

# Verso un'alimentazione sostenibile

## Impatto e Sostenibilità dello Stile Alimentare: aspetti Ambientali e Nutrizionali

di Andrea CONTI

Gruppo di ricerca multidisciplinare Scienze Integrate

*version du 07/07/2019*

### **Premessa**

Questa analisi scientifica è dedicata ad una breve sintesi del legame complesso e multidimensionale che esiste tra alimentazione, ambiente e salute. L'obiettivo è quello di stimolare l'interesse del lettore verso alcuni dei grandi problemi legati al settore agroalimentare, e di mettere in prospettiva l'efficacia di un cambiamento individuale e collettivo delle abitudini alimentari verso uno scenario di sicurezza alimentare globale maggiormente sostenibile.

Il materiale presentato è di carattere informativo, lo scopo è di promuoverne la conoscenza, pertanto puramente educativo e non terapeutico.

Si declina ogni responsabilità, diretta o indiretta, che potrebbe derivare dal suo improprio utilizzo.

## **Introduzione**

In passato il pianeta era concepito (piuttosto comprensibilmente) come un ambiente capace di tamponare facilmente qualsiasi alterazione, svuotamento e sfruttamento da parte dell'uomo, data la sua incalcolabile estensione e abbondanza di risorse. L'organismo umano ad un certo punto della storia era concepito come una macchina, la cui salute ed efficienza dipendevano essenzialmente dall'energia (sotto forma di carboidrati, proteine e grassi) piuttosto che da innumerevoli fattori nutrizionali. I tempi sono cambiati e di entrambe queste concezioni ormai è scontato pensare il contrario; oggi è quasi triviale pensare che esiste un certo legame tra lo stile alimentare dell'uomo e l'ambiente in cui vive, e che tutto ciò che facciamo a noi stessi e al pianeta si rifletterà poi, nel bene o nel male, sulle generazioni che seguono. Eppure qualcosa non torna giacché, in un periodo di forte crescita demografica come questo, nel mondo continuano a persistere forti polarizzazioni, profonde disparità e disuguaglianze. Da un lato vi sono paesi in cui v'è sovrabbondanza e sovrasfruttamento di risorse, nei quali un'irragionevole gestione, le logiche di profitto e gli sprechi non soltanto sono causa di un forte depauperamento dell'ambiente ma anche delle cosiddette "malattie del benessere". Dall'altro vi sono miliardi di persone senza un adeguato accesso ad acqua, cibo, energia e condizioni igienico-sanitarie, che potrebbero invece sostentarsi per mezzo delle risorse sprecate nel resto del mondo. La percezione dei problemi che affliggono la vita di chi abita nei paesi in cui l'accesso alle risorse è sovrabbondante è del tutto differente da quella di chi vive a stretto contatto con le conseguenze di un'umanità insostenibile. Basti pensare che un terzo della produzione alimentare globale viene sprecata ogni anno, una quantità di per sé sufficiente a sfamare chi nel mondo ancora la fame la sta soffrendo. In linea di massima ciò accade perché vivere nel benessere può precludere un adeguato approfondimento del concetto di sostenibilità, rallentare lo sviluppo dell'individuale ecosensibilità e la formazione di una coscienza ambientale collettiva sufficientemente solida. Ed a causa di politiche alimentari e stili di vita ancora inadeguati oggi un pianeta a mezzo non sarebbe sufficiente a sfamare tutti: non c'è da stupirsi se oltre un terzo della popolazione mondiale continua ad essere malnutrito. Ci si domanda a questo punto se sia possibile apportare un contributo quotidiano ed individuale potenzialmente in grado di migliorare le condizioni di vita e di salute dell'uomo e del pianeta, e capace anche di tamponare il pericoloso fenomeno del riscaldamento globale. La risposta è senz'altro affermativa, giacché uno stile alimentare sano e sostenibile per l'uomo può esserlo anche per l'ambiente.

## **Scenari critici**

L'impatto antropico rappresenta l'insieme delle modifiche che l'uomo apporta al pianeta nel tentativo di adattare i paesaggi alle proprie necessità, per lo più per mezzo di attività industriali ed agricole. Gli effetti dell'impatto antropico sul delicato equilibrio naturale del pianeta sono stati per lungo tempo sottovalutati. Tra i vari propositi, un termine che riesce ad esprimere l'importanza dei mutamenti che il pianeta, molto più che in passato, sta subendo a causa dell'intensificarsi delle attività umane è sicuramente l'Antropocene, cioè l'epoca geologica dell'influenza umana sull'intera fisiologia del mondo che abita.

Una pietra miliare nella documentazione degli effetti nocivi dell'impatto antropico sul nostro pianeta risale al 1864: il saggio pionieristico *Man and Nature; or, Physical Geography As Modified by Human Action* di George Perkins Marsh,[1] fu precursore di quella che da lì a breve il tedesco Ernst Haeckel (uno tra i più importanti biologi del XIX secolo) avrebbe definito ecologia, cioè lo studio delle relazioni che intercorrono tra gli organismi e l'ambiente che li ospita.

Quasi un secolo dopo, nel 1955, un simposio scientifico istituito alla Princeton University radunò per la prima volta un gruppo multidisciplinare di 70 scienziati accomunati dall'interesse per il sempre più crescente impatto antropico.[2,3] Una delle più pericolose problematiche associate all'impatto antropico sono i mutamenti climatici antropogenici, cioè quella variabilità climatica provocata dall'impatto antropico, fenomeno più comunemente chiamato cambiamento climatico o riscaldamento globale. Il primo raduno di istituzioni e forze politiche per trattare i temi dei mutamenti climatici antropogenici fu invece la Conferenza Mondiale sul Clima di Ginevra del 1979, dove vi fu la collaborazione del Consiglio internazionale per la Scienza.[i] e di svariate agenzie dell'ONU [ii] quali l'Organizzazione meteorologica mondiale,[iii] l'UNESCO,[iv] la FAO,[v] l'Organizzazione mondiale della sanità,[vi] ed il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente.[vii] La crescente sensibilità verso l'impatto antropico sul clima globale fece giungere, solo nella prima settimana, oltre 350 esperti da oltre 50 paesi.[4] In seguito nel 1988 grazie alla cooperazione tra OMM ed UNEP fu istituito l'IPCC,[viii] il primo comitato scientifico multidisciplinare dedicato all'analisi ed allo studio dell'impatto antropico sui mutamenti climatici. La pericolosità dello scenario che emerse dai primi risultati ottenuti dall'IPCC contribuì a quello che divenne, all'inizio degli anni '90, il primo grande tentativo politico ed istituzionale di contenere la sempre più larga impronta antropogenica al fine di limitare il cambiamento climatico e le sue pericolose conseguenze. Nel 1992 a Rio de Janeiro oltre 150 nazioni di tutto il mondo firmarono la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici,[ix] un importante trattato ambientale internazionale realizzato e presentato all'UNCED [x] conosciuto anche con il nome di Summit della Terra. Fu decisiva la costanza con la quale tutte le parti firmatarie (comprese quelle che si aggiunsero in seguito) cominciarono da lì in poi a riunirsi annualmente (fino ad oggi) organizzando una serie di conferenze che presero il nome di COP.[xi] Con la prima di queste, la COP-1 di Berlino del 1995, si cominciò a prendere seriamente (a livello geopolitico) consapevolezza della necessità di misure di contenimento dei mutamenti climatici antropogenici, tuttavia la più nota fu sicuramente la COP-3 del 1997, conosciuta come Protocollo di Kyōto, nella quale per la prima volta si stabilirono una serie di obblighi vincolanti (al quale ad oggi aderiscono oltre 190 paesi) sulle riduzioni delle emissioni di gas serra. I progressi dell'applicazione del Protocollo di Kyōto sono stati discussi ripetutamente in seguito, come nell'importante e più recente COP-16 tenutasi nella città messicana di Cancún nel 2010, ed anche nella COP-21 di Parigi del 2015, nella quale per la prima volta si è tentato di raggiungere un accordo legale universale sulle misure di contenimento dei mutamenti climatici antropogenici in corso. Il cambiamento climatico è sostanzialmente l'effetto di un'irragionevole gestione delle risorse naturali da parte delle attività umane: la condizione critica degli scenari ambientali attuali è legata ad un'economia insostenibile, il cui esempio più noto e comune è sicuramente quello della deforestazione. Per comprendere l'importanza del limitare gli effetti del cambiamento climatico

basti pensare che tra questi vi sono le preoccupanti e crescenti scarsità e crisi dei raccolti, l'aridità e l'impoverimento dei terreni, quindi le carestie, la fame nel mondo ma anche l'estinzione di piante e animali. A tutto ciò si aggiungono le conseguenze dovute all'aumento di guerre civili e di conflitti tra nazioni a causa dello scarseggiare delle risorse o dell'accaparramento da parte di chi punta ad ottenere profitti con qualsiasi mezzo, e non si fatica a immaginare che i primi a soffrirne possano certamente essere le popolazioni del terzo e quarto mondo, ma anche i paesi in via di sviluppo. Questi appena citati sono solo alcuni dei problemi direttamente od indirettamente legati allo sfruttamento del pianeta, ed una (seppur minimale) trattazione dell'impatto antropico richiede via via l'introduzione di alcuni concetti fondamentali, primo tra tutti il concetto di biodiversità. Con essa si indica la diversità biologica degli ecosistemi, cioè (in breve) la varietà di specie viventi che abitano porzioni di pianeta in cui si è stabilito un delicato equilibrio tra flora e fauna: dagli ambienti terrestri come foreste o deserti a quelli marini, sono tutti ecosistemi più o meno ricchi di biodiversità. La biodiversità è anche un indice fondamentale per valutare lo stato di salute del pianeta stesso; è indispensabile conservare la biodiversità per evitare danni ecologici irreversibili, giacché da essa dipendono quantità e qualità di elementi fondamentali quali aria e acqua, ma anche le produzioni agricole ed industriali di tutto il mondo, quindi il nostro stesso sviluppo economico e sociale: da essa dipende l'esistenza della vita sulla Terra, ed in sostanza, l'esistenza stessa dell'uomo. Guastare questo sottile equilibrio ecosistemico contribuisce ad aumentare quello che viene definito tasso di estinzione. Esiste una normale e progressiva estinzione delle specie viventi nella storia geologica e biologica della Terra, denominata estinzione di fondo: essa è parte del naturale processo evolutivo ed il risultato delle continue e fisiologiche variazioni nelle condizioni ambientali del pianeta. Il tasso di estinzione di fondo indica pertanto la naturale frequenza di estinzione delle specie viventi prima del grande impatto antropico sul nostro pianeta: si tratta di un indice fondamentale per avere un confronto rispetto a quello che è invece l'attuale tasso di estinzione del quale invece è l'uomo ad essere protagonista.

Alcuni esponenti della comunità scientifica concordano sul fatto che siamo già nel bel mezzo di quella che è stata definita come la sesta estinzione di massa nella storia della Terra.[5] In tutto il mondo, soprattutto a causa delle attività umane, si stanno verificando estinzioni di specie superiori ai più alti tassi di estinzione fino ad ora mai registrati nella documentazione fossile.[6] Secondo la più recente e accurata stima gli attuali tassi di estinzione delle specie animali e di quelle vegetali sono fino a mille volte superiori rispetto al tasso di estinzione di fondo.[7] Un fenomeno definito annichilimento biologico per via della preoccupante velocità con la quale, solamente negli ultimi 100 anni, intere popolazioni di vertebrati terrestri si sono estinte,[8] e si stima che di questo passo entro il 2050 sulla Terra potrebbero scomparire sino al 37% delle specie di animali e piante.[9] In questa sede verranno analizzate alcune delle cause legate all'aumento del tasso di estinzione, tra cui la crescita dei consumi pro capite e l'agricoltura intensiva, l'inquinamento, l'aumento di emissioni gas serra e la deforestazione, ed in generale quelle attività che abusano delle risorse ambientali destabilizzando il fisiologico equilibrio del nostro pianeta, che concorrono al fenomeno del cambiamento climatico globale e che di fatto incidono sulla progressiva riduzione di biodiversità degli ecosistemi.

Alluvioni, uragani, cicloni, grandinate, tsunami ed intensificazioni delle precipitazioni: le catastrofi “naturali” si fanno sempre più frequenti e distruttive e sembrano essere connesse soprattutto al fenomeno del riscaldamento globale. Il nesso tra cambiamenti climatici ed eventi catastrofici è sempre più evidente, poiché all’aumentare della temperatura globale, aumentano il numero e la gravità di questi fenomeni, causando decine di migliaia di morti e miliardi di euro in danni. Sembra che negli ultimi anni le catastrofi naturali abbiano incrementato la loro frequenza e la loro intensità, si pensi che il numero dei disastri climatici è triplicato negli ultimi trent’anni, allo stesso tempo stanno aumentando i periodi di caldo e le zone colpite dalla siccità, gli inverni freddi, le inondazioni improvvise ed inusuali. I cambiamenti climatici su scala globale porteranno dei rischi non indifferenti per l’intera umanità se non verranno presi provvedimenti immediati.[10–14] La temperatura del pianeta sta salendo ad un ritmo preoccupante: dal 1880 al 2012 la temperatura media globale superficiale combinata di terra ed oceano è aumentata di ben 0.85 °C,[15] e nel 2016 è stata raggiunta la temperatura più alta fino ad ora mai registrata, di ben 0.94 °C al di sopra della media del 20esimo secolo, ennesimo di una serie di record climatici davvero preoccupanti.[16]

[i] Consiglio internazionale per la Scienza, [International Council for Science (ICSU)], <http://www.icsu.org/>

[ii] Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), [United Nations (UN)], <http://www.un.org>

[iii] Organizzazione meteorologica mondiale (OMM), [World Meteorological Organization (WMO)], <https://www.wmo.int/>

[iv] Organizzazione delle Nazioni Unite per l’Educazione, la Scienza e la Cultura, [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)], <http://www.unesco.org/>

[v] Organizzazione delle Nazioni Unite per l’alimentazione e l’agricoltura, [Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)], <http://www.fao.org>

[vi] Organizzazione mondiale della sanità (OMS), [World Health Organization (WHO)], <http://www.who.int/en/>

[vii] Programma delle Nazioni Unite per l’ambiente, [United Nations Environment Programme (UNEP)], <http://www.unep.org/>

[viii] Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico, [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)], <http://www.ipcc.ch/>

[ix] Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, [United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)], <http://unfccc.int/>

[x] Conferenza sull'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite, [United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)]

[xi] Conferenza delle parti, [Conference of the parties (COP)]

### **Altri scenari critici**

Siamo nell'era del cambiamento climatico ed i rischi e le vulnerabilità (che influenzano anche la nostra quotidianità) non possono essere affatto ritenuti trascurabili. Lo evidenziano recenti studi di scienziati di tutto il mondo, che considerano non solo gli impatti dei cambiamenti climatici sul pianeta, ma anche tutte le interazioni sociali ed economiche che ne derivano e le capacità di adattamento della nostra società. Basti pensare ad esempio che nello scenario Europeo le stime dei costi medi annui riguardanti l'adattamento al cambiamento climatico e socio-economico potrebbero essere dell'ordine di € 1.7 miliardi per il 2020, € 3.4 miliardi per il 2050 e di € 7.9 miliardi per il 2080.[17] Ovviamente il cambiamento climatico aggraverà le condizioni economiche delle aree più esposte: per fare un esempio, l'area mediterranea presenta in Europa i rischi più alti, il turismo (tra le principali attività economiche) subirebbe un impatto negativo, come anche la salute e l'agricoltura per via della minore disponibilità di acqua ed energia. Su scala planetaria, i cambiamenti del clima presentano un rischio notevole per le popolazioni, infatti gli anomali mutamenti climatici contribuirebbero ad aumentare i flussi migratori e le disuguaglianze sociali tra nord e sud del mondo, pure a causa della crescente scarsità di risorse idriche, uno dei maggiori fattori limitanti per la produzione agricola. Alla base dei meccanismi che contribuiscono al fenomeno del riscaldamento globale vi sono senz'altro le profonde alterazioni al ciclo del carbonio causate dalle attività umane, cioè l'alterazione delle interazioni del carbonio (elemento chimico con simbolo C) sul nostro pianeta. Naturalmente immagazzinato nei suoli e negli oceani che ne costituiscono la loro naturale riserva, una parte di carbonio si trasferisce in atmosfera sotto forma di diossido di carbonio, più comunemente anidride carbonica e più semplicemente CO<sub>2</sub>, per poi ritornare ai suoli ed essere riassorbito dagli oceani e quindi chiudere il proprio ciclo biogeochimico. Va ricordato che il carbonio ricopre un ruolo di primaria importanza per l'esistenza e lo sviluppo della vita, basti pensare che tutte le cellule sono formate grazie a legami tra carbonio ed altri elementi (anch'essi essenziali alla vita), ed è pertanto fondamentale nei processi vitali di animali e piante. La fotosintesi clorofilliana ad esempio, è il processo mediante cui le piante in presenza di luce solare e acqua possono sequestrare la

CO<sub>2</sub> atmosferica trasformandola in glucosio ed altri carboidrati più complessi, liberando ossigeno e stoccando il carbonio nel suolo. Si menziona anche il ciclo di Krebs, quel fenomeno vitale degli esseri viventi, nel quale carboidrati, proteine e grassi (tutte molecole composte da legami di carbonio) vengono trasformati in energia biochimica, acqua ed anidride carbonica, quest'ultima in parte poi espulsa. In ogni caso, ciclicamente, la maggior parte del diossido di carbonio immagazzinato negli organismi viventi viene poi rilasciato in atmosfera durante i processi di decomposizione che avvengono dopo la morte. Similmente anche il metano (CH<sub>4</sub>) ha un importante ruolo all'interno del ciclo del carbonio, trattandosi di un gas (incolore) formato da carbonio ed idrogeno. Le attività antropiche, ed in particolare quelle industriali e agricole, hanno sensibilmente aumentato il flusso di carbonio emesso in atmosfera, principalmente a causa del massiccio utilizzo dei combustibili fossili (principalmente petrolio, carbone e gas naturali). Si tratta di riserve di carbonio che hanno impiegato milioni di anni per accumularsi sottoterra, ma che l'uomo sta estraendo ad una velocità maggiore di quella di accumulo (da qui il nome di fonti non rinnovabili), ed il cui sfruttamento ne causa l'emissione nel flusso atmosferico sotto forma di gas di scarico. Anche il fenomeno della deforestazione contribuisce ad alterare il ciclo del carbonio, poiché diminuisce la capacità totale che la vegetazione possiede di sequestrare e stoccare carbonio a partire dalla CO<sub>2</sub> atmosferica, riducendo di conseguenza la capacità di produrre ossigeno. V'è inoltre un'importante emissione di gas serra, poiché a seguito della combustione il carbonio stoccato dalla vegetazione viene rilasciato in atmosfera in forma di anidride carbonica e metano, assieme al vapore acqueo. Tali alterazioni stanno causando un problema di enorme portata: oltre ad aumentare la tossicità dell'aria che respiriamo contribuiscono in maniera significativa all'innaturale incremento del cosiddetto effetto serra, sul quale è necessario fare brevemente luce per comprenderne meglio l'importanza. L'effetto serra è di per sé un fenomeno essenziale per lo sviluppo ed il mantenimento della vita, poiché regola l'equilibrio termico del pianeta. Ciò è possibile grazie alla presenza in atmosfera di gas chiamati gas serra, tra i principali vapore acqueo, diossido di carbonio, metano, protossido di azoto, ed esafluoruro di zolfo che grazie alle loro particolari proprietà fisiche sono in grado di lasciar passare la radiazione solare diretta verso la superficie terrestre e al tempo stesso di trattenere buona parte di quella che dalla superficie viene a sua volta riflessa verso l'esterno. Grazie all'effetto serra vengono quindi tamponate tutte quelle forti escursioni termiche che altrimenti si avrebbero, ad esempio tra il giorno e la notte, rendendole invece tollerabili grazie ad una stabilizzazione delle temperature. Mantenere le naturali quantità e proporzioni di gas serra in atmosfera equivale ad avere un clima idoneo alla vita, tuttavia l'azione antropogenica porta ad un significativo e pericoloso aumento di tali gas nell'aria. A seguito di ciò i gas serra trattengono quantità sempre maggiori di radiazioni solari provenienti dalla superficie terrestre, che vengono poi indirizzate nuovamente verso la Terra, contribuendo ad un critico innalzamento delle temperature medie del pianeta. Da qui il nome di riscaldamento globale, un fenomeno la cui pericolosità risiede, essenzialmente, nel fatto che gli stessi ecosistemi non hanno il tempo necessario per adattarsi. L'unità di misura utilizzata dal mondo scientifico per esprimere la concentrazione di diossido di carbonio in atmosfera (e più in generale di una qualunque altra sostanza presente in una miscela acquosa o di gas) è denominata ppm, cioè Parti per milione. Ad esempio 100 ppm di CO<sub>2</sub> atmosferica indicano che in una generica porzione di atmosfera costituita da un milione di molecole (nella quale il vapore acqueo è stato idealmente rimosso) 100 di esse sono molecole di diossido di carbonio.

Il primo importante aumento delle concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera è cominciato nell'era preindustriale: negli 8000 anni che l'hanno preceduta difatti, si è verificato un aumento totale di sole 20 ppm di CO<sub>2</sub> atmosferica. Tuttavia dalle circa 280 ppm di CO<sub>2</sub> atmosferica del 1750, nel 1988 sono state raggiunti e superate le 350 ppm, valore che rappresenta il limite massimo di tossicità relativa alla concentrazione di diossido di carbonio in atmosfera per evitare seri rischi relativamente all'effetto serra e alla stessa sopravvivenza dell'uomo. Tuttavia negli anni successivi le concentrazioni di anidride carbonica atmosferica sono aumentate come mai prima, e dal 1995 al 2005 vi è stato un aumento annuo medio di addirittura 1.9 ppm, e nel 2007 si sono registrate 379 ppm di CO<sub>2</sub> atmosferica.[18,19] Nel Maggio del 2013 i più importanti osservatori hanno registrato, per la prima volta, la soglia delle 400 ppm di CO<sub>2</sub> atmosferica,[20,21] che nel 2016 è divenuta addirittura una media globale permanente durante l'intero arco annuale, e che perdurerà per molte altre generazioni.[22] Le emissioni globali di CO<sub>2</sub> rilasciate in atmosfera equivalgono attualmente a circa 35 miliardi di tonnellate l'anno, e derivano sostanzialmente dalla combustione di combustibili fossili e dai processi industriali quali produzione di cementi, metalli, e prodotti chimici.[23] I danni delle emissioni di diossido di carbonio si ripercuotono anche sull'economia globale: si è recentemente calcolato che questi sono 6 volte maggiori di quelli stimati dalle precedenti ricerche. Difatti un nuovo studio mostra come il reale danno economico ammonti alla cifra di 220 dollari per ogni tonnellata aggiuntiva di CO<sub>2</sub> emessa nel 2015. Tale innovativo calcolo, tiene conto, oltre che dei canonici danni relativi ad esempio alla riduzione delle produzioni agricole o ai costi sanitari per far fronte agli effetti negativi sulla salute, anche degli impatti del cambiamento climatico sul tasso di crescita economica di un paese: un danno permanente, che si accumula via via nel tempo e che incide soprattutto sui paesi più poveri.[24] Gli scienziati prevedono scenari con un aumento del 50% dell'emissione di gas serra (dovuto per lo più ad un aumento del 70% delle emissioni di CO<sub>2</sub>): ebbene si potrebbero raggiungere le 685 ppm di gas serra in atmosfera entro il 2050 e più di 1100 ppm entro il 2100, con una temperatura media del pianeta che entro la fine del secolo rischia di divenire da 3 a 6 °C più alta rispetto ai livelli preindustriali. Secondo tali scenari la promessa, da parte dei paesi firmatari del COP-12 di Copenaghen del 2009 e del COP-16 di Cancún dell'anno successivo, di ridurre le emissioni di gas serra evitando un innalzamento della temperatura globale oltre la soglia dei 2 °C, non potrà essere mantenuta a meno di rapide misure. Una variazione di 2 °C, che ai più potrebbe apparire insignificante, modificherebbe in modo consistente le condizioni climatiche, aumentando l'intensità e la frequenza di uragani e cicloni, e accelerando lo scioglimento dei ghiacciai.[25] Difatti le calotte glaciali dell'Antartide e della Groenlandia, ed i grandi ghiacciai del nostro pianeta stanno subendo un sensibile incremento dei processi di scioglimento, riversandosi nelle acque e aumentandone il volume e quindi l'altezza media. Anche il fenomeno dell'espansione termica degli oceani contribuisce all'innalzamento del livello dei mari, poiché un incremento di temperatura corrisponde ad un aumento del volume delle masse d'acqua. Secondo le previsioni degli esperti è previsto un innalzamento del livello degli oceani dal 1990 al 2100 fino a quasi 2 metri in tutto il mondo. Non è difficile immaginare quanto questo scenario possa essere potenzialmente catastrofico: l'aumento di temperatura delle superfici oceaniche ne incrementerà sempre più l'evaporazione, liberando in atmosfera maggiori quantità di vapore acqueo, gas serra che contribuirà ulteriormente al riscaldamento globale. L'espansione e l'innalzamento degli oceani sommergerà le coste ed i porti, danneggerà le città



costiere, la flora, la fauna, e tutti quegli ecosistemi prossimi al livello del mare. Le acque salate riversandosi nei pozzi, nei fiumi, nei laghi ed in tutti corsi d'acqua dolce ne aumenteranno sensibilmente la salinità, e ciò renderà l'acqua imbevibile, causerà una sempre maggiore diminuzione della biodiversità marina, e nei terreni agricoli altererà la crescita delle piante.[26,27]

Un altro sostanzioso contributo al cambiamento climatico deriva dalla gravosa pratica della deforestazione, poiché le foreste rappresentano aree naturali di mitigazione del riscaldamento globale. La foresta è un'abbondante riserva di carbonio (di cui è principalmente composta): la vegetazione sequestra CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, stocca il carbonio ed emette invece ossigeno. A seguito di attività come il taglio del legname e l'incendiamento, il carbonio contenuto negli alberi viene rilasciato in atmosfera sotto forma di gas serra quali l'anidride carbonica ed il metano.[28] Si pensi che sul nostro pianeta la deforestazione causa la perdita di un'area di foresta grande quanto 50 campi di calcio ogni minuto che trascorre.[29] Nel corso degli ultimi 40 anni quasi il 20% della Foresta pluviale Amazzonica è stato abbattuto, più di quanto è stato fatto in 450 anni di colonizzazione europea: gli scienziati temono che un ulteriore 20% degli alberi verrà perso nel corso dei prossimi vent'anni.[30] Anche gli oceani rappresentano un fattore critico per la vita delle specie che abitano il pianeta, compreso l'uomo. Gli oceani sostengono la vita in molti modi: oltre a fornire habitat e nutrimento ad una vasta quantità di specie viventi, assorbono le emissioni di gas serra ed il calore in eccesso liberando la maggior parte dell'ossigeno che respiriamo (grazie alla fotosintesi ad opera del fitoplancton), rappresentano cioè un buon meccanismo naturale di mitigazione del riscaldamento globale. Gli oceani assorbono diossido di carbonio, che una volta disciolto in acqua di mare viene utilizzato per la fotosintesi e altri processi fisiologici degli organismi marini. Allo stesso tempo gli oceani svolgono un ruolo fondamentale nello scambio di CO<sub>2</sub> con l'atmosfera: ne favoriscono il continuo scambio tra gli strati superiori degli oceani e l'atmosfera, un processo naturale che ha lo scopo di mantenere uguali quanto più possibile le concentrazioni di diossido di carbonio tra le due parti. Tuttavia le attuali emissioni di CO<sub>2</sub> ed il riscaldamento globale stanno generando una serie di drammatici cambiamenti nella chimica degli oceani. L'aumento della temperatura degli oceani e l'abbassamento del pH marino, che ne determina una pericolosa acidificazione denominata anche il gemello cattivo del riscaldamento globale, stanno riducendo sensibilmente la loro capacità di assorbire CO<sub>2</sub> atmosferica, un fenomeno che comporta la diminuzione delle concentrazioni di ossigeno, con drammatiche conseguenze sia per gli organismi marini che terrestri. Alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> negli oceani danneggiano irreparabilmente il sistema nervoso dei pesci, soprattutto quelli più piccoli, alterandone i comportamenti e le capacità sensoriali e cognitive, come l'odore, l'olfatto, la capacità visiva ed anche l'orientamento, mettendo a rischio la loro intera sopravvivenza con conseguenze negative su tutta la catena alimentare marina. L'aumento delle temperature e l'ipossia (carenza di ossigeno) inoltre alterano il metabolismo di molte specie di organismi che abitano i mari, diminuendo sia le loro dimensioni che i tassi di crescita, ed al contempo aumentando la mortalità di parte della fauna marina fino a provocarne addirittura l'estinzione. Inoltre la diminuzione di ossigeno e del pH marino diminuiscono i tassi di calcificazione, cioè della formazione di gusci calcarei e strutture scheletriche di numerosi organismi marini come coralli, molluschi, crostacei e ricci di mare. Anche l'integrità delle barriere coralline è oramai in pericolo. Importanti habitat ed essenziale fonte di cibo per l'ecosistema marino, oltre che strumento naturale di protezione delle coste, per via del riscaldamento globale le barriere coralline sono oggi costrette a sopravvivere a temperature superiori

alla norma. Ciò comporta loro seri danni come il fenomeno dello sbiancamento dei coralli che, assieme alla crescente acidificazione degli oceani ne rallenta la calcificazione.

Sin dai tempi preindustriali il pH medio delle acque di superficie degli oceani è sceso da un valore di 8.2 ad 8.1: questo potrebbe non sembrare molto, ma essendo la scala del pH logaritmica una diminuzione di 0.1 corrisponde ad un aumento del 30% dell'acidità media delle acque oceaniche di superficie. Gli scenari futuri sono preoccupanti: di questo passo entro il 2100 il pH medio delle acque di superficie degli oceani potrebbe scendere a circa 7.8, corrispondente ad un aumento dell'acidità del 150%. [31] Secondo tale scenario il diossido di carbonio atmosferico potrebbe raggiungere una concentrazione tra le 550 ppm ed le 900 ppm, la temperatura delle superfici oceaniche potrebbe aumentare da 2 a 3 °C e le concentrazioni di ossigeno diminuire dal 2% al 4%. Tutto ciò altererebbe profondamente la fisiologia degli ecosistemi marini con pericolose conseguenze per il pianeta ed i suoi abitanti. [32] Tutto questo sta avvenendo ad una velocità (o meglio con un tasso di cambiamento) 100 volte (o più) superiore a quella finora mai riscontrata durante il passato geologico: diverse specie marine, comunità ed ecosistemi potrebbero non avere il tempo di adattarsi a questi rapidi cambiamenti nella chimica dell'oceano. [33] L'uomo sta compromettendo la capacità degli oceani di fornire ossigeno e di assorbire i gas serra e la biodiversità degli ecosistemi marini, con profonde alterazioni della catena alimentare.

Per limitare il fenomeno del riscaldamento globale in corso e le conseguenze che da esso derivano, esistono tre principali linee d'azione: la mitigazione, l'adattamento e l'ingegneria climatica. L'adattamento, per certi versi inevitabile, consiste in breve nel convivere con gli effetti del cambiamento climatico, sfruttando tutta una serie di politiche socio-economiche che consentono di adeguare l'uomo a tali scenari e anche a quelli futuri. L'ingegneria climatica o geoingegneria è invece l'intervento umano intenzionalmente volto alla manipolazione artificiale su larga scala del sistema climatico del nostro pianeta, con l'obiettivo di contrastare i cambiamenti climatici antropogenici. Già nel 1830 gli scienziati teorizzavano le prime rudimentali strategie di cambiamento meteorologico, utilizzando incendi forestali controllati per stimolare le piogge, ma fu a partire dagli anni '60 che alcuni esperti di ingegneria climatica cominciarono a proporre modificazioni artificiali del clima per contrastare il crescente l'effetto serra. Ad oggi la moderna ingegneria climatica si basa principalmente su due strategie: la prima prevede diverse tecnologie di rimozione del diossido di carbonio (CDR) al fine di normalizzare le concentrazioni di gas serra in atmosfera e di conseguenza diminuire l'effetto climalterante. La seconda strategia, maggiormente soggetta a controversie, si basa su tecniche di gestione della radiazione solare (SRM): in linea di principio si tratta di intensificare le proprietà che i gas serra e la superficie terrestre hanno di riflettere la radiazione solare in entrata al pianeta, anche tramite generazione artificiale di nubi ed iniezione di particelle di aerosol come i solfati in atmosfera, al fine di ridurre il riscaldamento causato dall'effetto serra antropogenico. Entrare nel dettaglio delle complesse tecnologie di ingegneria climatica e del loro funzionamento esula dagli obiettivi di tale scritto, ad ogni modo reperibili per mezzo della bibliografia fornita. Vi sono però tutta una serie di dubbi ed incertezze che la comunità scientifica si è posta sull'adozione dell'ingegneria climatica e sulle conseguenze che potrebbe avere sul pianeta. Una prima considerazione riguarda l'impatto economico legato all'utilizzo di tali tecnologie: si tratta di strategie nate per agire sugli effetti e non sulle cause del riscaldamento globale, cioè per tamponarlo anziché prevenirlo, e di conseguenza il mantenimento attivo ed indefinito nel tempo dei sistemi di

ingegneria climatica ha un elevatissimo costo in termini economici. Non bisogna neppure dimenticare l'impatto economico derivato dagli squilibri ecosistemici che la stessa ingegneria climatica potrebbe apportare al pianeta: difatti non si conosce ancora né la reale efficacia né la sicurezza del loro utilizzo su scala globale, poiché si tratta di tecnologie ancora troppo giovani ed in fase sperimentale, costituite solamente da studi teorici, applicazioni in laboratorio, e ricerca sul campo su piccola scala. Molte di queste strategie possono quindi costituire un enorme rischio ambientale con conseguenze negative sugli ecosistemi e sullo stesso riscaldamento globale, oltre che per salute umana e di tutte le specie viventi. Gli scienziati ammettono che l'ingegneria climatica potrebbe peggiorare la situazione globale invece di migliorarla, generando alterazioni imprevedibili nei modelli climatici, con variazioni improvvise nelle precipitazioni e nelle temperature dalle conseguenze incerte, causando danni anche irreversibili. Ad esempio l'utilizzo di aerosol di solfati o di altre sostanze in atmosfera potrebbe portare a significative riduzioni dell'ozonosfera (l'ozono stratosferico) permettendo a pericolose quantità di raggi ultravioletti di raggiungere la superficie terrestre ed esponendo le specie viventi a gravi conseguenze per la salute. Al tempo stesso tali operazioni di gestione della radiazione solare potrebbero rallentare le attività di fotosintesi su tutto il pianeta, incidendo negativamente sull'intero ciclo idrologico e sulle precipitazioni, e generando tutta una serie di squilibri lungo la catena alimentare, impattando sulle produzioni alimentari e sulla disponibilità di acqua potabile. In definitiva, la valutazione dei rischi dell'utilizzo di tecniche artificiali di modificazione del clima è ancora in corso, ma è possibile che i danni da essa generati possano essere superiori a quelli dello stesso riscaldamento globale, sia in termini di squilibri ecosistemici che di conseguente perdita di biodiversità su tutto il pianeta, rendendo inaccettabile l'impiego dell'ingegneria climatica su larga scala. Ad ogni modo con l'ingegneria climatica si tenta solamente di tamponare gli effetti ma non di risolvere le cause alla radice del riscaldamento globale, e pertanto essa non deve essere considerata come un sostituto della mitigazione. Sul piano etico vi è da aggiungere che l'ingegneria climatica rischia di violare i diritti di molte generazioni di persone, e che le strategie di gestione della radiazione solare sono, in particolare, percepite come eticamente immorali anche da una parte della comunità scientifica, tale che il loro utilizzo è stato definito non solo irrazionale ma addirittura irresponsabile laddove non sia accompagnato da un'efficace strategia di mitigazione o rimozione delle concentrazioni di gas serra in atmosfera. La mancanza di inadeguate conoscenze scientifiche a riguardo delle possibili conseguenze dell'applicazione dell'ingegneria climatica, in virtù del principio di precauzione, rende le strategie di mitigazione del riscaldamento globale il modo più sicuro di affrontare il problema, poiché esse sono esenti da rischi ambientali e disastri ecologici, oltre che economicamente più convenienti.[34–40]

Sull'importanza del principio di precauzione è il caso di spendere ancora qualche parola. È percezione del tutto comune che la lotta ai grandi problemi ambientali (come il cambiamento climatico, l'esaurimento delle risorse, il degrado ambientale o la distruzione degli ecosistemi) non sia sufficientemente efficace e che gli organi predisposti alla nostra tutela non riescano a far fronte alla sempre più rapida crescita dei problemi ambientali e sanitari in tutto il mondo. Se ad esempio le leggi, le regolamentazioni ed i protocolli necessari a garantire il contenuto e la liberazione di sostanze tossiche vengono considerati adeguati, ci si domanda come mai i livelli di mercurio in alcuni pesci possano essere così alti da costituire un rischio per le donne in gravidanza, oppure come sia possibile che il latte materno possa superare i limiti di contaminazione tale da renderlo un alimento pericoloso per gli stessi neonati. Da tale percezione

si è formata quella condotta cautelativa che prende il nome di principio di precauzione, che tuttavia non si limita ad un semplice atteggiamento passivo né di resistenza nei confronti del progresso scientifico e tecnologico, ma rappresenta invece un principio di previdenza: un'azione attiva e lungimirante, positiva e propositiva, il cui scopo è quello di proteggere la salute dell'ambiente e dell'uomo anticipando i rischi e le possibili conseguenze di attività dannose o dall'impatto ancora incerto, quindi valutandone tutte le possibili alternative.[41] Per concludere, tra tutte le attività dell'uomo esiste un importante minimo comune denominatore, non soltanto largamente responsabile di aver esasperato l'alterazione del ciclo del carbonio (da cui deriva gran parte dei preoccupanti impatti antropici e scenari critici esposti) ma anche di tutta una serie di danni ambientali, economici e sanitari che di seguito verranno affrontati. Si tratta dell'insieme delle attività agricole ed industriali di sfruttamento delle risorse animali: il settore zootecnico (che in questa sede per brevità indica anche quello ittico).

### **Settore zootecnico insostenibile**

Al World Food Summit del 1996 la FAO sottolineò l'importanza della sicurezza alimentare, definendola come la possibilità di poter garantire, a chiunque ed in ogni momento, l'accesso ad una sufficiente quantità di cibo sicuro, nutriente, ed in grado di soddisfare le proprie esigenze dietetiche e preferenze alimentari per poter condurre una vita attiva ed in salute.[42] Tuttavia la sicurezza alimentare non può essere raggiunta senza un'efficiente gestione delle risorse, e non dev'essere raggiunta a scapito della sostenibilità ambientale, bensì mediante uno sviluppo ecosostenibile che non danneggi l'uomo né l'ambiente anzi ne preservi la biodiversità. Al giorno d'oggi la gente è sempre più sensibile al tema dell'impatto ambientale e più consapevole dell'ecosostenibilità delle proprie scelte e abitudini, e pone maggior attenzione ai prodotti igienici e cosmetici che utilizza, alla quantità di acqua che consuma per la propria igiene personale oppure alle modalità di smaltimento dei rifiuti domestici, ma anche all'acquisto dell'abbigliamento, delle apparecchiature elettriche o dell'automobile. Tuttavia viene in gran parte ancora sottovalutata quella stretta e fondamentale connessione che lega la sicurezza alimentare globale alla sostenibilità ambientale: si tratta del settore agroalimentare, e del suo impatto ambientale e sanitario. All'interno del settore agroalimentare particolare preoccupazione suscita l'impatto ambientale e sanitario dell'industria zootecnica, cioè quel settore agricolo e agroindustriale dedicato alle attività di allevamento e sfruttamento degli animali per produzioni agroalimentari e (secondariamente) industriali. Per fornire una prima chiave di lettura il settore degli allevamenti può essere genericamente rappresentato, a livello globale, come una struttura che aggiunge un ulteriore strato di complessità al ciclo di produzione agroalimentare diminuendone l'efficienza complessiva. Al di là di particolari condizioni infatti, l'efficienza di trasformazione della biomassa vegetale (spontanea o coltivata, edibile e non) in prodotti animali destinati a nutrire l'uomo è generalmente scarsa. Ciò vuol dire che per trarre energia biochimica e nutrienti dai prodotti animali l'uomo ha bisogno di sfruttare una quantità maggiore di risorse disponibili sul pianeta, e ciò esaspera gli impatti ambientali e sanitari attribuibili al settore agroalimentare. Di seguito verrà sinteticamente affrontato l'insostenibile ruolo delle attività legate al settore degli allevamenti nei confronti dei danni ambientali e sanitari. Un primo pericoloso aspetto legato al settore zootecnico riguarda la carica batterica che si sviluppa all'interno dei sistemi di stabulazione, cioè nelle strutture di confinamento degli animali (che vanno dalla classica stalla a strutture adatte al confinamento intensivo).

Difatti all'interno dei sistemi di stabulazione la condivisione e la proliferazione di agenti patogeni quindi la diffusione di malattie infettive, soprattutto nell'allevamento intensivo, risulta del tutto inevitabile: il pericolo maggiore è costituito tuttavia dalle malattie zoonotiche, che si originano cioè negli animali vertebrati ma che possono trasmettersi all'uomo. Basti pensare che quasi il 60% della totalità degli agenti patogeni umani conosciuti sono zoonotici, così come sono zoonotici oltre il 70% dei nuovi agenti patogeni umani emergenti: ciò pone l'uomo di fronte ad un problema ambientale e sanitario di vaste proporzioni. Probabilmente le società di cacciatori-raccoglitori del paleolitico non conoscevano affatto la maggior parte delle malattie infettive umane moderne, tuttavia circa 10mila anni fa con l'avvento delle primitive forme di addomesticamento del bestiame l'uomo si è esposto sempre più a contatto con gli animali e con le loro deiezioni. Ciò ha fornito il più ampio canale di trasmissione per gli agenti patogeni infettivi dagli animali (vertebrati) all'uomo, quindi la più vasta transizione epidemiologica zoonotica da cui sono nate molte delle più gravi malattie infettive dell'uomo. Basti pensare che mentre l'addomesticazione del bestiame (uccelli, bovini, cammelli, pecore e suini) avveniva esclusivamente in Eurasia non era invece praticata tra gli indiani d'America (il bisonte non veniva addomesticato). Pertanto prima della scoperta di Colombo gli abitanti delle Americhe erano relativamente privi di malattie zoonotiche; furono proprio gli sbarchi europei nel Nuovo Mondo a portare ai nativi americani le malattie zoonotiche legate all'allevamento del bestiame, come il vaiolo ed il morbillo, che contribuirono al 90% della perdita della popolazione di nativi americani. Alcune malattie e agenti patogeni zoonotici molto probabilmente derivati dallo sfruttamento degli animali, ed il cui impatto economico e sanitario si è rivelato ad oggi enorme, sono la peste bubbonica, l'antrace, l'Ebola, il vaiolo, la lebbra, la rabbia, la tubercolosi, la salmonella, la pertosse, il morbillo, l'epatite E, l'influenza e persino il comune raffreddore. Ma anche il virus dell'immunodeficienza umana (HIV) responsabile dell'AIDS, quello dell'influenza aviaria, la Sindrome Acuta Respiratoria Grave (SARS) e l'*Helicobacter pylori*, batterio associato all'ulcera e al cancro allo stomaco che attualmente potrebbe aver infettato circa metà della popolazione mondiale, divenendo forse l'infezione cronica più comune ad affliggere l'umanità.[43] Tra i patogeni zoonotici oggi più diffusi vi è anche la salmonella, ritenuta la principale causa di intossicazione alimentare al mondo, la cui ampia diffusione è attualmente considerata un problema di salute pubblica a livello globale. Il veicolo di infezione da salmonella più diffuso è rappresentato dagli alimenti animali contaminati con materia fecale all'interno degli allevamenti, e tra tutti le uova costituiscono la principale causa di salmonellosi nell'uomo. A partire dagli anni '70 è stato registrato un consistente aumento delle infezioni da salmonella, che negli anni '90 ha raggiunto proporzioni addirittura pandemiche. Secondo le stime più conservative attualmente vi sono circa 80 milioni di casi di infezione alimentare da salmonellosi ogni anno in tutto il mondo, mentre altre stime spaziano da 200 milioni ad addirittura 1.3 miliardi di casi ogni anno: per comprendere tale variazione si pensi ad esempio che all'interno dell'Unione europea viene segnalato solamente 1 caso su 57. Attualmente non è possibile garantire una produzione di uova esente da salmonella, pertanto qualsiasi esposizione può costituire un pericolo di infezione: non solo il consumo di uova crude o poco cotte (compresi gli alimenti che le contengono come ingrediente), ma anche la conservazione, la preparazione e più in generale qualsiasi manipolazione. Inoltre la cucina può divenire un ambiente favorevole alla diffusione della salmonella e alla contaminazione degli altri alimenti presenti, giacché essa può sopravvivere al lavaggio delle superfici e degli utensili impiegati durante la lavorazione delle uova.[43,44] Attualmente tra i principali fattori di rischio legati all'emergenza della diffusione delle malattie zoonotiche vi sono la crescente domanda di proteine animali, quindi

l'espansione e l'intensificazione dell'industria degli allevamenti, il commercio ed il trasporto su lunghe distanze di animali vivi, ma anche il consumo di cacciagione e la distruzione degli habitat. Negli anni '70 l'incremento della popolazione nei paesi in via di sviluppo, quindi l'urbanizzazione ma anche l'aumento dei redditi, consentirono la possibilità di soddisfare la crescente domanda globale di prodotti animali: ebbe inizio quel fenomeno ancora oggi in corso, noto come Rivoluzione dell'Allevamento. Il consumo pro capite di prodotti animali come carne, prodotti lattiero-caseari (cioè latte e derivati tra cui burro, yogurt, formaggi, etc.) e uova aumentò in tutto il mondo: basti pensare che dal 1980 al 2004 la sola produzione di carne è quasi raddoppiata. Non stupisce che le forme di allevamento tradizionali a bassa intensità ma anche a bassa efficienza, come quelle a livello familiare, siano state mano a mano rimpiazzate da sistemi di allevamento industriale maggiormente efficienti e produttivi come l'allevamento intensivo: apparso negli Stati Uniti oltre 70 anni fa, oggi è una forma di allevamento ben diffusa, tipica ad esempio della produzione avicola (pollame e tacchino) e suina. Tuttavia l'innaturale confinamento di un'importante quantità di animali all'interno di ambienti ristretti, tipico dei sistemi di allevamento industriale, ha un impatto negativo sia sugli animali che sull'ambiente. Difatti la produzione di elevate quantità di rifiuti (per lo più le deiezioni del bestiame, un'importante vettore di malattie zoonotiche) in spazi relativamente ristretti risulta in una maggiore concentrazione e condivisione di agenti patogeni e batteri, a cui il bestiame viene reso estremamente vulnerabile a causa dello stress fisiologico subito per via dello sfruttamento e della precarietà delle condizioni di vita. Inoltre la selezione del bestiame da allevamento (si pensi che circa 1000 razze di animali da allevamento sono scomparse solo nel secolo scorso e altre 1000 sono attualmente in pericolo di estinzione), il confinamento di animali della stessa specie o razza in stretta vicinanza tra loro, e l'accoppiamento tra membri geneticamente omogenei (consanguinei), provoca una forte riduzione della diversità genetica del bestiame. Ciò concorre indubbiamente ad una rapida selezione, amplificazione e diffusione di agenti patogeni zoonotici, aumentando la predisposizione del bestiame alla malattia e la diffusione di malattie zoonotiche.[43] Pertanto è comune che il bestiame all'interno dei sistemi di stabulazione si ammali di svariate patologie comprese infezioni batteriche e virali, mastiti, malattie respiratorie, ascessi epatici oppure anche sindrome della mucca pazza. La medicina veterinaria ricorre quindi all'utilizzo di antibiotici (più in generale di antimicrobici) a scopo terapeutico, tuttavia è ancora ben diffuso il loro impiego non terapeutico: gli antibiotici non vengono somministrati direttamente sul bestiame bensì addizionati ai mangimi. Le applicazioni non terapeutiche degli antibiotici includono la profilassi antibiotica (il trattamento preventivo di infezioni e altre malattie), giacché è comune la necessità di ricorrere a strategie aggressive di gestione delle infezioni, ma anche l'impiego di antibiotici allo scopo di promuovere la crescita del bestiame (cioè aumentarla artificialmente) o di aumentare l'efficacia alimentare incrementando la resa dei mangimi. Sebbene nella maggioranza dei casi sia necessaria una prescrizione veterinaria, sovente l'utilizzo di antibiotici non viene gestito da uno specialista bensì direttamente dai lavoratori agricoli. La maggior parte dell'attuale produzione antibiotica mondiale è destinata al settore degli allevamenti: nei primi anni del 2000 è stato stimato che mentre circa 1400 tonnellate di antimicrobici venivano utilizzate ogni anno nella medicina umana, oltre 8000 tonnellate venivano impiegate per scopi non terapeutici dal settore degli allevamenti, e stime meno conservative suggerivano addirittura oltre 11000 tonnellate, una quantità ben 8 volte maggiore di quella destinata all'uomo. Nello stesso periodo è stato stimato anche che nei soli Stati Uniti oltre il 90% degli antibiotici destinati al bestiame venisse utilizzato allo scopo di promuoverne la crescita piuttosto che terapeutico: ciò non stupisce se si pensa che, sempre negli Stati Uniti, l'utilizzo di antibiotici

sul pollame è aumentato del 300% dagli anni '80 agli anni '90. Inoltre si pensi che dal 75% al 90% degli antibiotici addizionati ai mangimi per il bestiame viene escreto in gran parte ancora non metabolizzato, riversandosi nell'ambiente, con serie implicazioni sia sull'ambiente stesso che sulla salute. Difatti qualsiasi forma di impiego degli antibiotici contribuisce a selezionare ceppi batterici farmacoresistenti, cioè a sviluppare batteri sempre più resistenti agli stessi antibiotici, diminuendo pertanto l'efficacia di questi ultimi. La resistenza agli antibiotici, o antibiotico-resistenza (ed in generale la resistenza agli antimicrobici) è attualmente un problema di portata mondiale, poiché essa non viene acquisita solamente dal bestiame ma anche dall'uomo, dal momento che la medicina veterinaria e quella umana condividono l'utilizzo di svariati antibiotici. Un appropriato impiego terapeutico degli antibiotici sul bestiame prevede un trattamento individuale, a breve termine, e su di un numero di animali relativamente limitato, poiché in tal modo si tende a controllare l'emergere e la propagazione di ceppi batterici antibiotico-resistenti. Tuttavia la Rivoluzione dell'Allevamento e la crescita del consumo di prodotti animali, quindi l'aumento dell'intensità di allevamento sono fattori chiave dell'attuale massiccio (e talvolta indiscriminato) impiego di antibiotici nell'industria zootecnica. L'applicazione di antibiotici su di un gran numero di animali (come negli allevamenti intensivi), l'utilizzo non terapeutico (profilassi, promozione della crescita e aumento dell'efficacia alimentare) basato sull'aggiunta, in basse dosi continue e protratte nel tempo, all'interno dei mangimi (e più in generale qualsiasi forma estesa di impiego degli antibiotici) sono pratiche indubbiamente pericolose poiché creano le condizioni ideali per la selezione e la propagazione di ceppi resistenti. A partire dal bestiame (comprese le specie da acquacoltura) tali organismi patogeni resistenti agli antibiotici possono riversarsi nell'ambiente che circonda le operazioni di allevamento, quindi nell'aria, nelle acque e nei suoli circostanti, diffondendosi poi negli ecosistemi, propagandosi attraverso la catena alimentare ed infine colonizzare anche la popolazione umana. La resistenza agli antibiotici può essere direttamente od indirettamente trasmessa dagli animali da allevamento all'uomo in differenti modi. Tramite l'esposizione al bestiame e all'ambiente che lo circonda, compreso il percorso effettuato dalle operazioni di trasporto del bestiame, oppure mediante l'esposizione ed il consumo di prodotti animali, di acque contaminate dalle deiezioni del bestiame e di vegetali fertilizzati con il letame, ma anche per mezzo dell'esposizione ad animali da compagnia nutriti con mangime a base animale, oppure a causa dell'azione dei cosiddetti elementi genetici mobili, segmenti di DNA capaci di trasportare l'antibiotico-resistenza dei batteri che colonizzano gli animali in agenti patogeni capaci di infettare anche l'uomo. L'impiego non terapeutico di antibiotici in ambito agricolo contribuisce in maniera considerevole alla diffusione di batteri patogeni zoonotici antibiotico-resistenti, tale da poter addirittura essere responsabile della maggior parte degli aumenti di casi di antibiotico-resistenza nell'uomo: si tratta di un problema sanitario di livello globale in grado di compromettere seriamente la salute pubblica.[43,45-49] È da tenere presente che ogni paese ha una propria politica sull'impiego degli antimicrobici nel settore degli allevamenti. In Europa ad esempio, i divieti sull'utilizzo degli antibiotici come promotori della crescita cominciarono già dagli anni '90, e a partire dal 2006 è vietato l'impiego di qualsiasi antimicrobico a scopo di promuovere la crescita del bestiame o aumentare l'efficacia alimentare, ma non per l'utilizzo di profilassi.[50] Nonostante ciò la presenza di ceppi batterici farmacoresistenti nel bestiame, nei prodotti animali e nell'uomo è ancora un importante problema per la salute pubblica europea, e attualmente l'antibiotico-resistenza resta comunque alta in tutta Europa, ma ciò non stupisce affatto se si pensa che sul bestiame vengono impiegati ancora molti antimicrobici utilizzati anche in medicina umana.[51,52] Negli Stati Uniti invece,

l'utilizzo degli antimicrobici per promuovere la crescita del bestiame e l'aumento dell'efficacia alimentare è ancora consentito, tuttavia dal 2017 vige il divieto di impiego degli antimicrobici clinicamente importanti per la medicina umana per qualsiasi attività che non sia utile alla salute del bestiame, cioè all'infuori dell'utilizzo terapeutico, di profilassi e di controllo delle malattie. Benché tale provvedimento sia positivo nei riguardi dell'ambiente e della sanità, è chiaro che negli Stati Uniti (e in molti altri paesi nel mondo) la resistenza agli antimicrobici rimarrà un importante problema di salute pubblica per molto altro tempo ancora.

Per quantificare infine i danni economici e sanitari della farmacoresistenza, basti pensare che solo in Europa (il paese ritenuto maggiormente all'avanguardia nella lotta alla farmacoresistenza) le infezioni causate da batteri resistenti agli antimicrobici uccidono ben 25.000 persone ogni anno, ed i costi sanitari e le perdite di produttività ammontano ad almeno 1.5 miliardi di euro all'anno.[52] Negli Stati Uniti invece, oltre 2 milioni di infezioni sono ogni anno causate da batteri resistenti almeno agli antibiotici di prima linea, gravando sull'economia sanitaria del paese per un totale di 20 miliardi di dollari all'anno. A livello globale la farmacoresistenza miete ogni anno almeno 700.000 vittime in tutto il mondo, e a meno di rapide ed efficaci contromisure entro il 2050 potrebbe trasformarsi nella principale causa di morte dell'uomo, addirittura maggiore del cancro, con 10 milioni di morti l'anno, pari ad un decesso ogni 3 secondi, e con un danno economico di 100 trilioni di dollari, divenendo uno dei più grandi problemi che l'umanità debba affrontare.[53,54]

Un altro insostenibile ruolo del settore degli allevamenti ai danni dell'ambiente riguarda l'ingente produzione di gas serra, e non soltanto a causa dell'alterazione del ciclo del carbonio. Le filiere agroalimentari coinvolgono un'ingente emissione di gas serra che contribuisce in modo sostanzioso ai mutamenti climatici globali. Tutti i gas serra immessi in atmosfera hanno la capacità di alterare il clima, tuttavia essi non contribuiscono parimenti al fenomeno del riscaldamento globale, poiché non hanno lo stesso effetto climalterante. L'impatto climalterante dei singoli gas serra può essere espresso in termini di Potenziale di Riscaldamento Globale, o GWP. In breve, il GWP rappresenta l'impatto che i gas hanno sull'effetto serra rispetto a quello del diossido di carbonio, nell'arco di 100 anni oppure anche in finestre temporali differenti (ad es. 20 anni), e tale distinzione temporale è necessaria poiché ogni gas ha tempi di permanenza in atmosfera differenti.

Laddove al diossido di carbonio viene attribuito un GWP di 1, in accordo con le più recenti stime IPCC il metano possiede un GWP di 34 in un arco temporale di 100 anni (cioè è 34 volte maggiore di quello del diossido di carbonio), e di se si considera invece una finestra di 20 anni risulta essere di 86, mentre il protossido di azoto possiede un GWP di 268 in un orizzonte temporale di 20 anni e di 298 in uno di 100 anni.[55] Può risultare più congeniale esprimere il potere climalterante dei gas serra in termini di CO<sub>2</sub> equivalente, cioè in relazione al potere climalterante del diossido di carbonio, piuttosto che esprimerne il loro contributo climalterante individuale.

La FAO nel 2006 evidenziò in che modo il settore degli allevamenti fosse responsabile di un impatto ambientale di enormi proporzioni, tale da costituire l'attività con il più grande e preoccupante impatto antropico sul pianeta. Fu calcolato che l'intero ciclo di vita delle attività di allevamento del bestiame produce quasi un quinto delle emissioni antropogeniche globali di gas serra, corrispondenti a circa 7.1



miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente l'anno, più di quelle emesse dall'intero settore dei trasporti.[56] Successivamente nel 2013 la FAO ha pubblicato un aggiornamento delle stime, secondo cui il settore degli allevamenti è responsabile del 14.5% delle emissioni antropogeniche di gas serra globali, attribuibili per il 44% al metano, per il 29% al protossido di azoto e per il 27% al diossido di carbonio.[57] Tuttavia in un noto articolo pubblicato nel 2009 sul periodico dell'autorevole Worldwatch Institute,[i] fu proposto un approccio differente al calcolo della CO<sub>2</sub> equivalente prodotta dall'intero ciclo di vita delle attività di allevamento del bestiame, mostrando che questo potesse essere responsabile di almeno 32.56 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente l'anno, pari al 51% della totalità delle emissioni di gas serra prodotte dalle attività umane sul nostro pianeta.[58] Nonostante la forte discrepanza evidenziata, non vi è attualmente un consenso collettivo all'interno della comunità scientifica circa la validità dei metodi di calcolo utilizzati per stimare le emissioni di gas serra attribuibili all'intero ciclo di vita delle attività di allevamento (le stime di riferimento in questa sede sono quelle FAO), ma v'è la consapevolezza che si tratta in ogni caso di una quota di emissioni sostanziosa quanto pericolosa.[59–65] Risulta evidente che non tutta la produzione alimentare possiede gli stessi impatti ambientali; ogni prodotto agroalimentare che arriva in tavola affronta un ciclo di vita più o meno complesso (contraddistinto da varie fasi tra cui produzione, trasporto, stoccaggio, ed utilizzo) che contribuisce direttamente ed indirettamente alla produzione di emissioni gas serra. Basti pensare ad esempio che nel Regno Unito il cibo è responsabile per circa un quinto delle emissioni gas serra del paese: è doveroso pertanto comprendere quali alimenti comportino un'emissione di gas serra maggiore e quali invece possano aiutare a mitigare gli effetti del cambiamento climatico se consumati in prevalenza e da un crescente numero di persone. A tal scopo è utile mostrare l'emissione di gas serra di alcune delle principali produzioni agroalimentari consumate nel Regno Unito (calcolata dalle prime fasi della produzione sino alla distribuzione al dettaglio). Vengono emessi 68.8 kgCO<sub>2</sub>e per un chilogrammo di carne bovina, 64.2 kgCO<sub>2</sub>e/kg per il montone e le carni caprine, per le frattaglie 35.9, 7.9 il maiale, per il pollame 5.4, 35.7 per gli altri tipi di carne e mediamente 40.1 kgCO<sub>2</sub>e/kg per i grassi animali. Vengono inoltre emessi 18.5 kgCO<sub>2</sub>e/kg per il formaggio, 5.4 per il pesce, per le uova 4.9 e 1.8 per il latte. Per i legumi vengono emessi mediamente tra 3.3 e 3.5 kgCO<sub>2</sub>e/kg, 3.2 per gli oli vegetali, per i cereali 1.8, mediamente tra 1.6 e 2.2 kgCO<sub>2</sub>e/kg per ortaggi e verdure, e 0.9 per la frutta. In linea generale le produzioni animali, ed in special modo la carne, sono associate alle maggiori emissioni di gas serra, molto meno impattanti sono invece quelle vegetali.[66] Secondo una prospettiva nutrizionalmente utile, negli Stati Uniti l'emissione di gas serra a parità di calorie ottenute (kg CO<sub>2</sub>e/Mcal) da alimenti animali quali prodotti lattiero-caseari, pollame, carne di maiale e uova, risulta mediamente doppia di quella media di riso, grano e patate, mentre per la carne di manzo è addirittura 11 volte maggiore.[67] Risulta interessante considerare l'emissione di gas serra globale media necessaria per la produzione di una singola kcal (chilocaloria) di alcune tra le più comuni produzioni agroalimentari; la produzione delle carni di ruminanti (manzo, capra, montone e agnello) comporta un'emissione di gas serra pari a 5.6 gCO<sub>2</sub>e/kcal, 1.6 per il maiale, ed 1.3 per la produzione di pollo. Per quanto riguarda il pesce, genera rispettivamente 4.8 ed 1.6 gCO<sub>2</sub>e/kcal se pescato con o senza reti a strascico, e rispettivamente 4.4 e 2.0 gCO<sub>2</sub>e/kcal se allevato mediante impianti di acquacoltura con o senza ricircolo idrico. La produzione di uova comporta invece 0.59 gCO<sub>2</sub>e/kcal e 0.52 per i prodotti lattiero-caseari (più precisamente per latte, yogurt e formaggio). La produzione di ortaggi e verdure genera 0.68 gCO<sub>2</sub>e/kcal, da 0.10 a 0.14 per la frutta (sia di origine temperata che tropicale), 0.14 il riso, il grano 0.06, il mais 0.03 e 0.05 per altri cereali (avena ed orzo). La produzione di radici e tuberi amidacei

(cassava e patate) comporta 0.03 gCO<sub>2</sub>e/kcal e 0.02 quella di legumi (fagioli e soia). Similmente, per produrre un grammo di proteine dalle carni di ruminanti vengono emessi 62 gCO<sub>2</sub>e mentre per maiale e per il pollo 10. Per ottenere un grammo di proteine dal pesce vengono emesse rispettivamente 26 ed 8.6 gCO<sub>2</sub>e se pescato con o senza reti a strascico, e rispettivamente 30 e 12 gCO<sub>2</sub>e se allevato mediante impianti di acquacoltura con o senza ricircolo idrico. Ottenere un grammo di proteine da prodotti lattiero-caseari comporta 9.1 gCO<sub>2</sub>e e 6.8 dalle uova. Un grammo di proteine di riso si ottiene con l'emissione di 6.5 gCO<sub>2</sub>e, mentre 1.2 per grano e mais, ed 1.9 per gli altri cereali. Infine radici e tuberi amidacei comportano l'emissione di 1.7 gCO<sub>2</sub>e per un grammo di proteine e 0.25 per i legumi.[68] Una considerevole quantità di diossido di carbonio emessa dal settore zootecnico deriva dal massiccio utilizzo di energie fossili per le operazioni di produzione, lavorazione e trasporto del bestiame e del nutrimento ad esso destinato, a cui si aggiungono quelle impiegate per la produzione di farmaci, fitofarmaci e fertilizzanti.

Per mettere ciò in prospettiva basti pensare che il combustibile fossile necessario per la produzione di proteine animali è dalle 2.5 alle 50 volte superiore a quello necessario per produzione di proteine vegetali.[69] Per la produzione di 1 kcal di proteine da cereali sono necessarie circa 2.2 kcal di energie fossili, mentre per la produzione di 1 kcal di proteine animali ne sono necessarie mediamente 25: si tratta di una quantità di energia fossile oltre 11 volte maggiore. Chiaramente non tutte le produzioni animali necessitano della stessa quantità di energie fossili, poiché per produzione di 1 kcal di proteine del pollo occorrono 4 kcal di energia fossile, per il tacchino 10 kcal, 14 kcal per le produzioni suine ed il latte vaccino, ben 39 kcal per le uova, 40 kcal per il manzo e addirittura 57 kcal di energia fossile per la produzione di una sola chilocaloria di proteine dell'agnello.[70] Per quanto riguarda i prodotti ittici, la quantità di combustibile fossile necessario per la sola cattura di un grammo di proteine del pesce può essere fino a circa 14 volte maggiore di quella richiesta per produzione di proteine vegetali.[69] Vi sono poi i gas serra prodotti dal metabolismo degli animali: una sola vacca da allevamento riesce a produrre in un giorno da 5000 a quasi 7500 litri di CO<sub>2</sub> principalmente attraverso la respirazione, e a seguito dei processi fisiologici di digestione da 420 ad oltre 760 litri di metano al giorno, derivati in primo luogo dalle emissioni enteriche (metano prodotto dalla fermentazione enterica che ha principalmente luogo nel rumine e liberato poi per eruttazione e flatulenze) e secondariamente attraverso le loro deiezioni. Il bestiame produce anche importanti quantità di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O): un allevamento di 100 vacche da latte può rilasciarne circa 200 kg all'anno derivanti dalla decomposizione delle loro deiezioni, e causarne inoltre l'emissione di circa 480 kg derivanti delle attività di produzione agricola necessarie per il nutrimento delle vacche.[71] La quantità di azoto prodotta dal letame di 200 vacche da latte è equivalente a quella contenuta nelle acque reflue di una comunità dell'ordine di grandezza di 5.000 o 10.000 persone.[72] La decomposizione delle deiezioni del bestiame produce inoltre ammoniaca, per lo più dalle urine a causa dell'azione dell'enzima ureasi sull'azoto (in forma di urea) in esse contenuto: una vacca da allevamento può emettere da circa 9 kg a ben 57 kg di ammoniaca ogni anno.[71] L'acido nitrico presente in atmosfera (a causa del traffico veicolare) reagendo con le emissioni di ammoniaca forma aerosol atmosferici di nitrato d'ammonio (anche in forma di particolato), che oltre ad essere dannosi per la salute possono diminuire la visibilità atmosferica ma anche provocare un anomalo raffreddamento. Se ci si domanda quanto sia importante l'impatto ambientale delle emissioni di ammoniaca prodotte dal bestiame da allevamento rispetto quelle legate al traffico veicolare, basti pensare che in California nei

pressi di Los Angeles quasi 300.000 animali da allevamento riescono a produrre fino a quasi il triplo dell'ammoniaca emessa dai quasi 10 milioni di veicoli in circolazione presenti in tutta la regione. Inoltre l'elevata concentrazione spaziale di ammoniaca emessa dalle aziende lattiero-casearie può favorire la formazione di quantità di nitrato d'ammonio ben maggiori di quelle causate dal traffico veicolare.[73] Non stupisce che il settore zootecnico abbia un impatto climalterante maggiore di quello dei trasporti su strada di tutto il mondo se si pensa alla gran quantità di allevamenti presenti sul nostro pianeta. Gli allevamenti producono rispettivamente il 37% ed il 65% delle emissioni antropogeniche di metano e di protossido di azoto, ed il 64% dell'ammoniaca di origine antropogenica riversata nell'ambiente viene prodotta dagli allevamenti, ciò rappresenta un contributo più che significativo al fenomeno delle piogge acide e all'acidificazione degli ecosistemi del pianeta.[56] Inoltre la maggior parte della produzione di alimenti animali è generalmente concentrata all'interno di strutture intensive in grado di contenere oltre 2.000 vacche, più di 10.000 maiali ed oltre 50.000 animali da pollame. All'interno di questi grossi e affatto inusuali stabilimenti, a causa di concentrazioni di animali così elevate la quantità di letame prodotta può facilmente eguagliare quella di piccole o medie città: il carico totale di rifiuti di un'azienda zootecnica con 2500 bovini da latte, ad esempio, equivale a quello di una piccola città di 411.000 persone.[74] Nei paesi industrializzati (e sempre più anche in quelli in via di sviluppo) la maggior parte dei polli e tacchini da carne viene solitamente allevata in lunghi capannoni che contengono dai 15.000 ai 50.000 uccelli ciascuno. Non è affatto raro che le galline da uova vengano stipate a centinaia, migliaia o addirittura anche più di un milione in una singola fattoria: a livello globale quasi l'80% delle galline ovaiole sono confinate in batterie di piccole gabbie spesso impilate molte volte l'una sull'altra, disposte in lunghe file all'interno di capannoni intensivi senza finestre. Si pensi inoltre che la metà della popolazione di suini nel mondo viene allevata all'interno di strutture industriali di tipo intensivo. Negli Stati Uniti i  $\frac{3}{4}$  del maiale prodotto nel paese provengono solamente dal 6% delle aziende agricole destinate all'allevamento di suini, ed oltre il 90% delle galline ovaiole proviene addirittura dal 2% delle aziende del settore. Inoltre se si pensa che un singolo bue può arrivare a produrre 34 kg di letame al giorno, non stupisce affatto che negli Stati Uniti il bestiame da allevamento produce circa 2 miliardi di tonnellate di letame ogni anno, equivalente al peso di 20.000 portaerei classe Nimitz, e pari ad oltre cinque tonnellate di letame l'anno per abitante.[43] Un'altra drammatica realtà dell'industria zootecnica è la deforestazione giacché, a differenza di quanto si possa immaginare, la causa principale della perdita di foreste nel mondo non è la necessità di legname, bensì la creazione nuovi spazi agricoli destinati unicamente a nutrire il bestiame da allevamento per rispondere alla crescente domanda globale di proteine animali.

La Foresta Amazzonica, importante polmone verde del pianeta, ha la maggiore deforestazione di qualsiasi altra foresta: negli ultimi anni il settore degli allevamenti le sta sottraendo mediamente un ettaro ogni 18 secondi. La sola creazione di pascoli per l'allevamento di bovini (anche per la produzione di cuoio) è stata responsabile di circa l'80% di tutta la deforestazione nella regione amazzonica, pari al 14% della deforestazione annuale mondiale, divenendone la principale causa sul nostro pianeta con tutta una serie di dannose conseguenze per il pianeta.[75-77] Un altro profondo danno ambientale della deforestazione è il rilascio di carbonio in atmosfera: le foreste sono preziose riserve di carbonio, contengono più carbonio di qualsiasi terra agricola. Se la diminuzione della copertura vegetativa delle foreste diminuisce il loro effetto di mitigazione del riscaldamento globale, gli incendi forestali apportano

attivamente un sostanziale contributo al fenomeno del cambiamento climatico poiché rilasciano in atmosfera grandi quantità di carbonio. La deforestazione legata al settore degli allevamenti emette una quantità di CO<sub>2</sub> pari a 2.4 miliardi di tonnellate l'anno, con un contributo pari al 34% delle emissioni gas serra totali attribuite al settore stesso.[56] Va anche ricordato che oltre metà delle specie animali e vegetali terrestri abitano le foreste, tuttavia a causa dell'azione umana si sta verificando una preoccupante riduzione di biodiversità,[75–77] come la perdita di specie animali e vegetali uniche nelle foreste pluviali tropicali dell'America centrale e meridionale. Non stupisce affatto che il settore degli allevamenti giochi un ruolo cruciale sulla perdita di biodiversità tale da esserne considerato tra i principali artefici a livello globale:[56] secondo le stime è responsabile di circa il 30% della perdita di biodiversità terrestre causata dall'uomo su tutto il pianeta (senza includere la perdita di biodiversità acquatica).[78] Vanno considerati anche gli incendi in savane, prati e praterie di cui l'allevamento estensivo è in buona parte responsabile. Allo scopo di rinnovare i pascoli per il bestiame o crearne di nuovi, la combustione di erba non pascolata, paglia, arbusti e di residui è fortemente dannosa per l'ambiente. Questa non rappresenta tanto un problema per l'emissione di diossido di carbonio (che viene assorbito dall'erba che nuovamente cresce) quanto per quella di ossidi di azoto (composti che si formano per ossidazione dell'azoto come il monossido di azoto, particolarmente reattivi quindi dannosi in questo contesto), monossido di carbonio e metano, ma anche per la formazione di aerosol in grado di raggiungere elevate altitudini ed aumentare i rischi legati al cambiamento climatico. Molti dei gas emessi dagli incendi nelle savane possono causare un aumento delle concentrazioni di ozono troposferico che altera le capacità ossidative dell'atmosfera, inoltre viene emesso bromo in quantità tali da contribuire alla riduzione dell'ozonofera.[79]

[i] Worldwatch Institute (WWI), <http://www.worldwatch.org>

Risulta chiaro che non è solamente il ciclo del carbonio ad essere pesantemente alterato dalle attività antropiche. L'attuale consumo di proteine animali (la cui produzione è intrinsecamente inefficiente, soprattutto per carne e prodotti lattiero-caseari) da parte di una popolazione in costante crescita, è in gran parte responsabile anche dell'alterazione dei naturali flussi di nutrienti sul pianeta, ed in particolare del ciclo dell'azoto e del fosforo, considerata oggi come uno dei maggiori problemi che l'uomo necessita di affrontare. Per nutrirsi e crescere le piante necessitano di assorbire dal terreno un'elevata quantità di macronutrienti (utili a fornire energia) in primis l'azoto ed il fosforo (ma anche potassio ed in minor quantità zolfo), ed una limitata quantità di micronutrienti (utili invece alle funzioni fisiologiche) come calcio, ferro, rame, zinco, selenio ed altri. Essenziali per lo sviluppo delle piante l'azoto ed il fosforo sono due macronutrienti particolarmente importanti per garantire la sicurezza alimentare globale, poiché la loro insufficienza costituisce spesso il principale fattore limitante della produttività agricola (assieme alla carenza idrica). La maggior parte dell'azoto contenuto nei suoli non è direttamente assimilabile dalla vegetazione poiché è presente in forma organica (cioè legato a molecole organiche, che contengono anche carbonio), similmente anche la maggior parte del fosforo si trova in forma organica (oppure di fosfati insolubili di ferro ed alluminio) non disponibile per le piante. Difatti la vegetazione può assimilare solamente la frazione di nutrienti che si trova in forma minerale (e solubile), e la mineralizzazione dei nutrienti legati organicamente può avvenire solamente grazie ai naturali processi di mineralizzazione che avvengono ad opera di particolari microrganismi che abitano il terreno. Fino agli anni '50 l'applicazione

dei fertilizzanti organici, come il concime animale (il letame del bestiame ma anche le deiezioni umane) ed il concime verde (concime a base di residui vegetali, impiegato nella concimazione verde e nel sovescio), costituiva il principale mezzo di fertilizzazione dei terreni agricoli impiegato per far fronte all'allora domanda agroalimentare. Sulla base della rivoluzione agricola prima e di quella industriale dopo, lo sviluppo e l'applicazione di tecniche e tecnologie agrarie e di sfruttamento dei nutrienti, resero possibile negli anni '50 un'intensificazione delle produzioni agricole senza precedenti definita Rivoluzione Verde. Innovazioni come la meccanizzazione agricola e l'introduzione di varietà di grano e riso ad alto rendimento, unitamente ad un sempre più massiccio impiego di fertilizzanti artificiali a base di azoto e fosforo (ottenuti tramite processi poco costosi), permisero la produzione intensiva ed economica di cereali ed altri prodotti direttamente destinati alla dieta umana ma anche al settore degli allevamenti, rendendo possibile la già citata Rivoluzione dell'Allevamento. Da quel momento l'impiego intensivo di fertilizzanti artificiali ha potuto sostenere la crescente domanda agricola di una popolazione in aumento e con una dieta sempre più ricca di proteine animali. Tra i vantaggi che hanno decretato il successo dei fertilizzanti artificiali nel settore agricolo vi sono l'affidabilità, la rapidità di assorbimento e la facilità d'utilizzo. Diversamente dai fertilizzanti organici, i fertilizzanti artificiali sono composti inorganici a base di sostanze in forma minerale (ottenute mediante processi di sintesi chimica) il cui assorbimento è rapido poiché non è limitato dal lento processo di mineralizzazione (necessario per rendere disponibili alla vegetazione i nutrienti organicamente legati). Inoltre il titolo (composizione in nutrienti) dei fertilizzanti organici varia sensibilmente in base alla specie e alla sua dieta, ed in ogni caso il rapporto tra azoto e fosforo contenuti nel concime animale è differente da quello richiesto dalle piante (è comune ad esempio l'eccesso di fosforo nelle deiezioni provenienti da allevamenti intensivi). Va ricordato che le piante necessitano di un'adeguata quantità di nutrienti, e se le dosi ed i tempi di fertilizzazione non sono ottimali l'efficienza di utilizzo dei nutrienti presenti nel suolo (il rapporto tra i nutrienti rimasti nel prodotto finale e quelli applicati al raccolto) viene ridotta. Il titolo dei fertilizzanti artificiali è invece esatto e rispecchia il rapporto di nutrienti di cui le piante hanno bisogno: ciò li ha resi un mezzo affidabile per integrare maggiori quantità di macronutrienti nei suoli e aumentare la sicurezza alimentare in molti paesi del mondo. L'impiego massiccio e su larga scala di fertilizzanti artificiali cominciato con la Rivoluzione Verde, quindi il sovrasfruttamento dei terreni agricoli (compresi quelli destinati sempre più a nutrire il bestiame) che ha ampliato l'offerta alimentare (e di proteine animali), ha anche alterato profondamente i naturali cicli biogeochimici dei nutrienti con serie ripercussioni sull'ambiente. Per mezzo di processi di sintesi chimica l'azoto ed il fosforo in forma inerte (cioè stabile abbastanza da non reagire con altre sostanze) vengono difatti prelevati in quantità massicce dalla propria riserva naturale e resi reattivi (capaci di combinarsi in molecole complesse quindi reagire con l'ambiente) per poter fertilizzare la vegetazione. Tuttavia solo una parte dei nutrienti contenuti nel fertilizzante viene assorbita dalle piante e procede nelle fasi del ciclo di vita del prodotto agroalimentare, il resto si accumula invece nel suolo in forma non disponibile per la vegetazione causando un eccesso di sostanze nutritive (anche fino ad una pericolosa condizione di saturazione), oppure si disperde nell'ambiente. Durante le successive fasi di produzione, utilizzo e smaltimento, anche la maggior parte dei nutrienti contenuti nel prodotto, negli scarti di produzione e nelle parti non commestibili esce dal sistema agroalimentare senza far ritorno ai suoli agricoli, bensì disperdendosi lontano da essi, anche in paesi differenti (si pensi ai flussi di importazione ed esportazione). Tale perdita di nutrienti impoverisce i suoli delle sostanze necessarie alla vegetazione degradandoli, ed i nutrienti non assimilabili dalla vegetazione si accumulano nei suoli o

si disperdono nell'ambiente causano tutta una serie di danni da inquinamento ambientale tra loro interconnessi. La diminuzione di nutrienti e di materia organica nei terreni agricoli ne riduce la qualità, poiché la perdita di macronutrienti diminuisce la fertilità dei terreni agricoli e quella di micronutrienti limita l'efficienza di utilizzo dei macronutrienti presenti nel suolo diminuendone in tutti i casi la fertilità. Inoltre l'applicazione continua ed intensiva di fertilizzanti artificiali, mirata a sostenere gli attuali ritmi di produzione agricola, tende a sbilanciare il rapporto tra le quantità di sostanze nutritive naturalmente contenute dei terreni. Un eccesso di azoto e fosforo minerali compromette i processi di mineralizzazione della materia organica presente nei suoli riducendo l'efficienza di utilizzo dei nutrienti, e quando vengono raggiunte le capacità di assorbimento la condizione di saturazione del suolo favorisce la dispersione di tali macronutrienti nelle acque per lisciviazione e deflusso. Inoltre l'eccesso di azoto e fosforo minerali riduce la copertura vegetale del suolo quindi aumenta la perdita di nutrienti per deflusso e per erosione, con la formazione di sedimenti ricchi di fosforo che possono depositarsi nelle acque. L'elevata concentrazione di azoto e fosforo raggiunge quindi falde acquifere, laghi, corsi d'acqua e mari contribuendo all'eutrofizzazione (netta sovrabbondanza di sostanze) delle acque, che compromette la qualità dell'acqua potabile e crea l'iperstimolazione e la proliferazione di alghe nocive e la morte della flora e della fauna marina (ad es. la morte dei pesci per ipossia), e costituisce una delle principali cause di inquinamento idrico del pianeta. L'eccesso di azoto nel terreno costituisce anche un forte rischio di acidificazione del suolo, che ne compromette la qualità e libera alluminio ed altri metalli pesanti nella frazione acquosa del terreno, con gravi conseguenze tra cui problemi di nutrizione e tossicità nelle piante. Inoltre gran parte dell'azoto applicato ai terreni agricoli si disperde in atmosfera per denitrificazione e volatilizzazione, ed in forma di gas azotati inquina l'aria ed intensifica il fenomeno del riscaldamento globale (anche a causa delle pericolose alterazioni allo strato di ozono), e la successiva deposizione di azoto dall'atmosfera contribuisce all'acidificazione di altri suoli agricoli ma anche alla fertilizzazione di quelli non agricoli. Tali squilibri sono fortemente dannosi per il pianeta poiché causano una grave perdita di biodiversità e danneggiano gli ecosistemi terrestri e marini. Risulta importante far fronte alla perdita dei nutrienti attraverso differenti azioni, che comprendono una ricerca che migliori l'efficienza di utilizzo dei nutrienti, per mezzo dell'ottimizzazione spaziale dei flussi, tramite l'impiego su scala locale e globale di strategie di recupero e riciclo dei nutrienti (ad esempio dalle acque di scarico), ma anche ridimensionando il ruolo dell'industria zootecnica. Appare doveroso sottolineare il peso assai rilevante del settore degli allevamenti ai danni dei flussi di nutrienti, poiché l'attuale consumo di alimenti animali rappresenta la principale causa della perdita di nutrienti e dell'eccessivo inquinamento da azoto e fosforo al mondo. Se l'obiettivo è quello di sfamare tutta la popolazione umana, allora è senz'altro importante considerare che il settore degli allevamenti abbassa l'efficienza di utilizzo dei nutrienti complessiva del settore agroalimentare, poiché la produzione di proteine animali necessita di una quantità di azoto e fosforo molto maggiore di quelle vegetali, e causa inoltre una perdita di nutrienti significativamente maggiore. Dell'ingente flusso di nutrienti necessari allo sviluppo della biomassa vegetale destinata a nutrire il bestiame da allevamento (e che comprende anche la quota di azoto e fosforo integrato dall'uomo), solo una frazione rimane nel prodotto agroalimentare finale, poiché oltre alle dispersioni che avvengono sino alla fase di raccolto si aggiungono anche quelle legate al settore degli allevamenti (e che contribuiscono al già citato inquinamento ambientale). Difatti viene perso ben l'80% dell'azoto e del fosforo contenuti nei raccolti agricoli destinati ad alimentare il bestiame, e solo il 20% infine risulta effettivamente disponibile per la dieta umana all'interno dei prodotti animali. Il

metabolismo animale e le attività dell'azienda zootecnica (come la gestione delle deiezioni) causano poi la dispersione di un'ingente quantità di azoto e fosforo nell'ambiente. Chiaramente i danni maggiori sono quelli causati dagli allevamenti in cui vi è una tale concentrazione di bestiame (abbastanza comune, soprattutto in quelli intensivi) da produrre una quantità di deiezioni che supera le capacità di assorbimento e riciclo dei nutrienti delle vicine terre agricole (un eccesso di nutrienti non assimilati), impedendone pertanto un adeguato sfruttamento come concime, fenomeno che diminuisce ulteriormente l'efficienza di utilizzo dei nutrienti complessiva. Azoto e fosforo non assimilati vengono dispersi nell'ambiente sotto forma di composti organici, di fosforo in forma di fosfati, e di azoto nelle forme reattive come ammoniaca, nitrati, protossido di azoto ed altri ossidi di azoto e che assieme contribuiscono inoltre alla formazione di particolato fine ed ultrafine (a cui si aggiungono anche le emissioni di metano). Il settore degli allevamenti pertanto rappresenta un'importante fonte di impoverimento ed inquinamento di nutrienti, che contribuisce ad esacerbare i danni ambientali e alla salute umana causati dal settore agricolo, e dunque diminuendo l'importanza riservata ai prodotti animali nella dieta umana aumenterebbe l'efficienza di utilizzo dei nutrienti a livello globale, diminuirebbe l'inquinamento dovuto alle perdite di nutrienti ed il degrado dei suoli.[80–82] Per comprendere meglio i problemi legati allo sfruttamento del fosforo, va ricordato che si tratta di un essenziale ed insostituibile macronutriente necessario allo sviluppo della vegetazione, tuttavia l'uomo ne sta compromettendo la disponibilità per la produzione di cibo attraverso un'inadeguata gestione. Seguendo il proprio naturale ciclo biogeochimico, grazie ai processi di erosione e dilavamento il fosforo viene rilasciato in forma minerale dalle rocce formatesi in milioni di anni (e che ne costituiscono la principale riserva) e si deposita al suolo. Assorbito dalla vegetazione crescente il fosforo viene organicato e si trasferisce agli animali attraverso la dieta, quindi ritorna al suolo grazie ai detriti organici vegetali e animali in decomposizione che vi si depositano, come parti morte della pianta (ad es. foglie secche), deiezioni e carcasse animali. Grazie poi all'azione di alcuni microrganismi presenti nel suolo il fosforo precedentemente organicato viene mineralizzato quindi reso nuovamente disponibile per essere assorbito dalle piante.

In passato il fosforo contenuto naturalmente nei suoli era sufficiente ad una più modesta attività agricola, la produzione di cibo era locale ed il fosforo veniva poi riciclato dai rifiuti organici locali e restituito al terreno. Tra i rifiuti organici ricchi di fosforo sfruttati per concimare vi erano le deiezioni animali e pure quelle umane, poiché il fabbisogno di fosforo negli animali è generalmente minimo (quello umano ad esempio è di soli circa 1.2 grammi al giorno) e la quasi totalità di fosforo assunto nella dieta viene escreta con le deiezioni. Successivamente, con l'avvento dei sistemi fognari il fosforo contenuto nelle deiezioni cominciò a perdersi nelle acque reflue (quindi anche negli oceani) e nelle discariche piuttosto che tornare alla terra e ai suoli di produzione. Inoltre va aggiunto che con l'adozione dei moderni sistemi agricoli il raccolto avviene prima che i detriti vegetali si possano depositare al suolo: ciò priva il terreno di quei residui organici ricchi di fosforo (ed altri nutrienti) che non viene dunque restituito ai terreni di produzione e pertanto tende ad esaurirsi ad ogni raccolto. Verso la metà del diciannovesimo secolo, ad assicurare una produzione agroalimentare che potesse soddisfare la crescente popolazione umana, vennero intensivamente sfruttati i depositi di guano (escrementi di uccelli accumulati nei millenni e ricchi di fosforo) del Sud America, un fertilizzante organico destinato tuttavia ad esaurirsi rapidamente. Verso la fine dello stesso secolo il guano venne sostituito dal fertilizzante

artificiale di alta qualità a base di fosforo minerale direttamente estratto dalle rocce fosfatice (o fosforiti) ad alto contenuto di fosforo. Nell'attuale moderna agricoltura industriale l'utilizzo di fertilizzanti organici non è più sufficiente a garantire la presenza di adeguate quantità di fosforo nei suoli, ed il fertilizzante minerale rappresenta la principale fonte di fosforo del settore agroalimentare. L'utilizzo di fosforo minerale è necessario per integrare le perdite che si verificano lungo il ciclo di vita delle produzioni agroalimentari. Infatti a causa della sua forte reattività la maggior parte del fosforo applicato si trasforma rapidamente in forme non disponibili per le piante accumulandosi nei suoli e disperdendosi nelle acque. La quantità di fosforo applicato che viene realmente assorbita e prosegue poi lungo le fasi di produzione solitamente varia dal 15 al 30%. Bisogna considerare poi che dei 12 milioni di tonnellate di fosforo contenuti ogni anno nelle colture agricole a livello globale, 5 milioni vengono trattenuti nei residui colturali, di cui solo il 40% ritorna ai suoli agricoli, e solamente 7 milioni di tonnellate di fosforo rimangono infine nel prodotto utile del raccolto destinato alla produzione alimentare e di mangimi per il bestiame. Va considerato inoltre che dall'azienda agricola alle nostre tavole il 55% del fosforo viene mediamente perso, e solo il 10% di quello consumato dall'uomo e poi escreto ritorna al sistema agroalimentare, mentre il resto si perde tra i rifiuti, in terre non coltivabili e nelle acque. Se a tali perdite si aggiungono anche tutte quelle minori che avvengono lungo il ciclo di vita produttivo ne risulta che, a livello globale, l'alimentazione umana richiede complessivamente l'estrazione di una quantità di fosforo pari a 5 volte quella effettivamente consumata nella dieta. Pertanto oggi il sistema agricolo dipende profondamente dall'estrazione di fosforo dalla fosforite e senza di essa non sarebbe possibile sostenere l'odierna produzione alimentare globale. Il sistema agroalimentare costituisce il 90% della domanda globale di fosforo, vi è da sottolineare però che tratta di flussi non omogenei in tutto il mondo, bensì con un forte sbilanciamento nella distribuzione spaziale. Nei paesi poveri (ad esempio nell'Africa subsahariana) la presenza di fosforo nelle terre agricole è generalmente scarsa come anche l'accessibilità ai fertilizzanti, l'integrazione del fosforo perso nel raccolto agricolo è del tutto insufficiente e vi è inoltre carenza di concime animale. Il panorama è ben differente nei paesi in via di sviluppo (come Cina ed India), poiché la domanda di fosforo è in forte crescita e presto toccherà il proprio picco massimo. Nei paesi sviluppati invece (ad esempio in Europa e Nord America) le terre agricole hanno generalmente sorpassato i livelli critici di fosforo, a causa di decenni di intensiva applicazione di fertilizzante artificiale che ha causato anche un eccesso di concime animale, la domanda di fosforo si è pertanto stabilizzata od anche diminuita poiché oggi è necessario rimpiazzare solamente quello perso nel raccolto agricolo. Oltre ai danni causati dall'alterazione dei naturali flussi del fosforo, lo sfruttamento della roccia fosfatica ha serie ripercussioni sull'ambiente in termini di utilizzo di combustibili fossili, di emissioni gas serra, di sviluppo di sottoprodotti radioattivi e di inquinamento da metalli pesanti. Va detto anche che la fosforite è una risorsa non rinnovabile, e che le riserve di rocce fosfatice attualmente sfruttate sono nelle mani di pochi grandi monopoli: secondo gli attuali ritmi di estrazione potrebbero esaurirsi nell'arco di 50 o 100 anni, minacciando le fondamenta della sicurezza alimentare di una crescente popolazione umana.[83,84] La domanda globale di fosforo è triplicata nel periodo dal 1961 al 2007 da circa 6 a ben 17.6 milioni di tonnellate all'anno, e non soltanto in funzione della necessità di sfamare una popolazione in continua crescita, ma anche a causa dei sensibili cambiamenti nella dieta dell'uomo. Difatti la quantità di fosforo minerale richiesta ogni anno per far fronte al consumo alimentare globale è aumentata del 38%, mediamente da 1.9 a 2.6 kg pro capite. Ciò a causa di diete più caloriche, ma soprattutto più ricche di prodotti animali, quest'ultimo considerato in assoluto il fattore più influente sulla domanda pro capite di



fosforo minerale. Per mettere questo in prospettiva basti pensare che, secondo una media globale, il consumo di alimenti animali è responsabile per ben il 72% della domanda pro capite di fosforo minerale legato alla dieta. L'elevata quantità di fosforo richiesta per le produzioni zootecniche (in particolare la carne) deriva dall'inefficienza del processo di trasformazione delle piante (destinate a nutrire il bestiame lungo l'intero corso della propria vita) in carne e derivati animali, con perdite di fosforo sia nella produzione delle colture vegetali che attraverso le deiezioni del bestiame.[85] Va detto infatti che una sola mucca da latte può ingerire in un anno fino a 22.6 kg di fosforo, ed emetterne 16.7 kg attraverso le deiezioni, una quantità equivalente a quella emessa da circa 18 o 20 persone,[56] e di tutto il fosforo consumato (e poi escreto) dal bestiame a livello globale solo la metà ritorna infine al sistema agricolo.[83] In questo contesto, ad evidenziare il ruolo penalizzante del settore degli allevamenti basta considerare che, secondo una media globale, con un chilogrammo di fosforo minerale è possibile ottenere 3333 kg di radici e tuberi amidacei, oppure 2500 kg di legumi, 2000 kg di frutta, 769 kg di ortaggi e verdure, 334 kg di cereali, 232 kg di latte vaccino, 147 kg di frutta secca a guscio, 106 kg di carne di capra e montone, 79 kg di uova, 52 kg di pollo, 31 kg di maiale e solamente 16 kg di carni bovine. Secondo gli attuali trend di crescita della popolazione umana e di cambiamento di diete verso pasti più calorici e ricchi di proteine animali, entro il 2050 la domanda globale di fosforo minerale potrebbe aumentare dal 68 al 141% rispetto quella registrata nel 2007.[85] Non si conoscono alternative valide su larga scala allo sfruttamento della roccia fosfatica, ma solamente sperimentazioni su piccola scala per il recupero di fosforo dalle deiezioni e dalle acque di scarico, che potrebbero tuttavia richiedere decenni per essere implementate su scala globale.[83] Un cambiamento nelle abitudini alimentari verso il consumo di prodotti vegetali si rivela un'efficace strategia per ridurre in modo sostanziale ed in tempi utili la domanda di fosforo.[83,85] Per comprendere più a fondo le problematiche legate invece all'alterazione del ciclo dell'azoto causata dal settore agroalimentare va detto che, similmente al fosforo, anche l'azoto è un essenziale ed insostituibile elemento per lo sviluppo della vita. Legandosi al carbonio costituisce la base di molte importanti molecole organiche indispensabili per la vita (ad es. amminoacidi e proteine). Benché l'azoto sia un elemento abbondante sul pianeta, la maggior parte di esso si trova in atmosfera e non è direttamente utilizzabile dalle piante e dagli animali. L'atmosfera è la principale riserva naturale di azoto (formata al 78% di azoto), e all'atto pratico si può considerare una riserva infinita data la sua enorme capienza di stoccaggio. L'azoto atmosferico tuttavia è presente in forma di azoto molecolare, un gas inerte (quindi non reattivo) che può essere direttamente sfruttato solo da particolari batteri presenti nei suoli, sulle radici delle leguminose e nelle acque. Questi batteri hanno la capacità di fissare l'azoto, cioè di trasformare l'azoto molecolare in ammoniaca, un composto azotato minerale e reattivo. Un altro gruppo di microrganismi nitrifica l'azoto, cioè trasforma l'ammoniaca in nitrati assimilabili dalla vegetazione, e altri ancora lo immobilizzano, cioè trasformano l'ammoniaca in azoto organico (ad es. sotto forma di proteine) assimilabile anche dagli animali. L'azoto viene naturalmente riciclato attraverso la decomposizione dei detriti organici vegetali e animali (la seconda più grande riserva di azoto del pianeta) e ritorna al suolo in forma organica, dove viene successivamente mineralizzato. Una parte di azoto contenuta nei nutrienti azotati e nell'azoto organico (per lo più gli ossidi dell'azoto quali nitriti e nitrati) viene lisciviata nelle acque sotterranee oppure ruscella sulle acque superficiali fluendo quindi lungo i corsi d'acqua. Un'altra parte invece denitrifica, cioè ritorna in atmosfera in forma di azoto molecolare grazie all'azione di un altro gruppo di batteri specializzati, mentre l'azoto presente nel terreno in forma di ammoniaca volatilizza in atmosfera. Va considerato poi

che i processi di nitrificazione, denitrificazione e mineralizzazione generano come sottoprodotto gas azotati (come protossido di azoto) che vengono emessi in atmosfera per poi ritornare al suolo per mezzo di deposizione umida (l'acido nitrico nelle piogge acide) oppure secca. Non è la quantità di azoto presente sul pianeta a rappresentare un fattore limitante per la produttività agricola, bensì la capacità di azotofissazione, poiché il flusso di azoto disponibile per gli organismi viventi è naturalmente limitato dalla scarsità dei batteri azotofissatori al fine di regolare la crescita e l'espansione della vita sul pianeta. Prima dell'età industriale l'impatto dell'uomo sul ciclo dell'azoto non era rilevante, la quantità di azoto fissata biologicamente (cioè grazie ai batteri azotofissatori) garantiva una minore ma sufficiente domanda agricola e la quantità di azoto reattivo prodotta sul pianeta era in ogni caso bilanciata dai processi di denitrificazione. Tuttavia nei primi del '900 il processo Haber-Bosch (ideato da Haber ed implementato su larga scala da Bosch) permise di trasformare l'azoto molecolare estratto dall'atmosfera in ammoniaca. Lo sfruttamento antropico di quell'enorme riserva atmosferica di azoto che non è direttamente assimilabile dalla vegetazione, rese possibile la sintesi di fertilizzanti azotati minerali che essenzialmente scavalcò le limitazioni imposte dalla natura alla crescita vegetativa quindi alla produzione agricola. Protagonista della Rivoluzione Verde, l'utilizzo su larga scala dei fertilizzanti azotati di sintesi consentì di rendere fertili terre improduttive e di produrre raccolti agricoli senza dover attendere la naturale rigenerazione dei nutrienti nei suoli, aumentando di fatto la resa agricola. Da allora l'utilizzo di fertilizzanti azotati è aumentato sensibilmente, basti pensare che solamente dal 1965 al 1995 esso si è più che quadruplicato. Oggi l'uomo riesce a fissare una quantità di azoto uguale a quella biologicamente fissata prima dell'era preindustriale: il tasso di azotofissazione è cioè raddoppiato, alterando sensibilmente il rapporto tra quantità totale di azoto fissato e azoto denitrificato (quest'ultimo è ancora difficile da stimare). Ciò rappresenta un enorme impatto sul ciclo biogeochimico dell'azoto, le cui conseguenze ... [79,86,87]

Secondo una prospettiva nutrizionalmente utile, negli Stati Uniti la quantità media di azoto reattivo rilasciata nell'ambiente (per mezzo dell'utilizzo di fertilizzanti azotati) a parità di calorie ottenute (g Nr/Mcal) da alimenti animali quali prodotti lattiero-caseari, pollame, carne di maiale e uova risulta mediamente ben 3 volte maggiore di quella media di riso, grano e patate, mentre per la carne di manzo è addirittura 19 volte maggiore.[67] Da un'analisi su scala globale risulta che l'allevamento intensivo di maiali e pollame che si concentra principalmente lungo le coste di Cina, Vietnam e Thailandia, sta provocando la maggior fonte di inquinamento del Mare Cinese Meridionale; ciò non stupisce se considera che in quelle aree la densità dei maiali supera i 100 per km<sup>2</sup>: le deiezioni di questi animali stanno inquinando pericolosamente le acque causando forti squilibri nell'ecosistema marino locale, tali da provocare la morte di una vastissima quantità di pesci.[88]

L'industria degli allevamenti contribuisce estensivamente anche all'erosione dei suoli e alla desertificazione: si pensi che l'allevamento di bestiame nei ranch è responsabile dell'85% del suolo perso negli Stati Uniti.[89]

Un altro aspetto critico è legato all'insostenibilità del settore ittico: l'attuale produzione globale minaccia fortemente la biodiversità marina, la cui importanza è a tal punto notevole da essere considerato un indice fondamentale di valutazione dell'equilibrio ecosistemico del pianeta. L'uomo è divenuto il più grande predatore marino, che sta arrecando danni incalcolabili a gran parte della flora e della fauna

marina del pianeta con un impoverimento tale da causarne anche l'estinzione.

Oggi giorno la produzione ittica si basa principalmente sull'attività della pesca e sempre più sull'acquacoltura, cioè sull'allevamento di specie ittiche. Le attività ittiche si sono notevolmente intensificate dagli anni '60 ad oggi a fronte di un sensibile incremento, pari al raddoppio, del consumo (apparente) di pesce annuo pro capite della popolazione mondiale.[90] Non stupisce che il numero dei pescherecci dal 1970 al 1990 sia raddoppiato; esistono attualmente 13 milioni di pescatori nel mondo, tuttavia solo un milione di essi riesce ad ottenere la metà dell'intero pescato globale. Ciò è possibile mediante l'utilizzo di pescherecci industriali:[91] si tratta di imbarcazioni che dispongono di tecnologie sempre più sofisticate, con sistemi di surgelazione a bordo e reti a strascico a maglie fini lunghe chilometri. Alcuni di questi pescherecci utilizzano addirittura reti a strascico abbastanza grandi da inghiottire 12 aerei di linea Boeing 747, oppure enormi palangari, cioè attrezzi da pesca che consistono in una lenza principale sulla quale ne vengono collegate tante altre ognuna equipaggiata con il proprio amo, che possono arrivare a raggiungere una lunghezza di 130 km. Appare chiaro quanto la gestione delle risorse ittiche sia dannosa ed insostenibile per l'ecosistema marino se si pensa che questi metodi di pesca industriale possono eliminare praticamente ogni forma di vita dai fondali marini, spazzando via ogni anno addirittura dall'80% al 90% del pesce di alcune popolazioni ittiche.[92] Oltretutto ogni anno ben il 40% del pescato a livello globale viene catturato involontariamente, quindi scartato e talvolta ucciso,[93] tra cui anche molte centinaia di migliaia di balene, delfini e foche,[94] un danno ecologico che si somma alla sempre più grave riduzione di squali che oggi in alcune zone dell'Oceano Pacifico è arrivata a toccare il 90% [95] ed il 99% nel Mediterraneo.[96] Tutto ciò è la conseguenza dell'ingente presenza di pesce sulle nostre tavole: nel 2012 l'uomo ha consumato all'incirca ben 136 tonnellate di pesce. Tuttavia non si tratta dell'intera produzione globale del settore ittico bensì dell'86%, poiché le restanti 22 milioni di tonnellate sono state destinate ad altri utilizzi: sebbene tra questi vi sia anche la produzione di cibo in scatola per animali domestici, la maggior parte di tale produzione viene trasformata in farina ed olio di pesce, utilizzati sia per alimentare bestiame come maiali e pollame, che per nutrire gli stessi pesci di allevamento.[90] Difatti ad oggi la produzione di un chilogrammo edibile di pesce da allevamento necessita mediamente da 2.5 a 4.5 kg di mangime, a seconda della specie allevata e del relativo apparato digerente. I pesci carnivori come i tonni ed i salmoni vengono alimentati con milioni di tonnellate di pesce pelagico di piccola e media taglia sottratto agli ecosistemi marini e trasformato in farina ed olio di pesce, un'altra importante causa di impoverimento ittico. Una delle strategie pianificate per il 2050 per rallentare tale depauperamento, è di nutrire i pesci da allevamento anche con olio di palma e con rifiuti degli impianti di lavorazione animale come ad esempio gli scarti del pollame.[97] In sintesi, l'industria degli allevamenti ittici depreda gli ecosistemi marini al fine di alimentare il pesce da allevamento sia destinato a nutrire l'uomo che ad esser trasformato (compreso lo scarto di produzione) in mangimi per il bestiame destinato alla dieta umana, il cui scarto di produzione viene a propria volta trasformato in mangime per specie ittiche da acquacoltura destinate anche all'alimentazione umana. Nel tentativo di ottimizzare le risorse acquisite dall'ambiente per far fronte all'attuale e sempre più crescente domanda di pesce e altre produzioni animali, questo lungo, complesso e costoso processo produttivo rivela tanto l'inadeguatezza del settore zootecnico quanto quella dello sfruttamento animale per la dieta umana.

Il risultato è che dal 1950, con l'inizio dell'industrializzazione della pesca, siamo andati incontro ad una

sempre più grave perdita di biodiversità della fauna marina, tale che nel 2003 la maggior parte degli stock ittici (ossia le specie marine soggette a pesca commerciale) hanno raggiunto il collasso, cioè hanno subito una riduzione del 90%,[98] e si prevede che entro il 2048 questi andranno incontro ad una riduzione del 100%, cioè alla definitiva estinzione.[99]

## **Settore zootecnico insostenibile**

L'industria zootecnica sfrutta una vasta estensione di superficie agricola. Secondo gli ultimi dati messi a disposizione dal database statistico FAOSTAT [i] la superficie agricola disponibile sul nostro pianeta occupa circa il 38% delle terre emerse, un'estensione pari a 4.9 Mld ha (miliardi di ettari, un ettaro rappresenta una superficie di 10.000 m<sup>2</sup>, 1 Mld ha equivale ad una superficie di 10.000.000 km<sup>2</sup>). Il 29% (1.4 Mld ha) della superficie agricola viene sfruttata per terre arabili (destinate principalmente alla coltivazione di cereali, legumi, ed ortaggi), il 3.36% (154 Mln ha) per colture permanenti (alberi da frutto e altre piantagioni) ed il restante 67.6% (ben 3.31 Mld ha) è composto esclusivamente da prati e pascoli permanenti (utilizzati per la produzione di foraggio).[100] Le superfici agricole destinate all'alimentazione del bestiame non includono solamente prati e pascoli permanenti: nel 2006 la FAO evidenziava che anche il 33% (471 Mln ha) delle terre arabili potenzialmente fruibili all'alimentazione umana è invece destinato all'alimentazione del bestiame. Pertanto il 78% della superficie agricola globale è dedicato unicamente al settore degli allevamenti: si tratta di un'estensione territoriale di oltre 3.9 Mld ha, che comprende anche tutte quelle foreste attualmente trasformate in terreni destinati esclusivamente a nutrire il bestiame da allevamento, ed equivale a circa il 30% della superficie delle terre emerse del nostro pianeta.[56] Già fin dagli anni '80 era ben noto quanto fosse svantaggioso il rapporto tra la quantità di mangimi destinati all'alimentazione del bestiame da allevamento ed il prodotto finale da essi ricavato e destinato al consumo umano. In una nazione come gli Stati Uniti, dell'intera produzione di mangimi destinati a nutrire manzi, maiali e pollame, se venivano considerate le sole produzioni di cereali e soia pari a ben 145 milioni di tonnellate annue, si ricavano solamente 21 milioni di tonnellate tra carne bovina, suina, pollame e uova destinati al consumo umano. L'inefficienza della conversione delle proteine vegetali in proteine animali fece guadagnare al settore degli allevamenti il noto appellativo di fabbrica di proteine alla rovescia. Da un rapido calcolo si evidenziava che la sola quantità di cereali e soia "sprecata" corrispondeva a ben 124 milioni di tonnellate, che se fossero stati cucinati per l'uomo avrebbero rappresentato una quantità tale da poterne fornire un'intera tazza ogni giorno, per un anno intero, ad ogni essere umano sulla Terra.[101] Basti pensare infatti che delle 41 milioni di tonnellate di proteine vegetali fornite ogni anno agli allevamenti negli USA vengono ricavate solamente 7 milioni di tonnellate di proteine animali: questo vuol dire che per produrre 1 kg di proteine animali c'è bisogno mediamente di nutrire il bestiame con 6 kg di proteine vegetali.[102] Sempre negli USA, non solo la popolazione degli allevamenti è di circa 5 volte quella dei cittadini, ma consuma oltre 7 volte i cereali consumati direttamente dai cittadini. Difatti è interessante far notare la scarsa efficienza di conversione vegetale-animale, in termini di peso, che si ha nutrendo il bestiame da allevamento: per produrre un chilogrammo di latte vaccino occorrono mediamente quasi 1 kg di cereali ed 1 kg di foraggio, oltre 2 kg di mangime per ottenere un kg di pollo, quasi 4 kg per il tacchino, quasi 6 kg per il maiale ed 11 kg per ottenere un chilogrammo di uova. Inoltre per produrre un kg di carne di agnello sono necessari 21 kg di cereali e 30 kg di foraggio, 13 kg di cereali e 30 kg di foraggio per il manzo,[70] e ben

28 kg di mais, 44 kg di insilato di mais (granoturco fermentato all'interno dei silos) e 2 kg di soia per produrre un solo chilogrammo di manzo da allevamento intensivo.[84,103] Va altresì notato che si tratta di quantità fortemente variabili (soprattutto per i ruminanti) giacché l'efficienza varia sia in base alle caratteristiche del bestiame che alla qualità della dieta e dei mangimi che la compongono. In Nord America e in Europa ad esempio, un manzo alimentato con solo foraggio può consumarne anche 300 kg per produrre un kg di proteine da carne, mentre nell'Africa sub-sahariana può aver bisogno fino a 2000 kg a causa della scarsa qualità dei mangimi nelle regioni aride.[104] Su scala globale la dieta umana gode soltanto del 67% (in peso) della produzione agricola vegetale ottenuta sfruttando le superfici agricole (tra terre arabili e colture permanenti escludendo prati e pascoli) interamente utilizzabili per produrre colture adatte all'uomo, giacché il 24% viene riservato alla produzione di mangimi per il bestiame da allevamento, ed il restante 9% per utilizzi industriali e per la produzione di biocarburanti. Analogamente, secondo una prospettiva nutrizionalmente utile all'uomo vengono destinate soltanto il 55% delle calorie di tale produzione mentre il 36% sono destinate al bestiame da allevamento ed il 9% per usi industriali e biocarburanti. Inoltre l'89% delle calorie destinate al bestiame è letteralmente perso per via della scarsa efficienza di conversione delle calorie vegetali in animali, efficienza pari al 40% per il latte vaccino, 22% per le uova di gallina, 12% per il pollo, 10% per il maiale e solamente 3% per manzo. Complessivamente ne risulta che il settore degli allevamenti restituisce all'uomo, sotto forma di alimenti animali, solamente il 4% di tutte le calorie che consuma provenienti da terre direttamente sfruttabili per la dieta umana, per un totale calorico riservato all'uomo pari al 59% tra prodotti animali e vegetali. Analogamente, dell'intera quota proteica vegetale derivante da terre sfruttabili per coltivazioni edibili, l'uomo ne consuma direttamente solo il 40%, mentre il 53% è destinato al bestiame ed il restante 7% ad utilizzi industriali e biocarburanti. Anche l'efficienza di conversione delle proteine vegetali in animali si rivela scarsa, pari al 43% per il latte vaccino, 35% per le uova di gallina, 40% per il pollo, 10% per il maiale e solamente 5% per manzo. Ne risulta pertanto che vengono restituite sotto forma di prodotti animali soltanto il 9% delle proteine vegetali provenienti da terre direttamente sfruttabili per la dieta umana ma consumate dal settore degli allevamenti, a formare una disponibilità proteica per la dieta dell'uomo pari solamente al 49%.[105] Un singolo capo di bestiame da allevamento viene nutrito sfruttando molteplici superfici agricole non necessariamente contigue tra loro. Per poter esprimere l'utilizzo territoriale complessivo e svincolato da luogo di produzione, in questo contesto risulta utile introdurre il concetto impronta territoriale, cioè l'insieme delle superfici agricole necessarie alla produzione di un determinato prodotto agroalimentare.

Se si raffronta quanti metri quadri di superficie agricola vengono impiegati in Europa, in un anno, per produrre un chilogrammo di alcuni tra i più comuni prodotti alimentari di consumo quotidiano, si nota un trend interessante ma non inaspettato. Ad esempio nei Paesi Bassi la carne di manzo necessita di 20.9 m<sup>2</sup> anno/kg, mentre quella di maiale utilizza 8.9 m<sup>2</sup> anno/kg, 7.3 il filetto di pollo, 10.2 m<sup>2</sup> anno/kg per il formaggio, 3.5 per le uova, 1.2 per il latte intero e 0.9 m<sup>2</sup> anno/kg per quello parzialmente scremato. I cereali invece necessitano di 1.4 m<sup>2</sup> anno/kg, la frutta mediamente 0.5, per ortaggi e verdure vengono impiegati in media 0.3 m<sup>2</sup> anno/kg, e addirittura solo 0.2 m<sup>2</sup> anno/kg per le patate.[106] Secondo una prospettiva nutrizionalmente utile, negli Stati Uniti l'impronta territoriale a parità di calorie ottenute (cioè m<sup>2</sup> anno/Mcal) da alimenti animali quali prodotti lattiero-caseari, pollame, carne di maiale e uova mediamente risulta ben 6 volte maggiore di quella di riso, grano e patate, mentre per la carne di manzo

è addirittura 160 volte maggiore.[67] Nello stato di New York ad esempio, sono necessari 1.1 m<sup>2</sup> di terre agricole per ottenere mille calorie edibili dai cereali (m<sup>2</sup>/Mcal), 1.7 per ortaggi e verdure, 2.2 per i legumi, 2.3 per la frutta e 3.2 m<sup>2</sup> per gli oli vegetali. Il latte intero richiede 5 m<sup>2</sup>/Mcal, 9 per quello scremato e 6 per le uova. La produzione di carne di maiale necessita di 7.3 m<sup>2</sup>/Mcal e 17.9 per i soli tagli di maiale magri, 9 per il pollo e 14.3 per i tagli magri di pollo, mentre per ottenere mille calorie edibili dal manzo sono necessari ben 31.2 m<sup>2</sup> di terre agricole ed addirittura 54.6 m<sup>2</sup> se si tratta di tagli di manzo magri.[107] Considerando una prospettiva leggermente differente, sulla base di un fabbisogno proteico medio di 65 grammi giornalieri, nel Regno Unito un ettaro di terra riservato alla produzione di manzo, agnello o uova può soddisfare il fabbisogno proteico medio annuale di sole 3 persone, un ettaro sfruttato per la produzione di bacon può soddisfare quello di 4 persone, di 5 persone producendo latte, 6 persone con il pollo e 12 con un ettaro riservato alla produzione di coniglio. La resa produttiva in termini di proteine aumenta considerevolmente sfruttando direttamente le produzioni vegetali per la dieta umana: un ettaro riservato alla produzione di orzo può soddisfare il fabbisogno proteico medio annuale di 15 persone, di 16 persone nel caso di riso o mais, di 17 con la barbabietola da zucchero, di 20 persone producendo grano, un ettaro di patate può sostenere invece il fabbisogno proteico medio annuale di 22 persone, di 24 persone con i piselli, di 26 persone con la produzione di fagioli e addirittura di 34 persone con un ettaro riservato alla produzione di cavoli. Parimenti, considerando un fabbisogno energetico medio di 12.6 megajoule giornalieri (circa 3000 kcal), un ettaro di terra riservato alla produzione di manzo o uova può soddisfare il fabbisogno energetico medio annuale di una sola persona, di 2 persone se si produce agnello, pollo o latte, e di 3 persone producendo coniglio o bacon. Anche in tal caso, lo sfruttamento diretto delle produzioni vegetali per la nutrizione umana si mostra di gran lunga più conveniente: un ettaro riservato alla produzione di fagioli o piselli può soddisfare il fabbisogno energetico medio annuale di 9 persone, di 13 persone producendo orzo, di 15 con il grano, di 17 con il mais, un ettaro di riso può sostenere invece il fabbisogno energetico medio annuale di 19 persone, di 22 persone producendo patate, di 23 con cavoli e di 33 persone con un ettaro riservato alla produzione di barbabietola da zucchero.[108,109]

Va infine aggiunto che se alla totalità dei pascoli vengono inclusi anche tutti i pascoli aperti ed estensivi tipici del modello pastorale e agropastorale tradizionale, le terre che l'uomo dedica alle attività pastorizie occupano, complessivamente, addirittura 6.12 Mld ha, ben il 45% delle terre emerse del nostro pianeta. Ciò rende la produzione zootecnica l'attività che di gran lunga utilizza più risorse territoriali di qualsiasi altra attività umana,[65,110–112] con un'estensione pari ad una volta e mezzo quella di tutte le foreste del pianeta, quasi 3 volte quella di tutte le superfici agricole coltivabili, e 17 volte quella di tutti gli insediamenti urbani.[110] Ciò significa anche che l'80% di tutti i suoli antropizzati è destinato al settore al degli allevamenti.[113]

[i] Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT), <http://faostat.fao.org>

Un altro importante legame tra ambiente, sicurezza alimentare e settore zootecnico è quello dell'impatto idrico: l'acqua è un bene prezioso e limitato, e alle soglie di una vera e propria crisi idrica di livello globale è necessario un utilizzo parsimonioso delle risorse idriche, possibile solamente comprendendo in che modo ognuno di noi realmente influisce sul depauperamento idrico nel mondo.

La quantità di acqua potabile ad uso diretto che consumiamo abitualmente (per bere, per lavarci, per

lavare indumenti, le stoviglie, etc.) è mediamente compresa tra i 50 ed i 150 litri pro capite giornalieri: tuttavia questa rappresenta soltanto una minima frazione del nostro impatto idrico quotidiano,[114] giacché vi è un enorme dispendio idrico del quale ognuno di noi è protagonista: si tratta dell'acqua utilizzata per la produzione dei beni che consumiamo tutti i giorni. Per avere un'idea di ciò bisogna ricorrere ad un concetto relativamente recente, introdotto solo nel 2002: quello di impronta idrica. L'impronta idrica costituisce un metodo affidabile ed esaustivo per fornire una valutazione completa dell'appropriazione diretta ed indiretta di acqua dolce necessaria per la produzione di beni e servizi da parte dell'uomo. Grazie all'utilizzo dell'impronta idrica si possono valutare i volumi di acqua dolce necessari all'intero ciclo di vita di determinate produzioni industriali e agricole. In particolare, una valutazione integrale dell'impronta idrica è costituita dal contributo di 3 differenti tipi di impronta idrica valutabili sull'intero ciclo idrologico globale, oppure su quello di un determinato paese o regione. L'impronta idrica verde indica il consumo di acqua verde, cioè l'intero flusso idrico di acque piovane che dalla vegetazione e dai suoli (sotto forma di umidità) devia dal naturale ciclo idrologico per mezzo delle attività di produzione (soprattutto nelle colture agricole), divenendo parte del contenuto d'acqua dei prodotti oppure evaporando. Sebbene l'acqua piovana sia gratuita, essa rappresenta comunque una risorsa limitata ed esauribile all'intero del ciclo idrologico, di conseguenza l'impronta idrica verde risulta importante per misurare l'appropriazione, da parte dell'uomo, di quel del flusso evaporativo che viene di conseguenza privato alla natura. L'impronta idrica blu indica invece il consumo di acqua blu, cioè quel flusso di acqua dolce composto da acque di superficie (qualsiasi bacino idrografico d'acqua dolce quindi oceani, mari, laghi o corsi d'acqua) e acque sotterranee (falde acquifere) che devia dal naturale ciclo idrologico e che diviene parte del contenuto d'acqua dei prodotti (nelle colture agricole per lo più l'acqua di irrigazione) oppure che evapora, ma anche (a differenza di una semplice misura del prelievo idrico) tutta l'acqua dolce che non ritorna subito al bacino idrografico di provenienza. Infine l'impronta idrica grigia costituisce un indicatore del grado di inquinamento e rappresenta il volume d'acqua dolce, denominato acqua grigia, necessario per diluire gli inquinanti (compresa l'energia) riversati in acqua durante l'intero ciclo di vita delle attività di produzione affinché le acque possano raggiungere la qualità (e la temperatura) naturale che possedevano in origine (la naturale concentrazione di sostanze). L'impronta idrica nazionale media pro capite varia sensibilmente da paese a paese per via di innumerevoli fattori tra cui i beni prodotti ed i servizi erogati, le politiche economiche adottate, la posizione geografica, quindi le risorse territoriali ed il clima.[115] Negli Stati Uniti ad esempio l'impronta idrica media pro capite registrata nel periodo tra il 1996 ed il 2005 è stata di 2842 m<sup>3</sup> l'anno (metri cubi, 1 m<sup>3</sup> equivale a 1000 litri) mentre nel Regno Unito è stata di meno della metà, pari cioè a 1258 m<sup>3</sup>/anno, e ancor meno in India ed in Cina, rispettivamente con 1089 e 1071 m<sup>3</sup>/anno. L'impronta idrica globale media (nello stesso periodo) è stata di 9087 Mld m<sup>3</sup>/anno (costituita del 74% da quella verde, dell'11% da quella blu e del 15% dalla grigia), quindi una media globale pro capite pari a 1385 m<sup>3</sup>/anno, equivalente cioè a ben 3794 litri al giorno. Di questi, l'impronta idrica legata alla produzione industriale è pari al 4.4%, mentre quella legata all'uso domestico d'acqua costituisce soltanto il 3.6% pari in media a 136 litri al giorno, ma a costituire il restante 92% dell'impronta idrica globale media è il settore agricolo.[116] Vi è inoltre da considerare che quasi un terzo dell'impronta idrica globale del settore agricolo è legato alle sole produzioni animali, quasi 2500 miliardi di metri cubi d'acqua dolce all'anno. Di questa, l'acqua ad utilizzo diretto (sostanzialmente quella potabile destinata all'abbeveraggio del bestiame e quella di servizio) costituisce solamente il 2% dell'impronta idrica legata al settore degli

allevamenti: il restante 98% rappresenta l'impronta idrica legata alla produzione dei mangimi utilizzati per nutrire il bestiame.[117] Per comprendere i motivi della così vasta impronta idrica del settore zootecnico basti già soltanto pensare che, in relazione a vari fattori tra cui l'età ed i fattori locali come il clima e la stagione, il volume d'acqua assunto da una vacca da latte, sia direttamente che attraverso l'ingestione di mangimi, può arrivare a quasi 200 litri al giorno, a quasi 90 L/giorno per un manzo, per un toro quasi 80 L/giorno, quasi 70 L/giorno per un cavallo ed oltre 20 L/giorno per un maiale.[118] Pertanto la quantità di risorse idriche necessarie alla produzione di alimenti animali è, mediamente, maggiore di quella necessaria per produrre alimenti vegetali. Citando l'impronta idrica globale di alcuni tra i più comuni prodotti animali risulta che per la produzione di manzo è di ben 15415 m<sup>3</sup>/ton (metri cubi per tonnellata, equivalenti a litri per kg) per la carne di manzo e 17093 m<sup>3</sup>/ton per la produzione di cuoio (da pelle bovina), 10412 per le carni ovine e 5521 per quelle caprine, 5988 m<sup>3</sup>/ton per il maiale, per il pollame 4325 e per le uova 3265, 1020 m<sup>3</sup>/ton per il latte vaccino e 5060 per il formaggio.[117] Vi è da aggiungere inoltre che la forma di allevamento può avere un ruolo decisivo sull'impronta idrica. Basti pensare che negli allevamenti intensivi statunitensi il volume d'acqua richiesto per la produzione di manzo può superare le 100mila m<sup>3</sup>/ton,[70,102,119] mentre per quelli estensivi può variare da ben 120mila ad addirittura oltre 200mila m<sup>3</sup>/ton.[70,102,119,120] L'impronta idrica globale legata alla produzione delle principali categorie alimentari di tipo vegetale risulta, mediamente, pari a 9063 m<sup>3</sup>/ton per la frutta secca a guscio, 4055 per i legumi, 1644 per i cereali, per la frutta 967 m<sup>3</sup>/ton, 387 per radici e tuberi amidacei e 322 m<sup>3</sup>/ton per ortaggi e verdure. Secondo una prospettiva nutrizionalmente utile, il manzo necessita di 10.19 L/kcal, mediamente 4.25 L/kcal per le carni ovine e caprine, 2.15 per il maiale, per il pollame 3.00, 2.29 le uova e 1.82 L/kcal per il latte. Tra le produzioni vegetali invece, la frutta secca a guscio necessita di 3.63 L/kcal, 1.19 per i legumi, per i cereali 0.51 L/kcal, 2.09 per la frutta, 0.47 per radici e tuberi amidacei e 1.34 L/kcal per ortaggi e verdure. Anche per quanto riguarda il contenuto proteico la produzione di vegetali si rivela senz'altro maggiormente conveniente, poiché la produzione di un grammo di proteine del manzo necessita mediamente 112 L, 63 L per le carni ovine e caprine, 57 L per il maiale, per il pollame 34 L, 29 L le uova, e 31 L per il latte. Mentre tra le produzioni vegetali, mediamente, per ottenere un grammo di proteine di frutta secca a guscio sono necessari 139 L, 19 L per i legumi, per i cereali 21 L, 180 L per la frutta, 31 L per radici e tuberi amidacei e 26 L per ortaggi e verdure. Essenzialmente con ciò si evidenzia quanto, in termini di risorse idriche, sia sensibilmente più efficiente ottenere calorie e proteine (ma anche grassi, in questa sede non espressi) attraverso le produzioni vegetali piuttosto che da prodotti animali. Si può affermare dunque che l'impronta idrica di qualsiasi prodotto animale è (necessariamente) maggiore di quella di prodotti vegetali dal profilo nutrizionale equivalente.[117,121] L'industria zootecnica si rivela a tutti gli effetti un'inefficiente ed inadeguato trasformatore di proteine vegetali, ed il suo costo in termini di sfruttamento ed impoverimento di risorse, inquinamento ambientale e perdita di biodiversità non è giustificabile.

Eppure le stime che giungono dall'OMS, dalla FAO, dall'UNICEF [i] e dall'UNESCO sono tutt'altro che rassicuranti: circa un terzo della popolazione mondiale, pari ad oltre 2 miliardi di persone, soffre di malnutrizione da deficienza di micronutrienti,[122] oltre 1.4 miliardi di adulti sono sovrappeso,[123] e quasi 800 milioni di persone nel mondo soffrono di denutrizione, poco più di una ogni nove.[124] Ogni giorno 16mila bambini sotto i cinque anni muoiono di fame oppure a causa di scarse condizioni igieniche,[125] e più di un terzo di tutti i decessi infantili ogni anno nel mondo sono attribuiti alla



malnutrizione, in particolare alla denutrizione.[126] Nel 2002 il Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite [ii] stimò che per il 2050 la popolazione umana avrebbe raggiunto gli 8.91 miliardi di persone. Sulla base di tale proiezione la FAO nel 2011 evidenziò uno scenario critico: per il 2050 la produzione globale di carne e prodotti lattiero-caseari sarebbe aumentata quasi del 70%, arrivando anche a raddoppiare, come ad esempio nel caso del pollame, rispetto alle produzioni odierne. La FAO concluse che ad oggi non esistono ancora alternative tecnologicamente ed economicamente valide alla produzione zootecnica intensiva per rispondere alla crescente domanda alimentare in atto.[127] Inoltre, gli idrologi ritengono che per far fronte al fabbisogno idrico pro capite sono necessari almeno 1700 m<sup>3</sup> annuali di acqua dolce: una disponibilità idrica al di sotto di tale soglia viene ritenuta una condizione di stress idrico, al di sotto di 1000 m<sup>3</sup> pro capite annui rappresenta uno stato di scarsità idrica, e al di sotto di 500 m<sup>3</sup> pro capite annui si ha una condizione di scarsità idrica assoluta. Oggi circa 700 milioni di persone in 43 paesi vivono in una condizione di stress idrico: entro il 2025 saranno oltre 3 miliardi, ed in 14 paesi l'attuale condizione di stress idrico si trasformerà in scarsità idrica,[128] mentre 1.8 miliardi di persone saranno costrette a vivere in paesi, o addirittura intere regioni, con scarsità idrica assoluta.[129] Le ultime proiezioni del DESA sono tuttavia ancor più preoccupanti: per il 2030 la popolazione mondiale sarà di circa 8.5 miliardi di persone, di addirittura 9.7 miliardi per il 2050 e persino di 11.2 miliardi per il 2100.[130] Soprattutto in virtù delle proiezioni demografiche più recenti, risulta evidente quanto siano davvero critici gli scenari futuri di emergenza non solo idrica e alimentare, ma di tutti i fattori fin qui esposti. In tale ottica si fa fatica a trovare una soluzione concreta, economica, e attuabile in una finestra temporale utile per mitigare il forte impatto ambientale ed economico del settore zootecnico garantendo al contempo la sicurezza alimentare globale laddove, soprattutto nei paesi industrializzati, ci si basa ancora in larga parte sul consumo di prodotti legati all'industria degli allevamenti. In conclusione, emerge l'evidenza che il settore degli allevamenti contrasta fortemente con una condotta di tipo cautelativo. In virtù del principio di precauzione appare pertanto indispensabile valutare strategie ecosostenibili che possano efficacemente mitigare i danni ambientali, economici e sanitari causati dalle attività dell'industria zootecnica, in grado inoltre di promuovere la sicurezza alimentare globale e far fronte ai ritmi di crescita della popolazione umana.

[i] Fondo delle Nazioni Unite per l'infanzia, [United Nations Children's Fund (UNICEF)], <http://www.unicef.org/>

[ii] Dipartimento per gli affari economici e sociali delle Nazioni Unite, [United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA)], <https://www.un.org/development/desa/en/>

## **Ecosostenibilità delle diete**

L'ecosostenibilità del settore agroalimentare dipende da una serie di fattori che partecipano all'intero ciclo di vita dei prodotti, tra cui fattori naturali (biodiversità, clima, fertilità dei terreni, etc.), metodi e tecnologie di produzione, la stagionalità, la distanza geografica tra il luogo di produzione e quello di acquisto o consumo, i flussi di importazione ed esportazione, ma anche l'imballaggio, le modalità di preparazione e conservazione, la lunghezza della filiera e i modelli di distribuzione (dalla grande distribuzione ai gruppi di acquisto). Ad influenzare in modo sostanziale l'agribusiness e l'intero settore agroalimentare sono in primo luogo le scelte quotidiane dei singoli consumatori, scelte individuali che

hanno considerevoli implicazioni sull'impatto ambientale e sulla sicurezza alimentare. Va ricordato che l'acquisto e il consumo di prodotti agroalimentari è alla base dello stile di vita, ossia di quell'insieme di fattori e abitudini quotidiane che incidono sulla salute a partire dalla dieta, ma anche la sedentarietà e lo stress, l'assunzione di alcol e il tabagismo, e non meno importanti l'esposizione solare e ad inquinanti ambientali. Sebbene il concetto di dieta è comunemente associato ad una limitazione nel piacere della cibazione, il suo letterale significato è modo di vivere. Ad evidenziare quest'aspetto è la sempre maggior diffusione del concetto di stile alimentare, che rimarca il proprio individuale rapporto con la scelta di acquisto, preparazione e consumo dei prodotti agroalimentari. I concetti di stile di vita, dieta, regime alimentare o dietetico, stile alimentare o pratica alimentare hanno oramai acquisito un certo grado di sovrapposibilità tale che, per semplicità, in questo contesto vengono considerati essenzialmente sinonimi. Di seguito si affronta il tema dell'ecosostenibilità delle scelte alimentari e dei benefici ambientali di un'alimentazione sostenibile.

Il concetto di dieta sostenibile risale ai primi anni '80, quando la comunità scientifica sentì l'esigenza di un cambiamento alimentare globale per mezzo di raccomandazioni alimentari sane sia per l'ambiente che per i consumatori. Un'esigenza nata dalla constatazione che nonostante l'agricoltura abbia raggiunto numerosi successi tecnologici e produttivi, la situazione globale dei sistemi di produzione alimentare e degli stili di vita è ancora insostenibile. L'importanza di un cambiamento alimentare verso diete sostenibili, risiede nella loro capacità di condizionare direttamente le produzioni agroalimentari a monte e lungo l'intera catena di produzione e trasformazione, riducendone l'impatto ecologico. Più recentemente il concetto di diete sostenibili è stato rigorosamente definito dalla FAO come quelle diete che non hanno solo un basso impatto ambientale, ma che contribuiscono anche alla sicurezza alimentare e nutrizionale e ad una vita sana per le generazioni attuali e future. In particolare sono definite come diete che rispettano e proteggono la biodiversità e gli ecosistemi, che sono culturalmente accettabili, accessibili ed economicamente eque e convenienti, ed anche nutrizionalmente adeguate, sicure e sane, pur ottimizzando l'utilizzo delle risorse naturali e umane.[131] Di recente è anche nata la Nutrition ecology o Ecologia della nutrizione, una scienza interdisciplinare che si occupa di ridurre l'impatto del settore agroalimentare sulla salute dell'uomo, sull'ambiente, sulla società e sull'economia valutando l'intero ciclo di vita delle produzioni alimentari. L'obiettivo alla base di questa nuova scienza è di garantire uno scenario di sicurezza alimentare sostenibile, cioè di nutrire correttamente l'intera popolazione umana per mezzo di una dieta sostenibile che permetta non solo il raggiungimento e il mantenimento di una buona salute, ma anche la prevenzione contro le malattie legate all'alimentazione. Per raggiungere tale scopo gli stessi professionisti della nutrizione e del settore agroalimentare hanno il compito di informare ed educare i cittadini sui principi dell'ecologia della nutrizione, in modo che ognuno possa essere motivato ad intraprendere abitudini alimentari sane e sostenibili.[132] Ciò che fino a qualche decennio fa era interesse di quei pochi ambientalisti sensibili all'ecosostenibilità degli stili alimentari, è oggi un problema di portata tutt'altro che marginale, oggetto di studi interdisciplinari. Uno degli aspetti principali che legano lo stile alimentare all'ecosostenibilità è senz'altro lo spettro alimentare, cioè la varietà di alimenti e categorie alimentari che costituiscono una dieta. L'onnivorismo, letteralmente che mangia ogni cosa, per definizione indica un regime dietetico il cui ampio spettro alimentare è caratterizzato dalla presenza di tutte le principali categorie di alimenti disponibili senza particolari restrizioni. Sono numerosi i regimi dietetici, occidentali e non, che si basano su di uno stile

alimentare onnivoro, inclusa la ben nota dieta mediterranea. Basata sulle tradizioni alimentari in auge negli anni '50 presso i paesi che si affacciano al Mediterraneo (principalmente Italia e Grecia), la dieta mediterranea è un moderno modello nutrizionale basato per lo più sul consumo di frutta e verdura, cereali (soprattutto integrali), semi, frutta secca a guscio e olio d'oliva (come principale fonte di grassi), un più moderato consumo di pesce (e frutti di mare), prodotti lattiero-caseari, vino rosso e un ridotto consumo di carne e uova. Si evince da quanto già esposto che uno stile alimentare onnivoro può avere differenti gradi di impatto ambientale in base alla rilevanza del settore zootecnico all'interno della dieta. In contrapposizione all'onnivorismo, il vegetarianismo o più brevemente vegetarismo, rappresenta un insieme di pratiche alimentari accomunate dall'astensione al consumo di uno o più alimenti animali per esigenze religiose, etiche, ecologiche o nutrizionali. Il vegetarismo ha acquistato grande importanza anche in ambito economico e socio-culturale, ma soprattutto negli ambiti dell'ecologia, della medicina e della nutrizione, ed è da sempre parte integrante dell'igienismo naturale (quella serie di pratiche denominate igieniste rivolte alla cura della salute con rimedi naturali complementari alla medicina). Le diete vegetariane sono costituite da alimenti per lo più vegetali, con restrizioni dello spettro alimentare che possono spaziare dall'esclusione di particolari tipi di carni fino a quella di qualsiasi alimento animale. La forma più diffusa di vegetarismo è il latte-ovo-vegetarismo, che esclude qualsiasi alimento derivante dalla diretta uccisione di esseri viventi quindi carne, prodotti ittici (pesce e frutti di mare) e insetti, non esclude invece il consumo di latte, uova ed altri derivati animali. Tra le pratiche vegetariane vale la pena citare il latte-vegetarismo che esclude anche in consumo di uova, viceversa l'ovo-vegetarismo non esclude le uova bensì i prodotti lattiero-caseari. Molto diffuso è anche il pesce-vegetarismo, uno stile alimentare vegetariano che esclude le carni ma non i prodotti ittici, senza vincoli invece sul consumo di prodotti lattiero-caseari o uova (anche se comunemente in una dieta pesce-vegetariana vengono consumati entrambi). Il vegetalismo rappresenta una dieta vegetariana esclusivamente vegetale, un regime che esclude qualsiasi alimento animale, mentre il veganismo è un completo stile di vita basato sul rifiuto di qualsiasi forma di sfruttamento animale. All'interno del contesto alimentare vegetalismo, veganismo e dieta vegan rappresentano tutti un regime alimentare esclusivamente vegetale, più brevemente una dieta vegetale. Va detto che esistono molti altri stili alimentari (anche vegetariani) che non sono stati menzionati, poiché in questo contesto non ricoprono la medesima importanza ecologica. Tuttavia se le forme di vegetarismo citate destano sempre più interesse in termini di sicurezza alimentare sostenibile, di per sé non rappresentano necessariamente una scelta razionale e nutrizionalmente adeguata. In ambito scientifico per plant-based diet (traducibile come dieta basata sulle piante) si intende una dieta vegetariana lontana da presupposti etici o religiosi bensì strettamente basata su principi di tipo nutrizionale. Nelle diete plant-based è sconsigliato il consumo di prodotti animali ma anche quello di cibi trasformati e l'utilizzo di cotture aggressive, in favore di alimenti vegetali e integrali. Vi sono evidenti differenze nutrizionali tra le varie diete vegetariane, così come interessanti variazioni sull'impatto ambientale che presentano tuttavia sempre un certo grado di sovrapposibilità. A ragion di ciò scienziati di tutto il mondo, istituzioni e organizzazioni internazionali concordano che l'esclusione parziale o totale dei prodotti animali dalla dieta rappresenta un'efficace strategia di mitigazione dell'impatto antropico.

A fronte della crescita demografica verso la quale l'uomo va incontro aumenterà anche il consumo globale di prodotti animali incrementando sensibilmente l'impatto ambientale del settore agricolo.

Secondo l'UNEP tale impatto sarà mitigabile in modo consistente unicamente attraverso un cambiamento sostanziale delle abitudini alimentari in tutto il mondo, mediante l'adozione di diete lontane da prodotti animali.[133] Secondo la stessa nutrition ecology un regime alimentare in grado di soddisfare i requisiti di sicurezza alimentare sostenibile dovrebbe basarsi (seguendo il corso dell'intero ciclo di vita) sul consumo di prodotti prevalentemente vegetali e provenienti da agricoltura biologica, ma anche locali e di stagione, minimamente trasformati, confezionati ecologicamente, commercializzati in modo equo e solidale, e infine preparati con gusto. Una dieta costruita su tali principi possiede una solida base scientifica e rappresenta una soluzione praticabile, sana e altamente sostenibile, socialmente accettabile, economicamente fattibile e culturalmente desiderata. In questo contesto la ricerca scientifica mostra che uno stile alimentare vegetariano può essere una valida soluzione ai problemi causati dal settore zootecnico. Le diete vegetariane sono particolarmente adatte a soddisfare i requisiti di sicurezza alimentare sostenibile, poiché si sono dimostrate in grado di coprire le esigenze nutrizionali e di ridurre l'impatto ambientale (compreso l'inquinamento e gli effetti del riscaldamento climatico) legato al settore agroalimentare, limitandone anche i danni economici e sociali. Una dieta vegetariana è particolarmente salutare e sostenibile quando è basata su di alimenti biologici, freschi, prodotti localmente e di stagione, consumati in parte a crudo ed evitando quelli trasformati e confezionati.[132] È anche interessante considerare questo: l'impatto che ognuno di noi, quali consumatori, esercita individualmente sull'ambiente, consiste principalmente nel consumo di prodotti agroalimentari, nel consumo domestico di energia e nell'utilizzo dei trasporti. Tuttavia la più grande opportunità di poterlo ridurre significativamente è rappresentata dalle nostre scelte alimentari quotidiane, poiché queste hanno il più alto grado di libertà e sono immuni da effetti che potrebbero delimitarle nel lungo termine.[134] Per comprendere tale affermazione, risulta utile mettere in prospettiva l'efficacia di mitigazione delle emissioni di gas serra in atmosfera attraverso l'astensione al consumo di prodotti animali, ed in particolare di carne.

Se nei Paesi Bassi tutti rinunciassero al consumo di carne per un solo giorno alla settimana, in un anno vi sarebbe un risparmio di emissioni gas serra pari a 3 Mt (milioni di tonnellate) di CO<sub>2</sub> equivalente, un effetto ottenibile escludendo 1.25 milioni di automobili dal traffico del paese per tutto l'anno. Se l'astensione al consumo di carne fosse estesa a 5 giorni alla settimana si otterrebbe un risparmio di 15 Mt di CO<sub>2</sub>e, una quantità di emissioni gas serra maggiore di quella emessa da 20 milioni di voli aerei di andata e ritorno Amsterdam – Nizza. Escludendo la carne dai menù per un'intera settimana si otterrebbe invece un risparmio di gas serra (21 Mt di CO<sub>2</sub>e) addirittura maggiore di quello che si potrebbe raggiungere con la sospensione dell'intero traffico di automobili nel paese. Analogamente, la quantità di emissioni gas serra che si risparmierebbe nel Regno Unito rinunciando al consumo di carne per un solo giorno (11 Mt) sarebbe maggiore di quella emessa da un milione di voli di andata e ritorno Londra – Sydney, ma anche maggiore di quella prodotta dall'intero settore pubblico del paese. Se invece si rinunciassero al consumo di carne per 5 giorni alla settimana, vi sarebbe un risparmio di emissioni gas serra (55 Mt) maggiore di quello ottenibile con la sospensione della circolazione di tutte le autovetture del paese, ed equivalente a più della metà di tutte le emissioni provenienti dall'intero settore dei trasporti del Regno Unito. Anche in Germania vi sarebbero risultati interessanti, poiché basterebbe evitare il consumo di carne un solo giorno alla settimana per risparmiare una quantità di emissioni di gas serra (15 Mt) maggiore di quella prodotta da 3 milioni di BMW (serie 316d) che percorrono l'intera circonferenza

del pianeta, un risparmio pari a quello che si otterrebbe sostituendo un miliardo di tradizionali lampadine a incandescenza con quelle a basso consumo. Eliminando la carne dal menù per 2 giorni alla settimana sarebbe possibile risparmiare l'emissione di una quantità di gas serra (30 Mt) pari a quasi 30 milioni di voli di andata e ritorno Berlino – Ibiza, oppure di una quantità maggiore di tutte le emissioni prodotte dall'intera area Metropolitana di Berlino. Se l'astensione al consumo di carne si potesse estendere a 5 giorni alla settimana si risparmierebbe una quantità di emissioni gas serra (75 Mt) maggiore di quella raggiungibile se 7.5 milioni di tedeschi decidessero di ridurre a zero il proprio impatto climatico oppure dimezzando le emissioni dell'intero settore dei trasporti del paese. In Brasile invece, un giorno alla settimana senza carne avrebbe un effetto equivalente alla sostituzione di 18 miliardi di lampadine a incandescenza con quelle a basso consumo (un risparmio di 36 Mt di CO<sub>2</sub>e). Due giorni alla settimana senza carne in Brasile comporterebbero il risparmio di una quantità di gas serra (72 Mt) di quasi 12 milioni di voli di andata e ritorno Amsterdam – Rio de Janeiro. Se tutti i menù non includessero la carne per 5 giorni alla settimana vi sarebbe un risparmio di emissioni gas serra (180 Mt) pari a quello raggiungibile alimentando l'intero settore dei trasporti brasiliano (compresa l'aviazione domestica) esclusivamente ad energia pulita, un risparmio maggiore degli obiettivi di riduzione delle emissioni fissati per il 2020 dal governo brasiliano. Se vi fosse la completa astensione al consumo di carne per l'intera settimana invece, il risparmio (252 Mt) sarebbe maggiore di quello ottenibile dimezzando tutte le emissioni di gas serra legate alla deforestazione dell'Amazzonia. Negli Stati Uniti un solo giorno alla settimana senza carne consentirebbe in un anno la mitigazione di una quantità di emissioni gas serra (79 Mt) maggiore di quella prodotta ogni anno dalla città di New York, maggiore anche di quella prodotta dall'intero Stato della Carolina del Sud in un anno intero. Se tutti gli americani evitassero il consumo di carne per 4 giorni alla settimana si risparmierebbe in un anno una quantità di emissioni gas serra (316 Mt) equivalente ad oltre 150 milioni di voli di andata e ritorno New York – Los Angeles. Con 5 giorni alla settimana senza carne si raggiungerebbe oltre il 70% (395 Mt) degli obiettivi di riduzione delle emissioni gas serra stabiliti per il 2020 dall'amministrazione Obama. Se si rinunciassero al consumo di carne per 6 giorni alla settimana si risparmierebbe una quantità di emissioni gas serra (474 Mt) maggiore di quella prodotta ogni anno dall'intero Stato della California, un risparmio raggiungibile se 10 milioni di famiglie americane riducessero a zero il loro impatto climatico. Infine se negli Stati Uniti si adottasse una dieta latte-ovo-vegetariana 7 giorni su 7, in un anno si risparmierebbe una quantità di emissioni gas serra (553 Mt) addirittura maggiore di quella prodotta da tutte le 111 milioni di autovetture presenti sulle strade del paese. Al contrario se in India (un paese in cui il vegetarianismo è assai diffuso) tutti adottassero la dieta media tedesca per un solo giorno alla settimana, in un anno vi sarebbe un aumento di 209 Mt di CO<sub>2</sub>e, una quantità di emissioni gas serra di per sé maggiore di quella prodotta dai Paesi Bassi in un intero anno. Similmente, adottando la dieta media tedesca per 3 giorni alla settimana vi sarebbe un surplus di emissioni gas serra (627 Mt) maggiore delle emissioni prodotte in Australia, ed estendendo tale dieta a 4 giorni alla settimana si registrerebbe in un anno un aumento di emissioni (836 Mt) maggiore di tutte le emissioni gas serra prodotte in Germania. In India se tutti seguissero la dieta media tedesca per 6 giorni alla settimana vi sarebbe un aumento delle emissioni (1256 Mt) che da solo supera quelle del Giappone, e se tale dieta fosse estesa all'intera settimana, in un anno produrrebbe una quantità di emissioni gas serra (1463 Mt) maggiore di quella del Brasile, includendo anche le emissioni legate alla deforestazione della regione amazzonica. Va ricordato che secondo alcuni scienziati le stime FAO sulle emissioni antropogeniche di gas serra, su cui si basano le proiezioni appena esposte, sono troppo conservatrici e

sottostimano il ruolo degli allevamenti sull'impatto climatico.[135] Un altro aspetto legato all'ecosostenibilità dello stile alimentare è il consumo di prodotti agroalimentari locali, acquistabili cioè presso la medesima zona di produzione. Uno stile alimentare basato quanto più possibile sul consumo di prodotti locali risulta ecologicamente vantaggioso poiché si riducono le distanze geografiche tra produttore e consumatore, e di conseguenza anche le emissioni di gas serra dovute al trasporto su lunghe distanze. Nel tentativo di quantificarne i benefici ecologici, un interessante studio mostra che negli Stati Uniti le emissioni di gas serra dei prodotti agroalimentari consumati da una tipica famiglia americana, sono mediamente attribuibili per l'83% alla fase di produzione, per il 5% alle attività di vendita all'ingrosso e al dettaglio ed infine per l'11% all'insieme di tutte le attività di trasporto. Queste ultime, in particolare, sono costituite sia dall'insieme dei trasporti lungo la filiera che contribuisce per il 7% di tutte le emissioni legate al prodotto agroalimentare, sia dall'insieme dei trasporti di distribuzione (cioè quelli che percorrono il tragitto per la consegna tra la filiera fino al punto vendita) che contribuisce solamente per il 4% del totale. In questo contesto l'influenza che il consumo di prodotti locali esercita sulla riduzione delle emissioni gas serra è chiaramente limitata, poiché consiste unicamente nella riduzione delle distanze legate alla fase di distribuzione del prodotto. Pertanto una famiglia americana media che decide di nutrirsi per un anno intero di soli prodotti locali, può ridurre l'emissione di gas serra del 4-5% al massimo. Traducendo ciò in miglia alimentari, cioè nella distanza che i prodotti agroalimentari percorrerebbero a bordo di un'automobile che consuma 9.4 litri di benzina ogni 100 km (media statunitense), la riduzione delle emissioni di gas serra della sopracitata famiglia equivarrebbe ad una distanza percorsa di 1600 km nell'arco di un anno. Se nello stesso arco di tempo la medesima famiglia decidesse invece di restringere il proprio spettro alimentare, sostituendo (a parità di calorie) per un solo giorno alla settimana il consumo di carne rossa e prodotti lattiero-caseari con pollo, pesce e uova, la riduzione delle emissioni di gas serra sarebbe pari ad una distanza percorsa di 1230 km, e di 8590 km se tale scelta venisse seguita tutti i giorni dell'anno. Infine se anziché supplire le calorie della carne rossa con quelle di altri prodotti animali, nell'arco di un anno la stessa famiglia decidesse di eliminare per un solo giorno settimanale qualsiasi prodotto animale e adottare un regime vegetale (del medesimo tenore calorico), l'effetto ecologico sarebbe già di per sé maggiore di quello si potrebbe ottenere consumando solamente prodotti locali tutti i giorni dell'anno. <sarebbe un risparmio di emissioni gas serra pari a ben 1860 km in termini di miglia alimentari, e diverrebbe di circa 13mila km se la dieta vegetale fosse adottata tutti i giorni dell'anno, un impatto oltre 8 volte minore rispetto a quello di una famiglia americana media che decide di consumare solo prodotti locali senza tuttavia ridurre il consumo di prodotti animali.[134] Sebbene l'emissione di gas serra sia solamente uno dei numerosi impatti ambientali da considerare, in questo contesto va notato che il calcolo delle miglia alimentari è nato allo scopo di sensibilizzare i consumatori e non rappresenta un modello esaustivo, tra i vari limiti non contempla le modalità di trasporto, dalle quali dipendono tuttavia sostanziali differenze nell'emissione di gas serra. Vi è poi un altro interessante aspetto ecologico che si rischia di non considerare nel contesto delle miglia alimentari, quello della stagionalità. Tra i consumatori è ancora ben diffusa l'idea che acquistare solo frutta e verdura di stagione produca benefici ambientali maggiori di quelli legati alle riduzioni nel consumo di carne. Eppure confrontando l'efficacia ecologica di differenti strategie alimentari tra cui ridurre gli sprechi, adottare una dieta vegetariana, consumare solamente prodotti biologici, consumare solo alimenti stagionali oppure solo alimenti locali, è risulta che una dieta stagionale è la strategia meno efficace. In termini di inquinamento ed utilizzo di risorse, la coltivazione

locale non stagionale può essere meno ecologica della stagionalità globale, cioè dell'esportazione di prodotti agroalimentari da paesi nei quali sono stati coltivati di stagione. Basti pensare che una produzione agroalimentare seppur locale ma fuori stagione, può richiedere ambienti artificialmente riscaldati e illuminati (le serre). Ciò si traduce in un sostanziale impiego di risorse energetiche quindi un'emissione di gas serra tale da risultare talvolta maggiore di quella dovuta all'importazione (cioè al trasporto) da paesi nei quali la stagionalità viene rispettata. Vi sono in ogni caso da considerare anche i consumi energetici (quindi le emissioni) legati alla fase di stoccaggio e confezionamento di tutti i prodotti agroalimentari che non vengono consumati nella stessa zona né stagione di produzione (ambienti ad atmosfera controllata, surgelazione, cibo in scatola, etc.). In questo contesto, la strategia maggiormente ecologica è sicuramente la stagionalità locale, cioè la produzione ed il consumo di prodotti agroalimentari nella loro stagione naturale (quindi consumo di prodotti freschi non conservati) e nella medesima zona climatica (il consumo di prodotti locali), poiché non comporta flussi di importazione ed esportazione e non necessità di ambienti artificiali né per la coltivazione né per lo stoccaggio e la conservazione. I vantaggi ecologici della stagionalità locale sulla stagionalità globale non riguardano solamente il minor impiego di risorse ambientali come quelle idriche e territoriali, ma anche una minor perdita di biodiversità. Risulta comunque riduttivo considerarne solamente i benefici ecologici, poiché è necessario valutare anche gli aspetti economici, sociali e non di meno quelli nutrizionali. La varietà di alimenti di una dieta localmente stagionale è strettamente limitata dai fattori locali tra cui clima e fertilità dei terreni, ciò può tradursi in un minor consumo di frutta e verdura rispetto ad una dieta globalmente stagionale.[136]

Un ulteriore aspetto ecologico riguarda i metodi di produzione: è senz'altro nota ed indiscussa la superiorità ecologica dei prodotti agroalimentari da agricoltura biologica (metodo di coltivazione e allevamento basato sull'utilizzo di sostanze naturali, cioè non di sintesi) rispetto quelli da agricoltura convenzionale. Si necessita in questa sede di evidenziare in che misura i metodi di produzione possono influenzare l'impatto ambientale delle diete.

In uno studio basato sulla produzione e sul consumo agroalimentare in Germania, paese nel quale l'agricoltura è responsabile di un'emissione di gas serra quasi al pari di quella del traffico stradale, sono state calcolate le miglia alimentari percorse da un'automobile BMW serie 188d (119 g CO<sub>2</sub>/km) in base alle emissioni di gas serra di differenti diete e metodi di produzione. La dieta onnivora media di un tedesco, in un anno produce una quantità di emissioni pari a 4758 km percorsi se i prodotti derivano da agricoltura convenzionale, e 4377 km se viceversa derivano da agricoltura biologica, confermando la superiorità ecologica del biologico. Tuttavia si può raggiungere un livello di emissioni gas serra persino inferiore, pari cioè a 4209 km, semplicemente sostituendo il manzo con il maiale in una dieta onnivora rigorosamente basata su prodotti da agricoltura convenzionale. Inoltre se tutte le carni vengono escluse dallo spettro alimentare, le emissioni di siffatto regime latte-ovo-vegetariano risultano pari ad addirittura 2427 km se questo è basato sull'agricoltura convenzionale e 1978 km se i prodotti sono invece biologici. Se oltre alle carni si escludono anche i prodotti lattiero-caseari, tale regime ovo-vegetariano ha un impatto equivalente a 629 km se la dieta è basata sull'agricoltura convenzionale e di soli 281 km se i prodotti provengono invece da agricoltura biologica. Sebbene si tratti di miglia alimentari di diete basate sulla media tedesca e non su linee guida nutrizionali né modelli dietetici

ottimali, è importante evidenziare che il fattore più influente sulla riduzione delle emissioni gas serra è il consumo di prodotti animali piuttosto che la scelta del biologico, e che il modo più efficace per ridurre le emissioni è l'avvicinamento ad una dieta quanto più vegetale.[137] A confermare l'influenza marginale dei metodi di produzione sull'impatto ecologico rispetto alla presenza di prodotti animali nella dieta, un interessante studio ha confrontato la sostenibilità degli stili alimentari in base a numerosi tipi di impatto ambientale. A questo scopo è stato confrontato uno scenario reale, rappresentato dalla dieta media italiana (un regime ipercalorico, nutrizionalmente sbilanciato e costituito di alimenti da agricoltura convenzionale) con altri 6 diversi stili alimentari (ben bilanciati e nutrizionalmente equivalenti tra loro) che si differenziano sia per lo spettro alimentare, cioè onnivoro, latte-ovo-vegetariano e vegetale, che nel metodo di produzione, cioè biologico e convenzionale, per un confronto totale tra 7 differenti diete. Il loro impatto ambientale è stato calcolato in base all'intero ciclo di vita delle produzioni agroalimentari che le compongono, che va dall'estrazione e la trasformazione delle materie prime, quindi la produzione, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo ed il riutilizzo, il riciclaggio e lo smaltimento finale. I singoli impatti ambientali presi in considerazione sono i danni alla qualità degli ecosistemi come l'ecotossicità (intesa come misura dello stress tossico sull'ambiente), l'acidificazione e l'eutrofizzazione, i danni alle risorse naturali come l'utilizzo delle risorse primarie (tra cui acqua e minerali) e dei carburanti, ed infine i danni alla salute umana (a seguito dell'impatto ambientale) come la diffusione di sostanze che inficiano sulla nostra respirazione quali composti organici e inorganici, gli effetti carcinogenici, i danni derivanti dai cambiamenti climatici, dalla riduzione dell'ozonosfera e da radiazioni ionizzanti. I risultati emersi da tale confronto sono essenzialmente tre; la dieta italiana media (come prevedibile) è quella con il maggiore impatto ambientale totale. Tra le altre 6 diete considerate, un consumo di prodotti da sola agricoltura biologica rispetto che da sola agricoltura convenzionale determina, all'interno dello stesso spettro alimentare (cioè a pari presenza di prodotti animali), l'impatto ambientale minore. Infine è emerso che il fattore ecologicamente determinante su tutti è il consumo di prodotti animali. Il maggiore impatto ambientale complessivo viene raggiunto nelle diete il cui spettro alimentare include prodotti animali, viceversa il più basso si ottiene solamente con una dieta completamente vegetale. Ciò indipendente dai metodi di produzione considerati, infatti basti pensare che il solo impatto ambientale dei rifiuti animali generati dagli allevamenti da agricoltura biologica è paragonabile a quello dei pesticidi e dei fertilizzanti utilizzati nell'agricoltura convenzionale. Nel dettaglio, la dieta media italiana ha un impatto 2.5 volte maggiore di quella onnivora basata sul consumo di prodotti da agricoltura convenzionale, ed addirittura quasi 4.3 volte maggiore se quella onnivora è basata invece sul consumo di prodotti biologici. Questo mette in evidenza l'importanza ecologica dell'agricoltura biologica: la differenza di impatto ambientale che intercorre tra una dieta onnivora biologica e non è di quasi 1.7 volte, la differenza di impatto tra una dieta latte-ovo-vegetariana biologica e non è invece di 1.4 volte, e la medesima differenza intercorre tra una dieta vegetale biologica ed una vegetale ma non biologica. Tuttavia se si compara la differenza nell'impatto ambientale delle diete costituite di prodotti da agricoltura convenzionale e si mettono in evidenza le sole variazioni nel consumo di prodotti animali, risulta che l'impatto di una dieta onnivora è di circa 1.5 volte quello di una latte-ovo-vegetariana e circa 2.6 volte quello di una vegetale. Lo stesso trend si riflette nelle diete in cui si consumano solo prodotti biologici, poiché una dieta onnivora biologica mostra un impatto di circa 1.3 volte quello di una latte-ovo-vegetariana biologica e di circa 2.2 volte quello di una vegetale anch'essa biologica. Ciò sottolinea ancora una volta che, a livello di impatto ambientale, il consumo di prodotti animali è più influente del metodo di produzione. Questo è ancor più



evidente se si pensa che una dieta vegetale basata sul consumo di prodotti da agricoltura convenzionale impatta quasi 1.8 volte meno di una dieta latte-ovo-vegetariana costituita di soli prodotti biologici. Lo stesso vantaggio ecologico non esiste tra una dieta latte-ovo-vegetariana non biologica rispetto una onnivora biologica poiché quest'ultima, nonostante includa il consumo di carni animali, ha un impatto quasi 1.1 volte minore. I risultati di questo studio, totalmente in linea con altri studi che utilizzano modelli e fonti di dati differenti, mostra che una dieta a base di prodotti biologici produce interessanti benefici ecologici tuttavia trascurabili rispetto quelli derivanti dall'avvicinamento ad uno stile alimentare vegetale.[138] Vale la pena a questo punto approfondire la superiorità ecologica delle diete vegetali. In un altro importante studio viene effettuata un'analisi integrale dell'impatto ambientale di differenti diete, svincolata dai fattori geografici, dalle attività di trasporto e dai flussi di importazione ed esportazione. Lo studio considera l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita di produzioni agroalimentari provenienti da agricoltura intensiva e convenzionale (poiché è ancora il metodo di produzione più diffuso al mondo). In particolare viene confrontato l'impatto ambientale che avrebbe una singola persona se per un'intera settimana seguisse uno stile alimentare onnivoro, oppure uno latte-ovo-vegetariano o ancora uno vegetale. Inoltre, ognuno di questi è calcolato su 3 differenti introiti calorici: da 1600 kcal, da 2400 kcal, ed infine da 3200 kcal, per un totale di 9 differenti diete, tutte basate sulle raccomandazioni alimentari presenti nelle Linee Guida Dietetiche per gli Americani del 2010 rilasciate dall'USDA.[i] Gli impatti ambientali presi in considerazione costituiscono 46 differenti voci, e comprendono i danni alla qualità degli ecosistemi come l'ecotossicità, l'acidificazione e l'eutrofizzazione, i danni alle risorse cioè l'utilizzo di terre, acqua e carburanti, i danni alla salute umana a seguito dell'impatto ambientale come la diffusione di sostanze e composti organici e inorganici a danno della nostra respirazione, gli effetti carcinogenici, quelli legati ai cambiamenti climatici, alla riduzione dell'ozonofera ed alle radiazioni ionizzanti. Comprendono inoltre il consumo di energia e di materie prime, nonché il rilascio di rifiuti nell'ambiente, quindi i singoli impatti dovuti al rilascio di sostanze chimiche e composti nei suoli, nelle acque o in atmosfera tra cui azoto e fosforo inorganici, ossidi di azoto e di zolfo, ammoniaca, diossido di carbonio, metalli, polveri sottili e pesticidi, ed il loro impatto sul riscaldamento globale e sullo strato di ozono. I risultati di tale confronto mostrano che a parità di introito calorico tutti i singoli impatti ambientali considerati risultano minori nelle diete vegetali e maggiori in quelle onnivore. L'unica eccezione sembra rappresentata dall'indice di impatto inquinante dei pesticidi sui suoli calcolato con il metodo di valutazione degli impatti Swiss Ecopoints 1997. Si tratta di un punteggio che sembra dipendere unicamente dall'introito calorico delle diete e non dalle differenze nel consumo di prodotti animali, poiché a parità di introito calorico risulta identico sia per le diete onnivore che per quelle latte-ovo-vegetariane e vegetali. Tuttavia questo è il risultato di approssimazioni o normalizzazioni prodotte dallo Swiss Ecopoints 1997, ma è in sostanza irrealistico anche per il solo fatto che l'energia contenuta in un prodotto animale è necessariamente minore di tutta quella contenuta nei mangimi necessari a produrlo. In questo contesto il punteggio di tossicità dei suoli per l'uomo, calcolato per mezzo del metodo EDIP, risulta indubbiamente più verosimile. Quest'ultimo punteggio evidenzia che l'aumento di sostanze tossiche ed inquinanti nei terreni tra cui (nell'ambito dell'agricoltura convenzionale) i pesticidi, dipende sia dall'introito calorico della dieta che dalle differenze nel consumo di prodotti animali, con un impatto minore nelle diete vegetali viceversa maggiore in quelle onnivore. È inoltre degno di nota che la maggior parte dei singoli impatti ambientali (compresa la summenzionata tossicità dei suoli per l'uomo) risulta persino minore nella dieta vegetale con un introito calorico di 3200

kcal che nella latte-ovo-vegetariana da 1600 kcal, e pure che buona parte degli impatti della dieta latte-ovo-vegetariana da 3200 kcal risulta minore rispetto a quelli della dieta onnivora da 2400 kcal o anche 1600 kcal. Di seguito si pone in evidenza la forte superiorità ecologica della dieta vegetale rispetto quella latte-ovo-vegetariana e quella onnivora. Solo per citare alcuni risultati dello studio, l'impatto idrico e territoriale (combinato) della dieta vegetale da 3200 kcal risulta circa del 69% minore di quello della dieta latte-ovo-vegetariana da 1600 kcal e del 232% minore della dieta onnivora da 1600 kcal. L'impatto dei combustibili fossili della dieta vegetale più calorica (da 3200 kcal) risulta del 165% circa minore di quello della latte-ovo-vegetariana meno calorica (da 1600 kcal), e del 187% minore di quello della onnivora anch'essa meno calorica. L'impatto energetico della dieta vegetale più calorica è del 147% circa minore di quello legato alla dieta latte-ovo-vegetariana meno calorica e circa del 169% minore di quello legato alla dieta onnivora meno calorica. L'impatto sul riscaldamento globale (calcolato sui 100 anni) della dieta vegetale più calorica è dell'89% minore di quello della latte-ovo-vegetariana meno calorica, e circa del 154% minore di quella onnivora meno calorica. Tra la dieta vegetale e quella latte-ovo-vegetariana, entrambe da 1600 kcal, l'impatto dell'emissione di azoto inorganico è del 26% minore, e circa 142% minore tra la dieta vegetale più calorica e quella onnivora meno calorica. Tra la dieta vegetale e quella latte-ovo-vegetariana, entrambe da 1600 kcal, l'impatto dell'emissione di fosforo inorganico è circa del 30% minore, così come tra la dieta vegetale più calorica e quella onnivora meno calorica. L'impatto della formazione di ossidi di azoto legato alla dieta vegetale più calorica è del 26% minore di quello legata alla latte-ovo-vegetariana meno calorica, e circa del 54% minore di quella onnivora meno calorica. Tra la dieta vegetale e quella latte-ovo-vegetariana, entrambe da 1600 kcal, l'impatto del rilascio di ammoniaca è circa del 41% minore, e circa del 105% minore tra la dieta vegetale più calorica e quella onnivora meno calorica. Infine vale la pena citare che gli effetti carcinogenici legati all'impatto ambientale della dieta vegetale più calorica sono del 266% minori di quelli della latte-ovo-vegetariana meno calorica, e del 347% minori di quella onnivora meno calorica. L'impatto ambientale medio complessivo delle diete vegetali risulta 3 volte minore di quello delle diete latte-ovo-vegetariane e 4.7 volte minore di quelle onnivore. Eppure le diete prese in considerazione derivano dalle raccomandazioni alimentari dell'USDA e sono basate principalmente sul consumo di prodotti vegetali. Ciò significa che anche un limitato incremento nel consumo di prodotti animali può aumentare considerevolmente l'impatto ambientale della dieta, tale da causare in questo contesto una differenza di impatto maggiore tra dieta vegetale e latte-ovo-vegetariana che tra quest'ultima e quella onnivora. Le diete considerate nello studio posseggono, a parità di introito calorico, l'81% (in peso) di alimenti in comune (cioè quelli vegetali), quindi la grande differenza negli impatti è legata a quel 19% di alimenti che non è invece condiviso. Tale quota è rappresentata da alimenti vegetali nelle diete vegetali, da uova e prodotti lattiero-caseari in quelle latte-ovo-vegetariane e da uova, prodotti lattiero-caseari, carne e pesce nelle diete onnivore. Si rivela estremamente utile trascurare quell'81% di alimenti in comune tra tutte le diete e confrontare solamente le differenze di impatto legate al restante 19% di alimenti che non sono condivisi: una quota apparentemente irrilevante ma che nella dieta onnivora è responsabile dal 73% all'83% dell'impatto ambientale. Considerando un introito calorico di 2400 kcal (quello medio), nella dieta vegetale la porzione non condivisa di alimenti impatta 9.2 volte meno che nella dieta latte-ovo-vegetariana, e 17.3 volte meno che in quella onnivora, ed in tale ottica alcuni dei singoli impatti summenzionati assumono una rilevanza sensibilmente maggiore. Pertanto si considerino di seguito gli impatti della sola porzione di alimenti non condivisi tra le diete con introito calorico medio

(2400 kcal). L'impatto idrico e territoriale (combinato) della dieta vegetale risulta circa del 547% minore rispetto quello della latte-ovo-vegetariana, e lo stesso impatto risulta nella latte-ovo-vegetariana circa del 144% inferiore rispetto che nella dieta onnivora. L'impatto dei combustibili fossili della dieta vegetale risulta circa del 2668% minore rispetto quello della latte-ovo-vegetariana, e quasi del 13% inferiore tra questa e la dieta onnivora. Nella dieta vegetale l'impatto energetico è quasi del 2428% minore di quello della latte-ovo-vegetariana, e del 13% circa inferiore tra questa e la dieta onnivora. L'impatto sul riscaldamento globale (calcolato sui 100 anni) risulta invece circa del 857% minore nella dieta vegetale rispetto che in quella latte-ovo-vegetariana, e quasi il 55% inferiore tra questa e quella onnivora. L'impatto della formazione di ossidi di azoto della dieta vegetale è quasi del 634% minore rispetto quello della latte-ovo-vegetariana, e del 43% minore tra quest'ultima e la dieta onnivora. Nella dieta vegetale gli effetti carcinogenici legati all'impatto ambientale sono del 1415% minori che nella latte-ovo-vegetariana, e tra questa e quella onnivora quasi del 31% inferiori. Vi sono però anche impatti la cui differenza è maggiore tra la dieta latte-ovo-vegetariana e quella onnivora che tra la latte-ovo-vegetariana e la dieta vegetale. Infatti, considerando sempre la sola porzione di alimenti non condivisi tra le diete con introito calorico medio (2400 kcal), l'impatto dell'emissione di azoto inorganico della dieta vegetale è circa del 68% minore di quello della latte-ovo-vegetariana, e del 687% circa minore tra questa e la dieta onnivora. Similmente, l'impatto dell'emissione di fosforo inorganico della dieta vegetale è circa del 131% minore rispetto che nella latte-ovo-vegetariana, mentre tra questa e quella onnivora lo stesso impatto è del 311% circa inferiore. Oppure anche l'impatto del rilascio di ammoniaca, che nella dieta vegetale è quasi del 178% minore rispetto a quello della latte-ovo-vegetariana, ma quasi del 503% inferiore tra quest'ultima e la dieta onnivora. Tuttavia nel complesso il divario di impatto maggiore rimane tra la dieta vegetale e quella latte-ovo-vegetariana. Appare evidente che il consumo di prodotti animali sia il fattore più influente sull'impatto ambientale di qualsiasi altro aspetto ecologico dello stile alimentare. C'è da sottolineare che in questo studio gli impatti ambientali sono stimati a partire dai modelli dietetici raccomandati dall'USDA, modelli basati principalmente sul consumo di alimenti vegetali e molto limitati nel consumo di prodotti animali. Tuttavia nella maggioranza delle diete latte-ovo-vegetariane ed onnivore condotte nei paesi industrializzati il consumo di prodotti animali è ben maggiore, e ciò accentua sensibilmente il divario tra gli impatti presentati in questo studio. Si sente la necessità di un cambiamento globale verso diete vegetali.[139]

[i] Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America, [United States Department of Agriculture (USDA)], <https://www.usda.gov/>

L'ottava ed ultima edizione (2015-2020) delle Linee Guida Dietetiche per gli Americani pubblicata nel 2015 dall'HHS [i] e dall'USDA è basata su di un vasto corpus di prove scientifiche (sia in materia nutrizionale che ambientale) presentato in un report redatto nel 2015 dal DGAC.[ii] In tale report il DGAC espone, tra le altre cose, un importante lavoro di revisione sistematica di 15 studi condotti tra il 2003 e il 2014 che mettono in evidenza differenti tipi di impatto ambientale, tra cui le emissioni di gas serra e l'utilizzo di risorse territoriali, idriche ed energetiche di numerose strategie alimentari. Esse spaziano da un regime vegetale ad uno onnivoro e includono diverse diete vegetariane, la dieta mediterranea e varie diete basate su linee guida alimentari nazionali. Si tratta di studi svolti sia a livello globale che su scala nazionale, ed in particolare in paesi industrializzati come gli USA, il Regno Unito, la Germania, i Paesi

Bassi, ma anche Francia, Italia, Spagna, Brasile, Australia e Nuova Zelanda. Le conclusioni del DGAC sono perfettamente in linea con quanto già esposto in questa sede: benché diminuendo il consumo di quegli alimenti superflui come snack, dolci e merendine si possa incidere positivamente sull'ambiente (e sulla salute), tutti gli studi analizzati condividono pienamente il trend secondo cui a parità di calorie un maggior consumo di prodotti animali è associato ad un maggior impatto ambientale ed un maggior consumo di alimenti vegetali (frutta e verdura, semi, frutta secca a guscio, cereali e legumi) ad un impatto ambientale minore. Da questo lavoro emerge un altro importante dato: le diete più ecologiche sono anche quelle più sane e salutari. Quanto esposto supporta pienamente quella sinergia in termini di salute e sostenibilità ambientale che esiste tra le diete vegetariane (che comprendono anche la dieta vegetale), la dieta mediterranea e le varie diete basate su linee guida alimentari nazionali, poiché sono tutte strategie alimentari che promuovono riduzioni del consumo di carne e di prodotti lattiero-caseari, così come di alimenti superflui come snack, dolci, merendine e bevande, ed in generale una riduzione del consumo complessivo di alimenti.[140] In un più ampio e recente lavoro di revisione sistematica sono stati confrontati i benefici per l'ambiente di un allontanamento dalle tipiche abitudini alimentari occidentali (la cosiddetta dieta americana standard) verso diete maggiormente sostenibili. A tal scopo sono state confrontate ben 14 differenti strategie alimentari considerate sostenibili, tra cui la dieta mediterranea e quella nordica, le strategie alimentari suggerite nelle linee guida nazionali per la salute, varie diete vegetariane compresa quella pesco-vegetariana e quella vegetale, e varie combinazioni come la sostituzione di carne di ruminanti (animali da pascolo) con quella di animali monogastrici, oppure sia di carne di ruminanti che di prodotti lattiero-caseari (giacché sempre dai ruminanti provengono) con carne di monogastrici, oppure anche la riduzione del consumo di carne in favore di prodotti lattiero-caseari o di alimenti vegetali e la riduzione sia di carne che di prodotti lattiero-caseari in favore di alimenti vegetali. Sulla base di ben 63 studi scientifici sono stati ricavati un totale di 210 scenari di impatto ambientale di emissioni gas serra, dell'utilizzo di terre e di impronta idrica: di questi uno si basa su di uno scenario urbano in un paese in via di sviluppo (medio reddito pro capite), 204 si svolgono in scenari a livello nazionale in paesi industrializzati (ad alto reddito pro capite) e 5 a livello globale. I risultati ottenuti mostrano che adottare diete vegetali è la strategia più efficace per ridurre sia l'impatto ambientale legato alle emissioni di gas serra che quello dell'utilizzo di territori, e che l'impronta idrica minore si ottiene sì grazie alle diete vegetariane (in primis quelle che escludono il consumo di pesce) ma non per mezzo di una strategia alimentare vegetale, che al contrario sembra essere quella con l'impronta idrica maggiore. C'è da precisare a questo proposito, che se in termini di emissioni gas serra e impronta territoriale i benefici dello stile alimentare vegetale mostrati in questo lavoro siano del tutto in linea con quelli già discussi in questa sede, l'impronta idrica appare invece anomala. Per comprenderne i motivi è necessario precisare che un limite di tale revisione sistematica è la distribuzione degli scenari esaminati: di 210 scenari, 124 considerano l'impatto ambientale delle emissioni gas serra, 52 l'impronta territoriale e 34 l'impronta idrica. Di questi 34, lo scenario di impronta idrica della dieta vegetale si basa sui risultati di un solo studio.[141] Si tratta di uno studio che stima l'impatto ambientale della dieta media adottata in Germania e di 4 differenti strategie di mitigazione. Due di queste sono la dieta latte-ovo-vegetariana e quella vegetale entrambe basate sulle raccomandazioni alimentari presenti nelle Linee Guida Dietetiche per gli Americani del 2010 rilasciate dall'USDA, le altre due sono diete onnivore, cioè la dieta D-A-CH basata sulle raccomandazioni ufficiali del 2008 della German Nutrition Society e la dieta UGB basata sulle raccomandazioni alimentari del 2011 rilasciate dalla Federation for Independent

Health Consultation (e rispetto la D-A-CH favorisce maggiormente i legumi e la verdura alla carne). I risultati mostrano che la dieta vegetale (seguita da quella latte-ovo-vegetariana) risulta essere nettamente più ecologica in termini di riduzione delle emissioni di diossido di carbonio e di ammoniaca, sull'utilizzo di terre e di fosforo, e sul consumo di energia primaria. Tuttavia nei confronti dell'impronta idrica la dieta vegetale sembra essere, in questo studio, la meno ecologica tra tutte le strategie alimentari considerate, con un consumo di ben 58.8 m<sup>3</sup> pro capite annuali, rispetto a 52.5 m<sup>3</sup> della latte-ovo-vegetariana, 28.4 m<sup>3</sup> della dieta media tedesca, 20.9 m<sup>3</sup> della dieta D-A-CH e 20.8 m<sup>3</sup> della UGB. Va precisato però che l'impronta idrica considerata in tale studio non è quella complessiva (cioè la somma non ponderata dei contributi idrici verde, blu e grigio) bensì la sola impronta idrica blu ottenuta peraltro da una somma ponderata, giacché gli autori la reputano un indicatore sufficiente per mostrare in modo concreto lo stress idrico di una nazione.[142] A fronte di tale scelta occorre approfondire il ruolo dell'impronta idrica citando il suo stesso ideatore, Arjen Y. Hoekstra, Professore di Gestione idrica all'Università di Twente. Giacché l'acqua è una risorsa globale, uno dei fattori chiave del concetto di impronta idrica è quello di riuscire ad esprimere, da un punto di vista altrettanto globale, la disponibilità ed il depauperamento delle risorse idriche. In termini di allocazione ed esaurimento di acqua dolce dunque, l'impronta idrica verde e quella grigia hanno la medesima importanza di quella blu, poiché la disponibilità globale d'acqua dolce è rappresentata dalla somma non ponderata dei volumi d'acqua dolce contenuti nei diversi bacini idrografici del mondo. Nei confronti del depauperamento idrico globale non esiste nessuna ragione valida per non considerare l'utilizzo di acqua verde o grigia, tanto quanto non vi è ragione di considerare meno importante il consumo di acqua blu in zone di abbondanza idrica. Difatti a livello di depauperamento idrico globale ogni litro di acqua utilizzato ha la stessa importanza poiché ridurrà del medesimo volume l'acqua totale disponibile all'uomo per successivi utilizzi, a prescindere che si tratti di acqua verde o blu, oppure dall'entità del contributo di ogni singolo bacino idrografico o che provenga da zone di scarsità o ricchezza idrica. Nel momento in cui un litro di acqua verde o blu viene destinato ad essere utilizzato dall'uomo esso non sarà disponibile per la natura né per altri utilizzi: le impronte idriche verde e blu sono cioè direttamente sottratte dalla capacità idrica rimanente. Analogamente, nel momento in cui un'attività inquinante possiede un'impronta idrica grigia pari ad un litro, il medesimo volume d'acqua dolce è sottratto dalla capacità di assimilazione degli inquinanti rimasta per altre attività. Pertanto l'impronta idrica ponderata (ottenuta per mezzo della moltiplicazione con un fattore che esprime la scarsità idrica locale del bacino idrografico considerato) non solo manca di un'interpretazione fisica sensata e misurabile rispetto l'entità dei flussi idrici, ma va contro la logica stessa del concetto di impronta idrica come espressione del depauperamento idrico globale. Inoltre vi è da aggiungere che l'impronta idrica blu non può essere considerata indipendente da quella verde: l'acqua verde è una risorsa limitata ed esauribile, e la sua scarsità è fortemente connessa con la scarsità di acqua blu. Ciò è evidente se si pensa che la necessità di basarsi sull'agricoltura irrigua (l'utilizzo di acqua blu per irrigare i raccolti) esiste proprio perché l'agricoltura pluviale (basata unicamente sullo sfruttamento dell'acqua verde) può rivelarsi insufficiente a dare un buon raccolto laddove non vi sono abbastanza precipitazioni. È proprio l'insufficienza di acqua verde il motivo per cui l'agricoltura irrigua costituisce il più grande consumo globale di acqua blu e quindi la principale causa della sua scarsità. Solo considerando tutte le forme di disponibilità e consumo d'acqua dolce è possibile ottenere un quadro completo ed esaustivo del depauperamento idrico. Più precisamente, la somma non ponderata di tutte le forme di utilizzo e di inquinamento dell'acqua dolce (impronta idrica verde, blu e grigia) si rivela

l'unico metodo coerente ed affidabile per ottenere un quadro globale e completo del depauperamento idrico.[143,144] In questa sede è stato già evidenziato come in termini di risorse idriche si rivela maggiormente efficiente ottenere calorie, proteine e grassi attraverso il consumo di prodotti vegetali anziché animali, giacché l'impronta idrica complessiva (ottenibile cioè con la somma non ponderata dei contributi verde, blu e grigio) di qualsiasi prodotto animale è più grande di quella dei prodotti vegetali dal profilo nutrizionale equivalente. Vi è da aggiungere che il divario (cioè la differenza aritmetica) tra l'impronta idrica complessiva e la sola impronta idrica blu (che equivale anche alla somma dell'impronta verde con quella grigia) è maggiormente significativo per i prodotti animali che per quelli vegetali nutrizionalmente equivalenti.[117] Pertanto i risultati che si ottengono confrontando la sola impronta idrica blu delle diete sono del tutto in linea con quanto già esposto, e in ogni caso le diete vegetariane (ed in particolar modo quella vegetale) hanno un'impronta idrica complessiva sempre minore di quelle onnivore (nutrizionalmente equivalenti). Tale affermazione è suffragata da una vasta letteratura scientifica: vale senz'altro la pena citare tre differenti studi basati sullo scenario europeo.

Nel primo studio viene considerata l'Unione europea nel suo insieme, dove l'impronta idrica complessiva è in media di 4815 L giornalieri per ogni individuo, e di questi la dieta ne costituisce mediamente ben 4265. Se tutti adottassero invece una dieta basata sulle raccomandazioni ufficiali della German Nutrition Society, l'impronta idrica complessiva potrebbe essere ridotta del 23% rispetto quella attuale. Se queste raccomandazioni fossero adattate ad un regime latte-ovo-vegetariano si potrebbe ridurre l'impronta idrica complessiva del 38% poiché essa sarebbe pari a soli 1611 L giornalieri pro capite. Infine con una dieta intermedia tra le due strategie proposte si riuscirebbe ad ottenere una riduzione (anch'essa intermedia) dell'impronta idrica complessiva del 30% rispetto quella dell'attuale dieta europea media.[145] Per fare fronte ai limiti di questo studio un secondo lavoro considera l'impronta idrica complessiva della dieta media di ognuna delle 4 differenti zone dell'Unione europea, e la confronta con quella che si otterrebbe se tutti seguissero invece le varie linee guida alimentari nazionali, ed anche con quella ottenibile per mezzo di adattamenti delle linee guida alimentari nazionali ad un regime latte-ovo-vegetariano. Le linee guida alimentari scelte per la zona orientale e per quella occidentale sono le raccomandazioni della German Nutrition Society, grazie alle quali l'impronta idrica complessiva attuale potrebbe essere ridotta rispettivamente dell'11% e del 26%. Con la dieta latte-ovo-vegetariana invece, in queste due zone si potrebbe avere una riduzione rispettivamente del 27% e del 41%. Per la zona settentrionale sono state scelte le raccomandazioni alimentari della Scandinavia, per mezzo delle quali si potrebbe ridurre l'impronta idrica complessiva solamente del 3%. Si tratta di una strategia di gran lunga meno efficace della dieta latte-ovo-vegetariana, grazie alla quale l'impronta idrica complessiva della zona settentrionale potrebbe essere ridotta del 32%. Infine per la zona meridionale è stata scelta la dieta mediterranea, grazie alla quale già si potrebbe ottenere una riduzione del 30% dell'impronta idrica complessiva, ma con la dieta latte-ovo-vegetariana si potrebbe addirittura ridurre del 41%.[146] Il terzo studio infine considera l'impronta idrica complessiva della dieta media di ognuno dei 40 differenti paesi europei presi in esame, ed il risparmio idrico ottenibile sia per mezzo delle linee guida alimentari nazionali che adattando queste ultime ad un regime latte-ovo-vegetariano. I risultati mostrano che per mezzo delle diete basate sulle linee guida alimentari nazionali l'attuale impronta idrica complessiva può essere ridotta nella maggior parte dei paesi considerati (27 su 40), e che la dieta latte-ovo-vegetariana si rivela di gran lunga la strategia più efficace poiché riesce a ridurla in modo più significativo e per il

maggior numero di paesi (38 su 40). Tra i paesi considerati vale la pena citare ancora una volta la Germania, laddove una dieta basata sulle raccomandazioni ufficiali della German Nutrition Society potrebbe ridurre l'impronta idrica complessiva del 23%, ma la dieta latte-ovo-vegetariana riuscirebbe persino a ridurla del 38%.[147] I risultati appena mostrati confermano che lo stile alimentare più ecologico nei confronti del depauperamento idrico è proprio quello nel quale il consumo di prodotti animali è minore. In questo contesto, una dieta vegetale ben equilibrata e nutrizionalmente adeguata (che può essere ottenuta rimpiazzando uova e prodotti lattiero-caseari della latte-ovo-vegetariana con alimenti vegetali sostitutivi) rappresenta senza dubbio la strategia alimentare più sostenibile. Lo stesso vale per gli altri tipi di impatto ambientale esaminati in questa sede, compresa l'impronta territoriale sulla quale vi sono ancora alcuni aspetti da considerare.

[i] Dipartimento della Salute e dei Servizi Umani degli Stati Uniti d'America, [United States Department of Health and Human Services (HHS)], <https://www.hhs.gov/>

[ii] Comitato Consultivo per le Linee Guida Dietetiche, [Dietary Guidelines Advisory Committee (DGAC)], <https://health.gov/dietaryguidelines/>

## Riferimenti bibliografici

- [1] Marsh GP. Man and Nature; or, Physical Geography, as Modified by Human Action. London: Sampson Low, Son, and Marston; 1864. 560 p.
- [2] Thomas WL, editor. Man's Role in Changing the Face of the Earth. Chicago: University of Chicago Press; 1956. 1193 p.
- [3] Stamp LD. Review of Man's Role in Changing the Face of the Earth, William L. Thomas, Jr. *Geographical Review*. 1957 Oct;47(4):597–600. doi: 10.2307/211870
- [4] White RM. The World Climate Conference: Report by the Conference Chairman. *WMO Bulletin*. 1979 Jul;XXVIII(3):177–178.
- [5] Ceballos G, Ehrlich PR, Barnosky AD, García A, Pringle RM, Palmer TM. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sci Adv*. 2015 Jun;1(5):e1400253. doi: 10.1126/sciadv.1400253 PMID: PMC4640606
- [6] Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*. 2011 Mar 3;471(7336):51–57. doi: 10.1038/nature09678 PMID: 21368823

- [7] De Vos JM, Joppa LN, Gittleman JL, Stephens PR, Pimm SL. Estimating the normal background rate of species extinction. *Conserv. Biol.* 2015 Apr;29(2):452–462. doi: 10.1111/cobi.12380 PMID: 25159086
- [8] Ceballos G, Ehrlich PR, Dirzo R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2017 Jul 25;114(30):E6089–E6096. doi: 10.1073/pnas.1704949114 PMID: PMC5544311
- [9] Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, et al. Extinction risk from climate change. *Nature.* 2004 Jan 8;427(6970):145–148. doi: 10.1038/nature02121 PMID: 14712274
- [10] IPCC. Summary for Policymakers. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al., editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2007. p. 1–18. ISBN: 978-0-521-88009-1.
- [11] IPCC. Summary for Policymakers. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, editors. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2007. p. 7–22. ISBN: 978 0521 88010-7.
- [12] Jennings S. Time’s Bitter Flood: Trends in the number of reported natural disasters. *Oxfam Policy and Practice: Climate Change and Resilience.* 2011 Jan 24;7(1):115–147.
- [13] Munich Re. Two months to Cancún climate summit / Large number of weather extremes as strong indication of climate change [Internet]. *munichre.com.* 2010 Sep. [cited 2017 Mar 21]. Available from: <https://www.munichre.com/en/media-relations/publications/press-releases/2010/2010-09-27-press-release/index.html>
- [14] EU WATCH. EU WATCH – About [Internet]. *eu-watch.org.* 2007–2011 [cited 2017 Mar 22]. Available from: <http://www.eu-watch.org/about>
- [15] Hartmann DL, Klein Tank AMG, Rusticucci M, Alexander LV, Brönnimann S, Charabi Y, et al. Observations: Atmosphere and Surface. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *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, UK: Cambridge University Press; 2013. p. 159–254. ISBN: 978-1-107-05799-1. doi: 10.1017/CBO9781107415324.008
- [16] NOAA National Centers for Environmental Information. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2017 [Internet]. *ncdc.noaa.gov.* 2018 Jan. [cited 2018 Oct 22]. Available from: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>
- [17] Rojas R, Feyen L, Watkiss P. Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. *Global Environmental Change.* 2013 Dec;23(6):1737–1751. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.08.006
- [18] Solomon S, Qin D, Manning M, Alley RB, Berntsen T, Bindoff NL, et al. Technical Summary. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, et al., editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2007. p. 19–91. ISBN: 978-0-521-88009-1.
- [19] Hansen J, Sato M, Kharecha P, Beerling D, Berner R, Masson-Delmotte V, et al. Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim? *The Open Atmospheric Science Journal.* 2008 Nov 5;2(1):217–231. doi: 10.2174/1874282300802010217
- [20] Scripps Institution of Oceanography. In the News Now: Scripps Begins Daily Keeling Curve Updates as CO<sub>2</sub> Approaches 400 ppm [Internet]. *scripps.ucsd.edu.* 2013 May [cited 2017 Mar 22]. Available from: <https://scripps.ucsd.edu/news/7990>



- [21] Scripps Institution of Oceanography. Carbon Dioxide at Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 ppm [Internet]. scripps.ucsd.edu. 2013 May [cited 2017 Mar 22]. Available from: <https://scripps.ucsd.edu/news/7992>
- [22] World Meteorological Organization. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2015. WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2016 Oct 24;(12).
- [23] Olivier JGJ, Janssens-Maenhout G, Muntean M, Peters JAHW. Trends in global CO<sub>2</sub> emissions: 2015 Report [Internet]. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; Ispra: European Commission, Joint Research Centre; 2015 [cited 2017 Mar 22]. Available from: [http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-trends-in-global-co2-emisions\\_2015-report\\_01803.pdf](http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-trends-in-global-co2-emisions_2015-report_01803.pdf)
- [24] Moore FC, Diaz DB. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Clim. Change*. 2015 Feb;5(2):127–131. doi: 10.1038/nclimate2481
- [25] OECD. OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. Paris: OECD Publishing; 2012 Mar. 349 p. ISBN: 978-92-64-12216-1. doi: 10.1787/9789264122246-en
- [26] Vermeer M, Rahmstorf S. Global sea level linked to global temperature. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2009 Dec 22;106(51):21527–21532. doi: 10.1073/pnas.0907765106 PMID: PMC2789754
- [27] Thompson LG. Climate change: the evidence and our options. *Behav Anal.* 2010 Fall;33(2):153–170. PMID: PMC2995507
- [28] Fearnside PM. Global Warming: How Much of a Threat to Tropical Forests? In: Gökçekus H, Türker U, LaMoreaux JW, editors. *Survival and Sustainability: Environmental concerns in the 21st Century*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 1283–1292. ISBN: 978-3-540-95991-5. doi: 10.1007/978-3-540-95991-5\_120
- [29] Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*. 2013 Nov 15;342(6160):850–853. doi: 10.1126/science.1244693 PMID: 24233722
- [30] Wallace S. Last of the Amazon. *National Geographic*. 2007 Jan;211(1):40–71.
- [31] Service RF. Marine ecology. Rising acidity brings an ocean of trouble. *Science*. 2012 Jul 13;337(6091):146–148. doi: 10.1126/science.337.6091.146 PMID: 22798578
- [32] Mora C, Wei C-L, Rollo A, Amaro T, Baco AR, Billett D, et al. Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLoS Biol.* 2013 Oct;11(10):e1001682. doi: 10.1371/journal.pbio.1001682 PMID: PMC3797030
- [33] Raven J, Caldeira K, Elderfield H, Hoegh-Guldberg O, Liss P, Riebesell U, et al. *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. London: The Royal Society; Cardiff, UK: The Clyvedon Press Ltd; 2005 Jun. 60 p. ISBN: 0-85403-617-2.
- [34] Shepherd J, Caldeira K, Cox P, Haigh J, Keith D, Launder B, et al. *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*. London: The Royal Society; 2009 Sep. 82 p. ISBN: 978-0-85403-773-5.
- [35] Russell LM, Rasch PJ, Mace GM, Jackson RB, Shepherd J, Liss P, et al. Ecosystem impacts of geoengineering: a review for developing a science plan. *Ambio*. 2012 Jun;41(4):350–369. doi: 10.1007/s13280-012-0258-5 PMID: PMC3393062
- [36] Tilmes S, Fasullo J, Lamarque J-F, Marsh DR, Mills M, Alterskjær K, et al. The hydrological impact of geoengineering in the Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP). *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013 Oct 16;118(19):11,036–11,058. doi: 10.1002/jgrd.50868
- [37] Kolstad C, Urama K, Broome J, Bruvoll A, Cariño Olvera M, Fullerton D, et al. Social, Economic, and Ethical Concepts and

Methods. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, et al., editors. *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, UK: Cambridge University Press; 2014. p. 207–282. ISBN: 978-1-107-05821-7. doi: 10.1017/CBO9781107415416.009

[38] National Research Council. *Climate Intervention: Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration*. Washington, D.C.: National Academies Press; 2015. 140 p. ISBN: 978-0-309-30529-7. doi: 10.17226/18805

[39] National Research Council. *Climate Intervention: Reflecting Sunlight to Cool Earth*. Washington, D.C.: National Academies Press; 2015. 244 p. ISBN: 978-0-309-31482-4. doi: 10.17226/18988

[40] U.S. Global Change Research Program. *National Global Change Research Plan 2012–2021: A Triennial Update* [Internet]. Washington, DC, USA; 2017 Jan. [cited 2017 Mar 22]. Available from: <https://downloads.globalchange.gov/strategic-plan/2016/usgcrp-strategic-plan-2016.pdf>

[41] Kriebel D, Tickner J, Epstein P, Lemons J, Levins R, Loechler EL, et al. The precautionary principle in environmental science. *Environ. Health Perspect.* 2001 Sep;109(9):871–876. PMID: PMC1240435

[42] FAO. *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*. World Food Summit: 13-17 November 1996, Rome, Italy [Internet]. Rome: FAO; 1996 [cited 2017 Aug 25]. Available from: <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.htm>

[43] Greger M. The Human/Animal Interface: Emergence and Resurgence of Zoonotic Infectious Diseases. *Crit. Rev. Microbiol.* 2007;33(4):243–299. doi: 10.1080/10408410701647594 PMID: 18033595

[44] Whiley H, Ross K. Salmonella and eggs: from production to plate. *Int J Environ Res Public Health.* 2015 Feb 26;12(3):2543–2556. doi: 10.3390/ijerph120302543 PMID: PMC4377917

[45] Landers TF, Cohen B, Wittum TE, Larson EL. A Review of Antibiotic Use in Food Animals: Perspective, Policy, and Potential. *Public Health Rep.* 2012 Feb;127(1):4–22. doi: 10.1177/003335491212700103 PMID: PMC3234384

[46] Marshall BM, Levy SB. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clin. Microbiol. Rev.* 2011 Oct;24(4):718–733. doi: 10.1128/CMR.00002-11 PMID: PMC3194830

[47] Marti R, Scott A, Tien Y-C, Murray R, Sabourin L, Zhang Y, et al. Impact of manure fertilization on the abundance of antibiotic-resistant bacteria and frequency of detection of antibiotic resistance genes in soil and on vegetables at harvest. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013 Sep;79(18):5701–5709. doi: 10.1128/AEM.01682-13 PMID: PMC3754188

[48] Wichmann F, Udikovic-Kolic N, Andrew S, Handelsman J. Diverse antibiotic resistance genes in dairy cow manure. *mBio.* 2014 Apr 22;5(2):e01017-13. doi: 10.1128/mBio.01017-13 PMID: PMC3993861

[49] Peng S, Feng Y, Wang Y, Guo X, Chu H, Lin X. Prevalence of antibiotic resistance genes in soils after continually applied with different manure for 30 years. *J. Hazard. Mater.* 2017 Oct 15;340(Supplement C):16–25. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.06.059 PMID: 28711829

[50] Maron DF, Smith TJS, Nachman KE. Restrictions on antimicrobial use in food animal production: an international regulatory and economic survey. *Global Health.* 2013 Oct 16;9:48. doi: 10.1186/1744-8603-9-48 PMID: PMC3853314

[51] EFSA, ECDC. *The European Union summary report on antimicrobial resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2015*. EFSA Journal. 2017 Feb 1;15(2):e04694. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4694

[52] ECDC. *Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2015. Annual Report of the European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net)*. Stockholm: ECDC; 2017 Jan. 100 p. ISBN: 978-92-9498-029-8.

- [53] O'Neill J, Review on Antimicrobial Resistance. Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations [Internet]. 2014 Dec. [cited 2017 Oct 2]. Available from: [https://amr-review.org/sites/default/files/AMR%20Review%20Paper%20-%20Tackling%20a%20crisis%20for%20the%20health%20and%20wealth%20of%20nations\\_1.pdf](https://amr-review.org/sites/default/files/AMR%20Review%20Paper%20-%20Tackling%20a%20crisis%20for%20the%20health%20and%20wealth%20of%20nations_1.pdf)
- [54] O'Neill J, Review on Antimicrobial Resistance. Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendations [Internet]. 2016 May [cited 2017 Oct 2]. Available from: [https://amr-review.org/sites/default/files/160525\\_Final%20paper\\_with%20cover.pdf](https://amr-review.org/sites/default/files/160525_Final%20paper_with%20cover.pdf)
- [55] Myhre G, Shindell D, Bréon F-M, Collins W, Fuglestedt J, Huang J, et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *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, UK: Cambridge University Press; 2013. p. 659–740. ISBN: 978-1-107-05799-1. doi: 10.1017/CBO9781107415324.018
- [56] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar TD, Castel V, Rosales M, de Haan C. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome: FAO; 2006. 390 p. ISBN: 978-92-5-105571-7.
- [57] Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, et al. *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome: FAO; 2013. 115 p. ISBN: 978-92-5-107920-1.
- [58] Goodland R, Anhang J. What if the key actors in climate change were pigs, chickens and cows? *World Watch*. 2009 Nov–Dec;22(6):10–19.
- [59] Goodland R. "Livestock and Climate Change": Critical Comments and Responses. *World Watch*. 2010 Mar–Apr;23(2):7–9.
- [60] Kanaly RA, Manzanero LIO, Foley G, Panneerselvam S, Macer D. *Energy Flow, Environment and Ethical Implications for Meat Production*. Bangkok: UNESCO Bangkok; 2010. 66 p. ISBN: 978-92-9223-347-1.
- [61] Schwarzer S, Witt R, Zommers Z, Chander A, Litswa E, Giese K, et al. Growing greenhouse gas emissions due to meat production. *Environmental Development*. 2013 Jan;5:156–163. doi: 10.1016/j.envdev.2012.11.002
- [62] Herrero M, Gerber P, Vellinga T, Garnett T, Leip A, Opio C, et al. Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *Animal Feed Science and Technology*. 2011 Jun 23;166–167:779–782. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083
- [63] Goodland R, Anhang J. Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right, by Herrero et al. [*Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167, 779–782]. *Animal Feed Science and Technology*. 2012 Mar 30;172(3):252–256. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.028
- [64] Goodland R. Lifting livestock's long shadow. *Nature Clim. Change*. 2013 Jan;3(1):2. doi: 10.1038/nclimate1755
- [65] Goodland R. A fresh look at livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Glob Chang Biol*. 2014 Jul;20(7):2042–2044. doi: 10.1111/gcb.12454 PMID: 24166774
- [66] Scarborough P, Appleby PN, Mizdrak A, Briggs ADM, Travis RC, Bradbury KE, et al. Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Clim Change*. 2014;125(2):179–192. doi: 10.1007/s10584-014-1169-1 PMID: PMC4372775
- [67] Eshel G, Shepon A, Makov T, Milo R. Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2014 Aug 19;111(33):11996–12001. doi: 10.1073/pnas.1402183111 PMID: PMC4143028
- [68] Tilman D, Clark M. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*. 2014 Nov 27;515(7528):518–522. doi: 10.1038/nature13959 PMID: 25383533

- [69] Reijnders L, Soret S. Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003 Sep;78(3 Suppl):664S-668S. PMID: 12936964
- [70] Pimentel D, Pimentel M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003 Sep;78(3 Suppl):660S-663S. PMID: 12936963
- [71] Chase LE. How Much Gas Do Cows Produce? Proceedings, 2010 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 72nd Meeting, October 19-21, 2010, Doubletree Hotel, East Syracuse, New York [Internet]. Ithaca, New York: Cornell University; 2010 [cited 2017 Oct 22]. p. 186–194. Available from: [https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/37008/CNC\\_Proceedings.pdf](https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/37008/CNC_Proceedings.pdf)
- [72] Harkin T, United States Senate Committee on Agriculture, Nutrition, & Forestry. Animal waste pollution in America: An Emerging National Problem – Environmental risks of livestock & poultry production. Washington D.C.: United States Senate; 1997 Dec.
- [73] Nowak JB, Neuman JA, Bahreini R, Middlebrook AM, Holloway JS, McKeen SA, et al. Ammonia sources in the California South Coast Air Basin and their impact on ammonium nitrate formation. *Geophys. Res. Lett.* 2012 Apr;39(7):L07804. doi: 10.1029/2012GL051197
- [74] U.S. EPA, Office of Research and Development. Risk management evaluation for concentrated animal feeding operations [Internet]. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and development, National Risk Management Research Laboratory; 2004 May [cited 2017 Mar 29]. Available from: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=901V0100.txt>
- [75] Greenpeace. Amazon Cattle Footprint, Mato Grosso: State of Destruction [Internet]. Greenpeace Brazil; 2009 Jan. [cited 2017 Mar 22]. Available from: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2009/1/amazon-cattle-footprint-mato.pdf>
- [76] Greenpeace. Slaughtering the Amazon – Executive Summary [Internet]. Greenpeace International; 2009 Jul. [cited 2017 Mar 22]. Available from: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2009/7/slaughtering-the-amazon.pdf>
- [77] Greenpeace. Slaughtering the Amazon – Part 4 [Internet]. Greenpeace International; 2009 Jul. [cited 2017 Mar 22]. Available from: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/binaries/2009/7/slaughtering-the-amazon-part4.pdf>
- [78] Westhoek H, Rood T, van den Berg M, Janse J, Nijdam D, Reudink M, et al. The Protein Puzzle. The Consumption and Production of Meat, Dairy and Fish in the European Union. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency; 2011 Apr. 218 p. ISBN: 978-90-78645-61-0.
- [79] Steinfeld H, Wassenaar T. The Role of Livestock Production in Carbon and Nitrogen Cycles. *Annual Review of Environment and Resources.* 2007 Nov;32(1):271–294. doi: 10.1146/annurev.energy.32.041806.143508
- [80] Sutton MA, Bleeker A, Howard CM, Bekunda M, Grizzetti B, de Vries W, et al. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. *Global Overview of Nutrient Management.* Edinburgh: Centre for Ecology and Hydrology; 2013. 114 p. ISBN: 978-1-906698-40-9.
- [81] Bouwman L, Goldewijk KK, Van Der Hoek KW, Beusen AHW, Van Vuuren DP, Willems J, et al. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2013 Dec 24;110(52):20882–20887. doi: 10.1073/pnas.1012878108 PMID: PMC3876211
- [82] Havlikova M, Kroeze C, Huijbregts M a. J. Environmental and health impact by dairy cattle livestock and manure management in the Czech Republic. *Sci. Total Environ.* 2008 Jun 25;396(2–3):121–131. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.027 PMID: 18394682

- [83] Cordell D, Drangert J-O, White S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*. 2009 May;19(2):292–305. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009
- [84] Webeck E, Matsubae K, Nagasaka T. Phosphorus requirements for the changing diets of China, India and Japan. *Environmental Economics and Policy Studies*. 2015 Jul;17(3):455–469. doi: 10.1007/s10018-014-0088-8
- [85] Metson GS, Bennett EM, Elser JJ. The role of diet in phosphorus demand. *Environ. Res. Lett.* 2012 Dec 19;7(4):044043. doi: 10.1088/1748-9326/7/4/044043
- [86] Townsend AR, Howarth RW. Fixing the global nitrogen problem. *Sci. Am.* 2010 Feb;302(2):64–71. doi: 10.1038/scientificamerican0210-64 PMID: 20128225
- [87] Socolow RH. Nitrogen management and the future of food: lessons from the management of energy and carbon. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1999 May 25;96(11):6001–6008. PMID: PMC34219
- [88] FAO. Pollution from Industrialized Livestock Production [Internet]. Rome: FAO; 2005 [cited 2017 Mar 26]. Available from: <http://www.fao.org/3/a-a0261e.pdf>
- [89] Millstone E, Lang T. *The atlas of food: who eats what, where, and why*. 2nd ed. London: Earthscan; 2008. 128 p. ISBN: 978-1-84407-499-0.
- [90] FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2014. Opportunities and challenges*. Rome: FAO; 2014. 223 p. ISBN: 978-92-5-108275-1.
- [91] Parfit M. Diminishing Returns: Exploiting the Ocean’s Bounty. *National Geographic*. 1995 Nov;188(5):2–37.
- [92] Safina C. The World’s Imperiled Fish. *Scientific American*. 1995 Nov;273(5):46–53. doi: 10.1038/scientificamerican1195-46
- [93] Davies RWD, Cripps SJ, Nickson A, Porter G. Defining and estimating global marine fisheries bycatch. *Marine Policy*. 2009 Jul;33(4):661–672. doi: 10.1016/j.marpol.2009.01.003
- [94] Read AJ, Drinker P, Northridge S. Bycatch of marine mammals in U.S. and global fisheries. *Conserv. Biol.* 2006 Feb;20(1):163–169. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00338.x PMID: 16909669
- [95] Nadon MO, Baum JK, Williams ID, McPherson JM, Zgliczynski BJ, Richards BL, et al. Re-creating missing population baselines for Pacific reef sharks. *Conserv. Biol.* 2012 Jun;26(3):493–503. doi: 10.1111/j.1523-1739.2012.01835.x PMID: PMC3494310
- [96] Ferretti F, Myers RA, Serena F, Lotze HK. Loss of large predatory sharks from the Mediterranean Sea. *Conserv. Biol.* 2008 Aug;22(4):952–964. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00938.x PMID: 18544092
- [97] Costa-Pierce BA, Bartley DM, Hasan M, Yusoff F, Kaushik SJ, Rana K, et al. Responsible use of resources for sustainable aquaculture. In: Subasinghe RP, Arthur JR, Bartley DM, De Silva SS, Halwart M, Hishamunda N, et al., editors. *Farming the Waters for People and Food, the Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010*. FAO: Rome; NACA: Bangkok; 2012. p. 113–147. ISBN: 978-92-5-107233-2.
- [98] Myers RA, Worm B. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature*. 2003 May 15;423(6937):280–283. doi: 10.1038/nature01610 PMID: 12748640
- [99] Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, Halpern BS, et al. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*. 2006 Nov 3;314(5800):787–790. doi: 10.1126/science.1132294 PMID: 17082450
- [100] FAO. FAOSTAT Land Domain [Internet]. [faostat.fao.org](http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL). 2016 Dec. [cited 2017 Mar 27]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>

- [101] Lappé FM. *Diet for a Small Planet*. 20th Anniversary Edition. New York: Ballantine Books; 1991 Nov. 479 p. ISBN: 0-345-32120-0.
- [102] Pimentel D. Livestock production: Energy Inputs and the Environment. In: Scott SL, Zhao X, editors. *Canadian Society of Animal Science, Proceedings, 47th Annual Meeting, July 24-26, 1997*. Montréal, Québec: Canadian Society of Animal Science; 1997. p. 16–26.
- [103] Subak S. Global environmental costs of beef production. *Ecological Economics*. 1999 Jul;30(1):79–91. doi: 10.1016/S0921-8009(98)00100-1
- [104] Herrero M, Havlík P, Valin H, Notenbaert A, Rufino MC, Thornton PK, et al. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2013 Dec 24;110(52):20888–20893. doi: 10.1073/pnas.1308149110 PMID: PMC3876224
- [105] Cassidy ES, West PC, Gerber JS, Foley JA. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environ. Res. Lett.* 2013;8(3):034015. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034015
- [106] Gerbens-Leenes PW, Nonhebel S. Consumption patterns and their effects on land required for food. *Ecological Economics*. 2002 Aug;42(1–2):185–199. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00049-6
- [107] Peters CJ, Wilkins JL, Fick GW. Testing a complete-diet model for estimating the land resource requirements of food consumption and agricultural carrying capacity: The New York State example. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2007 Jun;22(02):145–153. doi: 10.1017/S1742170507001767
- [108] Spedding CRW. Diet and Agriculture. *RSA Journal*. 1988 May;136(5382):388–397.
- [109] Spedding CRW. The Effect of Dietary Changes on Agriculture. In: Lewis B, Assmann G, editors. *The Social and Economic Contexts of Coronary Prevention*. London: Current Medical Literature Ltd; 1990. p. 57–65. ISBN: 1-85009-056-4.
- [110] Reid RS, Galvin KA, Kruska RS. Global Significance of Extensive Grazing Lands and Pastoral Societies: An Introduction. In: Galvin KA, Reid RS, Jr RHB, Hobbs NT, editors. *Fragmentation in Semi-Arid and Arid Landscapes*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2008. p. 1–24. ISBN: 978-1-4020-4905-7. doi: 10.1007/978-1-4020-4906-4\_1
- [111] Herrero M, Thornton PK, Gerber P, Reid RS. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2009 Dec;1(2):111–120. doi: 10.1016/j.cosust.2009.10.003
- [112] Thornton PK, Herrero M, Ericksen P. Livestock and climate change [Internet]. Nairobi: ILRI; 2011 Nov. Available from: <http://hdl.handle.net/10568/10601>
- [113] Stehfest E, Bouwman L, van Vuuren DP, den Elzen MGJ, Eickhout B, Kabat P. Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*. 2009 Jul;95(1–2):83–102. doi: 10.1007/s10584-008-9534-6
- [114] Manning L. The impact of water quality and availability on food production. *British Food Journal*. 2008 Aug 8;110(8):762–780. doi: 10.1108/00070700810893304
- [115] Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. London; Washington, DC: Earthscan; 2011. 203 p. ISBN: 978-1-84971-279-8.
- [116] Hoekstra AY, Mekonnen MM. The water footprint of humanity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2012 Feb 28;109(9):3232–3237. doi: 10.1073/pnas.1109936109 PMID: PMC3295316
- [117] Mekonnen MM, Hoekstra AY. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems*. 2012 Apr;15(3):401–415. doi: 10.1007/s10021-011-9517-8
- [118] Parker DB, Brown MS. Livestock and Poultry Production: Water Consumption. In: Trimble SW, editor. *Encyclopedia of*

Water Science. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2008. p. 722–726. ISBN: 978-0-8493-9616-8.

[119] Pimentel D, Houser J, Preiss E, White O, Fang H, Mesnick L, et al. Water Resources: Agriculture, the Environment, and Society. *BioScience*. 1997 Feb 1;47(2):97–106. doi: 10.2307/1313020

[120] Pimentel D, Berger B, Filiberto D, Newton M, Wolfe B, Karabinakis E, et al. Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. *BioScience*. 2004 Oct;54(10):909–918. doi: 10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2

[121] Mekonnen MM, Hoekstra AY. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2011 May 25;15(5):1577–1600. doi: 10.5194/hess-15-1577-2011

[122] Thompson B, Amoroso L, editors. *Improving Diets and Nutrition: Food-based Approaches*. FAO: Rome; CABI: Wallingford, UK; 2014. 403 p. ISBN: 978-1-78064-299-4.

[123] FAO, WFP, IFAD. *The State of Food Insecurity in the World 2012. Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition*. Rome: FAO; 2012. 60 p. ISBN: 978-92-5-107316-2.

[124] FAO, IFAD, WFP. *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Rome: FAO; 2015. 56 p. ISBN: 978-92-5-108785-5.

[125] UNICEF. *The State of the World's Children 2016: A fair chance for every child*. New York, NY: UNICEF; 2016 Jun. 172 p. ISBN: 978-92-806-4838-6.

[126] UNICEF, WHO, UNESCO, UNFPA, UNDP, UNAIDS, et al. *Facts for Life*. Fourth edition. New York: UNICEF; 2010. 194 p. ISBN: 978-92-806-4466-1.

[127] FAO. *World Livestock 2011 – Livestock in food security*. Rome: FAO; 2011. 115 p. ISBN: 978-92-5-107013-0.

[128] Watkins K, Carvajal L, Coppard D, Fuentes R, Ghosh A, Giamberardini C, et al. *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. New York, USA: United Nations Development Programme; 2006. 422 p. ISBN: 0-230-50058-7.

[129] UN-Water. *Coping with water scarcity – Challenge of the twenty-first century* [Internet]. Rome: FAO; 2007 [cited 2017 Apr 4]. Available from: <http://www.unwater.org/wwd07/downloads/documents/escarcity.pdf>

[130] UN DESA, Population Division. *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables* [Internet]. 2015 [cited 2017 Mar 29]. Available from: [https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)

[131] Burlingame B, Dernini S, editors. *Sustainable diets and biodiversity – Directions and solutions for policy research and action*. Rome: FAO; 2012. 309 p. ISBN: 978-92-5-107288-2.

[132] Leitzmann C. Nutrition ecology: the contribution of vegetarian diets. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003 Sep;78(3 Suppl):657S-659S. PMID: 12936962

[133] Hertwich EG, van der Voet E, Suh S, Tukker A, Huijbregts M, Kazmierczyk P, et al. *Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials. A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme; 2010. 108 p. ISBN: 978-92-807-3084-5.

[134] Weber CL, Matthews HS. Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States. *Environ. Sci. Technol.* 2008 May 15;42(10):3508–3513. doi: 10.1021/es702969f PMID: 18546681

[135] van der Leeuw K. Carbon Savings Tables. In: Soeters K, editor. *Meat, The Future: How Cutting Meat Consumption Can Feed Billions More*. Amsterdam, The Netherlands: Nicolaas G. Pierson Foundation; 2015. p. 223–240. ISBN: 978-94-90034-05-4.

- [136] Macdiarmid JI. Seasonality and dietary requirements: will eating seasonal food contribute to health and environmental sustainability? *Proc Nutr Soc.* 2014 Aug;73(3):368–375. doi: 10.1017/S0029665113003753 PMID: 25027288
- [137] foodwatch. Klimaretter Bio? Der foodwatch-Report über den Treibhauseffekt von konventioneller und ökologischer Landwirtschaft in Deutschland [Internet]. foodwatch; 2008 Aug. [cited 2017 May 5]. Available from: [https://www.foodwatch.org/uploads/media/foodwatch-Report\\_Klimaretter-Bio\\_20080825\\_01.pdf](https://www.foodwatch.org/uploads/media/foodwatch-Report_Klimaretter-Bio_20080825_01.pdf)
- [138] Baroni L, Cenci L, Tettamanti M, Berati M. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *Eur J Clin Nutr.* 2007 Feb;61(2):279–286. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602522 PMID: 17035955
- [139] Baroni L, Berati M, Candilera M, Tettamanti M. Total Environmental Impact of Three Main Dietary Patterns in Relation to the Content of Animal and Plant Food. *Foods.* 2014 Jul 25;3(3):443–460. doi: 10.3390/foods3030443 PMID: PMC5302254
- [140] Dietary Guidelines Advisory Committee. Appendix E-2.37: Evidence Portfolio. Part D. Chapter 5: Food Sustainability and Safety. What is the relationship between population-level dietary patterns and food sustainability and related food security? Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee. Advisory Report to the Secretary of Health and Human Services and the Secretary of Agriculture [Internet]. Washington DC: USDA; 2015 Feb. [cited 2017 Jul 3]. Available from: <https://health.gov/dietaryguidelines/2015-scientific-report/PDFs/Appendix-E-2.37.pdf>
- [141] Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJM, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLoS One.* 2016 Nov 3;11(11):e0165797. doi: 10.1371/journal.pone.0165797 PMID: PMC5094759
- [142] Meier T, Christen O. Environmental Impacts of Dietary Recommendations and Dietary Styles: Germany As an Example. *Environ. Sci. Technol.* 2013 Jan 15;47(2):877–888. doi: 10.1021/es302152v PMID: 23189920
- [143] Hoekstra AY. A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators.* 2016 Jul;66:564–573. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.02.026
- [144] Hoekstra AY. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resour Manage.* 2017 Mar 10;1–21. doi: 10.1007/s11269-017-1618-5
- [145] Vanham D, Mekonnen MM, Hoekstra AY. The water footprint of the EU for different diets. *Ecological Indicators.* 2013 Sep;32:1–8. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.02.020
- [146] Vanham D, Hoekstra AY, Bidoglio G. Potential water saving through changes in European diets. *Environ Int.* 2013 Nov;61:45–56. doi: 10.1016/j.envint.2013.09.011 PMID: 24096041
- [147] Vanham D, Bidoglio G. The water footprint of agricultural products in European river basins. *Environ. Res. Lett.* 2014;9(6):064007. doi: 10.1088/1748-9326/9/6/064007

## **Licenza Creative Commons**

Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione  
- Non commerciale -