

I possibili impatti sulle piante e sulle loro coltivazioni

Seppur nella sua estrema variabilità, il clima mondiale sta modificandosi a causa dell'azione umana che ha variamente contribuito a modificare il bilancio energetico della biogeosfera, soprattutto attraverso il rilascio di gas a effetto serra nell'atmosfera. Il recente report dell'IPCC (IPCC, 2007) sostiene che, con il 90% di probabilità, il clima si sta modificando con una velocità mai registrata nell'ultimo millennio e che questa accelerazione ha cause antropiche.

Negli ultimi decenni e nel prossimo futuro, le attività agricole sono state e saranno variamente esposte a questa aumentata variabilità climatica che, nel lungo periodo, potrà trasformarsi in vero e proprio cambiamento permanente. Variazioni estreme nelle temperature dell'aria e nelle precipitazioni con il conseguente aumento dell'intensità degli eventi di siccità o di inondazioni avranno un sicuro effetto sull'agricoltura. Fra alcune decine di anni, al variare degli andamenti climatici, anche la distribuzione spaziale degli areali agroecologici è destinata a cambiare, così come la diffusione di agenti patogeni e fitofagi con un conseguenti impatti sulle attività agricole e sulla produzione di derrate alimentari (FAO, 2007).

Ma le attività agricole non sono solamente destinate a subire gli effetti dei cambiamenti del clima, esse hanno contribuito e contribuiscono alle emissioni di gas a effetto serra (Biossido di Carbonio, Metano e Protossido di Azoto) sia direttamente attraverso la deforestazione, la mineralizzazione della sostanza organica del suolo e le attività zootecniche, sia indirettamente in seguito all'utilizzo dei principali fattori produttivi (fertilizzanti, mecca-

* Dipartimento Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università degli Studi di Padova

** Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Udine

nizzazione, pesticidi). Da questo punto di vista l'agricoltura non subisce solo gli effetti dei cambiamenti climatici ma contribuisce parzialmente a questa accelerazione.

Per contro, l'agricoltura è l'unica attuale attività umana in grado di assorbire CO₂ dall'atmosfera e contribuire quindi alla riduzione dell'effetto serra: l'accumulo di sostanza organica nei suoli agricoli e la produzione o il riciclo di biomasse agricole a fini energetici sono le principali proposte provenienti dai comparti agricoli e forestali per questo fine.

Non tutte le questioni scientifiche e tecniche riguardanti questi temi sembrano avere ricevuto una risposta definitiva. La crescente attività di ricerca che si sta svolgendo in questo campo si è infatti dovuta confrontare con domande a differente scala spaziale:

- da una parte si sono consolidate reti di ricerca e monitoraggio internazionali anche in relazione alle crescenti disponibilità tecnologiche offerte dai sistemi di osservazione globale basati sui prodotti satellitari e dalle aumentate capacità informatiche per la trasmissione e l'elaborazione dei dati; modelli agroecologici diagnostici e prognostici utilizzati per l'analisi dei diversi scenari si sono spesso dovuti confrontare con la reale disponibilità dei dati per la calibrazione e la validazione;
- dall'altra è divenuto ormai evidente come l'azione dei cambiamenti climatici abbia un carattere locale e si debba pertanto provvedere a ricerche e monitoraggi a scala regionale adatti a risolvere sia questioni legate alle produttività e alla fertilità agroecologica, sia alle infrastrutture produttive, sociali ed economiche che spesso sfuggono a generalizzazioni e semplificazioni.

Il dibattito generato dalle nuove evidenze, ma generato anche dagli accordi internazionali sui cambiamenti climatici, è tuttavia ancora acceso ed è stato, alle volte, oggetto di campagne informative poco attente o addirittura strumentalizzato politicamente. Nel futuro le questioni sono destinate a complicarsi ulteriormente a causa dell'ormai evidente spostamento degli equilibri economici mondiali, dell'aumento demografico e della crisi energetica legata alla sempre minore disponibilità di combustibili fossili.

Gli obiettivi del presente contributo sono quelli di riassumere brevemente le questioni relative al triplice ruolo dell'agricoltura nei confronti dei cambiamenti climatici che possono essere a loro volta riassunte dalle seguenti relazioni non prive di importanti interdipendenze:

1. *Impatti*: Quali sono le principali minacce generate dal cambiamento del clima? Dove e in quale misura si avranno i maggiori rischi per l'agricoltura? Quando e con che velocità avverranno?
2. *Adattamenti*: Quali sono le possibili contromisure a tali cambiamenti? Quanto costeranno e quali saranno le implicazioni dello spostamento degli areali produttivi?
3. *Mitigazioni*: L'agricoltura contribuisce all'aumento dei gas a effetto serra soprattutto con la deforestazione e la zootecnia ma contemporaneamente è l'unica attività umana in grado di ridurre la concentrazione di biossido di carbonio atmosferico attraverso i processi atmosferici. È possibile salvaguardare la produzione e il reddito agricoli contribuendo contemporaneamente a ridurre le emissioni antropiche nette di gas a effetto serra?

Le tematiche sopra elencate verranno analizzate soprattutto per quanto riguarda la situazione italiana anche al fine di proporre una linea d'azione per la ricerca italiana al servizio del futuro dell'agricoltura.

I. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULL'AGRICOLTURA

Gli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura possono essere suddivisi in due gruppi:

- impatti biofisici: effetti ecofisiologici sulle colture e sull'allevamento in grado di modificare quantitativamente e qualitativamente il metabolismo, le variazioni spazio-temporali delle risorse in termini di superficie coltivabile, suolo e disponibilità idriche, le minacce causate da agenti patogeni e fitofagi;
- impatti socio-economici: riduzione quali/quantitativa delle produzioni agricole, fluttuazioni dei prezzi dei fattori produttivi e dei prodotti, riduzione del reddito agricolo, cambiamento degli areali produttivi.

In Italia negli ultimi 122 anni gli indici agrometeorologici indicano un significativo cambiamento degli andamenti termici e della distribuzione delle precipitazioni (Moonen et al., 2002). Gli impatti sulle produzioni agricole sono tuttavia più difficili da evidenziare a causa di cambiamenti nelle tecniche agricole e soprattutto del miglioramento genetico.

Attraverso una metanalisi dei dati fenologici delle colture agrarie in 19 paesi europei (tra cui purtroppo non è compresa l'Italia) appare evidente come siano già in atto dei cambiamenti nei cicli colturali delle principali specie agricole (Menzel et al., 2006a). Soprattutto a nord delle Alpi, ma anche in area mediterranea si assiste a un generale anticipo dell'epoca di fioritura dei

fruttiferi (circa 2 giorni ogni 10 anni dal 1950 per pomacee e drupacee in Germania) in accordo con il generale aumento medio di temperatura di 1,4 C°. Dal 1974 a oggi l'epoca di semina del mais nel sud della Francia è stata anticipata di circa 20 giorni. Anche la viticoltura ha in generale beneficiato dell'aumento medio delle temperature e in generale di una maggiore stabilità climatica con un allungamento della stagione vegetativa (dai 170 del 1975 ai 210 giorni del 2008, per i vigneti francesi). Tuttavia a livello europeo e italiano non si sono dimostrati significativi impatti sui raccolti.

Nei prossimi 50 anni sono previste variazioni nella produttività potenziale in funzione dei cambiamenti climatici e dell'aumentata concentrazione di CO₂ atmosferica, con aumenti dal 2 al 30 % sui raccolti nel Nord Europa e riduzioni dal 2 al 30% nell'area Mediterranea. Soprattutto per le colture estive a causa della minore disponibilità idrica e dell'aumentata domanda evapotraspirativa. Gli areali di coltivazione delle colture italiane quali mais, girasole e soia si spingeranno più a Nord con un conseguente aumento di superficie pari al 30-50% rispetto all'attuale. Ma probabilmente gli effetti più sfavorevoli e difficili da controllare riguarderanno l'aumentata variabilità climatica che riguarderà tutta l'area Mediterranea, Italia compresa.

Gelate primaverili (Lianghong et al., 2008), stress idrici associati a particolari stadi fenologici di alcune colture agrarie, periodi piovosi in corrispondenza delle epoche di semina e raccolta sono tra le principali cause di una possibile riduzione della produttività di un aumento dei costi di coltivazione con una conseguente riduzione del reddito agricolo e della superficie coltivata (Olesen et al., 2007). La vulnerabilità dell'intero sistema agricolo all'aumentata variabilità climatica sarebbe ulteriormente aggravata nelle filiere agro-alimentari e nelle colture orticole a causa delle associate difficoltà nel garantire una stabilità produttiva e nella pianificazione delle operazioni colturali.

Eventuali cambiamenti climatici avrebbero anche altri effetti anche soprattutto sul ciclo dell'azoto con aumenti della percolazione dei nitrati dovuti ai prolungati eventi piovosi autunnali e un aumento del rischio di desertificazione delle aree meno piovose dell'Italia meridionale.

Gli impatti sul territorio italiano risulterebbero differenziati tra le aree settentrionali più soggette a una aumentata variabilità climatica e le aree meridionali maggiormente soggette a una riduzione delle disponibilità idriche e conseguente aumento della siccità. Se non si considerano le capacità di adattamento la regione mediterranea sarebbe comunque quella maggiormente sfavorita dagli effetti del cambiamento del clima (tab. 1).

Impatto	Nord	Ovest	Centro	Sud	Est
Superficie coltivabile	+++	++	+	--	-
Superficie agricola totale	--	--	--	--	--
Coltivazioni estive	+++	++	+	---	--
Coltivazioni autunno vernine	+++	++	+/-	--	+
Fabbisogno irriguo	n.d.	+/-	--	---	-
Colture da energia	+++	++	+	--	-
Allevamento zootecnico	+/-	-	--	--	--
Allevamento ittico	++	+	n.d.	-	n.d.

Tab. 1 *Impatti previsti senza adattamenti nel settore agricolo nelle diverse regioni europee. I simboli + e - indicano rispettivamente impatti positivi e negativi. Ridisegnato dal IV report su cambiamenti climatici dell'IPCC (IPCC, 2007)*

2. ADATTAMENTI DEL SISTEMA AGRICOLO

Risulta chiaro che i possibili adattamenti ai cambiamenti del clima dipendono non solamente dalla capacità degli imprenditori agricoli di trovare e implementare soluzioni tecniche con una velocità maggiore di quella con cui i cambiamenti climatici stanno avvenendo, ma anche e soprattutto, dalle capacità politiche e di *governance* di indirizzare uno sviluppo sostenibile (Olesen e Bindi, 2004). Da questo punto di vista le previsioni divengono ancora più difficili (Menzel et al., 2006b).

In generale la capacità di adattamento del sistema agricolo almeno nei paesi europei è molto elevata e decisamente superiore a quella dovuta ai cambiamenti del clima. È previsto che, mediante l'affinamento delle tecniche agricole (Olesen et al., 2007), la scelta varietale e colturale e il miglioramento genetico, le produzioni agricole aumenteranno qualitativamente e quantitativamente sia a livello europeo sia italiano controbilanciando le eventuali perdite dovute al clima (Ewert, 2005). Nonostante sia difficile operare delle generalizzazioni è comunque possibile prevedere uno spostamento verso Nord degli areali di coltivazione di alcune colture quali il grano duro, l'ulivo e gli agrumi a scapito di colture estive contraddistinte da un maggiore fabbisogno idrico. Nel breve periodo, in alcune regioni potrebbe diventare conveniente la semina primaverile del frumento (Minguez et al., 2007) e la coltivazione di varietà maggiormente resistenti alla siccità o con ciclo culturale più lungo (Richter and Semenov, 2005). Lo scenario appare più confuso in merito alle variazioni di superficie agricola soprattutto a causa dei previsti abbandoni di terre marginali, troppo frammentate o poco produttive. (Schröter et al., 2005) in contrasto con aree in cui sarebbero previste intensificazioni delle

pratiche agricole (Berry et al., 2006). Alcuni scenari di sviluppo prevedono che rilevanti porzioni di territorio possano venire abbandonate dalle pratiche agricole tradizionali e permettere lo sviluppo di coltivazioni a fini bioenergetici.

L'agricoltura italiana ed europea sarà pertanto nel prossimo futuro sottoposta a nuove sfide che potranno in qualche caso rivelarsi vere proprie opportunità di sviluppo. È altrettanto urgente riconoscere che i previsti impatti negativi potranno essere controbilanciati solamente attraverso una attiva partecipazione di tutti gli attori del settore agricolo e che la sperimentazione e la ricerca avranno un ruolo fondamentale. Le soluzioni, infatti, dovranno essere differenziate in funzione sia delle caratteristiche pedo-climatiche sia socio-economiche.

3. POTENZIALE DI MITIGAZIONE

L'agricoltura e la gestione forestale sono le uniche attività antropiche in grado di rimuovere CO_2 dall'atmosfera e di mitigare quindi l'effetto serra. Nonostante ciò il bilancio netto dei gas a effetto serra dell'intero comparto agricolo è ancora positivo. L'agricoltura contribuisce in Italia a circa il 9% delle emissioni totali. La maggior parte delle emissioni sono di tipo diretto e provengono principalmente dal comparto zootecnico sotto forma di metano e sotto forma di protossido di azoto come conseguenza delle fertilizzazioni azotate (APAT, 2007). Un'ulteriore quota deriva dalle emissioni indirette dovute all'utilizzo dei fattori produttivi (fertilizzanti) e alla meccanizzazione (soprattutto lavorazioni e irrigazioni).

Nell'ambito degli accordi internazionali per la riduzione delle emissioni nette dei gas ad effetto serra sono state incentivate alcune misure sia per aumentare il sequestro di carbonio atmosferico sia per diminuire le emissioni dirette e indirette. Le possibili attività possono essere così sintetizzate:

- *accumulo di carbonio sotto forma di sostanza organica nei suoli agricoli.* La riduzione delle lavorazioni e la corretta gestione delle rotazioni colturali e dei residui possono contribuire a contribuire ad aumentare il carbonio organico nel suolo rimuovendolo dall'atmosfera (Smith et al., 2007). Alcune pratiche come la non lavorazione possono accumulare nel suolo fino ad 1 ton CO_2 all'anno. Ammettendo che possano essere applicate su tutta la superficie agricola italiana (circa 10 Mha) il sequestro potenziale potrebbe

essere pari a 10 Mt CO₂ anno, circa il 2% delle emissioni nette italiane e circa il 40% del *target* di riduzione del protocollo di Kyoto in Italia. Tuttavia, essendo questa una misura opzionale, in Italia non è stata eletta tra quelle possibili per la riduzione delle proprie emissioni. Tali pratiche sono infatti di difficile applicazione e verifica (ai fini di un eventuale indennizzo) e soprattutto hanno un carattere temporaneo e sono facilmente reversibili. È comunque indubbio che l'aumento delle sostanza organica dei suoli agricoli è in genere correlata alla fertilità.

- *afforestazione*. La piantagione di colture con ciclo colturale poliennale e soprattutto con grandi quantità di biomassa aumenta il tempo di residenza medio del carbonio nella biosfera e riduce quindi la concentrazione di CO₂ atmosferica. La piantagione di essenze arboree contribuisce pertanto a mitigare l'effetto serra anche se è in conflitto con il deficit della bilancia agro-alimentare italiana.
- *riduzione delle emissioni dirette e indirette*. Le principali attività si dovrebbero concentrare sulle emissioni di metano dal comparto zootecnico. Tutte le soluzioni indagate appaiono tuttavia di non facile applicazione con eccezione per gli impianti di riciclo dei reflui zootecnici con recupero del biogas che hanno il duplice ruolo di ridurre le emissioni nette e di produrre energia riducendo l'uso dei combustibili fossili. Un'ulteriore fonte di emissione, ancora poco studiata e conosciuta è quella derivante dalle emissioni di protossido. Da questo punto di vista è necessario ricordare che una molecola di protossido ha un potere riscaldante 300 volte superiore a quello di una molecola di CO₂. Pertanto l'emissione di 1 kg di N₂O dal suolo equivale alla emissione di circa 300 kg di CO₂. Nonostante la denitrificazione sia molto limitata nella maggior parte dei suoli agricoli italiani, eventi piovosi in prossimità delle fertilizzazioni soprattutto se localizzate possono provocare perdite di 2-3 kg di protossido per ettaro per anno e cioè pari a 0,6-0,9 t di CO₂ eq./ha/anno. L'utilizzo di fertilizzanti a lento rilascio di azoto, o l'utilizzo di leguminose portano ad una significativa riduzione delle emissioni.
- *biocombustibili e biocarburanti*. La recente crisi energetica e l'aumento del prezzo del petrolio ha portato molti governi (compreso quello italiano) a promuovere lo sviluppo di filiere per la produzione di biocombustibili e biocarburanti. Nonostante il loro sviluppo, un'analisi basata sul bilancio dell'intero ciclo di vita di questi prodotti permette di catalogare questi prodotti e le

loro filiere produttive in base al bilancio di gas ad effetto serra (Rainer et al., 2007). Risulta importante notare che la produzione di bioetanolo da amido di cereali ha un bilancio nullo rispetto ai tradizionali combustibili fossili (la produzione di un litro di bioetanolo richiede mediamente 1,1 l di gasolio). La produzione di biodisel da semi oleaginosi ha un bilancio solo leggermente negativo (0,7 l gasolio). Molto più promettenti appaiono le filiere che producono energia da biomassa che hanno un effetto di sostituzione quasi sempre negativo soprattutto se vengono utilizzate attraverso impianti a recupero di calore. Anche le filiere per la produzione di biocombustibili da cellulosa sembrerebbero avere un bilancio negativo, ma le tecnologie non sono ancora disponibili (HCEAC, 2008). L'attuale crisi alimentare legata all'aumento dei prezzi delle derrate alimentari ha notevolmente ridotto il margine per la produzione di biocombustibili confinando le possibilità al solo utilizzo dei residui colturali e alla coltivazione delle terre marginali improduttive.

4. MONITORAGGIO, SPERIMENTAZIONE E RICERCA

Affrontare i cambiamenti climatici in maniera attiva in modo da approfittare delle eventuali nuove opportunità richiederà nel prossimo futuro un'efficace collaborazione e un intenso flusso informativo tra i diversi attori coinvolti nel settore agricolo. La capacità di reazione del sistema produttivo agricolo dipende innanzitutto dalla qualità del monitoraggio delle variabili meteorologiche e produttive. Le analisi delle prove agronomiche di lungo termine, il monitoraggio delle fasi fenologiche e le più recenti reti di monitoraggio istantaneo dei flussi di gas ad effetto serra hanno permesso e permetteranno di individuare le capacità di adattamento ecofisiologico degli agro-ecosistemi e l'eventuale efficacia degli adattamenti produttivi a diverse scale spaziali e temporali.

Una importante opportunità per l'Italia potrebbe derivare dall'adesione alla rete ICOS (Integrated Carbon Observation System) quale infrastruttura prevista dalla *roadmap* europea per fronteggiare il cambiamento del clima.

La sperimentazione e la divulgazione di nuove tecniche agronomiche o di nuove specie e varietà richiede attenti investimenti visto che le soluzioni potranno nella maggior parte dei casi essere sviluppate a livello locale. Nonostante ancora non siano stati raggiunti risultati significativi sulle complesse risposte ai fattori climatici quale ad esempio la disponibilità idrica, meritano di essere esplorate le prospettive offerte dagli OGM in combinazione con tecniche agronomiche adattate al sito (Steduto, 2008).

RIASSUNTO

Affrontare in modo concreto i cambiamenti climatici richiederà una sempre più efficace collaborazione tra i diversi attori del settore agricolo. La capacità di risposta del sistema primario dipenderà prima di tutto dalla qualità del monitoraggio delle variabili meteorologiche e produttive.

Una rilevante opportunità per il nostro Paese può derivare dalla partecipazione alla rete "Integrated Carbon Observation System" così come è previsto dalla roadmap europea per fronteggiare il cambiamento climatico.

ABSTRACT

To seriously tackle climate changes it is necessary to establish a real collaboration between the different actors that operate in the agricultural sector. The capability of the primary sector to promptly answer will mainly depend on the quality of monitoring of meteorological and productive variables. A great opportunity for our country could be the participation to the "Integrated Carbon Observation System", as foreseen in the European roadmap for facing climate changes.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2007): *Italian Green House Gas Inventory*, «National Inventory Report», Roma.
- FAO (2007): *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*, Roma.
- HOUSE OF COMMONS ENVIRONMENTAL AUDIT COMMITTEE (2008): *Are biofuels sustainable?*, First Report of Session 2007-08, London.
- IPCC (2007): *Fourth Assessment Report Working Group II Report*, "Impacts, Adaptation and Vulnerability", Cambridge University Press, Usa.
- LIANHONG G. ET AL. (2008): *The 2007 Eastern US Spring Freeze: Increased cold damage in a Warming world?*, «Bioscience», 58, 3, pp. 253-262.
- MARACCHI G., SIROTENKO O., BINDI M. (2005): *Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe*, «Climatic Change», 70, pp. 117-135.
- MENZEL A., SPARKS T.H., ESTRELLA N., KOCH E., AASA A., AHAS R., ALM-KUBLER K., BISSOLLI P., BRASLAVSKA O., BRIEDE A., CHMIELEWSKI F.M., CREPINSEK Z., CURNEL Y., DAHL A., DEFILA C., DONNELLY A., FILELLA Y., JATCZAK K., MAGE F., A. MESTRE, O. NORDLI, J. PENUELAS, P. PIRINEN, V. REMIŠOVA, H. SCHEIFINGER, M. STRIZ, SUSNIK A., VAN VLIET A.J.H., WIELGOLASKI F.-E., ZACH S., ZUST A. (2006b): *European phenological response to climate change matches the warming pattern*, «Glob. Change Biol.», 12, pp. 1969-1976.
- MENZEL A., VON VOPELIUS J., ESTRELLA N., SCHLEIP C., DOSE V. (2006a): *Farmers' annual activities are not tracking speed of climate change*, «Climate Res.», 32, pp. 201-207.
- MOONEN A.C., ERCOLI L., MARIOTTI M., MASONI A. (2002): *Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years*, «Agr. Forest Meteorol.», 111, pp. 13-27.
- OLESEN J.E., BINDI M. (2004): *Agricultural impacts and adaptations to climate change in Europe*, «Farm Policy Journal», 1, pp. 36-46.

- OLESEN, J.E., CARTER T.R., DÍAZ-AMBRONA C.H., FRONZEK S., HEIDMANN T., HICKLER T., HOLT T., MÍNGUEZ M.I., MORALES P., PALUTIKOF J., QUEMADA M., RUIZ-RAMOS M., RUBÆK G., SAU F., SMITH B., SYKES M. (2007): *Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models*, «Climatic Change», 81, S123-S143.
- SMITH P., MARTINO D., CAI Z., GWARY D., JANZEN H., KUMAR P., MCCARL B., OGLE S., O'MARA F., RICE C., SCHOLES B., SIROTENKO O. (2007): *Agriculture*, in *Climate Change 2007: Mitigation*, contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds), Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- STEDUTO P. (2008): *Water: More crop per drop*, «Nature» 452, pp. 273-277.
- ZAH R., BÖNI H., GAUCH M., HISCHIER R., LEHMANN M., WÄGER P. (EMPA) (2007): *Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Assessment of Biofuels*, Bern.