produzione di metano, mentre per ovini e suini risultati simili si possono ottenere utilizzando le brassicacee (ad esempio farina di cavolo, colza da foraggio).

**Alimentazione di precisione**

Un contributo importante all'abbattimento delle emissioni prodotte dagli allevamenti può arrivare anche dall'alimentazione di precisione, metodo che, mutuando il motto dell'agricoltura di precisione, prevede di somministrare *l'alimento giusto, all'animale giusto, nel momento giusto*. I bisogni dei singoli animali infatti variano in funzione di età, stato produttivo e fase riproduttiva, e conoscere le necessità, giorno dopo giorno, consente di rendere più efficace l'attività di nutrimento, garantendo una maggior produttività del bestiame e un abbattimento delle emissioni per unità di prodotto.

Tale metodo implica quindi la preparazione di programmi alimentari individuali e, chiaramente, richiede l'utilizzo di sistemi tecnologici avanzati che consentano di monitorare con continuità gli animali, per individuarne con precisione i fabbisogni. In particolare, risulta perciò necessario l'utilizzo di sensori che consentano la costante raccolta di dati, assieme a software che consentano di elaborare tali informazioni restituendo un valido supporto decisionale.

Alcuni studi sembrano dimostrare che l'utilizzo dell'alimentazione di precisione sia in grado di garantire un abbattimento delle emissioni di gas serra addirittura superiore al 60%[83].

Per abbattere le emissioni degli allevamenti risulta fondamentale anche il benessere del bestiame: animali in salute producono meno emissioni per unità di prodotto (carne o latte)[3]. Garantire una migliore qualità di vita agli animali, prestando al contempo maggior attenzione al controllo di eventuali malattie, contribuisce quindi alle azioni di mitigazione del settore.

[82] Il termine *insilato* descrive un prodotto ottenuto dalla fermentazione controllata, anaerobica, di foraggi di varia natura.

[83] G.Todde et al., Energy and Carbon Impact of Precision Livestock Farming Technologies Implementation in the Milk Chain: From Dairy Farm to Cheese Factory. Agriculture, 2017.

L'utilizzo degli scarti per la produzione di biogas è, invece, pratica che consente di ottenere un efficientamento energetico e quindi, di conseguenza, anche una riduzione delle emissioni complessive. Per lo stesso motivo, l'utilizzo di fonti alternative di energia (ad esempio pannelli fotovoltaici sulle coperture degli edifici) per i consumi dell'azienda agricola contribuisce all'abbattimento delle emissioni.

Inoltre nel campo della produzione animale, così come per quella vegetale, la tecnologia può risultare di grande aiuto nell'abbattimento delle emissioni in vari modi, e non solo nel controllo dell'alimentazione dell'animale. La zootecnia di precisione prevede infatti di sfruttare sensori per il monitoraggio del bestiame, garantendo in generale una migliore conoscenza di bisogni e stato di salute dei singoli animali e, di conseguenza, la possibilità di intervenire tempestivamente per preservarne il benessere e la produttività, rendendo al contempo più efficiente – e quindi caratterizzata da minori emissioni – tutta l'attività.

### 3.2 Adattamento in Agricoltura

Le misure di adattamento ai cambiamenti climatici possono essere prese a differenti livelli spaziali, che vanno da quello nazionale a quello regionale fino alla scala più piccola, quella della singola azienda agricola. Sono insomma molteplici e diversificate le misure e le attività che possono promuovere una maggior resilienza del settore agricolo ai cambiamenti climatici.

L'**efficientamento del sistema irriguo**, sia nell'approvvigionamento e nella conservazione delle acque piovane, sia nelle tecniche di irrigazione, è ad esempio un passo imprescindibile nell'ottica del risparmio della risorsa idrica, ancor più fondamentale di fronte alla necessità di contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici, che rendono le precipitazioni sempre più irregolari. A livello di singola azienda può quindi risultare di grande aiuto **una maggior efficienza nell'utilizzo dell'acqua disponibile**, ad esempio sostituendo, dove possibile, l'*irrigazione a sommersione* con sistemi irrigui più funzionali, tra cui *irrigazione a goccia* e *irrigazione interrata*. Su scale spaziali più grandi, i cambiamenti climatici rendono al contempo necessaria una più efficace gestione delle risorse idriche presenti, migliorando, al contempo la capacità del territorio di trattenere quella in arrivo: riutilizzo delle acque reflue e invasi (che aumentano la frazione di acqua piovana trattenuta sul territorio) possono ad esempio contribuire allo scopo. Non meno importante, la presenza di infrastrutture che possano limitare i danni in occasione di eventi caratterizzati da precipitazioni di eccezionale abbondanza/intensità, tali da causare episodi alluvionali.

Altro supporto all'adattamento del settore agricolo ai cambiamenti climatici può senz'altro arrivare da tecniche innovative, come ad esempio l'utilizzo delle **Tecniche di Evoluzione Assistita** (TEA), le quali possono portare a una complessiva riduzione dell'utilizzo di fitofarmaci. Questa tecnologia, assimilata erroneamente agli OGM, sfrutta in realtà la cisgenetica e il genoma editing, senza utilizzo di materiale genetico esogeno e inducendo invece una mutazione precisa e puntale del materiale genetico proprio della pianta. Tale mutazione porta la pianta stessa a sviluppare una naturale resistenza a stress fisici, eventi meteo-climatici e a potenziali agenti patogeni, senza stravolgere le caratteristiche della coltura agricola. Le mutazioni sono delle modifiche ereditabili che, nella sequenza del DNA di un organismo, si verificano

spontaneamente in natura e rappresentano il meccanismo alla base dell'evoluzione, che permette a una specie di adattarsi all'ambiente in continuo cambiamento: le TEA, in pratica, fanno in modo di accelerare tale meccanismo evolutivo. Del resto, la selezione di colture più resistenti e produttive può contribuire sia all'adattamento che alla mitigazione.

**TEA – Tecniche di Evoluzione Assistita**

Le Tecniche di Evoluzione Assistita (TEA) rappresentano una nuova frontiera della biotecnologia agraria. Questi strumenti, tra cui spiccano tecnologie di *genome editing* come CRISPR/Cas9, permettono di introdurre modifiche puntuali nel genoma delle piante senza inserire DNA esogeno. A differenza degli OGM transgenici, le TEA simulano mutazioni che potrebbero avvenire naturalmente, ma in modo più rapido e preciso. Ciò le rende uno strumento strategico per affrontare due tra le principali sfide dell'agricoltura contemporanea: l'adattamento ai cambiamenti climatici e la riduzione dell'uso di fitofarmaci.

Le TEA sono uno strumento fondamentale per rispondere alle mutate condizioni climatiche. Con l'aumento della frequenza di eventi estremi quali siccità, ondate di calore ed eccessiva salinità del suolo, è necessario sviluppare varietà più resilienti. Alcuni ricercatori hanno utilizzato il genome editing per ottenere piante di riso con un sistema radicale più profondo, che consente un miglior accesso all'acqua in situazioni di stress idrico[84]. Altri studi hanno prodotto pomodori resistenti a elevate concentrazioni saline, aprendo la strada alla coltivazione in aree precedentemente marginali[85]. L'impiego delle TEA può, in questo senso, contribuire alla sicurezza alimentare globale, rafforzando l'autonomia produttiva di molte regioni colpite da stress climatici, come il Sahel o il Sud-Est asiatico, e contribuendo così alla stabilità socioeconomica.

Nonostante le potenzialità, l'adozione delle TEA è ancora frenata in molti Paesi da normative che le equiparano agli OGM tradizionali. Tuttavia, un numero crescente di istituzioni scientifiche ed enti regolatori, tra cui l'EFSA, sostengono un aggiornamento normativo basato sul prodotto finale, e non sulla tecnica utilizzata. Secondo un'analisi pubblicata su Frontiers in Genome Editing, un'ampia revisione delle regole favorirebbe l'adozione delle TEA per lo sviluppo di varietà più sostenibili e adatte a un'agricoltura resiliente[86].

Le Tecniche di Evoluzione Assistita costituiscono un'opportunità concreta per un'agricoltura del XXI secolo capace di affrontare le sfide ambientali e produttive, senza sacrificare la qualità e la sicurezza.

[84] Atif, R. M., Shahid, L., & Hameed, A. (2024). CRISPR-Cas9 genome editing in crop breeding for climate change resilience. Journal of Agriculture and Food Research, 16, 101132. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101132.

[85] Kumar, R. et al. (2021). Improving Tomato Salt Tolerance Using Genome Editing. Frontiers in Sustainable Food Systems. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.685801/full.

[86] Li, J., Meng, X., Zong, Y. et al. (2022). Enabling Genome Editing for Enhanced Agricultural Sustainability. Frontiers in Genome Editing. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgeed.2022.898950/full.

D'altronde, il miglioramento varietale negli ultimi 20 anni, in Europa, sebbene si sia basato solo su incrocio e selezione, ha portato comunque a un minor consumo di superficie di suolo agricolo pari a 21,5 milioni di ettari, a evitare l'emissione di 4 miliardi di tonnellate di $CO_2$ nell'atmosfera e a risparmiare 50 milioni di metri cubi d'acqua[87]. Sostenere la ricerca, promuovere la sperimentazione in campo e aggiornare il quadro normativo sono perciò passi essenziali per sfruttare appieno il potenziale delle TEA. La loro diffusione può contribuire non solo a una drastica riduzione dell'uso dei fitofarmaci, ma anche alla costruzione di sistemi agroalimentari più resilienti e sostenibili.

Un altro dei principali benefici delle TEA risiede nella possibilità di rendere le colture resistenti a patogeni e parassiti, riducendo la necessità di interventi chimici. Studi recenti hanno dimostrato che l'editing genetico è in grado di generare varietà di frumento resistenti all'iodio, pomodori con maggiore tolleranza agli afidi e basilico resistente alla peronospora, con un impatto ambientale drasticamente inferiore rispetto all'agricoltura convenzionale[88]. Questa innovazione può contribuire non solo alla tutela dell'ambiente, ma anche alla riduzione dei costi per gli agricoltori e alla sicurezza alimentare, grazie a un minor contenuto di residui chimici nei prodotti. Del resto, in uno studio pubblicato su ACS Agricultural Science & Technology, si evidenzia come l'uso delle TEA possa ridurre fino al 90% l'uso di pesticidi in alcune colture, migliorando al contempo la produttività e la resistenza alle malattie[13].

Un tassello imprescindibile per l'agricoltura di domani, anche in termini di adattamento, è inoltre l'**Agricoltura di precisione**, che utilizza **software, potenza di calcolo e sensoristica per efficientare le tecniche agronomiche** e l'utilizzo di fitofarmaci, analizzando le variabili spaziali e temporali al fine di ottimizzare i risultati del processo produttivo in termini economici e/o ambientali. Tutto questo viene riassunto in una frase: "*fare la cosa giusta, al momento giusto, al punto giusto*" (Gebbers e Adamchuk, 2010). Attraverso la tecnologia la produzione agricola diventa quindi più efficiente e, di conseguenza, meno vulnerabile alla eventuale riduzione delle risorse (acqua, energia) disponibili. L'Agricoltura di precisione si basa innanzitutto su una **più accurata e completa conoscenza dell'attività agricola**: dati provenienti da sensori, satelliti e radar consentono di conoscere nel dettaglio le condizioni delle coltivazioni, mentre sofisticati software permettono di analizzare tali informazioni e individuare le azioni opportune da intraprendere (trattamenti fitosanitari, gestione dei fertilizzanti, irrigazione). Sul terreno, strumenti tecnologicamente avanzati, come trattori a guida remota o impianti di irrigazione automatizzati, permettono poi interventi mirati, che risultano più efficaci ed evitano sprechi di risorse.

[87] Assosementi, effetto dei cambiamenti climatici in agricoltura, 2023.

[88] Wan, X., Hou, Q., & McConnell, L. L. (2022). Advances in Genome Editing for Sustainable Agriculture. ACS Agricultural Science & Technology, 2(2), 165–166. https://doi.org/10.1021/acsagscitech.2c00090.

**Agricoltura di precisione, il futuro del settore**

L'agricoltura di precisione rappresenta un approccio innovativo che utilizza tecnologie avanzate per ottimizzare l'uso delle risorse naturali, migliorare la resa agricola e ridurre l'impatto ambientale[89]. In particolare, l'agricoltura di precisione sta guadagnando attenzione come soluzione per affrontare i cambiamenti climatici, soprattutto perché consente una gestione più efficiente delle colture in ambienti variabili. Tecnologie come i sistemi di rilevamento remoto, sensori per il monitoraggio del suolo e droni, insieme a software avanzati per l'analisi dei dati, sono sempre più utilizzati per monitorare le condizioni agronomiche e prendere decisioni informate in tempo reale[90]. L'integrazione di queste tecnologie consente di ridurre l'uso di input agricoli, come fertilizzanti, acqua e pesticidi, ottimizzando la loro distribuzione in base alle necessità specifiche di ogni porzione di terreno. In questo modo, l'agricoltura di precisione promuove una gestione sostenibile delle risorse, migliorando non solo la produttività, ma anche la sostenibilità a lungo termine delle pratiche agricole.

La capacità di monitorare in tempo reale i cambiamenti nelle condizioni del suolo e del clima è fondamentale per l'adattamento alle fluttuazioni meteorologiche e per la gestione del rischio associato agli eventi climatici estremi. L'uso della tecnologia per ottimizzare l'irrigazione è uno degli aspetti più rilevanti[91]. Ad esempio, i sistemi di irrigazione a goccia automatizzati, che utilizzano sensori di umidità del suolo e previsioni meteorologiche, possono ridurre significativamente il consumo d'acqua, rispondendo in tempo reale alle necessità delle piante senza sprechi. Questa tecnologia è particolarmente vantaggiosa in regioni soggette a siccità o a risorse idriche limitate. Un esempio pratico di come l'agricoltura di precisione possa affrontare i cambiamenti climatici è il caso delle colture di riso in India, dove l'uso di sensori e droni ha migliorato l'efficienza dell'irrigazione e ha ridotto il consumo di acqua del 25%, senza compromettere la resa dei raccolti. Inoltre, l'agricoltura di precisione può svolgere un ruolo importante nell'adattamento delle colture agli stress climatici, migliorando la capacità di affrontare le temperature elevate e la salinità del suolo. I sensori di temperatura e umidità dell'aria, uniti all'analisi dei dati satellitari, possono fornire informazioni precise sullo stress termico delle colture, permettendo agli agricoltori di adottare misure correttive tempestive, come l'applicazione di sistemi di raffreddamento o la selezione di varietà più resistenti[92].

Nel contesto dei cambiamenti climatici, un altro esempio di applicazione dell'agricoltura di precisione è la gestione delle malattie delle piante. L'uso di droni equipaggiati con sensori multispettrali può

[89] Zhang, C., Wang, L., & Li, M. (2023). Precision agriculture and climate change: Adaptation strategies and environmental impacts. Science of the Total Environment, 778, 146140. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146140.

[90] Velazquez, J. L., Garcia, J. A., & Hernandez, F. (2022). Role of drones in precision agriculture for monitoring crop health and disease. *Sensors*, 22(10), 3669. https://doi.org/10.3390/s22103669.

[91] Kim, J., & Lee, D. (2022). Technological advancements in precision irrigation systems and their role in sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*, 258, 107126. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107126.

[92] Basso, B., & Cammarano, D. (2021). Precision agriculture and climate change: A review of challenges and opportunities. *Field Crops Research*, 262, 108063. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108063.

rilevare tempestivamente segnali di stress vegetale causati da malattie fungine o batteriche, riducendo la necessità di trattamenti chimici e minimizzando l'impatto ambientale. Inoltre, i sistemi di monitoraggio della salute delle piante consentono di intervenire solo quando necessario, risparmiando risorse e migliorando la resistenza delle colture a lungo termine. L'adattamento ai cambiamenti climatici tramite l'agricoltura di precisione non è però privo di sfide. I costi iniziali per l'acquisto e l'implementazione di tecnologie avanzate possono essere elevati e la formazione degli agricoltori è fondamentale per garantire l'efficacia di queste tecnologie. L'agricoltura di precisione rappresenta una delle chiavi per il futuro dell'agricoltura sostenibile, che sia cioè in grado di ridurre l'impatto ambientale e migliorare la resilienza delle diverse colture alle insidie dei cambiamenti climatici.

Fondamentale, come misura di adattamento, anche la protezione offerta da strumenti che possano risarcire dei danni in cui possono incorrere le aziende agricole. In particolare, i rischi principali cui possono andare incontro le aziende del settore comprendono: oscillazioni dei prezzi, cali di produzione, eventi meteo estremi, malattie (sia per la produzione animale che vegetale). Gli eventi calamitosi su grande scala solitamente vengono gestiti a livello nazionale, dai singoli Stati, mentre al danno arrecato da eventi più localizzati l'imprenditore agricolo può trovare ristoro grazie a fondi di mutua assistenza o polizze assicurative private.

## 4. Cambiamenti Climatici e Agricoltura: quadro normativo

La normativa relativa ai cambiamenti climatici e al settore agricolo, negli anni, si è sviluppata a livello internazionale, comunitario, nazionale e regionale, con l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra, proteggere l'ambiente e promuovere un'agricoltura sostenibile. Nello specifico:

A **livello internazionale** assumono rilievo:

**(i) Accordo di Parigi (2015)**: è uno dei principali trattati internazionali in tema di cambiamento climatico. Gli Stati firmatari si sono impegnati a contenere l'aumento della temperatura globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, con un target ideale di 1,5°C. Il settore agricolo è indirettamente coinvolto, poiché contribuisce in modo significativo alle emissioni di gas serra e deve quindi adottare misure di mitigazione e adattamento.

**(ii) Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs)**: è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità i cui obiettivi 2 ("Sconfiggere la fame") e 13 ("Lotta contro il cambiamento climatico") sono strettamente collegati al settore agricolo, promuovendo pratiche agricole sostenibili per garantire la sicurezza alimentare e la resilienza ai cambiamenti climatici.

A **livello eurounitario** assumono rilievo:

**(i) Politica Agricola Comune (PAC)**: è lo strumento principale dell'Unione Europea per regolare il settore agricolo. La PAC si basa su due principali pilastri:

1. **Sostegno ai redditi agricoli**: che include pagamenti diretti agli agricoltori per sostenerne il reddito, legati al rispetto di determinate norme ambientali e di benessere animale.
2. **Sviluppo rurale**: che promuove la diversificazione economica, la sostenibilità ambientale e lo sviluppo delle aree rurali, con investimenti e programmi specifici.

Nel corso del tempo, la PAC è stata riformata più volte per rispondere a nuove sfide come la sostenibilità ambientale, i cambiamenti climatici e le esigenze economiche degli agricoltori. **La nuova PAC (2023-2027)** è fortemente orientata alla sostenibilità ambientale e include misure per contrastare i cambiamenti climatici. Gli agricoltori devono seguire pratiche più ecologiche, come l'uso di tecnologie per la riduzione delle emissioni, la protezione della biodiversità e il miglioramento dell'efficienza delle risorse. Inoltre, sono previsti fondi per incentivare pratiche agricole sostenibili e programmi di adattamento ai cambiamenti climatici.

I riferimenti normativi della PAC vanno rinvenuti principalmente in una serie di Regolamenti UE che stabiliscono le basi legali per il suo funzionamento e definiscono principi, modalità di attuazione e meccanismi di finanziamento della PAC. Tra i principali riferimenti normativi meritano menzione i Regolamenti PAC che vengono adottati dall'UE ad ogni ciclo di programmazione pluriennale. Per il periodo 2023-2027, vanno menzionati, per quel che è di più prossimo interesse in questa sede:

- **Regolamento (UE) 2021/2115** che stabilisce le norme sui piani strategici della PAC, che devono essere elaborati e attuati da ciascuno Stato membro;
- **Regolamento (UE) 2021/2116** che disciplina il finanziamento, la gestione e il monitoraggio della PAC;

**(ii) Strategia "Farm to Fork"**: è una strategia che fa parte del Green Deal Europeo e mira a rendere i sistemi alimentari più equi, sani e rispettosi dell'ambiente. Ridurre le emissioni provenienti dall'agricoltura è una delle priorità, attraverso la riduzione dell'uso di pesticidi chimici e fertilizzanti e la promozione dell'agricoltura biologica.

A **livello nazionale** assumono rilievo:

**(i) Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC)**: il PNIEC stabilisce le strategie dell'Italia per raggiungere gli obiettivi climatici al 2030. Tra gli ambiti trattati c'è anche l'agricoltura, con misure specifiche per ridurre le emissioni di gas serra e incentivare l'uso di energie rinnovabili nel settore.

**(ii) Piano Strategico Nazionale della PAC (PSN)**: ogni Stato membro è tenuto a sviluppare un PSN per la PAC, attraverso cui si definisce come il Paese intende utilizzare i fondi e attuare le misure previste dalla PAC a livello locale. Il PSN italiano è sviluppato dal Ministero dell'Agricoltura e approvato dalla Commissione Europea. Per il periodo 2023-2027, l'Italia ha sviluppato un Piano Strategico per implementare la nuova PAC, con una forte enfasi sulla sostenibilità ambientale. Questo piano include incentivi per l'adozione di tecniche agricole resilienti ai cambiamenti climatici e pratiche di gestione sostenibile delle risorse idriche.

(iii) **Decreto-Legge 14 ottobre 2019, n. 111, cd. Decreto Clima**: il provvedimento prevede azioni per migliorare la qualità dell'ambiente e contrastare il cambiamento climatico, includendo iniziative che riguardano anche il settore agricolo, come la riduzione dell'uso di fertilizzanti chimici e il sostegno all'agricoltura biologica e integrata.

A **livello regionale** va rilevato come diverse regioni italiane abbiano adottato normative e piani specifici per affrontare i cambiamenti climatici nel settore agricolo, integrando le normative comunitarie e nazionali. Nello specifico, in tale ambito assume particolare rilievo il **Programma di Sviluppo Rurale (PSR)** che, approvato da ogni Regione e finanziato dalla PAC tramite il **Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR)**, contiene specifiche misure per il settore agricolo in relazione ai cambiamenti climatici. I singoli PSR includono:

- incentivi per pratiche agricole ecocompatibili (come l'agricoltura biologica o la riduzione dei pesticidi);
- promozione dell'efficienza energetica e dell'uso delle energie rinnovabili in agricoltura;
- sostegno per interventi di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, come l'agricoltura di precisione e le tecniche per migliorare la gestione del suolo e dell'acqua.