
13.1 Biotecnologie del cibo

La quasi totalità di piante attualmente coltivate è il frutto di decine di migliaia di anni di selezione genetica a partire da piante selvatiche. Gli scambi di geni fra varietà e specie hanno portato molto spesso a profonde modificazioni nella morfologia della pianta selvatica iniziale, come ad esempio nel progressivo passaggio dalla teosinte (*Euchlaena mexicana*) al mais. Molte specie come il tabacco, il frumento, la colza sono state addomesticate dall'uomo sotto forma di anploidii (addizioni di genomi differenti).

Il grande aumento della produttività agricola osservato negli ultimi due secoli è dovuto in buona parte all'ibridizzazione sessuata intra- o inter-specifica delle piante e allo sfruttamento di mutanti.

Anche se le prime rudimentali applicazioni biotecnologiche risalgono a più di ottomila anni fa, la conoscenza nel pubblico dei concetti fondamentali della biotecnologia e dell'ingegneria genetica sono un fenomeno relativamente recente. Spesso, i termini biotecnologia e ingegneria genetica sono usati come sinonimi, ma in realtà la biotecnologia ha una connotazione molto più ampia.

L'ingegneria genetica comprende un insieme di tecniche biologiche moderne, che consentono di manipolare il patrimonio genetico di un organismo introducendo, modificando o eliminando dei geni specifici. Essa consente di trasferire geni tra specie non correlate e di generare organismi geneticamente modificati (OGM), che presentano caratteristiche addizionali o modificate, codificate dai geni introdotti *ex novo*.

A sua volta, per biotecnologia si intende una qualsiasi applicazione tecnologica che utilizzi sistemi biologici, organismi viventi o loro derivati per ottenere o modificare prodotti o processi per usi specifici.

La prima pianta geneticamente ingegnerizzata è stata quella del tabacco; in essa fu inserito nel 1983 un gene di resistenza agli antibiotici, mentre il primo cibo (OGM) approvato è stato il pomodoro *Flavr Savr*, prodotto dalla società californiana Calgene. Venduto a partire dal 1994, fu ritirato dal commercio dopo alcuni anni, nonostante la FDA avesse dichiarato che non vi erano evidenze di rischi per la salute e che il suo valore nutrizionale era rimasto inalterato.

In agricoltura e nella tutela dell'ambiente, l'applicazione delle biotecnologie nella produzione del cibo offre vantaggi potenziali sia per il consumatore che per il produttore. Per esempio, l'inserzione nel genoma della pianta di un gene d'origine batterica (il *Bacillus thuringiensis*, *Bt*), che codifica l'espressione di una proteina tossica per tre classi di insetti, lepidotteri, coleotteri e ditteri, ma innocua per i mammiferi e per l'uomo, conferisce al mais una grande resistenza a un insetto distruttore (*Ostrinia nubilalis*). Quest'ultimo scava cunicoli nel culmo e nelle pannocchie, provocando, nella pianura padana, un danno valutato nell'ordine del 5% della produzione di mais. D'altra parte, l'introduzione nell'agricoltura delle piante così trasformate ha anche ridotto in modo molto significativo l'impiego di pesticidi.

Gli erbicidi, invece, agiscono nella maggior parte dei casi fissandosi in modo selettivo su una proteina che catalizza una tappa chiave nella sintesi di molecole essenziali per la pianta. Così, la modifica apportata nella pianta al sito di fissazione del glifosato (un erbicida commercializzato sotto il nome di *Round-up*), conferisce alla proteina bersaglio una capacità di resistenza (insensibilità) a questo erbicida. In altri termini, l'inserzione nel genoma della pianta del corrispondente gene modificato porta a una pianta che tollera il glifosato. Questa nuova caratteristica, che non differisce da ciò che si sarebbe ottenuto a seguito di una mutazione spontanea, permette l'utilizzo di un erbicida totale senza alterare la crescita della specifica coltura così trasformata.

Anche la conoscenza sempre più avanzata del metabolismo della pianta, acquisita mediante studi di mutazioni selettive, consente di cambiare le qualità nutrizionali e gustative degli alimenti in essa contenuti, oltre ad aumentarne la resistenza ai diversi stress quali temperatura, salinità, siccità, attacchi batterici, funghi, virali, ecc.

La produzione e l'uso di OGM presenta quindi grandi opportunità ma provoca, allo stesso tempo, preoccupazioni di tipo etico, di salvaguardia dell'ambiente e di sicurezza. A dispetto di queste potenzialità e dell'entusiasmo della comunità scientifica, specialmente in Europa vi sono seri dubbi sulle piante e i cibi ingegnerizzati. Le preoccupazioni principali possono essere così riassunte:

- I cibi ingegnerizzati possono essere mangiati in tutta sicurezza?
- I regolamenti posti in atto da ogni singola nazione sono sufficienti a tutelare la salute dei consumatori?
- Questi prodotti sono sicuri per l'ambiente? in che misura ne risentirà la biodiversità? quanto influiranno sulle altre piante, sugli insetti e sui volatili?
- In che misura le nuove tecnologie influiranno sull'agricoltura tradizionale, la vita rurale e, soprattutto, le coltivazioni biologiche?
- In che misura le multinazionali, come la Monsanto, condizioneranno il mercato?

Vi è quindi tutta una serie di perplessità e timori provocate dalla crescita esponenziale della capacità dell'uomo di alterare il corredo genetico. Le biotecnologie e/o i prodotti da esse derivanti provocano controversie molto vivaci, che hanno spinto certi estremisti a praticare addirittura vere e proprie forme di ecoterrorismo, come è accaduto nel caso dell'attacco nel 2001 ai laboratori di genetica di Toby Bradshaw dell'Università di Washington, Seattle, che ha causato danni per 3 milioni di dollari (Service, 2001).

È evidente che è necessario, da parte della comunità e degli stessi produttori, un dialogo molto più aperto che nel passato, che dia risposte convincenti a questi inter-

rogativi, rimediando i gravi danni prodotti dall'aggressiva campagna promozionale a favore dei cibi ingegnerizzati utilizzata inizialmente dall'industria.

A questo proposito, non si può non ricordare il caso di *Terminator*, un sistema così chiamato dai suoi detrattori con grande efficacia mediatica. Le cosiddette tecnologie *gene terminator* producono semi sterili, il che impedisce alla semente di germogliare al secondo raccolto; in tal modo si impedisce ai coltivatori di conservarli per una semina successiva. Queste tecnologie consistevano nel prevenire la disseminazione dei transgeni nell'ambiente, associando ad essi un altro transgene la cui espressione impediva, nei grani ottenuti, lo sviluppo dell'embrione. L'industria che ne aveva programmato l'utilizzo, acquisito il know-how e i diritti d'uso, alla fine non ha dato seguito al progetto, ma questo ha comunque causato grande sconcerto nell'opinione pubblica.

D'altra parte, i ricercatori e i politici sono ben consapevoli che, per vincere la sfida della sicurezza alimentare dei nove miliardi di persone previsti per il 2050, è indispensabile il contributo della ricerca del settore privato. Per la Monsanto, il budget annuale per la sola ricerca è di 1,2 miliardi di dollari, una cifra superiore al totale delle spese in campo agricolo del governo federale degli Stati Uniti nel 2007, pari a 1,1 miliardi di dollari (il dato più recente disponibile) (Gilbert, 2010).

Né si possono ignorare i delicati problemi connessi all'accesso alle proprietà intellettuali di tecnologie cruciali, quali i marker genetici e le sequenze dei geni chiave e dei *promoters* che guidano l'espressione genica, in mano ai settori privati. Senza i vantaggi che possono derivare da questa proprietà intellettuale, le multinazionali avrebbero pochi incentivi a investire nella ricerca, ma questo è in contrasto con gli interessi della collettività, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. Per questi ultimi, i vantaggi potenziali delle piante biotecnologiche, per quanto sostanziali, non saranno risolutivi a meno che i semi non vengano loro forniti a costo zero o a un valore nominale. Questo implica pesanti investimenti pubblici da parte dei governi nazionali.

Modificazioni genetiche di piante, funghi e batteri dell'acido lattico sono da tempo largamente impiegate nella produzione di cibo (soprattutto le modificazioni di piante) e come fonte di ingredienti. Più che per l'utilizzo di questi ultimi come tali, le maggiori preoccupazioni sono quelle che riguardano l'impiego di OGM nei cibi.

Infatti, è relativamente facile provare la purezza e le proprietà di un ingrediente OGM, dal momento che è sufficiente confrontare le sue proprietà con quelle del corrispondente organismo non modificato. Gli analisti possono, ad esempio, identificare facilmente la soia e il mais OGM come tali, ma tutto diventa molto più difficoltoso quando essi vengono trattati e mescolati in cibi composti e complessi. Per questa ragione, nel 1998, dopo un lungo dibattito, l'Unione Europea ha deciso l'obbligo di etichettatura di tutti i prodotti, sia impacchettati che sfusi, contenenti soia o mais OGM.

Vi sono vari metodi per individuare organismi OGM; secondo la legislazione che regola l'obbligo di etichettatura, si possono utilizzare sia metodi basati sull'analisi delle proteine, che metodi basati sullo studio del DNA. I primi metodi analitici, che utilizzano anticorpi o enzimi, consentono di individuare i prodotti sulla base del nuovo gene introdotto o dei metaboliti ad esso collegati. I vantaggi del metodo basato sull'analisi delle proteine (ELISA) sono la facilità d'impiego, il basso costo e la possibilità di ottenere risultati in tempo reale. I limiti sono quelli legati alla va-

riabilità dei livelli di espressione delle proteine, monitorate nei diversi tessuti delle piante, che può precludere un'appropriatezza determinazione quantitativa.

Un'altra limitazione deriva dalla termolabilità delle proteine, che fa sì che questa metodica possa essere usata solo su cibi freschi o cibi allo stato grezzo e non su quelli trattati.

Al contrario, i metodi basati su una tecnica di amplificazione del DNA, specifica e sensibile, (la cosiddetta *Polymerase Chain Reaction*, PCR) possono essere applicati a organismi OGM durante tutta la catena alimentare. Essi sono affidabili per identificare modificazioni genetiche e per questo sono quelli preferiti dai ricercatori.

Un esempio di applicazioni della PCR in tempo reale (RT-PCR) è rappresentato dalle accurate determinazioni quantitative di OGM nei semi di soia *Roundup Ready* (RR), nella farina di soia, nel semolino, nel cibo per animali, nei fiocchi di granoturco (corn-flakes) e nell'amido (Shrestha et al., 2010).

Per tutte queste ragioni, al fine di provare la sicurezza delle piante geneticamente modificate usate come alimenti, è assolutamente indispensabile approfondire le conoscenze di genomica (studio del genoma degli organismi viventi), proteomica (identificazione e caratterizzazione di proteine) e metabolomica (studio dell'insieme di tutti i metaboliti di un organismo).

D'altra parte, i progressi ottenuti negli anni sessanta nella produzione di cibo attraverso la *Rivoluzione Verde*, così chiamata per i grandi progressi di produttività resi possibili dalla creazione di nuove varietà di riso, frumento e mais ad alte rese, hanno da tempo raggiunto un limite, mentre la popolazione continua a crescere.

Diventa a questo punto necessaria una seconda *Rivoluzione Verde*, abbinata a una moderna ingegneria genetica, se si vuole aumentare la produzione dei raccolti anche in terre meno favorite e individuare nuove varietà vegetali in grado di tollerare siccità, salinità e mancanza di nutrienti del suolo.

Ai giorni nostri il riso rappresenta la dieta base per più di tre miliardi di persone e le sue rese dovranno raddoppiare prima del 2050, per soddisfare le necessità nutrizionali della popolazione in continua crescita. Bisogna anche tenere presente che tra il 10 e il 30% del raccolto annuale va perduto a causa dell'infezione da parte del fungo *Magnaporthe oryzae*.

Nessuno ama i pesticidi, ma non dimentichiamo che, se non ci fossero, non esisterebbe dal 40 al 50% del cibo, bisognerebbe raddoppiare la superficie dei terreni coltivati per soddisfare le necessità alimentari dell'attuale popolazione mondiale e sarebbe impossibile sfamare in prospettiva 9 miliardi di persone. La protezione dei raccolti con prodotti chimici quali pesticidi, erbicidi, fungicidi e insetticidi è vitale per ottenere raccolti con alte rese.

Lo sviluppo di un nuovo pesticida costa circa 250 milioni di dollari e sono necessari circa dieci anni per completare le prove di sicurezza e tossicità per gli uomini e per l'ambiente. Ma anche se disponiamo di dati sufficienti e sicuri, i prodotti chimici continuano ad essere guardati con sospetto. Esempio sotto questo profilo è stato il caso dell'atrazina. Questo erbicida (2-cloro-4 etilammino-6-isopropilammino-1,3,5-triazina) è stato per la prima volta registrato negli Stati Uniti dalla Geigy nel 1956 ed è diventato l'erbicida usato nel 75% di tutte le coltivazioni di granoturco di quel paese.

Tuttavia, l'atrazina è stata proibita in Europa dal 2003, per il timore che i suoi residui potessero contaminare le falde acquifere. Già nel 2006 l'EPA (*Environmental Protection Agency*, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente) degli Stati Uniti sosteneva che: “[...] c'è una ragionevole certezza che non vi possa essere alcun danno per la popolazione complessiva degli Stati Uniti, bambini compresi [...]” ma, nonostante questo segnale tranquillizzante, l'atrazina continua a rappresentare un caso politico.

Già nel 1998 sei multinazionali (Astra-Zeneca, Aventis, Dow, Dupont, Monsanto e Novartis) avevano utilizzato i loro OGM su una superficie pari a 29 milioni di ettari di terreni in tutto il mondo, esclusa la Cina. Nello stesso anno, il 40% del cotone, il 35% dei semi di soia e il 25% di mais prodotto negli Stati Uniti erano costituiti da varietà OGM.

Nel 2009, dopo 13 anni di commercializzazione, sono stati prodotti globalmente raccolti transgenici su 135 milioni di ettari, in 25 nazioni.

Una pietra miliare della sicurezza delle coltivazioni OGM è costituita dalla cosiddetta equivalenza della composizione, che viene verificata e regolata da organismi internazionali e valutata caso per caso.

L'esame delle eventuali modificazioni delle proprietà nutrizionali della pianta transgenica si basa su un approccio di tipo comparativo. Si cercano gli effetti “non voluti” derivanti dalla modificazione genetica o le eventuali interazioni fra la nuova proteina e il metabolismo che caratterizza le piante non trasformate. Si confronta, a questo scopo, la composizione dei nutrienti principali della pianta transgenica con quella delle linee isogeniche (linee geneticamente identiche), non geneticamente modificate. Si cercano anche i fattori antinutrizionali e i fattori tossici eventualmente presenti nella specie (per esempio, la solanina nelle patate). Perché il confronto sia corretto, la pianta transgenica deve essere coltivata nelle condizioni del suo utilizzo futuro. In questo modo si dimostra l'equivalenza fra la pianta geneticamente modificata e quella non geneticamente modificata.

Sono stati finora completati molti studi di equivalenza di prodotti transgenici per cotone, soia, grano, riso, patate e in tutti i casi la composizione delle coltivazioni transgeniche è risultata equivalente a quella delle piante non transgeniche (Herman et al., 2009).

La composizione normale di molte coltivazioni non transgeniche mostra un'ampia variabilità e, tuttavia, queste coltivazioni continuano ad essere considerate sicure. Alcune, come le patate, contengono componenti endogeni che, ad alte concentrazioni, possono essere tossici per uomini e animali. Per queste ragioni le nuove varietà di queste coltivazioni sono continuamente monitorate, indipendentemente dai metodi usati per generarle.

Anche se da più di dieci anni è stata dimostrata la totale assenza di cambiamenti di composizione nei prodotti transgenici, le regole internazionali diventano paradossalmente sempre più rigorose senza che ne venga data alcuna giustificazione scientifica e questo rappresenta un forte ostacolo all'innovazione.

Le principali caratteristiche introdotte nelle piante OGM sono state, come già accennato, la resistenza agli erbicidi e la tolleranza-resistenza agli insetti, con conseguenze positive sull'ambiente nel trattamento di erbe infestanti, contaminazioni della falda freatica, suolo e aria.

La resistenza agli insetti ha ridotto l'uso di insetticidi e pesticidi ma, nonostante gli studi scientifici riguardanti gli ovvi vantaggi delle coltivazioni transgeniche, questi non sono riconosciuti unanimemente. Secondo C.M. Brenbrook, la varietà transgenica del grano Bt (*Bacillus thuringiensis*) ha consentito la riduzione dell'uso di pesticidi, ma solo nei primi tre anni e non negli anni successivi. In ogni caso, la varietà di grano transgenico Bt ha dimostrato di poter resistere efficacemente ai principali infestanti per più di un decennio, con benefici economici per gli agricoltori degli Stati Uniti valutati in miliardi di dollari. Un risultato recente, non del tutto sorprendente, è rappresentato dal fatto che i maggiori benefici economici dal 1996 al 2009 hanno riguardato le coltivazioni di grano non Bt poste in prossimità di coltivazioni di grano Bt (Hutchinson et al., 2010).

Indubbiamente, la controversia circa i costi, i rischi e i benefici dell'agricoltura biotecnologica non è ancora del tutto risolta (Batista e Oliveira, 2009). Per guadagnarsi la fiducia dei consumatori, le piante OGM attualmente in sviluppo dovranno dimostrare di poter dare cibi chiaramente riconoscibili come più salutari, caratterizzati cioè da un maggior contenuto di vitamine, da una capacità di poter durare più a lungo sugli scaffali, da un complessivo profilo nutrizionale convincente e affidabile.

Anche a questo proposito, la tecnologia OGM può essere applicata con successo alla produzione di piante con migliori qualità nutrizionali. Un gran numero di persone nei paesi in via di sviluppo vive con una dieta costituita da pochi alimenti base (cassava, frumento, riso e grano), povere di alcuni macronutrienti (carboidrati, lipidi e proteine) e di molti micronutrienti essenziali (17 minerali e 13 vitamine). La mancanza di questi ultimi mette a rischio 250 milioni di bambini e per mancanza di vitamina A mezzo milione di bambini rischiano la cecità. Miliardi di persone sono, a loro volta, a rischio per carenza di ferro e 1,5 miliardi per carenza di iodio (Della-Penna D, 1999). Da ciò deriva la necessità di modificare direttamente i livelli di micronutrienti nei raccolti di piante alimentari.

Uno degli sviluppi più sensazionali finora realizzati in questo senso è stata l'introduzione, nei grani di riso, di geni in grado di produrre β -carotene, il precursore della vitamina A. Il β -carotene è un pigmento necessario per la fotosintesi presente nei tessuti verdi di tutte le piante. Esso è presente anche nelle parti verdi del riso, ma non nei chicchi. Per indurre le cellule del cereale a produrlo nei grani, gli esperti di ingegneria genetica hanno aggiunto nel suo rizoma il gene della fitene sintetasi del mais e quello della carotene desaturasi della *Erwinia uredovora* (un batterio fitopatogeno). I grani di questa nuova varietà transgenica (*golden rice 2*) hanno un colore giallo-oro e contengono 35 microgrammi di β -carotene per grammo di riso secco, in forma biodisponibile per l'uomo e in quantità sufficiente da consentire agli abitanti di regioni povere di godere di un supplemento di vitamina A (Tang et al., 2009). Gli scienziati hanno anche aggiunto al riso i geni in grado di triplicare il contenuto di ferro nutrizionale.

In conclusione, anche se la stragrande maggioranza degli studi hanno dimostrato che non vi sono rischi, restano alcune preoccupazioni riguardanti il potenziale trasferimento orizzontale di materiale genetico da un organismo a un altro, senza che fra i due organismi vi sia alcuna relazione di parentela. Per trasferimento genetico orizzontale si intende quello relativo al trasferimento genetico tra individui appartenenti alla stessa

specie o a specie diverse, attraverso processi diversi da quello di una normale riproduzione dai genitori ai discendenti, detto trasferimento genetico verticale.

Ne è un esempio recente quello relativo alla soia (*Glycine max*), una delle coltivazioni strategiche OGM, dato che rappresenta il 64% della soia consumata nel mondo. Nel caso del *Golden rice*, gli autori (Tang et al., 2009) hanno monitorato i consumatori per quanto riguarda gli eventuali effetti negativi dovuti al consumo del *Golden rice*, ma non hanno riscontrato alcuna controindicazione, incluse reazioni allergiche e disturbi intestinali. Essi però insistono sul fatto che, prima di fare asserzioni definitive sulla sicurezza per uso umano, vi sia la necessità di meglio capire quali possano essere le conseguenze a seguito di un'esposizione cronica nel consumo dell'alimento. Questo è un problema generale per l'utilizzo degli OGM, conoscere gli effetti a lungo termine su un grande numero di consumatori.

Per queste ragioni, la chiave di volta della regolamentazione riguardante gli OGM è certamente l'accurata valutazione dei rischi ad essi associati. Lo studio della tossicità potenziale delle nuove proteine che le piante transgeniche sintetizzano e la loro eventuale allergenicità restano degli obiettivi prioritari per i ricercatori.

Sarebbe di per sé un grande progresso la stipula di un accordo che riconosca le buone ragioni di chi spinge a favore di una riduzione delle regolamentazioni sui raccolti di prodotti geneticamente modificati, senza comprometterne la sicurezza. In questa prospettiva, varietà di interesse pubblico, quali golden cassava, golden banana, riso ricco in zinco e proteine, potrebbero passare dal banco allo stomaco in cinque anni, anziché in quindici (Potrykus I, 2010), un grande risultato per le biotecnologie del cibo.

13.1.1 Patate geneticamente modificate

La patata è originaria del Perù ed è conosciuta in Italia fin dal Cinquecento. La sua diffusione, nel corso del XVIII secolo, rappresentò come nel caso del mais un antidoto alla fame, come indicato dalla singolare coincidenza delle date di introduzione della sua coltivazione nei diversi paesi con quelle delle carestie. In molti paesi, soprattutto nell'Europa centro-settentrionale, ha rappresentato il cibo d'emergenza per tutto il diciottesimo e diciannovesimo secolo, quando la dieta contadina conobbe un grande impoverimento qualitativo a causa dell'aumento della popolazione europea. Fu per questa ragione che in seguito alla perdita di due raccolti di patate, tra il 1845 e il 1852, causata da una micosi, un terzo della popolazione irlandese, falcidiata dalla fame e dalle malattie, emigrò negli Stati Uniti.

La Commissione Europea ha autorizzato, il 2 marzo 2010, la coltivazione, per uso industriale e quindi non destinata al consumo alimentare, della patata geneticamente modificata (OGM) Amflora della BASF; è la prima volta in 12 anni che viene autorizzata la coltivazione di un nuovo OGM. Lo scopo è quello di produrre amido con amilopectina pura per applicazioni nell'industria della carta, dei tessili e degli adesivi.

È stata anche rilasciata un'autorizzazione complementare che permette di usare i sottoprodotti dell'amido per produrre mangimi. Secondo alcuni, questo OGM contiene un gene resistente agli antibiotici, che potrebbe indurre resistenza ai farmaci

se venisse rilasciato nell'ambiente, ma la sicurezza della patata Amflora è stata accertata da anni dalla European Food Safety Authority.

Vi sono ancora in lista d'attesa 17 prodotti OGM da utilizzare per la coltivazione, assieme a 44 prodotti OGM per alimenti.

13.2 Nutridinamica

Negli ultimi dieci anni è aumentata la richiesta da parte del mercato di cibi funzionali, ad esempio alimenti, bevande e altri prodotti contenenti fitosteroli per abbassare il colesterolo.

Un altro esempio è rappresentato dalla fortificazione degli alimenti con vitamine, ad esempio acido folico, una strategia comune negli Stati Uniti, così come l'espansione del mercato dei probiotici. Sono anche in via di sviluppo nuove categorie di cibi funzionali, contenenti ingredienti bioattivi, generati per via enzimatica o per fermentazione microbica da alimenti grezzi.

In molti casi, la struttura molecolare di questi ingredienti bioattivi è nota, ma mancano le informazioni sulle loro interazioni con le altre componenti dell'alimento, sul loro destino una volta ingeriti e sul loro metabolismo finale.

È perciò necessario identificare quali siano i fattori chiave che influenzano la biodisponibilità (nutricinetica) e la bioefficacia dei componenti del cibo, così come l'analisi dei processi a cui essi sono sottoposti e il loro impatto fisiologico.

Questi fattori sono correlati alla matrice del cibo e al modo in cui i diversi componenti interagiscono fra di loro. Ciò porta al nuovo concetto di nutridinamica, una disciplina che si propone di studiare come le componenti del cibo siano influenzate dalla matrice di questo e dal cibo stesso e quali possano essere le ricadute (gli effetti) esercitati sul nostro organismo.

Incominciamo considerando i carboidrati, uno dei componenti principali del cibo e di grande importanza, dato l'impatto che l'indice glicemico ha sulla salute e sull'obesità; quest'ultima è provocata da uno sbilanciamento fra il cibo assunto e l'attività fisica, anche se possono intervenire fattori genetici.

Sono state proposte varie diete per ridurre il peso corporeo e la sindrome metabolica, inclusa dislipidemia e resistenza all'insulina, che porta a diabete di tipo 2 e a complicazioni cardiovascolari. A questo scopo vengono consigliate diete con bassa energia, con pochi acidi grassi saturi e carboidrati raffinati. Tuttavia, vi sono pochi dati a sostegno dell'efficacia dei cibi funzionali per ridurre i problemi legati al peso e vi sono pochi studi interventistici di sufficiente durata riguardanti l'impatto della dieta su patologie come diabete e obesità.

Vanno evitati picchi elevati di glicemia in seguito ad assunzione di carboidrati; dopo ingestione di bevande o cibi base come il pane bianco o riso (contengono amido facilmente digeribile) si verifica un brusco rialzo glicemico postprandiale.

I carboidrati possono coprire il 60% delle necessità energetiche quotidiane che devono essere soddisfatte evitando gli effetti negativi dovuti a un'elevata glicemia.

Va tenuto presente che i tipi di carboidrati presenti in materiali grezzi o prodotti alimentari e le interazioni che hanno luogo durante la preparazione del cibo, in-

fluenzano le loro proprietà bioattive, la digeribilità, la cinetica e gli effetti postprandiali. In altri termini, la biodisponibilità dei carboidrati è determinata, oltre che dall'identità chimica, anche dalla forma fisica del cibo.

I carboidrati possono essere classificati in due categorie principali, quelli che possono essere digeriti e assorbiti nell'intestino piccolo (intestino tenue) e i carboidrati non glicemici, quelli che raggiungono il grande intestino (intestino crasso), in larga misura sotto forma non modificata.

Questi ultimi comprendono i polimeri delle cellule della parete vegetale e i cosiddetti oligosaccaridi non digeribili, i prebiotici (si veda la voce in proposito). Essi vengono convertiti dalle colonie microbiche in acidi grassi a corta catena, che agiscono da "carburante" per il nostro corpo senza aumentare in modo significativo la glicemia.

L'indice glicemico dei carboidrati (*Glycemic Index*, GI) riflette la rapidità con cui uno zucchero polimerico (complesso) si converte in glucosio del sangue, mentre il carico glicemico (*Glycemic Load*, GL) riflette la quantità di cibo glicidico che modifica la glicemia. GL è un parametro più significativo rispetto a GI, sia in termini nutrizionali che per quanto riguarda problemi di peso, poiché condensa, in un unico valore numerico, qualità e quantità di carboidrati assunti.

In soggetti sani, il pane di segala abbassa la risposta insulinica postprandiale rispetto al pane bianco. Esiste inoltre una correlazione fra l'idrolisi dell'amido e la struttura della matrice e dei suoi granuli. Il comportamento dell'amido varia anche in funzione di processi quali la cottura in forno o la frittura. Nel caso delle patate, ad esempio, la frazione di amido resistente è alta nelle patate grezze, ma è bassa (circa 1%) nelle patate bollite. Questo carboidrato non è consumato da solo, ma come parte di un cibo; i cibi, a loro volta, fanno parte di un pasto e ciò si riflette nell'indice glicemico. Si è visto recentemente che il consumo di aceto o noccioline riduce in modo significativo i livelli di glucosio nel sangue dopo un pasto ad alto GL con prodotti a base di pane e di riso. Oltre ad abbassare la glicemia e la risposta insulinica, in soggetti normali l'aceto aumenta il senso di sazietà dovuto al pane.

Vi è un crescente interesse nella produzione di cibi contenenti folati, perché una carenza di questa vitamina B può portare a complicanze neuronali o cardiovascolari. I folati sono presenti nei cibi come poliglutammati (da 5 a 7 unità), a differenza dell'acido folico di sintesi che contiene una sola unità di glutammato (monoglutammati) e ha una maggiore biodisponibilità. Negli spinaci, la biodisponibilità dei folati è pari al 30% di quella dell'acido folico, mentre nel lievito essa è pari al 57%.

Va ricordato che la biodisponibilità del folato presente nei cibi aumenta se si assume latte vaccino. Un altro modo per aumentare la biodisponibilità di folati è quella di assumere batteri lattici (LAB) per produrre prodotti ricchi in folati, ad esempio con il *Lactococcus lactis*.

13.2.1 Proprietà dei carboidrati nei cibi

I carboidrati presenti nei cibi possano essere caratterizzati da: a) la loro identità chimica; b) la matrice dell'alimento che può variare a seconda del processo di prepara-

zione dell'alimento stesso. Queste proprietà chimico-fisiche determinano il decorso gastrointestinale e l'utilizzo dei carboidrati della dieta.

Le proprietà della matrice vanno in larga parte perdute quando i grani interi sono macinati o quando la frutta, come le mele, viene cotta o gli agrumi spremuti. I granuli di amido, viste le loro dimensioni ridotte, restano relativamente intatti. La loro forma cristallina, determinata dall'origine botanica, è importante per determinarne la digeribilità. I granuli di amido delle patate sono molto resistenti all'azione dell'amilasi pancreatica, la digeribilità dei legumi è intermedia, quella dei cereali buona.

Per quanto riguarda l'amido, va anche considerato il rapporto amilosio/amilopectina, in quanto il primo tende a formare strutture secondarie, difficili da disperdere e questo si ripercuote sulla digeribilità.

Il fattore di gran lunga più importante resta comunque il processo a cui è sottoposto l'alimento. I granuli di amido, scaldati in presenza di acqua, si rompono e gelatinizzano in forme facilmente aggredibili dall'amilasi pancreatica.

Questo processo non è reversibile; se si raffredda in assenza di acqua, come nel caso di certi cibi cotti al forno (biscotti), non si ha gelatinizzazione e l'amido presente viene perciò digerito lentamente.

Dal punto di vista dietetico, i carboidrati si suddividono in carboidrati glicemici e non glicemici. Per quanto riguarda i primi, va rilevato che fruttosio e galattosio provocano una risposta glicemica che è circa il 20% di quella provocata dalla stessa quantità di glucosio. Se consideriamo l'utilizzo da parte dell'organismo, la biodisponibilità dei carboidrati glicemici è correlata alla velocità con cui sono ossidati, così il fruttosio è ossidato più rapidamente del glucosio.

I carboidrati non glicemici non sono assorbiti e utilizzati direttamente nello stomaco e nel piccolo intestino. Le pareti cellulari delle piante, contenenti polisaccaridi non amidacei (Non Starch Polysaccharides, NSP, fibre della dieta), svolgono un ruolo unico nel rallentare la digestione e l'assorbimento dei carboidrati, che vengono da esse incapsulati.

Alcune piante NSP promuovono l'azione di acidi biliari, abbassando il colesterolo e possono svolgere un'azione protettiva nei confronti delle neoplasie del colon, specie se ricche in lecitine che legano il galattosio.

I carboidrati scarsamente fermentabili, come quelli della crusca del grano, che tendono ad essere insolubili, hanno un ruolo importante nell'assorbire l'acqua e nel favorire la massa fecale.

Dopo la digestione e l'assorbimento nel piccolo intestino, i tre monosaccaridi derivanti dal metabolismo sono glucosio, fruttosio e galattosio. La risposta glicemica deriva da una complessa interazione di fattori.

La composizione totale dei macronutrienti di pasti misti, influenza la risposta glicemica in un modo che non riflette la somma dei valori di GI di ogni singola componente del pasto, soprattutto quando questo include grassi e proteine.

Per esempio, il pane bianco ha un GI di 70 se considerato da solo, ma se alla stessa quantità di pane bianco si aggiunge prosciutto e formaggio, il GI diventa 50. Il consumatore potrebbe concludere, sbagliando, che l'aggiunta di formaggio e prosciutto migliori le proprietà dei carboidrati del pane bianco.

Al contrario la pasta, che ha un profilo di macronutrienti simili al pane bianco,

costituisce un termine di paragone più appropriato e ne è un valido sostituto, dato che ha un GI più basso, cioè 40.

Il valore di GI è solo qualitativo e per essere usato in modo quantitativo richiede che sia noto anche il contenuto di carboidrati. Per esempio, la carote e il pane bianco hanno valori di GI simili, ma le carote, a parità di peso, hanno meno carboidrati. Malgrado l'alto valore di GI, le carote non vanno escluse dalla dieta, ma consigliate per la bassa quantità di carboidrati e fonte di micronutrienti.

Vi sono poi i polisaccaridi non amidacei. Questi si suddividono in due categorie: a) quelli intrinseci, che impartiscono rigidità alla struttura della pianta e incapsulano gli altri nutrienti, in tal modo controllandoli; e b) quelli aggiunti, come le gomme e altri additivi. I primi (intrinseci), ad esempio i cereali, sono quelli di interesse ai fini di diete ricche in fibre con effetti salutari.

Ricordiamo, infine, l'amido resistente chiamato *Resistant Starch* (RS) cioè amido retrogradato. Si tratta di amido fisicamente inaccessibile, presente in cibi con strutture dense o rigide, quali grani interi di cereali e legumi o in cibi che sono stati prima cotti e poi raffreddati, come pane, cereali per la colazione e patate fredde. Questi amidi non possono essere idrolizzati senza una preventiva dispersione chimica.

13.2.2 Fibre della dieta

Le diete ricche in fibre naturali, quelle ricche in frutta, vegetali e grani interi, hanno effetti benefici sulla salute. Queste diete hanno effetti salutari anche perché tendono ad essere ricche in vitamine, antiossidanti e altri fitochimici e spesso hanno anche un basso contenuto di grassi.

Il termine “fibre della dieta” è stato coniato per descrivere le pareti delle cellule della pianta che resistono alla digestione da parte degli enzimi del nostro organismo. I principali componenti delle cellule delle piante (circa il 90%) sono costituiti da polisaccaridi, che non hanno legami α -glicosidici.

Gli esperti di OMS e FAO sono concordi nel riconoscerli come i principali fattori della dieta nella prevenzione dell'obesità e del diabete (World Health Organization, 2003).

13.3 Nutrigenomica

Il cibo influenza le persone in modo diverso. L'attuale ricerca nutrizionale cerca di guardare oltre gli ingredienti, nel tentativo di capire quali possano essere i loro effetti a livello genetico ed epigenetico. L'epigenetica è una branca della genetica che studia come e quando i geni sono attivati o disattivati. Si è scoperto che certi geni, presenti nel DNA di bambini concepiti durante un periodo di prolungata malnutrizione (inedia, fame), presentano una particolare modificazione che disattiva un gene senza alterare il codice genetico. Due esempi storici sono stati quelli relativi alle conseguenze della grave carenza di cibo patita nell'inverno del 1944 nell'Olanda occupata dai nazisti e alla grande fame cinese dal 1958 al 1961.

A partire dal primo pasto a base di latte, passando attraverso pasti abbondanti o periodi di digiuno, i nostri geni influenzano la nostra dieta e a loro volta i nutrienti, o la loro mancanza, influenzano l'espressione genica. Le differenze nel cibo e nella sua cultura hanno lasciato il loro segno sul nostro genoma (Grayson, 2010).

La nutrigenomica sostiene che la nutrizione ha anche orientato l'evoluzione della specie umana a partire dall'*Homo sapiens*; ad esempio, l'uso del fuoco ha trasformato il cibo grezzo rendendolo più sicuro, digeribile e appetibile. La cottura ha consentito di aumentare la resa energetica del metabolismo e ha permesso di migliorare la nutrizione del nostro cervello, consentendone un maggiore sviluppo.

Un cervello di grandi dimensioni rappresenta un grosso investimento e impegno in termini metabolici. È molto probabile che la carne fosse presente nella dieta degli australopithecini, anche se essi si nutrivano essenzialmente di piante. Data la ricchezza di nutrienti, anche piccole quantità di carne potrebbero avere avuto un grande impatto sull'assunzione di calorie. Altri ingredienti che avrebbero potuto affiancarsi alla carne sono i tuberi che però, per essere digeribili, richiedono di essere cotti. La cottura, oltre a rendere maggiormente assimilabili proteine e amidi, potrebbe avere migliorato l'efficienza del sistema immunitario nella difesa da parassiti e infezioni batteriche. I primi ritrovamenti che testimoniano la presenza di fuochi controllati sono stati trovati in Israele 800000 anni fa. Alimenti marini sarebbero entrati stabilmente nelle diete tra 200000 e 1500000 anni fa (Eisenstein, 2010) fornendo una ricca fonte di acidi grassi polinsaturi favorevoli per la crescita della corteccia cerebrale.

Nonostante la nostra limitata comprensione dell'ecoambiente batterico che prospera nel nostro intestino, è sempre più evidente che il suo profilo genetico è indissolubilmente legato alla nostra funzionalità metabolica. La composizione e l'attività di queste comunità batteriche sono direttamente un sottoprodotto dell'ambiente che ci circonda, della cultura e della dieta. Jeffrey Gordon, un microbiologo dell'Università di Washington, ha mostrato che vi sono differenze nei profili batterici perfino di gemelli. I Giapponesi, come abbiamo scritto altrove, possono digerire i carboidrati provenienti da alghe marine in modo molto efficiente. Questo è stato reso possibile da un trasferimento ancestrale di geni da batteri presenti nelle alghe stesse all'uomo, il che ha permesso alla flora batterica dei Giapponesi di produrre enzimi di tipo porfirinasi e agarasi in grandi quantità (Hehemann et al., 2010). Un esempio famoso dell'effetto della dieta sulle mutazioni genetiche è quello descritto nel 2007 da Perry e collaboratori (Perry et al., 2007). Essi hanno dimostrato che chi si nutre con diete molto ricche in amidi, produce copie supplementari del gene che codifica per le amilasi salivari, gli enzimi che trasformano i carboidrati.

A sua volta, il latte è un nutriente efficace a condizione che si sia provvisti dell'enzima lattasi, che consente di digerire i carboidrati in esso contenuti; se questo enzima non è presente, si possono verificare diarrea e flatulenza. La maggior parte dei genetisti cita la persistenza della lattasi come un esempio paradigmatico di evoluzione umana recente, guidata da cambiamenti di cultura e dieta (Eisenstein, 2010).

Questo campo di indagine, inizialmente ristretto a un piccolo gruppo di ricercatori, ora attrae molti studiosi interessati a conoscere come i nostri geni interagiscono con la nostra dieta; in altri termini, una dieta personale rappresenta qualcosa di molto più ricco e complesso del semplice numero di calorie che vengono introdotte nel-

l'organismo o del rapporto fra proteine, carboidrati e grassi. Si cerca di capire come la dieta possa interagire col genoma per produrre un particolare fenotipo (insieme delle caratteristiche di un organismo). Una prima ricaduta potrebbe essere capire come una dieta si ripercuota in modo ottimale sul nostro stato di salute cardiovascolare, mentre a più lungo termine vi potrebbero essere ripercussioni positive su cervello e invecchiamento.

Per raggiungere questi risultati, si impongono tecnologie e metodi di ricerca innovativi rispetto a quelli tradizionali della scienza della nutrizione. Essi possono essere mutuati dall'esperienza acquisita nello sviluppo dei prodotti farmaceutici. Ancor prima di pianificare esperimenti sull'uomo, questo approccio così rivoluzionario dovrebbe confermare l'esistenza delle interazioni nutrienti-genoma, sia positive che negative, attraverso l'uso di modelli animali.

Già ora si assiste a modifiche nella regolamentazione degli additivi nutrizionali negli Stati Uniti e in Europa; la nutrigenomica potrà trasformare la nostra definizione di salute e malattia e rendere meno definita la distinzione tra cibo e farmaco, tra sperimentatore e paziente.

I ricercatori impegnati in questo nuovo campo di indagine si trovano ad affrontare una sfida ancora più impegnativa di quella che si è affrontata per combattere la malattia; la salute, la salute ottimale, è molto di più dell'assenza di malattia, sostiene Kenneth Korman che dirige la compagnia Interleukin Genetics.

La nutrizione personalizzata richiederà l'identificazione e l'utilizzo di una nuova generazione di indici biologici (*biomarkers*), dato che quelli attuali sono diagnostici solo per le patologie.

13.4 Nutrendo il futuro

La sfida ineludibile dell'alimentazione è quella di poter nutrire nove miliardi di persone nel 2050. È rimasto poco tempo, abbiamo 40 anni per trasformare radicalmente l'agricoltura e avere più cibo, senza stravolgere l'ambiente e, nello stesso tempo, affrontare i cambiamenti climatici. Anche se è difficile valutare l'ampiezza di un problema drammatico come l'assunzione inadeguata (in difetto o eccesso) di alimenti, il numero delle persone sottonutrite già supera il miliardo.

Il nostro pianeta è in pericolo, come è testimoniato dalla desertificazione del Nord-Ovest della Cina e dei pascoli della Mongolia e dalle grandi tempeste di sabbia dell'Africa Nord-Centrale (Banwart, 2011). La velocità di erosione e la perdita di suolo fertile in campi arati in maniera convenzionale sono, in certe località, di 1-2 ordini di grandezza superiori rispetto alla velocità di formazione del suolo; si perde quasi mezzo centimetro all'anno di prezioso strato (Montgomery, 2007). Nello stesso tempo, la produzione agricola dovrà aumentare del 50% entro il 2030, per soddisfare le esigenze alimentari della popolazione mondiale e raddoppiare entro il 2050 (Godfray et al., 2010).

Il suolo si forma quando le rocce si frantumano e si dissolvono, con l'aiuto di microrganismi del suolo, creando delle particelle che, legandosi alle biomasse e a organismi viventi, formano aggregati di 0,25-10 mm. Questi aggregati forniscono

un buon equilibrio di nutrienti minerali e organici, che vengono rielaborati dai microbi in forme utili per le piante. I pori al loro interno trattengono un'umidità sufficiente per la crescita biologica, facilitano il drenaggio e consentono all'ossigeno di raggiungere le radici.

Questo prezioso capitale naturale si perde quando i suoli sono dilavati dalle piogge o dalle tempeste di sabbia nei periodi di siccità.

A questo si aggiunge la cementificazione; dagli anni '50 ad oggi le superfici delle città europee sono aumentate dell'80% e il fenomeno è in continua espansione. Con l'aumento della temperatura, i microbi degradano la materia organica più rapidamente e una maggiore quantità di anidride carbonica è rilasciata nell'atmosfera. Si valuta che in Inghilterra e nel Galles, a causa del cambiamento climatico, la perdita del contenuto in carbonio del suolo sia dello 0,6% all'anno. Il suolo non solo sostiene l'agricoltura e le foreste, ma immagazzina il carbonio, trasforma i nutrienti, sostiene la biodiversità.

Per assicurare l'approvvigionamento di cibo nel futuro è necessario adeguare quantità e qualità dei prodotti dell'agricoltura, così come la loro produzione intensiva, a condizioni compatibili con l'ambiente, garantendo la sostenibilità delle risorse impiegate.

Sarà anche necessario seguire il percorso degli alimenti dalla produzione ai luoghi di vendita attraverso la loro preparazione e conservazione. A partire dagli anni '80, questi obiettivi sono perseguiti attraverso la cosiddetta "agricoltura di precisione", che consente di ottimizzare i trattamenti della catena di produzione degli alimenti in modi e tempi corretti (Gebbers e Adamchuck, 2010).

Una migliore conoscenza delle variazioni dei suoli e delle condizioni di coltivazione, combinate con l'avvento di tecnologie quali i sistemi di telerilevamento e monitoraggio topografico satellitare, servono a questi scopi. Le applicazioni spaziano dall'industria del tè in Tanzania e Sri Lanka, alla produzione di canna da zucchero e cereali in Brasile, Argentina, Australia, Europa e Stati Uniti e di riso in Cina, India e Giappone. Le tecnologie dell'agricoltura di precisione possono essere applicate con successo anche alla gestione ottimale di frutteti e all'allevamento di bestiame.

Scienziati e ingegneri dovranno fornire nuove strategie per far sì, ad esempio, che agricoltori e piccoli proprietari possano conciliare i tempi e le modalità dei raccolti con le necessità del bestiame. È chiaro comunque che, anche se l'innovazione giocherà un ruolo cruciale, la tecnologia e la scienza da sole non potranno garantire la sicurezza dell'approvvigionamento del cibo. L'economia, la politica, gli aspetti psicologici del problema, saranno anch'essi importanti.

L'interesse primario sarà focalizzato sulla disponibilità degli alimenti base, ma sarà comunque indispensabile un cambio di mentalità e accettare l'idea di ridurre e/o ri-orientare la domanda, ad esempio mangiare meno carne e ricorrere a insetti come altre fonti di proteine.

13.5 Sostenibilità e alimenti marini

Gli alimenti marini (pesci e crostacei) ottenuti attraverso la pesca o l'acquacoltura contribuiscono per almeno il 15% al consumo di proteine di circa 3 miliardi di per-

sono, e in misura pari al 50% in realtà geografiche particolari quali le piccole isole e negli stati dell’Africa occidentale (Smith et al., 2010). Gli alimenti di origine marina costituiscono la fonte principale di acidi grassi omega-3, che sono essenziali per lo sviluppo del cervello e forniscono importanti micronutrienti per popolazioni a basso tenore di vita e di sviluppo. Lo sviluppo neurologico ottimale del feto dipende da nutrienti specifici derivanti esclusivamente dalla dieta, incluso l’acido docosaesaenoico (DHA), un acido grasso essenziale omega-3, di cui gli alimenti marini sono la fonte maggiore. L’assunzione di basse quantità di alimenti marini durante la gravidanza può causare carenza di acidi grassi essenziali omega-3 (es. DHA e EPA), con conseguente ritardo nello sviluppo neuronale.

In condizioni di elevata carenza di DHA si possono manifestare gravi disturbi cerebrali, quali il ritardo mentale, che possono essere migliorati aumentando la quantità di DHA nella dieta. I risultati di uno studio recente (Hibbeln et al., 2007) hanno messo in luce che l’assunzione regolare da parte della madre di almeno 340 grammi al giorno di alimenti marini, può avere ricadute benefiche sullo sviluppo del neonato. Questi studi hanno messo in evidenza che i rischi derivanti dalla perdita di micronutrienti, in seguito al consumo di una quantità inferiore a 340 grammi, sono maggiori dei rischi connessi alla possibile presenza di tracce di contaminanti.

Il pesce è importante nell’alimentazione e nella dieta di larghi strati della popolazione di paesi in via di sviluppo che soffrono per la carenza di vitamine e minerali. Esso ha un ruolo essenziale perché il suo consumo regolare permette di correggere le deficienze nella biodisponibilità di vitamina A, calcio, ferro, zinco e di altri nutrienti essenziali (Roos et al., 2007).

Dati relativi al 2006 indicano che nella pesca e nell’acquacoltura sono impiegate più di 40 milioni di persone, mentre circa 500 milioni sono coinvolte in vario modo nella produzione di alimenti marini. Il 92% dell’acquacoltura ittica globale ha luogo nei paesi in via di sviluppo. Due esempi significativi in questo contesto sono quelli del Cile e del Messico; nel primo si concentra l’allevamento del salmone, mentre nel secondo, nella penisola della Baja California, quella delle aragoste (*Paralichthys interruptus*).