

## CAMBIAMENTI CLIMATICI E SICUREZZA ALIMENTARE

Stefano Caserini\*

Politecnico di Milano, D.I.C.A. Sez. Ambientale, Milano

**Sommario** – Si presenta una rassegna dei principali aspetti affrontati negli ultimi anni nella letteratura scientifica sul legame fra la produzione del cibo e i cambiamenti climatici, sia per quanto riguarda i possibili impatti delle variazioni climatiche già avvenute e previste per il futuro, sia per l'aiuto che le politiche e le misure nel settore della produzione e nel consumo del cibo possono dare a ridurre le emissioni di gas climalteranti.

Molti studi disponibili mostrano come l'agricoltura e la produzione di cibo sono intrinsecamente sensibili alla variabilità e ai cambiamenti del clima, sia che dipendano da cause naturali o dalle attività umane, e delineano probabili influenze future dei cambiamenti climatici sulle coltivazioni per la produzione di cibo o di foraggio, nonché altri impatti indiretti sullo stato di salute del bestiame, sul commercio del cibo e dei generi alimentari.

Conclusioni comuni ai diversi studi sono: a) il miglioramento delle proiezioni modellistiche degli effetti dei cambiamenti climatici a scala regionale e locale è cruciale per meglio definire gli impatti e guidare il processo decisionale di adattamento dei sistemi alimentari; b) gli impatti dei cambiamenti climatici sulla sicurezza alimentare saranno maggiori nei paesi che già soffrono alti livelli di fame e sono vulnerabili agli effetti di eventi meteorologici estremi; c) gli impatti attesi sono potenzialmente grandi e cresceranno nel tempo se non saranno predisposte risposte di adattamento; d) pur se il riscaldamento globale è principalmente causato dalle emissioni legate alla produzione di energia, le attività agricole, gli allevamenti e le filiere alimentari possono fornire un contributo importante alla riduzione delle emissioni climalteranti e al controllo della deforestazione.

**Parole chiave:** Cambiamenti climatici, sicurezza alimentare, produzione di cibo, mitigazione, adattamento

## CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY

**Abstract** – This paper presents an overview of the recent scientific literature on the link between food production and climate change, both for present and future impacts of climate changes, and for the contribution that policies and measures in the sector of food production and consumption can give to reduce greenhouse gas emissions. Many available studies show that agriculture and food production are inherently sensitive to climate variability and change, as a result of either natural causes or human activities, and outline the likely direct influences of climate change on crops production system for food and

fodder, as well as other indirect impacts on the health of livestock, and on trade of food and food products.

Conclusions common to the different studies are: a) the improvement of model projections of the effects of climate change at regional and local level is crucial to better define the impacts and steer the decision-making process of adaptation of food systems; b) the impacts of climate change on food security will be greater in countries which already suffer from high levels of hunger and are vulnerable to the effects of extreme weather events, are potentially large and will grow in the future if adaptive responses will not be implemented; d) although the climate crisis is mainly related to energy production, food production will play an important role both for the contribution to the reduction of greenhouse gas emissions from agricultural and livestock activities and for the control of deforestation.

**Keywords:** Climate change, food security, food production, mitigation, adaptation

Ricevuto il 2-2-2015; Accettazione con correzioni il 17-2-2015; Accettazione finale il 21-2-2015.

## 1. INTRODUZIONE

“Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita”, il tema scelto per EXPO Milano 2015, l'esposizione universale che si terrà a Milano dal 1 maggio al 31 ottobre 2015, ha portato negli ultimi mesi un grande interesse per il tema della produzione alimentare globale e la nutrizione della crescente popolazione del pianeta. Obiettivo dell'esposizione, che costituirà il più grande evento mai realizzato sull'alimentazione e la nutrizione, è quello di proporre risposte concrete all'esigenza vitale di “garantire cibo sano, sicuro e sufficiente per tutti i popoli, nel rispetto del Pianeta e dei suoi equilibri” (EXPO-Milano, 2015).

In questo contesto, è di grande interesse il legame fra la sicurezza alimentare e la questione del riscaldamento globale, che negli ultimi anni ha conquistato sempre più spazio nella ricerca scientifica e nell'agenda delle politiche ambientali.

La comunità scientifica ritiene inequivocabile l'attuale surriscaldamento globale del pianeta e considera elevata la probabilità che nei prossimi decenni il pianeta dovrà fronteggiare cambiamenti climatici, originati dalle attività umane, molto pericolosi per le persone e gli ecosistemi che abitano il pianeto-

\* Per contatti: Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia. Tel. 02-23996430; stefano.caserini@polimi.it

ta. Il riscaldamento globale è determinato dall'accumulo nell'atmosfera di alcuni gas che hanno la capacità di trattenere parte della radiazione infrarossa emanata dalla Terra: l'alterazione del bilancio energetico terrestre determina l'aumento delle temperature globali, da cui i cambiamenti del clima e diversi tipi di impatti che saranno in seguito discussi, in particolare quello sulla produzione di cibo e la sicurezza alimentare.

Numerosi sono i rapporti scientifici che hanno confermato il consenso della comunità scientifica sul tema del surriscaldamento globale, e sulla sua prevalente origine antropica. Rimanendo ai documenti più recenti, è possibile citare il "Quinto rapporto di valutazione" dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, il comitato ONU sul clima (IPCC, 2013), l'organismo ONU che periodicamente effettua una sintesi della letteratura scientifica disponibile, cui hanno collaborato migliaia di scienziati.

### 1.1. Le emissioni di gas serra dalla produzione di cibo

Mentre l'aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, il più importante fra i gas climalteranti, è dovuto quasi interamente all'uso di combustibili fossili ed ai cambiamenti di uso del suolo (es. deforestazione), gli altri due principali gas serra, metano (CH<sub>4</sub>) e protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), sono generati principalmente dalle attività agricole e zootecniche.

Esprimendo in forma aggregata le emissioni complessive di gas serra nel 2010, in termini di CO<sub>2</sub>

equivalente calcolata tramite l'uso del potenziale di riscaldamento (Global Warming Potential -GWP) medio su 100 anni, si nota in Figura 1 come le emissioni nettamente prevalenti sono quelle delle attività energetiche (produzione di energia, trasporti, abitazioni e industrie) mentre l'agricoltura la selvicoltura e le variazioni negli usi dei suoli (compresa la deforestazione) incidono per circa il 24 % delle emissioni totali.

Le emissioni delle attività agricole, pari a circa il 12% del totale, sono dovute principalmente alle emissioni di CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O dai suoli agricoli (in particolare per le coltivazioni di riso) e dalle emissioni di CH<sub>4</sub> dagli allevamenti. CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O sono gas climalteranti più efficaci dell'anidride carbonica nel surriscaldare il pianeta, ma hanno un tempo di residenza in atmosfera molto inferiore. Per questo il contributo della produzione di cibo alle emissioni di gas serra è più importante nel breve periodo, mentre nel lungo periodo le emissioni di CO<sub>2</sub> dalla combustione di prodotti fossili rappresentano il cuore del problema.

La produzione di cibo influisce sulla CO<sub>2</sub> atmosferica sia indirettamente per via dell'uso di combustibili fossili per le attività agricole, il trasporto o la refrigerazione degli alimenti, sia tramite la deforestazione spesso indotta dalle espansioni delle coltivazioni e dall'approvvigionamento di legname per la cottura dei cibi.

Visti gli aumenti in corso e attesi per il futuro dei consumi alimentari, le proiezioni indicano come senza interventi di mitigazione le emissioni di gas serra del settore agricolo saranno in netto aumento (Havlik et al., 2013).

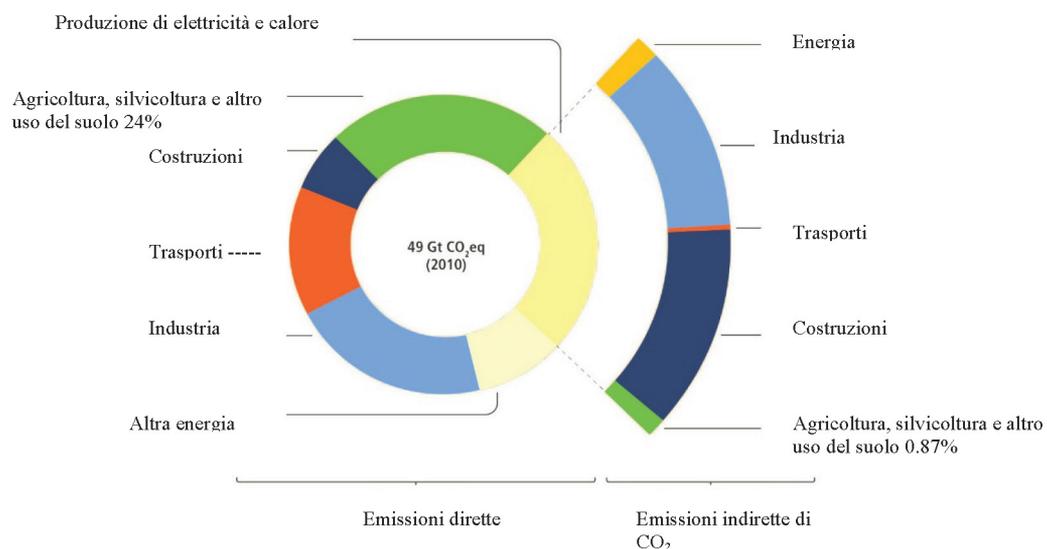


Figura 1 – Emissioni globali dirette e indirette di gas serra nel 2010, espresse in termini di CO<sub>2</sub>equivalente (Fonte: IPCC, 2014b – Fig. SPM.2)

## 1.2. Gli scenari di riscaldamento globale

L'aumento delle concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e gas fluorurati ha determinato un surriscaldamento dell'atmosfera, degli oceani e del suolo del pianeta, a causa dell'aumentato effetto serra terrestre e di numerosi meccanismi di feedback presenti nel sistema climatico. Mentre la realtà del riscaldamento globale è ormai evidente e sempre meno oggi è messa in discussione, maggiori margini di incertezza ci sono sull'entità del riscaldamento atteso per il futuro, sulla sua distribuzione spaziale e sui conseguenti impatti a scala locale.

Il Quinto Rapporto IPCC, che ha sintetizzato il risultato di centinaia di simulazioni modellistiche sulle proiezioni delle temperature nei prossimi secoli realizzate da numerosi gruppi di ricerca in tutto il mondo, ha mostrato come negli scenari senza consistenti riduzioni delle emissioni già a fine secolo l'aumento delle temperature medie globali rispetto al periodo preindustriale raggiunge i 3 - 4°C, proseguendo ulteriormente nei secoli successivi (Figura 2).

Impegni decisi e immediati di riduzione delle emissioni potrebbero permettere di limitare l'aumento delle temperature globali a circa 2°C rispetto ai livelli preindustriali, ossia un aumento di poco più di 1°C rispetto ai livelli attuali. Va ricordato che questi aumenti sono relativi alle temperature

medie globali, media dell'aumento delle superfici terrestri e marine; su aree più limitate, o in singole stagioni, gli aumenti possono essere maggiori o minori, perché il riscaldamento non sarà uniforme. È probabile che sarà maggiore sulle terre emerse rispetto agli oceani, ai poli, e nelle regioni aride (IPCC, 2013).

## 1.3. Gli impatti dei cambiamenti climatici

Negli ultimi decenni i cambiamenti climatici hanno già causato impatti sui sistemi naturali e umani in tutti i continenti. Numerosi testi scientifici forniscono analisi dettagliate delle tipologie di impatti già registrati e attesi nelle diverse aree geografiche, analisi riassunte periodicamente nel secondo dei tre volumi di cui sono composti i rapporti IPCC (IPCC 2014a).

Anche se molti effetti sono difficili da distinguere a causa della naturale variabilità e capacità di adattamento dei sistemi stessi, nonché per la presenza di fattori non climatici, le prove del riscaldamento globale sono distribuite in varie regioni del mondo, e sono più forti e più complete per i sistemi naturali. In molte regioni del pianeta le modifiche nelle precipitazioni piovose e nevose, o nella consistenza dei ghiacci montani, stanno provocando alterazioni nei sistemi idrologici, impattando sulla qualità e quantità delle risorse idriche (IPCC, 2014a – pag. 4).

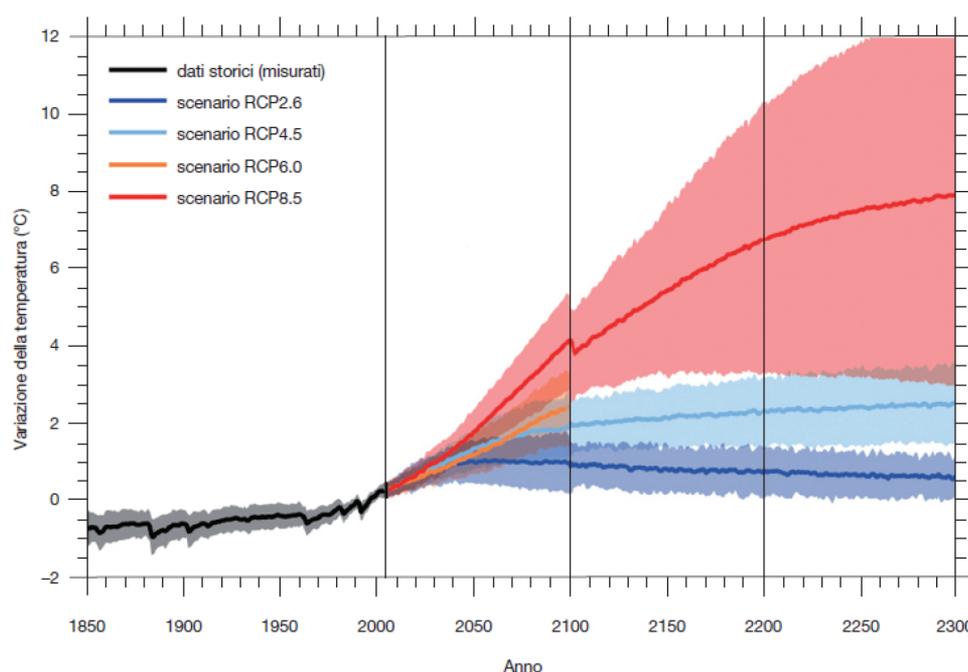


Figura 2 – Proiezione dell'aumento delle temperature globali (rispetto alla media 1986-2005) dei modelli CMIP5, in uno scenario con elevate riduzioni delle emissioni (RCP2.6), in due scenari con riduzioni intermedie (RCP4.6 e 6.0.) e in uno scenario senza riduzioni (Fonte: Stocker et al., 2013, fig. TS15).

Per le società umane, gli impatti dei cambiamenti climatici aggravano altri fattori di stress, con effetti più negativi per le persone più povere, più vulnerabili. Un maggiore riscaldamento aumenta la probabilità di effetti gravi, diffusi e irreversibili. Alcuni rischi del cambiamento climatico sono rilevanti già per aumenti di temperature di 1°C o 2°C al di sopra dei livelli preindustriali. Con aumento della temperatura media globale di 4°C o più, gli studi disponibili indicano impatti gravi e diffusi sugli ecosistemi più pregiati, un sostanziale aumento dei tassi di estinzione di specie, rischi rilevanti per la sicurezza alimentare globale e regionale, nonché la compromissione, per l'effetto combinato dell'elevata temperatura e umidità, di numerose normali attività umane, tra cui la coltivazione di cibo o il lavoro all'aperto in alcune aree e parti dell'anno (IPCC, 2014a – pag. 14).

Gli impatti futuri dei cambiamenti climatici varieranno notevolmente a seconda delle regioni, non saranno distribuiti uniformemente.

Un aspetto molto importante, che ha suscitato molta attenzione anche nei media, è quello relativo alla maggiore frequenza di eventi estremi di temperature e precipitazioni. Numerosi lavori scientifici anche recenti hanno confermato il legame fra riscaldamento globale e aumento degli eventi estremi, di temperature e di precipitazione (Coumou e Rahmstorf, 2012; WMO, 2014; IPCC, 2013). In altre parole, ci si attendono cambiamenti sia nella frequenza delle ondate di calore (i periodi con temperature molto più elevate della media), sia nella distribuzione delle precipitazioni, con una maggiore frequenza, e gravità, degli eventi meteorologici estremi.

Assumono quindi una fondamentale importanza le misure di adattamento, ossia quell'insieme di

azioni, a diversi livelli amministrativi, necessarie per minimizzare i danni che i cambiamenti climatici porteranno, e che sono inevitabili a causa delle emissioni già avvenute. Si tratta di azioni di prevenzione, tramite sistemi di monitoraggio e allarme; ma anche di soccorso, di protezione civile; ci sono poi azioni di prevenzione che riguardano la diversa organizzazione del territorio e delle comunità, la modifica delle tecniche costruttive di edifici e infrastrutture, delle tecniche di coltivazione e irrigazione

## 2. GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA SICUREZZA ALIMENTARE

L'agricoltura e la produzione di cibo sono intrinsecamente sensibili alla variabilità e ai cambiamenti del clima, sia che dipendano da cause naturali o dalle attività umane. Molti studi disponibili hanno delineato probabili influenze dirette dei cambiamenti climatici sulle coltivazioni per la produzione di cibo, di foraggio o di mangimi, nonché altri impatti indiretti sullo stato di salute del bestiame, sul commercio di cibo e dei generi alimentari.

Numerosi testi scientifici forniscono analisi dettagliate delle diverse tipologie di impatti già registrati e attesi nelle diverse aree geografiche, nonché i fattori che possono influenzare la sicurezza alimentare (Figura 3).

Il Quinto Rapporto dell'IPCC ha dedicato alla sicurezza alimentare l'intero capitolo 7 del secondo volume (Porter et al., 2014), in cui è stata effettuata una rassegna accurata ed estesa (circa 600 riferimenti bibliografici) di quanto apparso nella letteratura scientifica sul tema degli impatti sulla

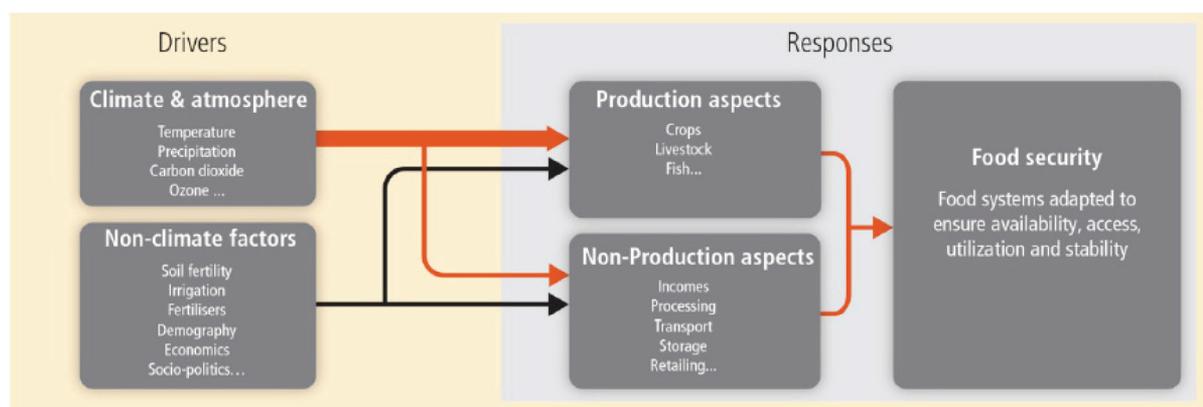


Figura 3 – Fattori che possono influenzare la sicurezza alimentare e possibili risposte. Lo spessore delle linee rosse è indicativo della relativa disponibilità di pubblicazioni scientifiche che analizzano il legame (Fonte: Porter et al., 2014)

produzione di cibo dei cambiamenti climatici, le possibilità di adattamento e la vulnerabilità delle diverse aree. Secondo L'IPCC si può ritenere con "elevata confidenza" che gli effetti dei cambiamenti climatici sulle colture e la produzione alimentare sono evidenti in diverse regioni del mondo. In particolare, eventi estremi quali ondate di calore, siccità, inondazioni, nubifragi e incendi boschivi hanno già mostrato impatti diretti sulle condizioni di vita, la riduzione delle rese agricole, la distruzione di abitazioni e infrastrutture, ma anche indiretti in termini di aumento dei prezzi alimentari e l'insicurezza alimentare.

### 2.1 Le quattro dimensioni della sicurezza alimentare

Secondo l'United Nations' Food and Agricultural Organization (FAO), la sicurezza alimentare è una situazione "che esiste quando tutte le persone, in ogni momento, hanno accesso fisico, sociale ed economico a cibo sufficiente, sicuro e nutriente, che soddisfi le loro esigenze dietetiche e preferenze alimentari per una vita attiva e sana" (FAO, 1996). Secondo l'IPCC (IPCC, 2014a), i cambiamenti climatici potrebbero avere effetti diretti e indiretti su tutte e quattro le dimensioni della sicurezza alimentare definite dalla FAO:

1. la disponibilità di quantità sufficienti di cibo di qualità adeguata, attraverso la produzione nazionale o l'importazione di derrate alimentari;
2. l'accesso a risorse adeguate per l'acquisizione di alimenti appropriati per una dieta nutriente, sia in termini economici (potere d'acquisto) che in termini di diritti tradizionali di utilizzo di risorse comuni;
3. l'utilizzo del cibo attraverso una dieta adeguata, acqua potabile, servizi igienico-sanitari e di assistenza sanitaria per raggiungere uno stato di benessere nutrizionale in cui siano soddisfatte tutte le esigenze fisiologiche;
4. la stabilità, ossia la capacità di superare crisi che possono portare una popolazione, una famiglia o singoli individui a perdere più o meno temporaneamente l'accesso ad un'alimentazione adeguata.

Una review dettagliata degli articoli scientifici pubblicati sulle riviste scientifiche internazionali sul tema della sicurezza alimentare e i cambiamenti climatici, pubblicata sulla rivista Science (Wheeler e Von Braun, 2013), ha mostrato come fino a metà degli anni '90 l'agricoltura e la sicurezza alimentare erano assenti nel dibattito sugli impatti dei cambiamenti climatici; l'interesse in

seguito è cresciuto, in particolare dal 2008 in poi. L'analisi degli articoli pubblicati mostra come delle quattro dimensioni della sicurezza alimentare, il tema delle disponibilità di cibo è stato negli ultimi anni nettamente il più trattato (nel 70% delle pubblicazioni); l'accesso al cibo, l'utilizzo di cibo e la stabilità nell'alimentazione sono stati presenti rispettivamente solo nel 12%, 14% e 4% delle pubblicazioni totali sulla sicurezza alimentare.

Le ricerche si sono fortemente concentrate sugli effetti diretti dei cambiamenti climatici sulla produzione delle derrate alimentari, ad esempio sulla crescita delle coltivazioni e sulla distribuzione di infestanti e malattie nell'agricoltura; si sono altresì comprensibilmente concentrate su aree che possono più facilmente essere investigate. Molti studi hanno analizzato i cambiamenti in singoli fattori biofisici, economici e sociali, senza però cogliere le connessioni fra gli stessi, aspetti complessi e stratificati legati alla sicurezza alimentare.

L'agricoltura non è solo una fonte di cibo, ma anche un'importante fonte di reddito. In un mondo in cui il commercio è agevole, la questione cruciale per la sicurezza alimentare non è se il cibo è "disponibile", ma se le risorse monetarie e non monetarie a disposizione della popolazione sono sufficienti per consentire a tutti l'accesso a un'adeguata quantità di cibo. L'autosufficienza alimentare di una nazione non è né necessaria né sufficiente per garantire la sicurezza alimentare a livello individuale. Ad esempio, piccoli stati come Hong Kong e Singapore non sono autosufficienti (l'agricoltura è inesistente), ma le loro popolazioni hanno sicurezza alimentare; l'India, al contrario, è autosufficiente, ma gran parte della sua popolazione non ha sicurezza alimentare (Schmidhuber and Tubiello, 2007).

### 2.2. Impatti sulla disponibilità di cibo

Numerosi sono gli studi che hanno stimato l'impatto dei cambiamenti climatici già avvenuti sulla produzione globale di cibo.

Ad esempio, un'importante studio (Lobell et al., 2011) ha valutato in modo dettagliato i dati delle rese delle prime quattro produzioni alimentari, che forniscono il 75% delle calorie consumate a livello globale. I risultati mostrano che nel periodo 1980-2008 la resa agricola mondiale è calata del 3,6% per il mais, del 5,5% per il grano e in misura minore per la soia (Figura 4); per il riso l'aumento delle rese nelle aree coltivate non tropicali è compensato dalla diminuzione delle rese nelle aree tropicali.

La rassegna effettuata nel Quinto Rapporto IPCC ha mostrato che i recenti andamenti climatici han-

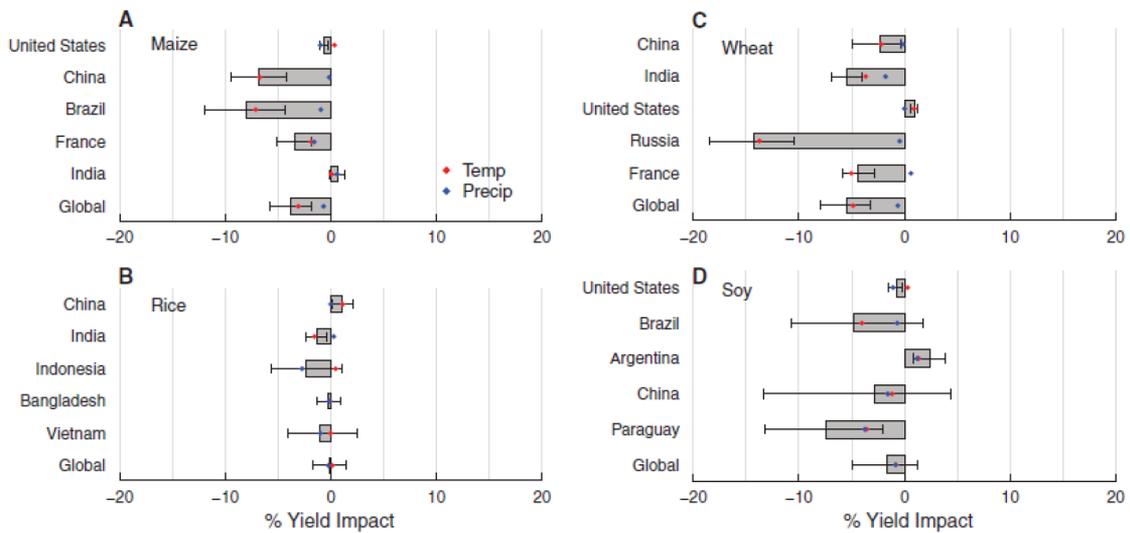


Figura 4 – Stima dell’impatto netto delle variazioni climatiche nel periodo 1980-2008 sulle rese delle principali colture per i grandi produttori e per la produzione globale (A=mais; B=grano; C=riso; D=soia). I valori sono espressi come variazione percentuale della resa media. Le barre di errore indicano l’intervallo di confidenza del 5-95%. I puntini rossi e blu mostrano rispettivamente la stima mediana dell’impatto per la tendenza delle temperature e delle precipitazioni (Fonte: Lobell et al., 2011).

no influenzato negativamente la produzione di grano, mais e riso in molte regioni, mentre sulla soia le variazioni sono meno rilevanti (Tabella 1). Pur se l’aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> e delle temperature può teoricamente favorire le produzioni agricole alle alte latitudini, secondo l’IPCC gli impatti negativi sulle coltivazioni sono stati a scala globale più comuni di quelli positivi (IPCC, 2014a). Anche la stima delle future variazioni delle produzioni di cibo, in corrispondenza a diversi scenari di riscaldamento globale, è un tema molto presente nella letteratura scientifica. Il primo aspetto considerato è l’effetto delle variazioni del clima sulla fisiologia delle piante da coltivazione, quindi sul loro sviluppo e la conseguente produzio-

ne di cibo. Si tratta di ricerche basate su simulazioni condotte utilizzando modelli climatici accoppiati a scenari di concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera e a modelli (generalmente piuttosto semplificati, basati su parametrizzazioni) in grado di descrivere la risposta fisiologica delle piante alle variazioni di CO<sub>2</sub>, di temperature e di disponibilità di acqua. L’aumento nella fotosintesi delle piante esposte a livelli maggiori di concentrazioni di CO<sub>2</sub> conduce normalmente allo sviluppo di piante più vigorose e all’ottenimento di rese più alte, in particolare nelle piante C3 (in cui il primo composto organico della fotosintesi è una catena carboniosa a 3 atomi di carbonio), che comprendono la maggior parte dei cereali, legumi, colture foraggere e piante da

Tabella 1 – Sintesi delle stime dell’impatto delle recenti tendenze climatiche sulle rese delle quattro colture principali a livello globale, e per zone temperate e tropicali (Fonte: Porter et al., 2014).

Coltura	numero stime disponibili	Variazione delle rese agricole (%/decennio)				
		mediana	10° percentile	25° percentile	75° percentile	90° percentile
Grano	18	-1,9	-5,1	-3,6	-1,1	0,1
Soia	10	0	-0,3	-0,1	0	1,0
Riso	13	0	-3,5	-2,3	0	0,4
Mais	12	-1,3	-2,9	-2,6	-0,6	-0,3
Zone tropicali	19	0	-3,3	-2,1	0	0,6
Zone temperate	27	-1,0	-5,1	-2,6	-0,3	-0,6

frutto. Le piante C4 (mais, sorgo, miglio, canna da zucchero, ecc.), hanno invece un processo fotosintetico più efficiente di quello delle piante C3 e rispondono in modo meno marcato agli aumenti della concentrazione atmosferica della CO<sub>2</sub> (Taub, 2012). L'effetto dell'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> sulla crescita e la resa dipendono anche da altri fattori, quali la specie, lo stadio di crescita e da pratiche colturali che rendono disponibili fertilizzanti e acqua; riguardo a quest'ultimo aspetto, diversi sono i fattori in gioco, che possono portare sia ad una riduzione (minor conduttanza stomatica) e di aumento (maggiore richiesta evaporativa) dell'uso dell'acqua da parte delle colture (Bindi et al., 2014).

La prima valutazione globale degli impatti potenziali dei cambiamenti climatici sulle coltivazioni risale al 1994, quando Rosenzweig e Parry pubblicarono su *Nature* una simulazione dei raccolti dalle coltivazioni di grano, riso, mais e soia in 112 luoghi di 18 paesi, con il clima attuale e con un clima modificato in seguito al raddoppio delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera (Rosenzweig e Parry, 1994). I risultati indicavano che l'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera avrebbe potuto far aumentare la produttività di gran parte delle coltivazioni, accelerando la fotosintesi e migliorando l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua. Ricerche successive, basate su esperimenti sul campo (Long et al., 2006), su una più approfondita conoscenza degli effetti del clima sulla fisiologia delle piante, su modelli e parametrizzazioni più complessi, con maggiore potenza di calcolo e set di dati disponibili, hanno ridimensionato i risultati dello studio pionieristico di Rosenzweig e Parry, mostrando la sensibilità dei risultati alla struttura delle parametrizzazioni e ai valori dei parametri usati (Asseng et al., 2013).

Studi di grande importanza come quelli di Parry et al. (2007), Cline (2007), Lobell et al. (2011) e Knox et al. (2012) hanno delineato un quadro coerente sugli impatti dei cambiamenti climatici sulla produttività e sulla produzione delle coltivazioni. A livello generale, l'aumento di temperatura è atteso portare benefici alle attività agricole alle alte e medie latitudini (dai tropici ai poli), con l'espansione delle aree idonee per le coltivazioni, l'allungamento del periodo di crescita delle rese; benefici contrastati dall'aumento della frequenza degli eventi estremi, come le ondate di calore, di siccità o l'aumentato delle precipitazioni intense e delle inondazioni. Secondo molti studi, la produzione è attesa aumentare nel nord Europa, ma diminuire in Africa e Sudamerica. La produttività delle coltivazioni sarà influenzata negativamente nelle aree

tropicali, dove per la riduzione dell'umidità dei suoli alcune aree potrebbero diventare inadatte alle coltivazioni. L'aumento di temperatura potrà inoltre ampliare lo spazio d'azione di molti parassiti agricoli ed aumentare la capacità dei parassiti di sopravvivere l'inverno e attaccare le colture primaverili (Schmidhuber e Tubiello, 2007).

Un risultato comune, evidenziato anche dai rapporti IPCC, è che gli impatti in termini di modifica della produzione di alcuni prodotti alimentari a livello regionale saranno più pesanti tanto più rilevante sarà l'aumento delle temperature.

Mentre secondo l'IPCC c'è da attendersi un aumento dei raccolti negli ambienti più freddi, negli ambienti più caldi i fattori di stress che potrebbero portare ad una diminuzione dei raccolti sono non solo fenomeni di stress da calore, ma anche l'aumento delle invasioni di insetti, l'aumento del pericolo di incendi, l'erosione del suolo nonché in alcune zone l'aumento della salinizzazione delle acque di irrigazione.

Secondo la sintesi effettuata dagli studiosi dell'IPCC, si stima che globalmente l'agricoltura e l'approvvigionamento alimentare nelle regioni alle basse latitudini, prevalentemente paesi poveri in via di sviluppo, risentiranno anche di modesti livelli di innalzamento della temperatura.

La conclusione importante su cui si può quindi rilevare un consenso nella letteratura scientifica è che le grandi aree del mondo dove la produttività delle coltivazioni è prevista in calo a causa dei cambiamenti climatici coincidono con i paesi che attualmente soffrono fortemente il problema della fame. In altre parole, gli studi indicano che i cambiamenti climatici inaspiranno l'insicurezza alimentare nelle aree in cui già attualmente fame e malnutrizione sono frequenti.

Numerosi studi hanno indicato che le maggiori perdite di terreni adatti alla coltivazione a seguito dei cambiamenti climatici sono attese in Africa, mentre la più grande espansione delle terre coltivate è prevista nella Federazione Russa e in Asia centrale (FAO, 2002). Riguardo all'Asia meridionale, una ricerca di Knox et al. (2012), che ha valutato i risultati di 52 pubblicazioni originali (tratte da uno screening di 1144 studi), ha stimato che per effetto dei cambiamenti climatici la produttività media delle coltivazioni potrebbe diminuire in entrambe le regioni dell'8% entro gli anni Cinquanta di questo secolo; le evidenze del probabile impatto dei cambiamenti climatici sulla produttività delle coltivazioni in Africa e in Asia meridionale sono considerevoli per grano, mais, sorgo e miglio, mentre non sono assenti o contraddittorie per riso, manioca e canna da zucchero.

Nonostante quindi vi siano evidenze degli effetti diretti dei cambiamenti climatici sulla produttività delle coltivazioni, rimangono importanti limitazioni nel valutare gli impatti complessivi sulla disponibilità di cibo a scala globale. I modelli che descrivono adeguatamente gli effetti dei cambiamenti climatici sulle coltivazioni sono disponibili solo per i principali cereali, per le arachidi, e per alcuni tipi di radici e tuberi. Gli impatti su altre importanti coltivazioni (ortaggi, legumi o altre colture importanti a livello locale ma globalmente secondarie) sono spesso dedotti basandosi su caratteristiche di piante simili, piuttosto che studiati esplicitamente. Il miglioramento della risoluzione spaziale dei modelli climatici, con valutazioni a scala regionale o su griglie con maglia tra i 200 e i 250 km farà sì che questi potranno in futuro fornire informazioni utili sugli spostamenti delle zone di produzione, e forse indicare gli obiettivi sui quali concentrare i programmi per il miglioramento delle coltivazioni globali, favorendo lo sviluppo di varietà di piante più adattate a resistere alle variazioni (Wheeler e Von Braun, 2013).

La maggiore risoluzione dei modelli sarà un fattore importante per migliorare la capacità di adattamento delle pratiche agricole ai cambiamenti climatici, che deriva per lo più da decisioni prese a livello delle singole fattorie e imprese agricole; si tratta di una scala in cui attualmente sia la precisione delle simulazioni climatiche sia quella dei modelli delle coltivazioni sono incerte, anche per la limitatezza dei dati in ingresso (come i tipi di coltivazione, di suolo, i dati topografici e le informazioni gestionali).

Infine, un'ultima fonte di incertezza è relativa al fatto che molti studi sulle coltivazioni "fotografano" gli impatti dei cambiamenti medi del clima, ma sono meno accurati nel descrivere i cambiamenti derivanti dagli estremi meteorologici, che possono avere conseguenze ancora più importanti sulla produttività delle coltivazioni.

Non deve sorprendere se la grande complessità e variabilità dei sistemi di produzione alimentare a scala globale sia difficile da riprodurre su scala molto fine in modelli numerici. Quando le simulazioni su piccola scala saranno in grado di riprodurre le variazioni osservate con i cambiamenti già registrati nel clima, le proiezioni sulle produzioni delle stesse coltivazioni in climi futuri più modificati potranno ritenersi più affidabili.

### **2.3. Impatti sull'accesso al cibo**

Nel corso degli ultimi 30 anni, la riduzione dei prezzi reali dei prodotti alimentari e l'aumento dei redditi hanno portato a miglioramenti sostanziali

nell'accesso al cibo in molti paesi in via di sviluppo. L'aumento del potere d'acquisto ha permesso un numero crescente di persone di acquistare non solo più cibo, ma anche più cibo nutriente con più proteine, micronutrienti e vitamine (Schmidhuber e Tubiello, 2007). Secondo la FAO (2002), è possibile nei prossimi decenni un ulteriore aumento dell'accesso al cibo.

L'accesso al cibo (e il suo utilizzo) si collega ai cambiamenti climatici attraverso percorsi indiretti ma ben conosciuti. L'accesso al cibo è in gran parte legato al reddito e ai diritti a livello familiare e individuale, e può quindi essere influenzato dai cambiamenti climatici in quanto quest'ultimi possono portare ad una maggiore frequenza e intensità di crisi alimentari legate ad eventi estremi di precipitazioni e siccità, che possono portare all'impoverimento di nuclei familiari e comunità locali.

I problemi legati all'accesso al cibo sono stati studiati con due tipi di approcci. Il primo è un approccio di tipo top-down, mediante macro-modelli che cercano di collegare crisi (macro-shock) a scale ampie alle risposte locali e a livello familiare. Secondo questo approccio, i risultati di un modello climatico vengono forniti a un modello di coltivazione per simulare la produttività sotto l'influenza di diversi scenari climatici. I risultati della simulazione sui raccolti sono poi usati per fare previsioni economiche dell'impatto dei cambiamenti climatici sui prezzi, sugli introiti, sul commercio, e così via. I macro-modelli possono essere costruiti sia seguendo un approccio di equilibrio parziale, cioè studiando gli impatti solo in un settore specifico, come l'agricoltura, o come modelli di equilibrio generale che cercano di rilevare gli impatti sull'intera economia. La debolezza di questo approccio è che a fatica coglie le risposte di adattamento alle variazioni del clima.

Il secondo approccio si basa su studi bottom-up, a livello delle comunità e delle famiglie, tramite osservazioni dettagliate di un nucleo familiare; è un approccio maggiormente in grado, rispetto ai macro-modelli, di tener conto delle capacità di adattamento ai cambiamenti climatici a livello familiare e di comunità. I molti studi che hanno analizzato le dinamiche delle comunità e delle famiglie esposte a shock climatici (ad esempio Silvestri et al., 2012; Kato et al. 2011; Trærup, 2012) riescono a considerare fra le risposte adattative il cambio di impiego, la migrazione o altre politiche di assistenza sociale o collettiva. Il limite di questi studi è però che è difficile rappresentare adeguatamente, a scala locale, i rischi legati ai cambiamenti climatici che sono attesi su regioni molto ampie.

A livello generale, si può ritenere che i prezzi per i prodotti alimentari dovrebbero aumentare moderatamente a seguito di moderati aumenti di temperatura (fino al 2050); alcuni studi però prevedono un calo lieve dei prezzi reali fino al 2050. In secondo luogo, dopo il 2050 e con ulteriori aumenti delle temperature, i prezzi sono destinati ad aumentare in modo più sostanziale. Le variazioni dei prezzi attesi per effetti del riscaldamento globale sono, in media, inferiori alle variazioni dei prezzi indotti dallo sviluppo socio-economico (Schmidhuber e Tubiello, 2007).

La modifica nella geografia della produzione su scala globale avrà implicazioni sulla produzione di tutti i prodotti a base biologica (cibo, foraggio, carburanti o fibra) e avrà un effetto negativo sui flussi commerciali di cibo, con implicazioni per gli introiti dei contadini e l'accesso al cibo (Hertel et al., 2010). Cambiamenti analoghi sono già stati osservati nella geografia e nella produttività relativa di alcune specie oceaniche, ad esempio acciughe e sardine nell'Oceano Pacifico (Chavez et al., 2003). Altre conseguenze riguardano i contesti, tipici di molti paesi in via di sviluppo, in cui i diritti di proprietà o i diritti tradizionali sulla terra e sull'acqua non sono protetti; problemi di sicurezza alimentare già si delineano con i casi di "accaparramento delle terre" da parte di interessi esterni e stranieri (Arezki et al., 2011).

#### **2.4. Impatti sull'utilizzo di cibo**

L'utilizzo del cibo necessario per raggiungere un benessere nutrizionale dipende dall'acqua e dall'igiene e sarà influenzato dai cambiamenti climatici, in quanto l'assetto delle risorse idriche sarà influenzato dalla frequenza di eventi meteorologici estremi (IPCC, 2013); sono in particolare quest'ultimi a determinare inondazioni o siccità, in particolare in ambienti dove già è carente o assente una sana igienizzazione (Shimi et al., 2010).

Inoltre, va ricordato che l'assorbimento dei principi nutritivi da parte dell'organismo umano è influenzato negativamente dalla diffusione di malattie gastrointestinali, che a loro volta sono fortemente correlate alla temperatura e alla disponibilità di acqua potabile (Schmidhuber e Tubiello, 2007).

Il Working Group II dell'IPCC fornisce nei rapporti di valutazione un resoconto dettagliato degli impatti sulla salute del cambiamento climatico, esaminando le possibilità di maggiore o minore diffusione di diversi tipi di malattie. La preoccupazione è che cambiando le condizioni climatiche si possa avviare un circolo vizioso in cui le malattie infettive causano o favoriscono la fame, che a

sua volta rende le popolazioni colpite più suscettibili alle malattie infettive. Il risultato può essere un sostanziale declino della produttività agricola e un aumento della povertà e della mortalità.

I cambiamenti climatici possono altresì influire negativamente sulla qualità della dieta, inducendo maggiori costi per proteggere il cibo dalla contaminazione di parassiti o altri vettori di malattie che risentono di spostamenti ecologici (Tefera, 2012). La vulnerabilità della sicurezza alimentare agli shock climatici è incerta anche a causa della difficoltà di valutare le possibilità di aumentare la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, che dipende principalmente da scelte e azioni a livello politico. Per esempio, una corretta pianificazione di programmi per il sostegno economico delle popolazioni più povere, programmi di sostegno all'occupazione o a favore della nutrizione nella prima infanzia potrebbero permettere di rispondere a molte delle condizioni di precarietà causate dalle variazioni del clima (Niño-Zarazúa et al., 2011).

Un ultimo tema legato all'accesso al cibo e a difficoltà nutrizionali, è la recente "transizione nutrizionale", cioè il processo mediante il quale la globalizzazione, l'urbanizzazione e i cambiamenti nello stile di vita hanno portato in molte popolazioni un eccesso di assunzione di calorie, diete di bassa qualità, e scarsa attività fisica. L'azione congiunta di questi fattori ha portato a rapidi aumenti nell'incidenza dell'obesità e di malattie croniche, persino tra i poveri e nei paesi in via di sviluppo (Popkin et al., 2012). Diversi autori prevedono che la transizione nutrizionale continuerà, come i cambiamenti climatici, nei prossimi decenni, ma non esistono al momento ricerche che abbiamo valutato le interazioni fra questi due processi.

#### **2.5. Stabilità del sistema alimentare**

La stabilità dell'intero sistema alimentare potrebbe essere a rischio per l'influenza dei cambiamenti climatici, in quanto il clima è un importante fattore nel determinare le tendenze dei prezzi delle derrate alimentari, come pure la variabilità a breve termine dei prezzi stessi (Nelson et al., 2010).

L'aumento della variabilità delle condizioni meteorologiche globali e regionali, con l'incremento nella frequenza e gravità degli eventi estremi come cicloni, inondazioni, grandinate e siccità porterà oscillazioni nella resa delle colture e dei prodotti alimentari locali, che influenzerà negativamente la stabilità delle forniture alimentari e quindi la sicurezza alimentare.

La variabilità delle condizioni meteorologiche e le variazioni del clima non sono nuove per l'agricol-

tura, che ha mostrato in passato di saper sviluppare delle strategie di adattamento. Alcune importanti aree agricole del mondo come il Midwest degli Stati Uniti, il nord-est dell'Argentina, l'Africa del sud, o il sud-est dell'Australia hanno tradizionalmente sperimentato una maggiore variabilità del clima rispetto ad altre regioni come l'Africa centrale o l'Europa. La novità recente è non solo che le aree soggette ad alta variabilità climatica saranno destinate ad espandersi, ma che tassi e livelli di riscaldamento previsti nei prossimi decenni saranno in molte regioni senza precedenti, non paragonabili a quanto sperimentato nei secoli passati (IPCC, 2013).

Se le fluttuazioni climatiche saranno più pronunciate e diffuse, le cause dominanti di fluttuazioni a breve termine nella produzione alimentare in aree semiaride e sub-umide, siccità e inondazioni, diventeranno più gravi e più frequenti. Le siccità possono ridurre drasticamente i raccolti e il bestiame nelle zone semiaride, la maggior parte delle quali sono nell'Africa sub-sahariana e nell'Asia meridionale; il che significa che le regioni più povere con il più alto livello di denutrizione cronica saranno inoltre esposti al più alto grado di instabilità nella produzione di alimenti (FAO, 2003). L'entità degli impatti derivanti da tali fluttuazioni dipenderà dalla capacità di contrastarli con investimenti in irrigazione, migliori impianti di stoccaggio, o importazioni alimentari più elevate.

Alcuni studi hanno mostrato il legame fra le variazioni climatiche, le rese agricole e i flussi migratori. Ad esempio, Feng et al. (2010) utilizzando dati disponibili per il Messico, hanno trovato un significativo legame fra le rese agricole e i tassi di emigrazione verso gli Stati Uniti: una riduzione del 10% delle rese agricole ha comportato un aumento del 2% del numero di emigranti che hanno tentato di attraversare la frontiera con gli Stati Uniti. Sulla base di diversi scenari di riscaldamento globale e di capacità di adattamento, gli autori hanno stimato per il 2080 che le variazioni climatiche potrebbero indurre all'emigrazione da 1.4 a 6.7 milioni di messicani (dal 2 al 10% dell'attuale popolazione fra 15 e 65 anni) a causa della diminuzione delle rese agricole.

Negli ultimi anni è risultato evidente l'instabilità dell'equilibrio mondiale fra domanda e offerta di cibo; di conseguenza, anche piccoli shock sul lato dell'offerta o della domanda possono avere grandi impatti sui prezzi, come avvenuto nel 2008 (von Braun, 2009). I prezzi dei cibi primari influenzano in particolare la sicurezza alimentare dei più poveri, dato che gran parte degli introiti di una famiglia impoverita è speso per i cibi primari.

E' probabile che i cambiamenti climatici aumenteranno l'instabilità del mercato alimentare sia nella produzione che nella fornitura di alimenti. La stabilità del sistema alimentare può essere minacciata da shock nella domanda, come mostrato da quanto successo a seguito dei pesanti sussidi in Europa e Stati Uniti al settore agroalimentare e alla bioenergia, nello scorso decennio. Questo tipo di politiche, motivate in parte da preoccupazioni sulla sicurezza energetica e in parte dagli obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra dai combustibili fossili, ha portato alla destabilizzazione dei mercati alimentari, con riflessi sulla sicurezza alimentare di molte aree. La crisi alimentare del 2008 è infatti scaturita dalla combinazione di una riduzione generale della produttività agricola, dalle restrizioni nelle esportazioni applicate da molti paesi, dalla mancanza di trasparenza nei mercati e da una scarsa regolamentazione degli impegni finanziari nei mercati dei prodotti alimentari.

I rischi per la sicurezza alimentare derivano quindi dalla concomitanza di più fattori, uno dei quali è rappresentato dai cambiamenti climatici, ma per la destabilizzare dei sistemi alimentari in grado di produrre prezzi più alti e instabili che limitano temporaneamente il consumo di cibo dei poveri (Arndt et al., 2012), sono fattori rilevanti anche gli shock finanziari ed economici che portano a perdite di posti di lavoro e a limitazioni del credito, nonché l'insicurezza alimentare portata da guerre e rivolte popolari (Berazneva and Lee, 2013). Questo complesso sistema di rischi può assumere una varietà di forme che secondo Wheeler e von Braun (2013) potrebbero potenzialmente collidere in combinazioni catastrofiche.

È necessario quindi un investimento rilevante nelle azioni di adattamento dell'intero sistema alimentare, per evitare che gli impatti dei cambiamenti climatici rallentino i progressi fatti nel debellare la fame e la denutrizione globale. È necessario costruire resilienza agricola, o "agricoltura climate-smart", attraverso miglioramenti nelle tecnologie produttive e nei sistemi di gestione del commercio e delle scorte, e con politiche sociali e per la nutrizione.

Le azioni di adattamento e resilienza devono affrontare la sicurezza alimentare nel suo senso più ampio ed essere integrate nello sviluppo del settore agricolo in tutto il mondo.

## 2.6. Impatti in Italia

L'Italia, come tutti i paesi dell'area mediterranea e a differenza dei Paesi del Nord Europa, è particolarmente esposta ad impatti negativi sulle rese agri-

cole derivanti dal cambiamento climatico, impatti tuttavia altamente diversificati per coltura ed area geografica (Bindi et al., 2014).

Seppur siano limitate le valutazioni integrate delle perdite economiche derivanti dagli impatti dei cambiamenti climatici sul settore agricolo, diversi studi hanno già registrato modifiche sullo sviluppo di alcune colture (ad esempio un anticipo medio delle vendemmie di circa 12-15 giorni in alcune zone - Vercesi, 2009) e quantificato gli effetti di ondate di calore ed eventi estremi. Per l'ondata di calore dell'estate del 2003 è stata stimata una riduzione nella produzione nazionale di foraggio, grano, mais e patate rispettivamente del 40%, 8%, 24% e 18% (COPACOGECA, 2003), con una riduzione nella produzione di mais nella sola valle del Po nello stesso anno di circa il 36% (Ciais et al. 2005).

Per quanto riguarda il futuro, secondo la sintesi pubblicata nel capitolo "Agricoltura e produzione alimentare" del volume "Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia" redatto nell'ambito della Strategia nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici (Bindi et al., 2014), il settore agricolo e conseguentemente quello agro-alimentare andranno incontro ad un generale calo delle capacità produttive al quale sarà strettamente legata anche una possibile diminuzione delle caratteristiche qualitative del prodotto, con conseguenze particolarmente negative nelle produzioni di qualità.

L'incremento di temperatura previsto per i prossimi decenni è atteso accelerare lo sviluppo delle colture, determinando una complessiva riduzione del periodo di crescita e una diminuzione produttiva per le principali colture agricole (Giannokopoulos et al., 2009). Mentre le colture invernali potranno evitare lo stress idrico estivo, per le colture estive l'aumento della frequenza di eventi estremi come gelate al germogliamento ed ondate di calore durante la fase di fioritura potrà incidere fortemente sulla qualità e quantità della resa finale (Moriondo e Bindi, 2007).

Mentre per alcune colture tradizionali come la vite l'applicazione di modelli climatici regionali e modelli fenologici indica che i cambiamenti climatici potranno determinare una diminuzione delle rese (Ferrisi et al., 2014) e cambiamenti drastici nel panorama della produzione uva da vino in Europa (Moriondo et al., 2013), l'aumento delle temperature potrà favorire lo svilupparsi di condizioni termiche ottimali per la coltivazione anche a latitudini e quote più alte di specie tipicamente mediterranee (es. olivo, vite, frumento duro), con conseguenze

dirette sugli agricoltori (necessità di introdurre nuove colture o specie) e sulle industrie agro-alimentari di trasformazione (es. diversa collocazione o aumento dei costi di trasporto) (Audsley et al., 2006).

### 3. RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA NEL SETTORE AGRICOLO-ALIMENTARE

Per stabilizzare le concentrazioni di gas serra in atmosfera e quindi le temperature del pianeta, le riduzioni delle emissioni di gas climalteranti dovranno essere nei prossimi decenni molto consistenti. Le politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici dovranno riguardare tutti i settori, non solo quelli, come la produzione e il consumo di energia, maggiormente responsabili delle emissioni globali (IPCC, 2014b).

Le strategie di mitigazione delle emissioni climalteranti legati alla produzione del cibo riguardano diversi aspetti della filiera alimentare, dalle lavorazioni agricole ai cambiamenti nella dieta umana. Ci sono sia misure sul lato della produzione dei prodotti agricoli, ossia dell'offerta (supply-side), sia dal lato della domanda dei prodotti alimentari (demand-side).

Pur se già esistono tecnologie e pratiche che aiutano a ridurre le emissioni, oggi non sono molto utilizzate; la loro adozione e l'uso da parte la maggior parte dei produttori mondiali di cibo può portare a riduzioni significative delle emissioni (FAO, 2013b). L'adozione di sistemi di gestione che combinano la mitigazione e l'adattamento possono sia essere vantaggiosi per gli agricoltori stessi, che migliorare la sicurezza alimentare locale e globale.

Un settore di particolare rilevanza è quello degli allevamenti, nel quale l'intensità di emissione (l'emissione per unità di prodotto animale) varia notevolmente tra le diverse unità produttive, anche all'interno di sistemi di produzione analoghi, a causa delle diverse pratiche agricole e della gestione della filiera; questo significa che sono possibili ingenti riduzioni delle emissioni utilizzando in modo più ampio pratiche già utilizzate in alcuni contesti.

Globalmente, la produzione di carne e di latte dal 1961 al 2001 è aumentata rispettivamente del 245% e 70%, mentre i terreni agricoli sono aumentati del 30% e la terra da pascolo poco meno del 10% (Steinfeld e Gerber, 2010).

Sono in seguito illustrate le principali azioni di mitigazione a scala globale; ogni contesto locale ha poi e sue specificità, che determinano la con-

venienza e la potenzialità, i costi e i benefici delle diverse azioni.

### 3.1. *Controllo della deforestazione*

La riduzione della deforestazione, della degradazione delle foreste e di altri cambiamenti di uso del suolo indotti dalle attività agricole è un fattore cruciale per ridurre non solo le emissioni di gas serra, ma anche gli impatti sulla perdita di biodiversità. Le azioni in questo settore riguardano una corretta gestione forestale tramite pratiche di utilizzo di foreste e dei terreni forestali in grado di mantenerne la biodiversità, la produttività, la capacità di rigenerazione, nonché un migliore controllo degli incendi.

All'interno del Protocollo di Kyoto sono conteggiate le attività di Afforestazione (creazione di foresta su terre precedentemente non forestate) e Riforestazione (creazione di foresta su terre precedentemente forestate) nonché attività aggiuntive quali la gestione forestale, la gestione dei suoli agrari, la gestione di prati e pascoli e la rivegetazione. Nell'ambito della Convenzione sul Clima (UNFCCC) è stato avviato il programma REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation of Forest) delle Nazioni Unite ([www.un-redd.org](http://www.un-redd.org)) che comprende numerose attività e progetti finalizzati ad attribuire un valore finanziario al carbonio stoccato nelle foreste, in modo da permettere la preservazione delle foreste nei paesi in via di sviluppo tramite finanziamenti provenienti dai paesi più ricchi.

Il Programma REDD è una realtà ormai consolidata (UN, 2011) e i dettagli operativi e istituzionali per il suo funzionamento sono stati approvati nella 19° Conferenza delle Parti UNFCCC, in cui è stato istituito il "Warsaw Framework for REDD+". Per REDD+ si intende lo sforzo di andare oltre il REDD, facendo sì che oltre ad evitare la deforestazione il meccanismo serva per promuovere la conservazione della foresta, una corretta gestione forestale e l'aumento degli stock di carbonio.

### 3.2. *Stoccaggio di carbonio nel suolo*

Il suolo riveste un'importanza cruciale nella mitigazione dei cambiamenti climatici, in quanto contiene circa il doppio del carbonio presente in atmosfera e circa il triplo di quello trattenuto dalla vegetazione; i suoli europei, in particolare, costituiscono un'enorme riserva di carbonio, circa 75 miliardi di tonnellate (C.E., 2009). Una gestione corretta dei suoli, che inverta l'attuale trend di degrado dei suoli agricoli e forestali, potrebbe dare

un importante contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

Il miglioramento delle pratiche agricole e dei pascoli, volte a evitare la perdita di carbonio organico nei suoli agricoli per arature eccessive e sovrasfruttamento di pascoli, costituisce una rilevante opzione per ridurre le emissioni dalle coltivazioni. I terreni utilizzati per l'allevamento del bestiame, tra pascoli e terreni coltivati dedicati alla produzione di mangimi, rappresentano infatti circa il 70% di tutti i terreni agricoli nel mondo. Il pascolo eccessivo è la principale causa di degrado delle praterie.

Secondo numerosi studi, le tecniche di agricoltura conservativa o "no-tillage" sono quasi competitive in termini di costi-benefici economici con le tecniche tradizionali, e presentano un elevato potenziale di mitigazione (sequestro tra 50 e 100 milioni di tonnellate di carbonio l'anno nei suoli europei), confrontabile con quello di molte altre e più famose strategie di intervento.

Con l'aumentare della popolazione mondiale, è previsto un aumento anche delle superfici di pascoli e foreste che saranno convertite in seminativi e, di conseguenza, molti suoli che attualmente assorbono carbonio diventeranno in futuro emettitori netti. Per impedire efficacemente le perdite di carbonio del suolo a livello mondiale sarebbe necessario arrestare queste conversioni dei terreni, ma è evidente che una strategia di questo tipo rischia di essere in conflitto con il crescente fabbisogno di cibo del pianeta. Il recupero di terreni incolti, di suoli degradati e desertificati, l'adozione delle pratiche agricole in grado di migliorare e ripristinare carbonio organico del suolo, permette di ridurre le emissioni di gas serra e di migliorare la qualità e la salute del suolo.

Un problema da superare per l'utilizzo su larga scala di queste pratiche è inoltre la definizione di metodi affidabili per quantificare il sequestro di carbonio, nonché del quadro giuridico - istituzionale per garantire il sequestro nel lungo periodo.

### 3.3. *Incremento delle rese agricole*

L'incremento delle rese agricole offre sostanziali margini per la riduzione delle emissioni di gas serra; secondo Burney et al. (2011) l'aumento delle rese agricole dal 1961 ha già permesso di evitare l'emissione di circa 14 GtCO<sub>2</sub>e, ad un costo medio di circa 4 €/tCO<sub>2</sub>e, ed è quindi competitivo rispetto ad altre strategie di mitigazione del settore. Questo tipo di misura deve essere accompagnata da politiche mirate a contenere altri costi ecologici, o

ad evitare che le migliori rese siano un incentivo ad un ulteriore sviluppo delle aree agricole, in quanto ciò comporterebbe il pericolo di un incremento della deforestazione riducendo quindi i benefici.

L'aumento delle rese agricole su terreni acquisiti su larga scala (LSLA- large scale land acquisitions, chiamato anche "land grabbing"), può potenzialmente permettere di produrre alimenti per un maggior numero di persone. Oltre alla necessità di considerare l'impatto sulle risorse idriche (Rulli et al., 2013) è però necessario considerare che il fenomeno del land grabbing si verifica in paesi con alti tassi di malnutrizione e di crescita demografica, per cui sono necessarie misure per garantire che i benefici siano condivisi con le popolazioni locali, per migliorare la loro sicurezza alimentare (Rulli e D'Orrico, 2014).

### 3.4. Migliore nutrizione per ruminanti

La fermentazione enterica dei ruminanti rappresenta una delle principali fonti di emissione di  $\text{CH}_4$  in atmosfera, nonché una perdita energetica per gli animali stessi. Diversi studi (Brown et al., 2011; Eugene et al., 2011; Grainger et al., 2010; Nolan et al., 2010; Gerber et al., 2013) hanno valutato le possibilità di riduzione di queste emissioni tramite la somministrazione nella dieta degli animali di diversi tipi di additivi (si veda la recente review in Adesogam et al., 2013) quali lipidi, nitroetano o altri composti azotati, volti ad aumentare la digeribilità del foraggio (Hristov et al., 2013).

Le modifiche dell'alimentazione dei bovini possono inoltre consistere nel dosare in modo adeguato le proteine al fine di ridurre la quantità di azoto escreto, oppure nel favorire l'aumento dell'azoto nelle feci piuttosto che nelle urine (Gerber et al., 2013).

L'aumento della produttività dei bovini rappresenta un modo per ridurre le emissioni per unità di prodotto, ma può comportare pratiche alimentari e di allevamento più opprimenti per gli animali (Parente and van de Weerd, 2012).

### 3.5. Gestione dei reflui zootecnici

Una migliore gestione dei reflui zootecnici permette di ridurre le emissioni di gas serra per unità di prodotto di origine animale. Oltre alle possibilità di intervento sulla dieta animale, che hanno conseguenze anche sulla possibilità di gestione del letame, numerose sono le tecniche disponibili per la riduzione delle emissioni di  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  (e  $\text{NH}_3$ , che non è un gas climalterante ma incide sul ciclo dell'azoto nonché sulla formazione di polveri se-

condarie), durante la gestione del letame. Si tratta di interventi che riguardano la stabulazione (es. biofiltrazione), lo stoccaggio, il trattamento e l'applicazione del letame e dei reflui animali, tramite digestione anaerobica, compostaggio, iniezione nel sottosuolo (FAO, 2013), finalizzati al recupero e riciclaggio dei nutrienti e dell'energia contenuti nelle deiezioni animali.

L'utilizzo di biogas dai reflui di origine animale con la produzione di energia elettrica o termica permette di ridurre la dipendenza dalle energie fossili a livello locale e comporta una riduzione delle emissioni climalteranti generate agli allevamenti.

### 3.6. Cottura dei cibi

Nei paesi in via di sviluppo sono diffuse tecnologie molto rudimentali di utilizzo delle biomasse per la cottura dei cibi, caratterizzate da efficienze molto basse ed emissioni elevate sia di black carbon (una sostanza climalterante, composta da piccole particelle carboniose che hanno un effetto riscaldante per l'atmosfera), sia di polveri e inquinanti tossici. Le emissioni dei bracieri e delle stufe a legna e a carbone sono responsabili della morte prematura di un milione e mezzo di persone ogni anno (Smith et al., 2004).

La cottura dei cibi tramite la "three stone fire" o altre tipologie di bracieri rudimentali è praticata da quasi 2 miliardi di persone nel mondo; oltre a provocare emissioni tossiche e climalteranti, queste combustioni richiedono, per via della loro basse efficienza, grandi quantità di legname, e costituiscono spesso una causa della deforestazione.

Una strategia di mitigazione consiste quindi nella sostituzione di questi bracieri e stufe rudimentali e tradizionali con stufe a legna più avanzate, che riducano le emissioni di sostanze climalteranti e portano un beneficio per la salute (MacCarthy et al., 2008; Grieshop et al., 2011). Pur se nessun modello di stufa a legna per la cottura dei cibi raggiunge le prestazioni di una stufa o fornello a GPL o gas naturale, il passaggio a modelli tecnologicamente più avanzati, e che garantiscono in convogliamento dei fumi al di fuori dell'abitazione, offre benefici per la salute relevantissimi, che si sommano a quelli legati alle riduzioni di black carbon (UNEP-WMO, 2011; Shindell et al., 2012).

Da ricordare che solo se la biomassa usata per cucinare è integralmente rinnovabile si ottengono benefici sui gas serra, rispetto alla stufa a GPL o a gas naturale, e che l'alternativa fra uso di biomasse e combustibili gassosi o liquidi più puliti è in molti contesti nei paesi in via di sviluppo un'alternativa puramente teorica, in quanto l'approvvigionamen-

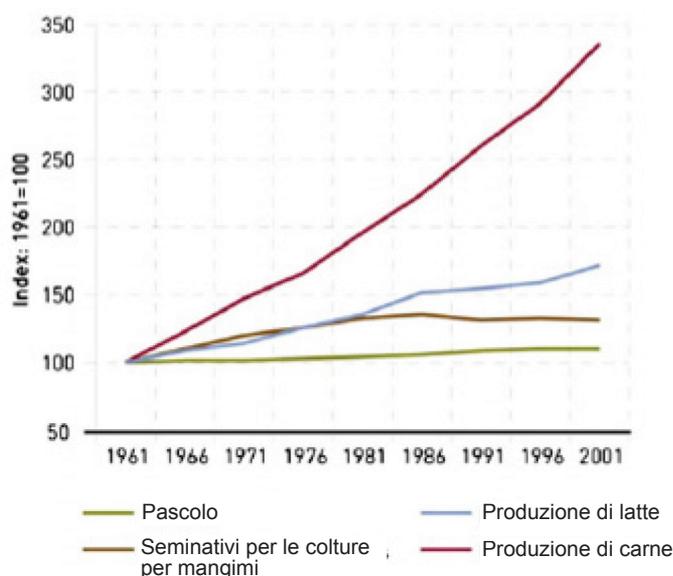


Figura 5 – Espansione della produzione degli allevamenti e dell’uso di terreno per le attività agricole (Steinfeld e Gerber, 2010).

to o i costi di questi combustibili sono spesso barriere insormontabili.

Dal punto di vista del cambiamento climatico, l’alternativa di gran lunga peggiore come combustibile per cucinare è il carbone da legna, perché il processo con cui viene prodotto è caratterizzato da emissioni molto elevate di metano e black carbon. A titolo di esempio, in India si stimano 160 milioni di abitazioni con uso inefficiente della biomassa per cucina. La sostituzione di tutte le stufe e i bracieri indiani a biomassa con apparecchi a GPL permetterebbe di risparmiare il 4% delle emissioni di gas serra dell’India (Venkataraman et al., 2010), oltre a un terzo delle emissioni nazionali di black carbon e a 570.000 morti premature l’anno.

### 3.7. Trasporto delle derrate alimentari e del cibo

La fase di trasporto degli alimenti può contribuire in modo significativo all’impronta carbonica degli alimenti, ossia alle emissioni complessive legate alla filiera di produzione e consumo. Le emissioni da trasporto dipendono non solo dalla distanza, ma dalle tipologie di mezzi utilizzati (camion, nave, aereo) e dal carico degli stessi. Diversi sono gli studi che hanno valutato le emissioni specifiche dei diversi mezzi di trasporto delle derrate alimentari, con differenze rilevanti dovute non solo alle diverse tipologie di camion, navi o aerei (dimensioni e tipi di motori), ma soprattutto all’efficienza di utilizzo dei mezzi (percentuale di carico medio) nei viaggi. A questo si aggiunge la difficoltà di attri-

buire al singolo alimento la frazione di emissioni legata a trasporti di più prodotti.

L’utilizzo di cibi prodotti localmente (“a km zero”) costituisce un modo per ridurre fortemente questo tipo di emissioni legate alla produzione alimentare; vista la grande differenza fra le emissioni dei diversi mezzi di trasporto, e le emissioni molto basse legate al trasporto con nave, anche alimenti prodotti a distanze molto elevate (> 10000 km) possono comunque avere impronte carboniche inferiori a quelle di prodotti locali, in cui in altre fasi (produzione, lavorazione) sono più impattanti (Berners-Lee et al., 2012).

### 3.8. Cambio del regime alimentare

Fra le misure di contenimento delle emissioni legate alla produzione del cibo, le misure di riduzione della domanda dei prodotti con associata una maggiore impronta carbonica costituisce una delle principali misure di mitigazione “demand side”.

Al di là agli ovvi benefici legati alla riduzione dei rifiuti e degli scarti alimentari, numerosi autori hanno mostrato le rilevanti emissioni legate agli allevamenti e i benefici in termini di riduzione delle emissioni di gas serra che possono derivare da una transizione alimentare globale verso un’alimentazione con un minor consumo di carne, o anche verso una dieta completamente basata su proteine vegetali (FAO, 2006; Godland e Anhang, 2009; Pelletier e Tyedmers, 2010; Steinfeld e Gerber, 2010; Berners-Lee M.

et al., 2012; Hoolohan et al., 2013; Tagliabue et al., 2015).

L'impronta carbonica (in termini di CO<sub>2</sub> equivalente) della carne da ruminante è molto elevata non solo per le emissioni di metano da fermentazioni enteriche, ma per i tassi di per sé bassi di produzione alimentare dei ruminanti legati ai loro lunghi intervalli di riproduzione, che comportano che più della metà del fabbisogno energetico alimentare nei sistemi di produzione bovini siano per il mantenimento degli animali stessi.

I cambiamenti nella dieta, oltre a svolgere un ruolo importante nelle future politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici, possono creare notevoli benefici per la salute umana e l'uso del suolo globale. Secondo Stehfest et al. (2009), la transizione verso una dieta a basso consumo di carne potrebbe avere un effetto enorme sull'utilizzo dei suoli agricoli, in quanto libererebbe un'estensione di 2,7 miliardi di ettari di pascoli e 0.1 miliardi di ettari di terreni agricoli, con un conseguente assorbimento di carbonio per rivegetazione delle stesse estensioni; inoltre, si ridurrebbero notevolmente le emissioni di metano e di protossido di azoto. Una transizione globale verso una dieta a basso consumo di carne, oggi già raccomandata per motivi di salute, ridurrebbe di circa il 50% nel 2050 i costi di mitigazione stimati per raggiungere l'obiettivo di stabilizzazione di 450 ppm CO<sub>2</sub>eq., rispetto allo scenario di riferimento (Stehfest et al., 2009).

La riduzione delle emissioni legate al consumo di carne può avvenire già preferendo carne da animali

con digestione monogastrica (suini e pollame), che presenta una carbon footprint nettamente inferiore a quella dei poligastrici (bovini, capre e pecore). La produzione globale di carne monogastrica è aumentata del 103% nel periodo 1987-2007, rispetto a un aumento del 28% nella produzione di carne di ruminanti; la continuazione di questo trend e le possibili riduzioni delle emissioni per unità di prodotto, non sono comunque in grado di contrastare l'aumento delle emissioni legate all'aumento globale del consumo di carne (Steinfeld e Gerber, 2010).

Fra gli strumenti innovativi proposti per raggiungere tali cambiamenti nella dieta c'è anche la tassazione del consumo di carne di ruminante (quella con maggiori emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di peso di carne) in funzione delle emissioni di gas serra (Wirsenius et al., 2010).

Un recente studio (Tagliabue et al., 2015) ha stimato l'impronta carbonica (IC) di quattro diversi regimi alimentari in Italia, comparabili dal punto di vista dell'introito calorico (quasi 2500 kcal/ab/giorno):

- dieta attuale italiana;
- dieta carne avicola: in cui il consumo di carne bovina è sostituito dalla carne avicola;
- dieta mediterranea, consigliata dalle linee guida per una sana alimentazione (INRAN, 2013), in cui diminuisce il consumo di carne, in quantità inferiori rispetto a quello attuale, e aumenta il consumo di frutta e verdura.
- dieta vegetariana, in cui il mancato consumo di carne e pesce è compensato da un maggior con-

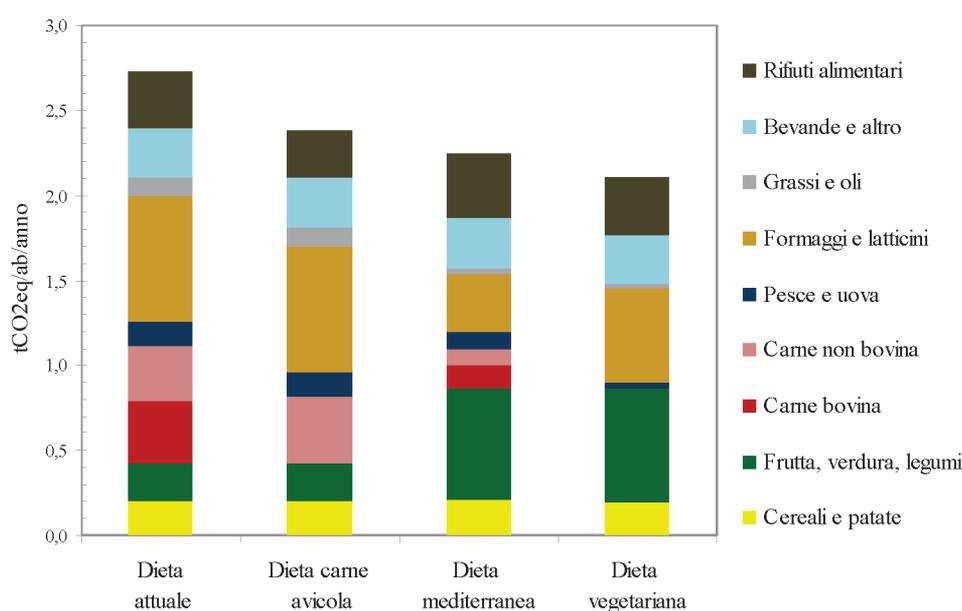


Figura 6 – Impronta carbonica (tCO<sub>2</sub>eq/ab/giorno) di quattro tipologie di regimi alimentari e contributo di diversi gruppi di alimenti e dello spreco alimentare nelle fasi post produzione (Tagliabue et al., 2015)

sumo di frutta, verdura, legumi e latticini.

I risultati, che considerano altresì i rifiuti alimentari legati al consumo degli alimenti stessi, mostrano come l'IC della dieta vegetariana è inferiore di quasi un quarto all'IC della dieta media attuale: riduzioni importanti possono essere ottenute semplicemente sostituendo la carne di manzo con la carne di pollo (-13%) o seguendo le linee guida per una sana alimentazione (-18%).

Da ricordare che il consumo di carne è molto diseguale; nell'Africa sub-sahariana è un 1/8 di quello medio dei paesi industrializzati. La riduzione del consumo di carne dovrebbe quindi riguardare i paesi in cui il consumo è eccessivo, consumo che dovrebbe essere ridotto anche solo dal punto di vista nutrizionale; in molti paesi poveri, invece, il problema principale è ancora l'alimentazione insufficiente o non equilibrata, e la carne rappresenta la fonte più concentrata di alcune vitamine e minerali, in un contesto in cui gli animali sono anche utilizzati per l'aratura e il trasporto, come fonte di reddito e approvvigionamento locale di letame, nonché di grande importanza culturale per molte comunità povere (Godfray et al., 2010).

#### 4. CONCLUSIONI

Numerose linee di evidenza mostrano la serietà della minaccia che i cambiamenti climatici attesi per i prossimi decenni pongono alla stabilità del sistema alimentare mondiale, a causa della crescente domanda di cibo per sfamare una popolazione in continua crescita e della variabilità a breve termine dell'offerta di cibo.

Gli impatti potenziali sono meno chiari a scala regionale, ma è probabile che la variabilità e il cambiamento del clima potranno esacerbare l'insicurezza alimentare in zone già attualmente a rischio di fame e malnutrizione. L'accesso e l'utilizzo di cibo saranno influenzati indirettamente dagli effetti collaterali sui redditi individuali e delle famiglie, dalla perdita di accesso ad acqua potabile e dai danni alla salute.

Sono quindi di fondamentale e strategica importanza le azioni di adattamento, in particolare per i produttori più a basso reddito e più vulnerabili ai cambiamenti climatici, per la loro limitata capacità di investire in pratiche e tecnologie innovative in grado di affrontare le mutate condizioni climatiche ed anche a causa di un quadro istituzionale più carente.

In un contesto di crescente competizione per la

terra, l'acqua e l'energia, è necessaria e possibile la sinergia fra le azioni per la sicurezza alimentare e quelle per l'adattamento e la mitigazione, ossia per la riduzione dell'impatto del sistema alimentare sul clima e più in generale sull'ambiente e la biodiversità.

Questo richiederà un notevole sforzo a diversi livelli, a partire da una strategia globale multidisciplinare, che non abbia come unico obiettivo semplicemente quello di massimizzare la produttività, ma sia in grado di valutare con attenzione la distribuzione dei costi e dei benefici delle scelte e i vantaggi che la protezione del clima e delle biodiversità avranno per le generazioni future.

#### 5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Adesogam T, Ott T, Tricarico J et al. (2013) Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J Anim Sci*, 91:5045-5069.
- Arezki A, Deininger K, Selod H (2011) What drives the global land rush? Policy research working paper 5864, World Bank, Washington, DC.
- Arndt C, Hussain MA, Østerdal LP (2012) Effects of food price shocks on child malnutrition: the Mozambican experience 2008/09. UN Univ.- World Institute for Development Economics Research. Working Paper No. 2012/89
- Asseng S, Ewert F, Rosenzweig C et al. (2013) Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 827-832
- Audsley E, Pearn KR, Simota C et al (2006). What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not?, *Environ Sci Policy* 9(2):148-162.
- Berazneva J, Lee DR (2013) Explaining the African food riots of 2007-2008: An empirical analysis. *Food Policy*, 39, 28-39.
- Berners-Lee M, Hoolohan C, Cammack H, Hewitt CN (2012) The relative greenhouse gas impacts of realistic dietary choices. *Energy Policy*, 43, 184-190
- Bindi M et al. (2014) Agricoltura e produzione alimentare (pagg. 441-479). In: Castellari S, Venturini S, Ballarin Denti A et al (a cura di.) Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- Brown EG, Anderson RC, Carstens GE et al. (2011) Effects of oral nitroethane administration on enteric methane 26 emissions and ruminal fermentation in cattle. *Animal Feed Science and Technology* 166-67, 275-281.
- Burney JA, Davis SJ, Lobell DB (2010) Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 12052

- 12057.
- C.E. (2009) Review of existing information on the interrelations between soil and climate change (CLIMSOIL). Commissione Europea, Bruxelles.
- Chavez FP, Ryan J, Lluch-Cota SE and Niquen CM (2003) From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299: 217-221.
- Ciais P. et al (2005) Europe-wide reduction in the primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529-33
- COPA-COGECA (2003). Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry. Committee of Agricultural Organisations in the European Union General Committee for Agricultural Cooperation in the European Union, Brussels.
- Cline WR (2007) Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country. Center for Global Development, Peterson Institute for International Economics, Washington, DC.
- Coumou D, Rahmstorf S (2012) A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2, 491-496.
- Eugene M, Martin C, Mialon MM, Krauss D, Renand G, and Doreau M (2011) Dietary linseed 6 and starch supplementation decreases methane production of fattening bulls. *Animal Feed Science 7 and Technology* 166-167, 330-337.
- EXPO Milano (2015) Sito web dell'Esposizione Universale Milano 21015. [www.expo2015.org](http://www.expo2015.org)
- FAO (1996) Rome declaration on world food security and World Food Summit plan of action. World Food Summit, Rome, 13-17 November.
- FAO (2002) World Agriculture: Toward 2015/2030, Summary Report. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (2003) World Agriculture: Toward 2015/2030. A Food and Agriculture Organization Perspective. Earthscan, London.
- FAO (2006) Livestock's long shadow. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (2012) State of the World's Forests. Food and Agriculture Organization, Rome.
- FAO (2013) Tackling climate change through livestock. A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- FAO (2013b) Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions, P. J. Gerber, B. Henderson & H. Makkar, eds. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. Rome.
- Feng S, Krueger AB, Oppenheimer M (2010) Linkages among climate change, crop yields and Mexico-US cross-border migration. *PNAS*, 107, 14257-14262.
- Ferrise R, Trombi G, Moriondo M, Bindi M (2014) Climate change and grapevine: a simulation study to assess impacts in the Mediterranean Basin. *Journal of Wine Economics*, 17 pp.
- Gerber PJ, Hristov AN, Henderson B et al. (2013) Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7 (2): 220-234.
- Giannakopoulos C, Le Sager P, Bindi M, Moriondo M, Kostopoulou E, Goodess CM (2009) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 degrees C global warming. *Global and Planetary Change*, 68: 209-224.
- Godfray CJH, Beddington JR, CruteIR, Haddad L et al. (2010) Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327, 5967, 812-818.
- Goodland R, Anhang J (2009) Livestock and Climate Change. What if the key actors in climate change are... cows, pigs, and chickens? Worldwatch Institute.
- Grainger C, Williams R, Clarke T, Wright AG Eckard RJ (2010) Supplementation with whole 1 cottonseed causes long-term reduction of methane emissions from lactating dairy cows offered a 2 forage and cereal grain diet. *Journal of Dairy Science* 93, 2612-2619.
- Grieshop AP, Marshall JD, Kandlikar M (2011) Health and climate benefits of cookstove replacement options. *Energy Policy*, 39, 7530-7542.
- Havlik P, Valin H, Mosnier A et al. (2013) Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2):442-448
- Hertel TW, Burke MB, Lobell DB (2010) The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environ. Change*, 20: 577-585.
- Hoolohan C, Berners-Lee M, McKinstry-West J, Hewitt CN (2013) Mitigating the greenhouse gas emissions of food through realistic consumer choices. *Energy Policy*, 63, 1065-1074.
- Hristov AN, Oh J, Firkins JL et al. (2013) Special topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J Anim Sci.*, 91(11):5045-69.
- INRAN (2003) Linee Guida per una Sana Alimentazione Italiana. l'Istituto Nazionale di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione. [www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_652\\_allegato.pdf](http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_652_allegato.pdf)
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Stocker TF, Qin D., Plattner GK et al. (eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. [www.climatechange2013.org](http://www.climatechange2013.org)
- IPCC (2014) Summary for policymakers. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ et al. (eds.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <http://ipcc-wg2.gov/AR5/>
- IPCC (2014b) Summary for Policymakers. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y et al. (eds.) *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

- Cambridge University Press. <http://mitigation2014.org>
- Kato E, Ringle C, Yesuf M, Bryan E (2011) Soil and water conservation technologies: a buffer against production risk in the face of climate change? Insights from the Nile basin in Ethiopia. *Agricultural Economics*, International Association of Agricultural Economists, 42, 5, 593-604.
- Knox J, Hess T, Daccache A, Wheeler T. (2012) Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environ. Res. Lett.*, 7.
- Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333, 6042, 616-620.
- Long SP, Ainsworth EA, Leakey ADB, Nosberger J, Ort DR (2006) Food for thought: Lower than expected crop yield stimulation with Rising CO<sub>2</sub> Concentrations. *Science* 312, 1918-1921.
- MacCarty N, Ogle D, Still D, Bond T, Roden C (2008) Laboratory comparison of the GWP of Six Categories of Biomass Cooking Stoves. *Energy for Sustainable Environment XII*, 2, 5-14
- Moriondo M, Bindi M (2007) Impact of climate change on the phenology of typical mediterranean crops. *Italian J. Agrometeorol.* 3:5-12.
- Moriondo M, Jones GV, Bois B et al.(2013) Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change*, 119, 825-839.
- Nelson GC et al. (2010) *Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options*. IFPRI, Washington, DC.
- Niño-Zarazúa M, Barrientos A, Hickey S, Hulme D (2011) Social protection in Sub-Saharan Africa: Getting the politics right. *World Development*, 40, 163-176.
- Nolan JV, Hegarty RS, Hegarty J, Godwin JR, Woodgate R. (2010) Effects of dietary nitrate 14 on fermentation, methane production and digesta kinetics in sheep. *Animal Production Science* 50, 15 801-806.
- Parente S, van de Weerd H (2012) Food security and farm animal welfare. *World Society for the Protection of Animals, Compassion in World Farming*. [www.ciwf.org/foodsecurity](http://www.ciwf.org/foodsecurity).
- Parry ML, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fischer G (2004) Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environ. Change A*, 14, 53-67.
- Pelletier N, Tyedmers P (2010) Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050. *Proc Natl Acad Sci USA* 107, 18371-18374.
- Popkin BM, Adair LS, Ng SW (2012) Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutr Rev.* 70, 1, 3-21.
- Porter JR, Xie L, Challinor AJ, Cochrane K et al (2014) Food security and food production systems. In: Field C.B, Barros VR, Dokken DJ (eds) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Ramanathan V, Feng Y (2008) On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead. *PNAS*, 105, 14245-14250.
- Rosenzweig C, Parry ML (1994) Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367, 133-138.
- Rulli MC, D'Odorico P (2014) Food appropriation through large scale land acquisitions. *Environ. Res. Lett.* 9, 6, 064030 (8pp).
- Rulli MC, Savioli A, D'Odorico P (2013) Global land and water grabbing. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 110 892-7.
- Schmidhuber J, Tubiello FN (2007) Global food security under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 19703-19708.
- Shimi AC, Parvin G, Biswas C, Shaw R (2010) Impact and adaptation to flood: a focus on water supply, sanitation and health problems of rural communities in Bangladesh. *Disaster Prevention and Management* 19, 3, 298-313.
- Shindell D, Kuylenstierna JCI, Vignati E et al. (2012) Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science*, 335, 6065,183-189.
- Silvestri S, Bryan E, Ringle C, Herrero M, Okoba B (2012) Climate change perception and adaptation of agro-pastoral communities in Kenya. *Reg Environ Chang* 12(4):791-802.
- Smith KR, Mehta S, Maeusezahl-Feuz M (2004) Indoor air pollution from household use of solid fuel, in: Ezziati, M., Rodgers, A.D., Lopez, A.D., Murray, C.J.L. (eds.), *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease due to selected major risk factors*. World Health Organization, Geneva, 1435-1493.
- Stehfest E, Bouwman L, van Vuuren DP, den Elzen MGJ, Eickhout B, Kabat P (2009) Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*, 95, 83-102.
- Steinfeld H, Gerber P (2010) Livestock production and the global environment: Consume less or produce better? *PNAS*, 107, 18237-18238.
- Stocker TF, Qin D., Plattner GK et al. (2013) *Technical Summary*. In: Stocker TF, Qin D., Plattner GK et al., (eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Tagliabue L, Zanchi M, Caserini S (2015) L'impronta carbonica degli alimenti. *Atti del Convegno "Nutrire il pianeta?"*, Milano, Ottobre 2014. Bruno Mondadori ed.
- Taub D (2010) Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants. *Nature Education Knowledge* 3(10):21.
- Tefera T (2012) Post-harvest losses in African maize in the face of increasing food shortage. *Food Security* 4, 2, 267-277.
- Trærup SLM (2012) Informal networks and resilience to climate change impacts: A collective approach to index insurance. *Global Environmental Change*, 22(1), 255-2673.
- UN (2011) *The UN-REDD Programme Strategy 2011-*

2015. FAO-UNDP-ENEP.
- UNEP-WMO (2011) Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone - [www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon\\_report.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_report.pdf).
- Venkataraman C, Sagar AD, Habib G, Lam N, Smith KR et al (2010) The Indian National Initiative for Advanced Biomass Cookstoves: the benefits of clean combustion. *Energy for Sustainable Development*, 14, 63–72.
- Vercesi A (2010) Studio dell'ambiente viticolo attraverso la parametrizzazione (punto di incrocio) delle curve di maturazione delle uve (Pinot nero, Oltrepò Pavese, Italia settentrionale, 45° parallelo nord,). In *Proceedings VIII International Congress Terroir, Soave (VR) Italy*, vol.1, 2: 93-98.
- von Braun J (2009) Addressing the food crisis: governance, market functioning, and investment in public goods. *Food Security*, 1, 9–15.
- Wheeler T, von Braun J (2013) Climate Change Impacts on Global Food Security. *Science* 341, 508-513.
- Wirsenius S, Hedenus F, Mohlin K (2010) Greenhouse gas taxes on animal food products: rationale, tax scheme and climate mitigation effects. *Climatic Change*, 108, 1-2, 159-184.
- WMO (2014) WMO Statement on the status of the global climate in 2013. World Meteorological Organization series No. 1130.
- World Bank (2010) World Bank development report 2010: Development and climate change. World Bank, Washington, DC.



# INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

FEBBRAIO 2015, ANNO 2 N.1 PAGINE 83-101

## CAMBIAMENTI CLIMATICI E SICUREZZA ALIMENTARE

**Stefano Caserini**

Politecnico di Milano, D.I.C.A. Sez. Ambientale, Milano



**comieco**

Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo  
degli Imballaggi a base Cellulosica



**Veolia Water Technologies Italia S.p.A.**



**UNICALCE**

*Innoviamo la tradizione*