

ENRICO PORCEDDU*

Agrobiologia e cambiamenti climatici

Introduzione

Gli studi sull'evoluzione del clima concordano su alcuni punti generali:

- la concentrazione di CO₂ e di altri gas serra aumentano e sono anzi fra le cause del cambiamento climatico,
- le temperature aumentano, specialmente durante l'inverno,
- le precipitazioni annuali aumentano ed aumenta la variabilità interstagionale,
- le precipitazioni estive diminuiscono, ma aumenta la frequenza di precipitazioni intense, mentre d'inverno le nevicate invernali diminuiscono, determinando una diminuzione del rifornimento idrico,
- gli eventi meteorici estremi aumentano negli ambienti caldi, con allagamenti, venti, precipitazioni violente e più lunghi periodi di siccità.

Per stimare gli effetti di questi cambiamenti sulla produzione agraria è opportuno ricordare che l'andamento stagionale degli eventi meteorici e le condizioni del terreno sono i principali fattori ambientali che influenzano la produzione delle piante. Benché i loro effetti siano oggetto di studio ormai da molti decenni, dal livello subcellulare a quello di intera pianta, il loro ruolo sulla produzione delle specie agrarie rimane incerto, per le difficoltà di trasferire i risultati di queste ricerche a livello di pieno campo e a scala regionale e globale. I modelli che tentano di integrare i risultati di questi studi a scala temporale e territoriale riescono a integrare solo gli effetti di primo ordine e si deve far uso di coefficienti tecnici per i processi più complessi.

Le difficoltà non sono poche, come testimoniano i risultati di numerose ricerche ormai diventati di dominio comune.

Anzitutto esistono notevoli differenze nelle risposte alla temperatura ed alla

^{*} Uno dei XL. Dipartimento di Agrobiologia e Agrochimica, Università degli Studi della Tuscia. E-mail: porceddu@unitus.it

concentrazione della CO₂ tra piante a ciclo fotosintetico C₃, C₄ e CAM; anche nell'ambito di ognuno di questi tipi, piante selezionate in ambienti diversi posseggono caratteri diversi e sono oggetto di una diversa gestione agricola. La maggior parte delle piante coltivate sono C₃ e di origine temperata, con l'eccezione di mais, miglio, sorgo e canna da zucchero, che sono C₄ ed hanno origine tropicale. Inoltre la maggior parte delle piante da pieno campo sono annuali; le specie, le cultivar, i tempi di semina sono scelti di anno in anno dall'agricoltore che ha così la possibilità di cambiare le sue scelte in modo frequente. Le specie da frutto, la vite, l'olivo e molte foraggere sono invece polienni, sono soggette a tecniche colturali abbastanza costanti di anno in anno e gli stessi alberi devono rispondere ad eventi meteorici diversi da un anno all'altro. Infine i fattori che limitano la crescita della vegetazione spontanea sono ottimizzati dall'agricoltore con la fertilizzazione, l'irrigazione, la difesa dai parassiti e dagli agenti patogeni; la stessa competizione interspecifica, che ha rilevante importanza in natura, è controllata con il diserbo dall'agricoltore che mira a massimizzare la parte della vegetazione oggetto di raccolta.

Gli studi di agrobiologia nei confronti del cambiamento climatico non sono quindi semplici né hanno finora fornito risultati consolidati, come indicano anche le diatribe recenti sugli studi di simulazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulle disponibilità alimentari a scala planetaria.

Questa presentazione vuole ricordare i principali effetti dei parametri ambientali sulla fisiologia delle piante, prima di considerare alcuni aspetti dell'impatto del cambiamento climatico sulle piante coltivate in genere e nell'area mediterranea in particolare.

Effetti fisiologici di alcuni fattori ambientali

Concentrazione della CO2

L'anidride carbonica è, con l'acqua, il substrato essenziale per la fotosintesi clorofilliana che, utilizzando l'energia solare, produce zuccheri. La CO₂ entra nelle piante attraverso gli stomi la cui apertura è la risultante di un compromesso tra l'entrata della CO₂ e l'uscita del vapore acqueo, nel senso che l'apertura/chiusura degli stomi è controllata dal ritmo fotosintetico e dallo stress idrico. La maggior parte delle colture da pieno campo fissa CO₂ attraverso il ciclo C₃, nel quale il fattore limitante la fotosintesi è proprio la concentrazione della CO₂, per cui un aumento di quest'ultima dovrebbe avere effetti positivi (Fig. 1). Ma gli stessi enzimi che operano la fotosintesi presiedono anche al fenomeno della fotorespirazione, in cui la CO₂ appena fissata viene rilasciata per ossidazione degli zuccheri, per cui il guadagno è almeno in parte compromesso. Nelle piante C₄ la fotorespirazione è praticamente assente, ma la fotosintesi è pressoché saturata ai livelli attuali di CO₂, per cui l'aumento di quest'ultima non determina incrementi significativi della fotosintesi (Fig. 1). Ma in entrambe i tipi di piante, C₃ e C₄, un aumento della CO₂ determina una parziale chiusura degli stomi, il che riduce la traspirazione e quindi

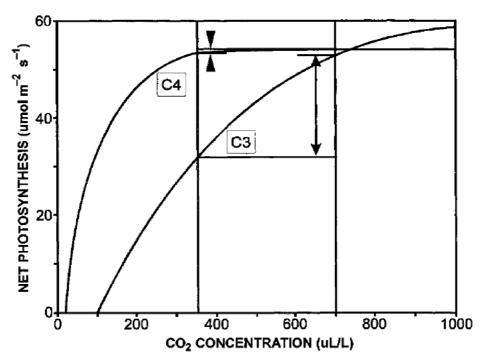


Fig. 1. Effetti fisiologici della concentrazione della CO₂ (Da Rogers et al., 1994).

migliora l'efficienza dell'uso dell'acqua. In conclusione si ha una più elevata produzione, almeno in condizioni di leggera carenza idrica, che nelle piante C_3 si aggira su 30% al raddoppio della concentrazione della CO_2 . L'aumento della crescita comporta, inoltre, una modica delle interazioni con i nutrienti minerali e la disponibilità idrica per cui esistono molti problemi non risolti.

Le conoscenze attuali sembrano, comunque, indicare:

Crescita. Per quanto riguarda la crescita, il ritmo fotosintetico aumenta immediatamente all'aumentare della concentrazione della CO_2 , ma a lungo andare la risposta si riduce. L'aumento della area fogliare determina una più rapida e più completa intercettazione della luce, la biomassa quindi aumenta, ma la maggior biomassa richiede maggior energia per la più elevata respirazione per unità di area. La fotorespirazione è in parte soppressa ma non è detto che si abbia un maggior accumulo di sostanza secca. La maggior massa fogliare determina inoltre un maggior ombreggiamento vicendevole delle foglie che ingialliscono più precocemente e si avvicendano più rapidamente, con conseguente riduzione del guadagno potenziale per foglia. Le piante C_3 rispondono meglio delle piante C_4 con ovvio vantaggio competitivo. Ma il più elevato ritmo fotosintetico può determinare carenza in

elementi minerali come l'azoto, con conseguente minor crescita, a meno che non si tratti di piante che fissano azoto, le quali tendono a trarre maggior vantaggio.

Traspirazione e efficienza nell'uso dell'acqua. L'aumento della CO₂ riduce la conduttanza stomatica e la traspirazione, senza distinzione tra le piante C₃ e C₄. Il consumo idrico ad unità di superficie del terreno non è influenzato ma dipende essenzialmente dai cambiamenti nell'area fogliare e nella struttura della massa verde. L'efficienza nell'uso dell'acqua è molto diverso tra le cultivar, con variazioni che vanno da 15 a 90% al raddoppio della concentrazione della CO₂ (Tab. 1).

Tab. 1. Caratteristiche fotosintetiche, efficienza nell'utilizzazione dell'acqua (WUE) e risposta all'aumento della CO_2 di alcune colture (Adattato da: Sombrock e Gommes, 1995).

Coltura	Origine Geografica	Foto- sintesi	WUE g/l H ₂ O	Riposta/sensibilità alla CO ₂
Frumento	E EU, W Asia	C3	1,25-2,5	30-40
Mais	Cento Amer.	C4	2,9 -5,7	30-55
Riso	Asia, Africa	C3	1,4 -3,3	15-55
Patata	S. America	C3	1,25-2,5	50
Orzo	W Asia	C3	1,25-2,5	50-70
Manioca	S & C. America	CAM	1,4 -2,3	=
Canna da zucchero	SE Asia	C4	1,25-6,66	=
Soia	E Asia	C3	1,4 -3,3	7-40
Sorgo	Africa	C3	2,0 -6,7	30-90
Vite	Asia	C3		1,25-3,3
Cotone	S. America	C3	1,4 -3,3	40-90
Fagiolo	S. & C. America	C3	1,4 -3,3	70
Pisello	W Asia	C3		85

Entità e qualità del raccolto. La produzione di biomassa e di granella tendono ad aumentare, ma l'andamento della distribuzione degli assimilati è diverso tra piante C_3 e piante C_4 ed aumenta il rapporto radici/parte aerea. L'aumento della CO_2 tende a far chiudere gli stomi, ma diminuendo la traspirazione aumenta la temperatura delle foglie che invecchiano più precocemente, diminuisce quindi la durata della crescita e viene ridotta l'efficienza della produzione di biomassa e/o di granella.

L'aumento della CO₂ determina un aumento dei carboidrati con diminuzione relativa dei minerali che diventano fattore limitante della fotosintesi; inoltre compromette la qualità nutrizionale delle foglie per i predatori e gli animali al pascolo, i quali potrebbero dover consumare di più per ottenere una stessa quantità di minerali, mentre nei ruminanti dovrebbe aversi un miglioramento del rapporto energia /proteine.

Interazione CO₂ altri fattori. La risposta all'aumento della CO₂ è migliorata dall'aumento della luce e della temperatura; inoltre l'aumento della CO₂, riducendo

l'apertura stomatica, determina un minor danno da parte di altri gas come NO_x , SO_2 e O_3 . Per la stessa ragione, l'aumento della CO_2 migliora anche l'efficienza di utilizzazione dell'acqua.

Temperatura

La crescita delle piante e la produzione delle colture dipendono dalla temperatura media e dai valori termici estremi, anche se è difficile stabilire una chiara relazione causa-effetto tra la temperatura e i principali fenomeni fisiologici delle piante. In condizioni di campo le temperature più elevate sono associate ad una maggior radiazione e più elevata utilizzazione dell'acqua, ma gli effetti sono diversi a seconda delle condizioni ambientali.

La risposta delle piante può essere diversa da specie a specie e a seconda delle cultivar e fasi vegetative con oscillazioni anche di diversi gradi centigradi (Tab. 2).

Coltura	Ottimo	minimo	massimo
Frumento	17-23	0	30-35
Riso	25-30	7-12	35-38
Mais	25-30	7-12	35-38
Patata	15-20	5-10	25
Soia	15-20	0	35

Tab. 2. Soglie termiche di alcune colture (Autori diversi).

La temperatura influisce ovviamente sulla distribuzione degli assimilati e sul ritmo di crescita. Una più accentuata respirazione, promossa da temperature più elevate, può determinare una diminuzione della sostanza secca. Nelle piante annuali la temperatura più elevata può significare una maturazione più precoce, come indicato nella Tab. 3 in cui vengono riportate la durata attuale del periodo di crescita e la diminuzione della post-antesi e del periodo vegetativo complessivo di colture di frumento, riso, mais, e soia in diverse situazioni ambientali. Differenze si hanno anche tra cultivar della stessa specie, testimoniando la possibilità di selezionare materiali adatti alle nuove situazioni ambientali determinate dal cambiamento climatico.

Precipitazioni, umidità dell'aria ed evaporazione potenziale.

Le proiezioni dei cambiamenti climatici indicano una intensificazione del ciclo idrologico, caratterizzato da maggiore evaporazione, precipitazione e umidità dell'aria. I cambiamenti nella distribuzione e intensità delle precipitazioni sono in genere più importanti della quantità di precipitazioni e dell'evaporazione potenziale annuale. In condizioni di campo infatti la disponibilità di acqua per le colture dipende dalla distribuzione delle precipitazioni in relazione al periodo vegetativo e

Tab. 3. Durata attuale della crescita e diminuzione della post antesi (PoA) e della durata totale dello sviluppo (E-M = Emergenza – Maturazione) delle diffuse cultivar di frumento e riso, come conseguenza dell'aumento della temperatura media (°C) stagionale. (Adattato da: Acock e Acock, 1993).

Coltura/ cultivar	PoA	E-M	°C media stagionale	cambiamento Termico	Dimir PoA	nuzione E-M	Aree rappres.
Frumento	40	150	10/19	0,0			Siria
subtropicale	38	138	11/20	+1,0	-5	-8	Israele
	36	128	12/21	+2,0	-10	-15	
	33	111	14/23	+4,0	-18	-26	
Frumento	63	273	5/16	0,0			Olanda
	59	234	6/17	+1,0	-6	-14	Germania
	54	194	7/18	+2,0	-14	-29	
	50	167	9/20	+4,0	-21	-39	
Riso	50	139	21,0	0,0			S Francia
Subtrop.	52	125	22,0	+1,0	-12	-10	
	46	110	23,5	2,5	-22	-21	
	42	100	25,0	4,0	-29	-28	
Riso	42	95	27,0	0,0			Tailandia
Trop.	39	90	28,0	1,0	-7	-5	
	36	83	29,5	2,5	-14	-13	
	33	77	31,0	4,0	-21	-19	

dalla capacità di immagazzinamento idrico nel volume di terreno interessato dalle radici. Ad essere determinante non è quindi la quantità totale di acqua ma quella disponibile quando serve.

Effetti del cambiamento climatico sulla produzione agricola e specificità geografiche

Alla luce delle considerazioni svolte, i cambiamenti climatici indicati nell'introduzione potrebbero avere gli effetti indicati qui di seguito sulla produzione vegetale e sulla sicurezza alimentare:

– L'aumento della concentrazione della CO2 potrebbe determinare un aumento della biomassa vegetale ed un miglioramento dell'efficienza potenziale dell'acqua da parte delle colture, anche se in misura inferiore alle attese, per l'instaurarsi di una serie di interazioni tra i diversi fattori, come dianzi ricordato.

L'aumento della CO₂ potrebbe anche modificare l'entità dei flussi del ciclo dell'azoto, con conseguenze negative sulla vegetazione, più soggetta a consumo da parte di insetti nocivi ed altri organismi vegetariani, e sulla decomposizione dei residui vegetali – un processo in cui l'azoto costituisce abitualmente fattore limitante – e quindi sulla materia organica del terreno, con conseguenze sull'equilibrio idrico e sugli interi ecosistemi. È da ricordare infatti che si tratterebbe di una ulteriore e più generale riduzione della materia organica che va ad aggiungersi a quella

dovuta alla separazione, ormai pressoché compiuta, degli allevamenti dalle coltivazioni, e alla pianificazione del territorio in seguito alle politiche del «set-aside», della gestione dei fertilizzanti, dell'aratura, dell'irrigazione, ecc., le cui interazioni, complesse e non unidirezionali, sono ancora poco conosciute. Il degrado del terreno costituisce il maggior pericolo per la sostenibilità e la causa che determina l'impossibilità di adattamento.

- Le temperature, specie quelle invernali, dovrebbero aumentare, determinando nuovi rischi e nuove opportunità. Spesso l'attenzione si concentra sui primi mentre le seconde vengono pressoché trascurate. L'aumento della temperatura offre infatti la possibilità di aumentare la produzione delle specie attualmente in coltivazione, la superficie utilizzata dall'agricoltura e l'introduzione di nuove specie. A latitudini elevate l'aumento della temperatura può determinare un allungamento della stagione vegetativa e quindi del periodo in cui le piante accumulano le sostanze di riserva che costituiscono il raccolto, anche se la luce non abbondante può impedire di trarne pieno vantaggio. La coltivazione di specie tipicamente mediterranee, come olivo e vite, potrebbe essere effettuata in regioni più settentrionali di quelle tradizionali, come indica la coltivazione dell'olivo nelle zone dei laghi del settentrione italiano, le cui acque mitigano le temperature invernali, o la recente reintroduzione della vite in alcune regioni del Regno Unito. Per contro le più elevate temperature, associate alla maggior piovosità e umidità, potrebbero favorire lo sviluppo di malerbe, insetti nocivi e agenti patogeni, prima non presenti, con la necessità di adottare cultivar resistenti e/o l'introduzione di presidi sanitari e pratiche agronomiche non necessarie in precedenza. Nelle regioni siccitose un aumento della temperatura durante l'estate può aggravare la già non facile situazione e nei climi subtropicali, ove l'acqua è pur disponibile, può far svanire la possibilità di avere un secondo o un terzo raccolto nello stesso anno. Temperature più elevate sono spesso associate ad una più accentuata variabilità e frequenza dei valori estremi.

– I cambiamenti nei regimi idrogeologici potrebbero far sentire i loro effetti sull'utilizzazione e distribuzione dell'acqua destinata all'agricoltura, la cui minor disponibilità potrebbe determinare stress idrici notevoli per le coltivazioni. Le variazioni che da un anno all'altro si registrano nelle precipitazioni sono fra le cause più importanti delle variazioni produttive, quantitative e qualitative. L'aumento delle esigenze idriche potrebbe promuovere una maggior emunzione di acqua sotterranea, facendo abbassare la falda, con aumento dei costi di irrigazione e, nelle aree in prossimità del mare, l'intrusione di acqua salata nelle falde acquifere, rendendole di difficile utilizzazione per l'irrigazione e per l'uso civico.

Il minor apporto idrico, riducendo la vegetazione, aggrava gli effetti dell'erosione eolica e idrica, già aumentati per l'accresciuta concentrazione degli eventi meteorici, con effetti non solo sulla produzione agraria ma anche sulla stabilità dei versanti, la qualità dei corsi d'acqua, ecc.

La limitata o poco distribuita nel tempo precipitazione invernale può significare anche mancata o insufficiente diluizione di particolari composti, con conseguente compromissione della qualità del terreno e delle acque, un problema aggravato dal conseguente modesto volume di vegetazione, che non riesce ad utilizzare pienamente i fertilizzanti ed i presidi sanitari.

L'aumento dell'intensità delle precipitazioni, indipendentemente dal loro volume, potrebbe determinare un aumento dell'erosione, un fenomeno ben documentato nel meridione d'Europa e che sta diventando comune anche in altre parti del Continente ed in altri continenti.

- Il cambiamento della durata del periodo in cui avvengono le precipitazioni potrebbe essere più importante della loro quantità annuale. Particolarmente importante a questo proposito è la disponibilità idrica al momento in cui energia raggiante, umidità dell'aria e velocità del vento determinano elevati valori di evapotraspirazione potenziale. È noto infatti che le colture sono particolarmente sensibili durante particolari stadi del loro sviluppo, quale è ad esempio, nelle colture da seme, quello della formazione degli organi fiorali, dell'impollinazione, della maturazione della granella. Un disequilibrio tra esigenza e disponibilità idrica determina facilmente una caduta della quantità e qualità della produzione. Un cambiamento climatico che determini la fine anticipata delle precipitazioni può aggravare situazioni, quale quella descritta. Anche più grave è la situazione in cui il cambiamento climatico determini in modo sistematico uno squilibrio tale che il sistema vascolare delle piante non sia in grado di soddisfare tali esigenze, malgrado la disponibilità di acqua nel terreno. In questo caso soltanto l'intervento genetico, con la costituzione di varietà in grado di effettuare tale trasporto in modo efficiente o di tollerare tali situazioni senza gravi danni, può costituire elemento di soluzione del problema. Al contrario nelle situazioni in cui la disponibilità di acqua nel terreno non costituisca fattore limitante, come si verifica ad esempio in centro e nord Europa, un più limitato periodo di precipitazioni può significare migliori condizioni per l'impollinazione, per la maturazione e per la raccolta, possibilità di introduzione di nuove specie coltivate, mentre la più breve stagione fredda potrebbe consentire di mettere in coltivazioni terre che per la maggior parte dell'anno sono attualmente ghiacciate, come già ricordato.

In conclusione, la concentrazione della CO2, la disponibilità idrica, la radiazione e la temperatura interagiscono fra loro determinando rischi e promuovendo opportunità.

Un cambiamento dei loro valori determinerebbe comunque motivi di crisi e di opportunità. I risultati dipenderanno dal capitale di conoscenze e di tecnologie a disposizione e dalle politiche che saranno proposte al mondo imprenditoriale agricolo. Lungo tutta la sua storia, l'agricoltura ha dimostrato di sapersi adattare al cambiare delle situazioni, ma i cambiamenti attuali potrebbero essere così rapidi da eccedere i limiti dell'adattamento autonomo, per cui, accanto agli aspetti tecnico-

scientifici, potrebbero essere necessari interventi politici che consentano di affrontare le nuove situazioni senza compromettere la validità dell'impresa.

Cambiamento climatico e agricoltura mediterranea

L'agricoltura interessa una superficie pari a circa 55-57% del territorio dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo; circa un terzo è occupata da colture da pieno campo ed un altro terzo è destinata a pascolo o colture per l'alimentazione animale, mentre più ridotta, anche se economicamente importante, è la superficie destinata alle colture arboree da frutto.

Il cambiamento climatico sta riducendo la disponibilità idrica e sta rendendo più frequenti e preoccupanti gli eventi meteorici estremi.

Gli studi sull'impatto di questo cambiamento sono ormai numerosi e spaziano dagli aspetti biofisici a quelli economici e considerano non solo l'impatto ma anche la vulnerabilità, i rischi, l'adattamento, a scale temporali e spaziali diverse.

La maggior parte delle analisi forniscono le seguenti indicazioni per l'area mediterranea. È prevista una diminuzione della disponibilità idrica insieme ad un accentuazione della domanda di acqua, con aumento della conflittualità tra gli utilizzatori nelle zone più meridionali. La diminuzione delle risorse idriche in alcune zone potrebbe danneggiare la struttura del terreno, mentre la diminuita capacità drenante potrebbe determinare un aumento della salinità del terreno. In alcune zone del mediterraneo settentrionale potrebbe aumentare la frequenza ed intensità delle inondazioni. Nella maggior parte delle zone settentrionali ed in tutte quelle meridionali potrebbero verificarsi diminuzioni di produzione, che in alcune aree potrebbero raggiungere anche 40%, associate a forti oscillazioni annuali, almeno con il materiale vegetale e le tecniche agronomiche attualmente utilizzate. In entrambe le situazioni dovrebbe diminuire la diversità delle specie mediterranee. Nelle zone più settentrionali potrebbe sorgere qualche opportunità legata alla riduzione dei costi per le produzioni in serra e l'introduzione di nuove specie coltivate, ma la diminuzione delle precipitazioni potrebbe far diminuire la portata dei fiumi e quindi determinare criticità nella disponibilità di acqua per l'irrigazione. Questa minor disponibilità, abbinata alle più elevate temperature, potrebbe determinare situazioni non favorevoli, con diminuzione nelle produzioni.

CONCLUSIONI ED AUSPICI

Sembra pertanto opportuno prevedere la necessità di operare per un miglioramento nella capacità di conservazione e gestione dell'acqua e per l'adozione di strategie di sviluppo di cultivar e/o l'introduzione di specie che rispondano meglio alla ridotta disponibilità di acqua e agli stress termici e siano più resistenti agli attacchi di insetti e di agenti patogeni. Nelle aree più a mezzogiorno potrebbe verificarsi una contrazione delle aree adatte alla coltivazione, insieme ad un aumento dei

rischi dovuti ad insetti nocivi e ad agenti patogeni, alla siccità e scarsità idrica, all'erosione e salinizzazione del terreno con conseguenti maggiori difficoltà per le popolazioni rurali, mentre gli studi non offrono molti spunti per quanto riguarda le opportunità. È opportuno ricordare a questo proposito che l'attività agricola non comprende solo la coltivazione dei campi e l'allevamento degli animali, ma anche la gestione delle persone, le catene di rifornimento di mezzi tecnici per l'agricoltura e delle derrate per i mercati, i mercati stessi, le infrastrutture di supporto, conservazione e trasformazione, le assicurazioni, ecc.

L'impatto indiretto del cambiamento climatico potrebbe quindi avere effetti più significativi dei cambiamenti sulla produttività delle colture, dianzi ricordato, e le misure di adattamento non possono trascurare questi aspetti socioeconomici.

L'Italia sta provvedendo ad elaborare piani per far fronte alle potenziali crisi idriche, con misure tecniche e finanziarie per situazioni di emergenza, senza però affrontare i più complessi aspetti socioeconomici. Sembrano necessarie maggiori e migliori conoscenze sul cambiamento dell'uso delle risorse e del territorio, sulle opzioni fornite da una intensificazione/estensificazione delle attività agricole, delle pratiche per conservare la fertilità, l'umidità e la materia organica del terreno, delle zone di rispetto e dei corridoi taglia fuoco per combattere gli incendi estivi, per evitare i danni da un ruscellamento e smottamento dovuti all'aumento dell'entità delle precipitazioni nell'unità di tempo, per aumentare la disponibilità di acqua irrigua da riciclo delle acque urbane, l'uso di fertilizzanti per conservare la fertilità del terreno senza inquinare le falde, migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua. Potrebbero parimenti essere esplorate le opportunità legate ad una diversificazione dei mercati, all'adozione di strategie di agricoltura integrata, per rallentare l'insorgere di mutazioni in insetti nocivi ed agenti patogeni, dotandoli di resistenza ai presidi sanitari.

La risposta importante potrebbe venire dal miglioramento genetico con la valorizzazione delle risorse genetiche tramandateci dalle generazioni passate e la costituzione di nuove cultivar tolleranti agli stress abiotici o resistenti a insetti nocivi e agenti patogeni, ripetendo quanto già sperimentato con successo, seppure in un diverso contesto, un secolo addietro in Europa, Italia compresa, e decenni dopo nei paesi in via di sviluppo, quando nuove varietà più produttive resero economicamente vantaggiosi interventi tecnici volti a determinare gli aumenti produttivi che hanno consentito di non mettere in coltivazioni centinaia di milioni di ettari di foreste e praterie, ricche di biodiversità. Per questo sembra opportuno l'impegno per disegnare un miglior sistema di ricerca ed una rete di diffusione dei risultati, di monitoraggio dell'evolversi delle situazioni e di identificazione dei problemi potenziali, sin dal loro affacciarsi, e sviluppare strategie di superamento dei problemi

In poche parole è necessario sviluppare opportunità procedendo ad una profonda ed organica riorganizzazione del sistema di ricerca orientandolo a fornire conoscenze ed elaborare strategie e tecniche che consentano di creare nuove opportunità. Non sembra più il tempo di dire: «Supponendo che il clima cambi, quali effetti avrà sulle produzioni» e neanche: «Come limitare l'impatto negativo

del clima e degli eventi meteorici», ma piuttosto quello di disegnare con convinzione «le opportunità di successo derivanti dalle nuove situazioni e le strategie e i metodi necessari per cogliere i vantaggi del cambiamento».

LETTERATURA CONSULTATA

- Alcamo, J., P. Doli, T. Henrichs, e B. Lehner, 2001. Summing up Eurowasser: an integrateti assessment of climate change impacts on Europe's water resources. EuroWasser: modelbased assessment of European water resources and hydrology in the face of global change, B. Lehner, T. Henrichs, P. Doli, and J. Alcamo, (Eds.), Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany.
- Baldocchí, D., 1994. A comparative study of mass and energy exchange over a closed C₃ (wheat) and an open C₄ (corn) canopy: II. CO_I exchange and water use efficiency'. *Agricultural and Forerst Meteorology*, 67, 291-321.
- Bazzaz, F.A. e E.D. Fajer, 1992. Plant life in a CO₂-rich world. Scientific American, 26 (1968-74).
 Bindi M., L. Fibbi, F. Maselli, e F. Miglietta, 2000. Modelling climate change impacts on grape-vine in Tuscany In: Downing, T.E., Hanison, P.A., Butterfield, R.E., Lonsdale, K.G. (Eds), Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe Environmental Change Unit. University of Oxford, UK, pp. 191-216.
- Bindi, M. e M. Moriondo, 2005. Impact of a 2°C global temperature rise on the Mediterranean regions Agriculture analysis assessment. Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C giobal temperature rise, C. Giannakopoulos, M. Cure, J.D. e B. Acock, 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: A literature survey. *Agriculture and Forest Meteorology*, 38,127-145.
- Cure, J.D., D.W. Israel, e T.W. Rufly, 1988. Nitrogen stress effects on growth and seed yield on modulated soybean exposed to elevated carbon dioxide. Crop Science, 28,671-677.
- Dahlman, R., 1993. CO₂ and plants, revisited. Vegetation 104-105, 339-355.
- Guerefía A., Ruiz Ramos M., Diaz Hambrona C.H., Conde J.R., Minguez M.I., 2001, Assessment of climate change in agriculture in Spain using climate models. *Agronomy Journal* 93, 237-249.
- Iglesias A., C. Rosenzweig, D. Pereira, 2000. Agricultural impacts of climate in Spain: developing tools for a spatial analysis. *Global Environmental Change*, 10, 69-80.
- Iglesias, A., L. Garrote, M. Moneo, S. Quiroga, 2006. Projection of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom-up analysis (PESETA), Lot 4: Agriculture, Physical Impacts on Agriculture, Universidad Politécnica de Madrid.
- Iglesias, A., M.N. Ward, M. Menendez, e C. Rosenzweig, 2003. Water availability for agriculture under climate change: understanding adaptation strategies in the Mediterranean. Climate Change in the Mediterranean, C. Giupponi and M. Shechter, Eds., Edward Elgar, 75-93.
- Kapetanaki, G. e C. Rosenzweig, 1997. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: A simulation study with Ceres-Maize. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1, 251-271.
- Katz R.W. e R.G. Brown, 1992. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21, 289-302.
- Kimball, B.A., 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal*, 75, 779-788.
- Kimball, B.A., J.R. Mauney, F.S. Nakayarna e S.B. Ideo, 1993. Effects of elevated CO₂ and climate variables on plants. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48, 9-14.

- Koerner, C., 1993. CO₂ fertlization;The great uncertainty in future vegetation development. In: Vegetation dinamics and Global Change (solomon, A.M. and H.H. Shugart [eds.]). New York, Chapman and Hall, 53-70.
- Larcker, W., 1995. *Physiological Plant Ecology*. 3rd ed. Berlin, Germany, Springer Verlag, 506 pp. Lawlor, D.W. e A.C. Mitchell, 1991. 'The effect of increasing CO₂ on crop photosynthesis and productivity: A review of field studies. *Plant Cell and Environment*. 14, 807-818.
- Mitchell, R.A.C., V.J. Mitchell, S.P. Driscoll, J.Franklin e D.W. Lawlor, 1993. Effects of increased CO₂ concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application. *Plant. Cell and Environment*, 16, 521-529.
- Mooney, H.A. e W. Koch, 1994. The impact of rising CO₂ concentration on the terrestrial biosphere. *Ambio*, 23 (1), 74-76.
- Mouney, L.R., K.F. Lewin, G.R. Hendrey, e B.A. Kimball, 1992. Growth and yield of cotton exposed to freeair CO₂ enrichment (FACE). *Critical Review Plant Science*, 11, 213-222.
- Roetter, E. e S.C. van Geijn, 1999. Climate change effects on plant growth, crop yield and live-stock. *Climatic change*, 43: 651-681.
- Rogers H.H., G.B. Runion, e S.V. Krupa, 1994. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichmant with emphasis on the roots and the rhizosphere. *Environmental Pollution*, 83, 155-189.
- Tompkins, E.L., E. Boyd, S.A. Nicholson-Cole, K. Weatherhead, N.W. Arnell, e N. Adger, 2005. Linking adaptation research and Practise, DEFRA.
- Tubiello, F.N., M. Donatelli, C. Rosenzweig, e C.O. Stockle, 2000. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy* 13,179-189.
- Tubiello, F.N. e F. Ewert, 2002. Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change. *European Journal of Agronomy* 18, 1-2, 57-74.
- Wit C.T. de, 1958. *Transpiration and crop yield*. (Verslagen Landbouwkundig Onderzock, 64.6) Wageningen, The Netherlands, Pudoc, 88 pp.
- Woodward, F,L, 1993. Leaf responses to the environment and extrapolation to larger scales. In: *Vegatation dynamics and global change*. [Solomon A.M. and H.H. Shugart, (eds)]. New York, Chapman and Hall, pp. 71-100.