

Per informazioni sulle nostre  
attività e sui nostri prodotti visitate il sito  
www.teaonline.it  
www.teaonline.it

*Alle nostre famiglie*

TEA - Tavolo degli Editori Associati S.p.A., Milano  
Gruppo editoriale Merisano Spagnol  
www.teaonline.it

Per la copertina: Jacques-Louis David, Napoleone Bonaparte nel suo quartier generale a Tolon (1802, part.), The National Gallery of Art, Samuel Hays Collection, Washington, DC  
Foto © The Getty Images Art Library/Walari

Copyright © 2007 by Merisano Spagnol Ltd. and by JAV Books Ltd.  
All rights reserved, including the right of reproduction in whole or in part in any form.  
This edition published by arrangement with Jeremy P. Tarcher,  
a member of Penguin Group (USA) Inc.  
© 2006 Longanesi & C., Milano  
Edizione su licenza della Longanesi & C.

Titolo originale:  
Napoleone's Buttons

Prima edizione Supersedita TEA ottobre 2006  
Seconda edizione Supersedita TEA gennaio 2013

Printed in Italy  
Stampato in Italia  
© 2013  
Stampato in Italia

## INTRODUZIONE

Per la mancanza di un chiodo si perse lo zoccolo.

Per la mancanza di uno zoccolo si perse il cavallo.

Per la mancanza di un cavallo si perse il cavaliere.

Per la mancanza di un cavaliere si perse la battaglia.

Per la mancanza di una battaglia si perse il regno.

E tutto per la mancanza di un chiodo per ferrare un cavallo.

Da un'antica filastrocca inglese

Nel giugno 1812 l'esercito di Napoleone era forte di 600.000 uomini; sei mesi dopo, all'inizio di dicembre, quella stessa Grande Armata che era stata l'orgoglio della Francia era ridotta a meno di diecimila uomini. I resti cenciosi delle forze napoleoniche avevano riattraversato la Beresina, nei pressi di Borisov, nella Russia occidentale, sulla lunga via della ritirata da Mosca. I pochi soldati che ancora restavano agli ordini dell'imperatore stavano lottando con le residue energie contro la fame, le malattie e il gelo paralizzante: nemici non meno pericolosi dei combattenti russi. Gran parte di loro erano destinati a perire, essendo insufficientemente vestiti ed equipaggiati per poter sopravvivere ai rigori di un gelido inverno russo.

La ritirata di Napoleone da Mosca ebbe conseguenze di vasta portata sulla carta geografica dell'Europa. Nel 1812 il 90 per cento della popolazione russa era costituito da servi della gleba, appartenenti a proprietari terrieri che avevano il diritto di comprarli, venderli e scambiarli a loro arbitrio: una situazione più vicina alla

schiavitù di quanto non fosse mai stata la servitù della gleba nell'Europa occidentale. I principi e gli ideali della Rivoluzione francese del 1789-1799 avevano seguito l'armata conquistatrice di Napoleone, dissolvendo l'ordine medievale della società, cambiando i confini politici e fomentando i nazionalismi. L'eredità di Napoleone ebbe anche aspetti pratici. Una comune amministrazione civile e codici legali comuni sostituirono il sistema confuso ed eterogeneo delle leggi e regolamentazioni regionali, e furono introdotti nuovi concetti di diritti individuali, familiari e di proprietà. Il sistema decimale dei pesi e delle misure sostituì il caos di centinaia di scale locali diverse.

Che cosa causò lo sfacelo della più grande armata che fosse mai stata guidata da Napoleone? Perché i soldati agli ordini dell'imperatore francese, vittoriosi nelle battaglie precedenti, fallirono nella campagna di Russia? Una delle teorie più strane che siano state proposte può essere enunciata parafrasando un'antica filastrocca inglese: « E tutto per la mancanza di un bottone ». Per quanto possa sembrare sorprendente, la dissoluzione dell'armata napoleonica potrebbe essere in effetti ricondotta a qualcosa di così insignificante come la disintegrazione di un bottone: un bottone di stagno, per essere esatti, di quelli che servivano per tutto, dai cappotti degli ufficiali di Napoleone ai calzoni e alle giubbe dei suoi fanti. Al calare della temperatura, lo stagno metallico lucido comincia a trasformarsi in una polvere grigia non metallica, che è ancora stagno, ma con una diversa forma strutturale. È questo ciò che accadde ai bottoni di stagno dell'armata di Napoleone? A Borisov un osservatore descrisse l'armata di Napoleone come « una folla di spettri avvolti in abiti femminili, in vecchi pezzi di tappeti o in cappotti bruciati pieni di buchi ». Gli uomini di Napoleone, quando i bottoni delle loro uniformi si disgregavano, erano così indeboliti dal freddo da non potersi più comportare da soldati? In conseguenza della perdita dei bottoni, erano costretti a usare le mani per tenersi su gli indumenti, anziché per impugnare le armi?

È difficile stabilire la fondatezza di questa teoria. La « malattia dello stagno », come veniva chiamato il problema, era nota nell'Europa settentrionale da secoli. Perché mai Napoleone, uomo fermamente convinto che gli uomini dovessero essere sempre nelle condizioni più idonee per combattere, aveva permesso l'uso di quei bottoni nei loro indumenti? In realtà la disintegrazione dello

stagno è un processo alquanto lento, persino alle bassissime temperature dell'inverno russo del 1812. La malattia dello stagno è però divertente da raccontare, e i chimici amano citarla come una ragione chimica della sconfitta di Napoleone. E ammesso che nella teoria dello stagno ci sia qualche verità, ci si deve domandare se – qualora lo stagno non si fosse deteriorato nel gelido inverno russo – i francesi avrebbero potuto continuare la loro espansione verso est. I contadini russi sarebbero stati liberati dal giogo della servitù della gleba mezzo secolo prima di quando avvenne storicamente? E la distinzione fra Europa occidentale e orientale, che è segnata grosso modo dai confini raggiunti dall'impero napoleonico – un segno della sua perdurante influenza –, sarebbe evidente ancor oggi?

Nel corso di tutta la storia i metalli hanno avuto un'influenza fondamentale nel plasmare gli eventi umani. A parte il suo ruolo forse apocrifo nei bottoni di Napoleone, lo stagno proveniente dalle miniere della Cornovaglia, nell'Inghilterra meridionale, era stato molto ricercato dai romani ed era stato una delle ragioni dell'espansione dei romani nella Britannia. Si stima che nel 1650 sedicimila tonnellate di argento provenienti dalle miniere del Nuovo Mondo fossero finite nelle casse della Spagna e del Portogallo, per essere usate in gran parte a sostegno di guerre in Europa. La ricerca d'oro e d'argento ebbe un'influenza grandissima sull'esplorazione, sulla colonizzazione e sull'ambiente di molte regioni; per esempio, le corse all'oro dell'Ottocento in California, Australia, Sudafrica, Nuova Zelanda e nel Klondike canadese incisero moltissimo sull'apertura di quei Paesi. La lingua comune contiene molte espressioni che si riferiscono a questo metallo, come *lingotto d'oro*, *sistema aureo*, *valuta aurea*, *buono come l'oro*. Intere epoche sono state denominate con riferimento all'importanza dei metalli. L'Età del Bronzo, nella quale si usò questa lega di stagno e rame nella produzione di armi e di utensili, fu seguita dall'Età del Ferro, caratterizzata dalla fusione del ferro e dall'uso di utensili di ferro.

Ma la storia è stata plasmata soltanto da metalli come lo stagno, l'oro e il ferro? I metalli veri e propri – il vocabolo si applica impropriamente anche a leghe metalliche, come il bronzo e l'ottone – sono elementi, sostanze che non possono essere decomposte in materiali più semplici per mezzo di reazioni chimiche. In natura ci sono solo novanta elementi, e altri diciannove circa sono

anni di distanza da quando Cristoforo Colombo, nel corso del suo secondo viaggio, aveva introdotto la canna da zucchero nell'isola di Hispaniola (Haiti e Santo Domingo). Alla metà del Cinquecento insediamenti spagnoli e portoghesi in Brasile, in Messico e in molte isole caraibiche stavano producendo zucchero. Ogni anno arrivavano dall'Africa nelle piantagioni di quei Paesi circa diecimila schiavi. Poi, nel Seicento, cominciarono a coltivare canna da zucchero nelle Indie occidentali anche le colonie inglesi, francesi e olandesi. La domanda di zucchero in rapida espansione, la crescente tecnologia della lavorazione dello zucchero e lo sviluppo di un nuovo liquore, il rum, ottenuto dalla raffinazione dei prodotti secondari dell'estrazione dello zucchero dalla canna, contribuirono a far crescere in modo esplosivo il numero delle persone trasportate dall'Africa per lavorare nelle piantagioni di canna da zucchero.

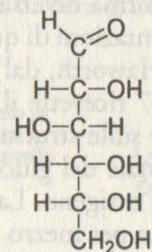
È impossibile stabilire il numero esatto degli schiavi imbarcati su velieri al largo della costa occidentale dell'Africa per essere poi venduti nel Nuovo Mondo. I documenti sono incompleti e forse fraudolenti, riflettendo tentativi di aggirare le leggi che tentarono tardivamente di migliorare le condizioni a bordo delle navi negriere, regolamentando il numero degli schiavi che potevano essere trasportati. Ancora negli anni Venti dell'Ottocento più di cinquecento esseri umani venivano accalcati, su navi negriere brasiliane, in uno spazio di non più di una novantina di metri quadrati di superficie e di una novantina di centimetri di altezza. Alcuni storici calcolano che più di 50 milioni di africani siano stati trasportati in America nel corso dei tre secoli e mezzo della tratta degli schiavi. Questa cifra non comprende quelli uccisi nelle incuriosioni compiute dai cacciatori di schiavi per rifornire le navi negriere, quelli morti nel corso del viaggio dall'interno del continente africano fino alla costa e quelli che non sopravvissero agli orrori del viaggio per mare, che divenne noto come il *middle passage*, dall'Africa alle Indie occidentali.

Il *middle passage* è il secondo lato del triangolo (della tratta degli schiavi) noto come il Grande Circuito. Il primo lato del triangolo era il viaggio dall'Europa alla costa africana, soprattutto la costa occidentale della Guinea, nel corso del quale si trasportavano prodotti industriali da scambiare con gli schiavi. Il terzo lato

del triangolo era il viaggio di ritorno dal Nuovo Mondo all'Europa. Le navi negriere avevano scambiato il loro carico umano con minerali e prodotti delle piantagioni, generalmente rum, cotone e tabacco. Ogni lato del triangolo procurava guadagni enormi, specialmente ai britannici: alla fine del Settecento i profitti da loro ottenuti negli scambi con le Indie occidentali erano maggiori di quelli da loro ricavati dal commercio col resto del mondo. Lo zucchero e i prodotti dello zucchero, in effetti, furono la fonte dell'enorme aumento di capitale e della rapida espansione economica necessaria per alimentare la Rivoluzione industriale inglese, e in seguito anche quella francese, della fine del Settecento e inizio dell'Ottocento.

### Dolce chimica

Il glucosio è il più comune fra gli zuccheri semplici, chiamati a volte *monosaccaridi* dalla parola latina *saccharum*, per zucchero. Il prefisso *mono-* si riferisce a un'unità, in opposizione ai *disaccaridi*, composti da due unità, o ai *polisaccaridi*, composti da molte unità. La struttura del glucosio può essere rappresentata come una catena rettilinea

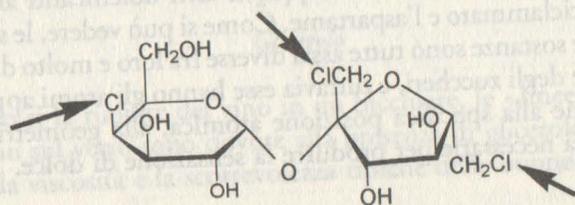


Glucosio

o come un lieve adattamento di questa catena, nel quale ogni intersezione di linee verticali e orizzontali rappresenta un atomo di carbonio. Un insieme di convenzioni di cui non è il caso che ci occupiamo qui attribuiscono numeri agli atomi di carbonio, a partire dall'atomo più in alto, che riceve sempre il numero 1.

al sapore dolce, un gusto collaterale percepibile. L'aspartame, pur essendo sintetico, è composto da due amminoacidi presenti in natura. Esso viene metabolizzato dall'organismo, ma, essendo oltre duecento volte più dolce del glucosio, ne occorre molto di meno per produrre una sensazione di dolce soddisfacente. Devono evitare di usare l'aspartame le persone affette dalla condizione ereditaria nota come fenilchetonuria (PKU): l'incapacità di metabolizzare l'amminoacido fenilalanina, che è uno dei prodotti della scomposizione di questo dolcificante.

Un nuovo dolcificante che fu approvato nel 1998 dalla Food and Drug Administration degli Stati Uniti affronta il problema della produzione del sapore dolce in un modo diverso. Il sucralosio ha una struttura molto simile a quella del saccarosio, con l'eccezione di due fattori. L'unità di glucosio, nella parte sinistra del diagramma, è sostituita dal galattosio, la stessa unità presente nel lattosio. Tre atomi di cloro (Cl) sostituiscono tre dei gruppi OH, com'è indicato in figura: uno sull'unità di galattosio e gli altri due sull'unità di destra, il fruttosio. I tre atomi di cloro non incidono sulla sensazione di dolce prodotta da questo zucchero, ma impediscono al corpo di metabolizzarlo. Perciò il sucralosio è uno zucchero non calorico.



La struttura del sucralosio: sono indicati con frecce i tre atomi di cloro (Cl) che sostituiscono tre gruppi OH, uno nell'unità galattosio (a sinistra) e gli altri due nell'unità fruttosio (a destra).

Oggi si cercano dolcificanti naturali non zuccherini in fonti vegetali contenenti dolcificanti molto potenti, ossia composti che possano essere anche migliaia di volte più dolci del saccarosio. Da secoli popolazioni indigene conoscono piante dal sapore dolce; ne sono esempi: la pianta erbacea del Sudamerica *Stevia rebaudiana*; le radici della liquirizia, *Glycyrrhiza glabra*; la *Lippia dulcis*, una

pianta messicana della famiglia della verbenacee; i rizomi della *Selliguea feei*, una felce della parte occidentale di Giava. I composti dolci ottenuti da fonti naturali hanno dimostrato potenzialità di applicazioni commerciali, ma rimangono ancora in gran parte da risolvere i problemi legati alle loro piccole concentrazioni, alla loro tossicità, alla bassa solubilità in acqua, al retrogusto inaccettabile, a stabilità e qualità variabile.

Benché la saccarina sia in uso da più di cento anni, non è stata la prima sostanza usata come dolcificante artificiale. Questa distinzione appartiene con ogni probabilità all'acetato di piombo,  $Pb(C_2H_3O_2)_2$ , che veniva usato per addolcire il vino ai tempi dell'Impero romano. Questo fatto dovrebbe darci motivo di meditare, se rimpiangiamo i bei tempi andati in cui cibi e bevande non venivano contaminati con additivi.

I romani conservavano inoltre vino e altre bevande in recipienti di piombo e usavano tubi di piombo per portare l'acqua nelle loro case. L'avvelenamento da piombo è un fenomeno cumulativo. Esso colpisce il sistema nervoso e l'apparato riproduttivo, oltre ad altri organi. I sintomi iniziali dell'avvelenamento da piombo sono vaghi ma comprendono sonno agitato, perdita di appetito, irritazione, mal di testa, dolori di stomaco e anemia. Si sviluppano danni al cervello, che conducono a una grande instabilità mentale e alla paralisi. Alcuni storici hanno attribuito la caduta dell'Impero romano all'avvelenamento da piombo, poiché avrebbero manifestato questi sintomi molti fra i personaggi dotati di maggiore autorità, fra cui l'imperatore Nerone. Soltanto la classe dominante romana, quella dell'aristocrazia, che deteneva anche le maggiori ricchezze, riceveva l'acqua in casa grazie a condutture in piombo e usava vasi di piombo per la conservazione del vino. La gente comune doveva andare a prendere l'acqua alle fontane pubbliche e conservava il vino in altri recipienti. Se l'avvelenamento da piombo contribuì effettivamente alla caduta dell'Impero romano, questo sarebbe un altro esempio di una sostanza chimica che cambiò il corso della storia.

Lo zucchero – l'apprezzamento del suo sapore dolce – plasmò la storia umana. Furono i grandi profitti assicurati dall'immenso mercato dello zucchero che stava sviluppandosi in Europa a mo-

tivare lo schiavismo e il trasporto di schiavi africani nel Nuovo Mondo. Senza zucchero ci sarebbe stata una tratta degli schiavi molto minore; senza schiavi ci sarebbe stato un commercio dello zucchero molto più modesto. Lo zucchero diede inizio all'immenso sviluppo dello schiavismo, che fu ulteriormente alimentato dai profitti del commercio di questo dolcificante naturale. La ricchezza degli stati dell'Africa occidentale – i suoi uomini – fu trasferita nel Nuovo Mondo per produrre ricchezza per altri.

Anche dopo l'abolizione della schiavitù, il desiderio di zucchero continuò a influire sugli spostamenti di esseri umani in tutto il mondo. Alla fine dell'Ottocento un gran numero di lavoranti a contratto provenienti dall'India si recò nelle isole Figi per lavorare nelle piantagioni di canna da zucchero. La composizione etnica di questo gruppo di isole del Pacifico cambiò di conseguenza in modo così radicale che i melanesiani nativi persero la maggioranza numerica. Anche la composizione razziale della popolazione di altri Paesi tropicali deve molto allo zucchero. Molti fra i progenitori dell'attuale gruppo etnico di maggioranza nelle Hawaii vi emigrarono dal Giappone per lavorarvi nelle piantagioni di canna da zucchero.

Lo zucchero continua a plasmare la società umana. Esso è un'importante risorsa commerciale; i capricci della meteorologia e le infestazioni di parassiti influiscono a volte pesantemente sull'economia dei Paesi produttori di zucchero e sui mercati azionari di tutto il mondo. Un aumento del prezzo dello zucchero propaga i suoi effetti come una successione di onde in tutta l'industria alimentare. Lo zucchero è stato usato come uno strumento politico; per decenni l'acquisto dello zucchero cubano da parte dell'URSS ha sostenuto l'economia della Cuba di Fidel Castro.

Lo zucchero è presente in gran parte di ciò che beviamo e mangiamo. I nostri figli preferiscono i cibi dolci. Quando riceviamo delle persone, tendiamo a offrire dolci; ricevere a casa degli ospiti non significa più dividere il pane con loro. Dolci di vario genere sono associati alle maggiori feste e celebrazioni in culture di tutto il mondo. I livelli di consumo, molto maggiori che in generazioni precedenti, della molecola glucosio e dei suoi isomeri si riflettono in problemi di salute come l'obesità, il diabete, la carie. Nella nostra vita quotidiana noi continuiamo a essere plasmati dallo zucchero.

## LA CELLULOSA

La produzione di zucchero promosse lo sviluppo della tratta degli schiavi nel doppio continente americano, ma lo zucchero non fu l'unica nuova merce a propiziare l'importazione di schiavi nel Nuovo Mondo. Anche la coltivazione di altre piante che fornivano prodotti per il mercato europeo dipendeva dal lavoro di schiavi. Una di queste coltivazioni fu il cotone. Il cotone greggio importato dall'Inghilterra poteva essere convertito in manufatti a buon mercato che venivano mandati in Africa per scambiarli con schiavi da imbarcare per le piantagioni del Nuovo Mondo e specialmente per gli stati del Sud negli Stati Uniti. I profitti ricavati dallo zucchero fornirono l'impulso iniziale per questo triangolo di scambi, e fornirono il capitale iniziale per la crescente industrializzazione britannica. Furono però il cotone e il commercio del cotone a dare il via alla rapida espansione economica in Gran Bretagna verso la fine del Settecento e all'inizio dell'Ottocento.

### *Il cotone e la Rivoluzione industriale*

Il frutto della pianta del cotone è una capsula di forma ovoidale contenente semi oleosi racchiusi all'interno di una massa di fibre di cotone. Sappiamo che piante di cotone appartenenti al genere *Gossypium* furono coltivate in India e in Pakistan, ma anche in Messico e in Perù, circa 5000 anni fa. La pianta rimase però sconosciuta in Europa fino al 300 a.C. circa, quando soldati di Alessandro Magno tornarono dall'India con tessuti di cotone. Mercanti arabi portarono piante di cotone in Spagna durante il Medioevo. La pianta di cotone è sensibile al gelo e ha bisogno di terreni umidi ma ben drenati e di lunghe estati calde, non delle condizioni che si trovano nelle regioni temperate dell'Europa. L'In-

declino dei servizi della pubblica sanità e l'aumento della resistenza del plasmodio alle molecole antimalariche. All'inizio degli anni '70 del Novecento l'OMS aveva abbandonato il sogno di estirpare completamente la malaria, e concentrò i suoi sforzi sul controllo.

Se si può dire che delle molecole diventino di moda e vadano fuori moda, nel mondo sviluppato il DDT è oggi decisamente passato di moda, tanto che persino il suo nome ha per noi un suono sinistro. Pur essendo oggi fuori legge in molti Paesi, si stima che abbia salvato cinquanta milioni di vite umane. La minaccia della morte per malaria è in gran parte scomparsa dai Paesi sviluppati – un enorme beneficio diretto apportato da una molecola che è stata molto criticata –, ma persiste per milioni di persone che vivono ancora nelle regioni malariche del mondo.

#### *Emoglobina: una protezione naturale*

In molte di tali regioni ben poche persone possono permettersi l'acquisto degli insetticidi che controllano gli anofeli o dei sostituti sintetici della chinina che forniscono protezione ai turisti che arrivano dal mondo occidentale. In tali luoghi la natura ha però fornito alle popolazioni locali una diversa forma di difesa contro la malaria. Il 25 per cento degli africani che vivono a sud del Sahara sono portatori dei geni per la malattia grave e debilitante nota come anemia drepanocitica (o falciforme). Quando entrambi i genitori sono portatori di questo carattere, un figlio ha una probabilità su quattro di avere la malattia, una su due di essere un portatore, e una su quattro di non avere la malattia e non essere un portatore.

I globuli rossi del sangue, sferici nella loro forma normale, sono flessibili e comprimibili, cosa che permette loro di penetrare nei tessuti dell'organismo anche passando per i vasi sanguigni più piccoli. Nei malati di anemia drepanocitica, invece, metà circa dei globuli rossi del sangue diventano rigidi e acquistano una forma allungata a falce (*drepane* è il nome della falce in greco). Questi eritrociti irrigiditi in forma di falce hanno difficoltà a comprimersi e possono quindi causare blocchi nei vasi sanguigni più piccoli, lasciando le cellule del tessuto muscolare e di organi vitali

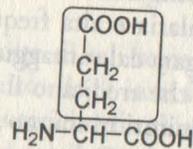
senza sangue e senza ossigeno. Ciò conduce a una crisi che causa forti dolori e che a volte danneggia in modo permanente organi e tessuti. Il corpo distrugge gli eritrociti anormali in forma di falce a un ritmo più elevato rispetto alla norma, causando una riduzione complessiva del numero dei globuli rossi: la fonte dell'anemia.

Fino a poco tempo fa l'anemia falciforme era di solito fatale nell'infanzia; problemi cardiaci, insufficienza renale ed epatica, infezioni e ictus esigevano un pesante tributo in tenera età. I trattamenti attuali, che non sono vere terapie, permettono ai pazienti di vivere più a lungo e in migliori condizioni di salute. I portatori dell'anemia drepanocitica possono risentire della deformazione delle cellule, anche se di solito non abbastanza per compromettere la circolazione del sangue.

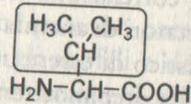
Per i portatori del carattere dell'anemia falciforme che vivono in aree malariche, la malattia offre un importante compenso: un consistente livello di immunità nei confronti della malaria. La precisa correlazione fra incidenza della malaria e alta frequenza dei portatori di anemia drepanocitica è spiegata dal vantaggio evolutivo di essere un portatore. Coloro che ereditano il carattere della drepanocitemia da entrambi i genitori muoiono di solito di questa forma di anemia già nell'infanzia. Coloro che non ereditano il carattere da nessuno dei due genitori soccomberanno con molta maggiore probabilità alla malaria, spesso già nell'infanzia. Coloro che ereditano i geni della drepanocitemia da un solo genitore hanno una certa misura di immunità al parassita della malaria, e di solito sopravvivono fino all'età della riproduzione. Così il carattere ereditario della drepanocitemia non solo continua in una popolazione, ma si moltiplica al passare delle generazioni. Dove la malaria non esisteva non c'era alcun vantaggio nell'essere portatori, e tale carattere sarebbe gradualmente stato eliminato dalla selezione naturale. L'assenza di un'emoglobina anormale che fornisca alla popolazione degli indiani d'America un'immunità alla malaria è considerata una prova certa che prima dell'arrivo di Colombo il continente americano non conosceva questa malattia.

Il colore rosso degli eritrociti è dovuto alla presenza di molecole di emoglobina, che hanno la funzione di trasportare l'ossigeno in tutto il corpo. Un mutamento estremamente piccolo nella

struttura chimica dell'emoglobina è responsabile dell'anemia drepanocitica, che può mettere in pericolo la vita stessa dei pazienti. L'emoglobina è una proteina; come la seta, è un polimero comprendente più unità di amminoacidi; ma diversamente dalla seta, le cui catene di amminoacidi variamente disposte possono contenere migliaia di unità, gli amminoacidi dell'emoglobina, accuratamente ordinati, sono disposti in due insiemi di filamenti uguali fra loro a due a due (due filamenti  $\alpha$  e due filamenti  $\beta$ ). I quattro filamenti (o catene polipeptidiche) sono avvolti insieme intorno a quattro unità non proteiche contenenti ferro dette *eme*: il luogo cui si attaccano gli atomi di ossigeno. I pazienti affetti da anemia drepanocitica hanno un solo amminoacido diverso su uno dei due insiemi di filamenti: sul cosiddetto filamento  $\beta$ , il sesto amminoacido, anziché essere l'acido glutammico presente nell'emoglobina normale, è stato sostituito dalla valina.



Acido glutammico



Valina

La valina differisce dall'acido glutammico solo nella struttura della catena laterale (evidenziata).

Il filamento  $\beta$  è composto da 146 amminoacidi; il filamento  $\alpha$  da soli 141. La variazione complessiva negli amminoacidi è quindi solo di uno su 287: una differenza di circa un terzo dell'1 per cento. Eppure le conseguenze, per la persona che eredita il carattere della drepanocitemia da entrambi i genitori, sono devastanti. Se diciamo che il gruppo laterale è solo un terzo circa della struttura dell'amminoacido, la differenza percentuale nella struttura chimica reale diventa ancora minore: un cambiamento di solo l'1 per cento della struttura molecolare.

Quest'alterazione minima nella struttura di una catena proteica spiega i sintomi dell'anemia drepanocitica. Questo gruppo laterale dell'acido glutammico ha come parte della sua struttura un gruppo COOH, mentre il gruppo laterale della valina non ce l'ha.

Senza questo COOH sul residuo del sesto amminoacido del filamento  $\beta$ , la forma deossigenata dell'emoglobina dell'anemia drepanocitica è molto meno solubile; essa precipita all'interno dei globuli rossi, determinandone la forma alterata e la mancanza di flessibilità. La solubilità della forma ossigenata dell'anemia drepanocitica ne risente ben poco. Ci sono quindi molte più emazie falciformi quando c'è più emoglobina deossigenata.

Una volta che le cellule falciformi cominciano a bloccare i capillari, i tessuti locali diventano carenti d'ossigeno, l'emoglobina ossigenata si converte nella forma deossigenata e si verifica una deformazione di un numero ancora maggiore di cellule: un circolo vizioso che conduce rapidamente a una crisi. Ecco perché anche i portatori della costituzione genetica eterozigote per l'anemia drepanocitica, che non sono affetti da quest'anemia, possono presentare la deformazione falciforme in un certo numero delle loro cellule; mentre di solito solo l'1 per cento dei loro globuli rossi sono deformati in forma di falce, possono assumere la forma a falce anche il 50 per cento delle loro molecole di emoglobina. Questo può accadere in situazioni di ridotta pressione dell'ossigeno in aerei non pressurizzati, o dopo un forte esercizio fisico a grandi altitudini: due condizioni in cui può accumularsi nel corpo la forma deossigenata di emoglobina.

A tutt'oggi sono state trovate più di 150 variazioni diverse nella struttura chimica dell'emoglobina umana, e benché alcune di esse siano letali o possano causare problemi, molte altre sono apparentemente benigne. Si pensa che una resistenza parziale alla malaria venga conferita anche ai portatori delle variazioni dell'emoglobina che producono altre forme di anemia, come la talassemia alfa, endemica fra popolazioni originarie del Sud-est asiatico, e la talassemia beta, più comune nell'ambiente mediterraneo, per esempio fra greci e italiani, come pure in popolazioni del Medio Oriente, dell'India, del Pakistan e di parti dell'Africa. È probabile che almeno 5 ogni 100.000 esseri umani abbiano un qualche tipo di variazione nella loro emoglobina, e che la maggior parte di loro siano destinati a non saperlo mai.

Non è detto che sia solo la differenza nella struttura del gruppo laterale fra acido glutammico e valina a causare i problemi debilitanti dell'anemia falciforme; questi potrebbero infatti essere le-

gati anche all'esatta posizione in cui tale differenza si presenta nel filamento  $\beta$ . Noi non sappiamo se lo stesso cambiamento in una posizione diversa avrebbe un effetto simile sulla solubilità dell'emoglobina e sulla forma dei globuli rossi. Né sappiamo con precisione perché questo cambiamento conferisca immunità nei confronti della malaria. È ovvio che in un globulo rosso contenente emoglobina con valina, anziché acido glutammico, nella posizione 6 c'è qualcosa che ostacola il ciclo vitale del plasmodio.

Le tre molecole al centro della lotta attualmente in corso contro la malaria sono molto diverse chimicamente, ma ognuna di esse ha avuto un'influenza importante su eventi del passato. Gli alcaloidi della corteccia di cinchona, durante tutta la loro lunga storia di benefici per l'uomo, hanno apportato ben pochi vantaggi economici alle popolazioni indigene delle pendici orientali delle Ande, dove cresceva l'albero della china. Furono gli stranieri a trarre profitto dalla molecola di chinina, sfruttando a proprio vantaggio una risorsa naturale unica di un Paese meno sviluppato. La colonizzazione europea di gran parte del mondo fu resa possibile dalle proprietà antimalariche della chinina; questa, come molti altri prodotti naturali, fornì anche un modello molecolare su cui lavorare ai chimici che tentarono di riprodurne o potenziarne gli effetti, apportando modifiche alla sua struttura chimica originaria.

Benché la molecola di chinina, nell'Ottocento, abbia fornito un notevole contributo alla crescita dell'Impero britannico, e all'espansione di altre colonie europee, fu la molecola del DDT, come insetticida, a sradicare infine nel XX secolo la malaria dall'Europa e dal Nordamerica. Il DDT è una molecola organica sintetica che non ha alcun analogo naturale. Quando si producono molecole del genere si corre sempre qualche rischio: non abbiamo infatti alcun modo di sapere con certezza quali di tali molecole saranno incondizionatamente benefiche e quali potranno avere effetti nocivi. Ma quanti di noi sarebbero pronti a rinunciare all'intera varietà delle nuove molecole, i prodotti delle innovazioni dei chimici che migliorano la nostra vita: gli antibiotici e gli antitumorici, le plastiche e i polimeri, i tessuti e gli aromi, gli anestetici e gli additivi, i colori e i refrigeranti?

Le ripercussioni del piccolo mutamento molecolare che pro-

duisse l'anemia drepanocitica si fecero sentire su tre continenti. La resistenza alla malaria fu un fattore cruciale nella rapida crescita della tratta degli schiavi africani nel Seicento. La grande maggioranza degli schiavi importati nel Nuovo Mondo veniva da regioni dell'Africa in cui la malaria era endemica e in cui l'anemia drepanocitica era comune. Commercianti e proprietari di schiavi sfruttarono prontamente il vantaggio evolutivistico offerto dalla sostituzione della valina all'acido glutammico, nella posizione 6 sulla molecola di emoglobina. Ovviamente non conoscevano la ragione chimica dell'immunità degli schiavi africani alla malaria. Tutto quel che sapevano era che gli schiavi provenienti dall'Africa erano in generale in grado di sopravvivere alle febbri diffuse nei climi tropicali, adatti alla coltivazione della canna da zucchero e del cotone, mentre gli americani nativi, portati a lavorare nelle piantagioni da altre parti del continente, soccombevano rapidamente alle malattie. Questo cambiamento molecolare condannò generazioni di africani alla schiavitù.

La tratta degli schiavi non avrebbe avuto il successo che ebbe se gli schiavi e i loro discendenti fossero stati sterminati dalla malaria. Le grandi piantagioni del Nuovo Mondo non avrebbero potuto fornire grandi profitti, e sarebbe quindi venuto meno il loro contributo alla crescita economica in Europa. Non ci sarebbero state grandi piantagioni di canna da zucchero. Il cotone non si sarebbe sviluppato fra le coltivazioni più importanti nel Sud degli Stati Uniti, la Rivoluzione industriale in Gran Bretagna sarebbe stata forse ritardata o avrebbe preso una direzione diversa, e magari negli Stati Uniti non ci sarebbe stata la Guerra di secessione. Gli eventi dell'ultimo mezzo millennio sarebbero stati molto diversi se non fosse stato per quel minuscolo mutamento nella struttura chimica dell'emoglobina.

La chinina, il DDT e l'emoglobina: queste tre strutture molto diverse sono unite storicamente dalle loro connessioni con una delle malattie più letali nella storia del nostro pianeta. Esse sono in qualche misura rappresentative anche delle molecole di cui ci siamo occupati nei capitoli precedenti. La chinina è un prodotto naturale presente in natura, così come molti altri composti che hanno avuto effetti di lunga portata sullo sviluppo della civiltà. Anche l'emoglobina è un prodotto naturale, ma di origine animale. Essa appartiene inoltre al numero delle molecole classificate

come polimeri, e i polimeri di tutti i tipi hanno avuto un ruolo significativo in mutamenti importanti nel corso di tutta la storia. Quanto al DDT, esso ben illustra i dilemmi spesso associati ai composti artificiali prodotti dall'uomo. Quanto sarebbe diverso il nostro mondo – in meglio o in peggio – senza le sostanze sintetiche prodotte dall'ingegnosità di coloro che creano nuove molecole!

## EPILOGO

Gli eventi storici hanno quasi sempre più di una causa, cosicché sarebbe troppo semplicistico attribuire gli eventi menzionati in questo libro esclusivamente alle strutture chimiche. Non è però neppure un'esagerazione dire che le strutture chimiche hanno svolto un ruolo essenziale, e spesso non riconosciuto, nello sviluppo della civiltà. Quando un chimico determina la struttura di un diverso prodotto naturale, o sintetizza un nuovo composto, l'effetto di un piccolo cambiamento chimico – un doppio legame spostato qui, un atomo di ossigeno sostituito là, una modificazione in un gruppo laterale – sembra sempre poco importante. È spesso solo alla luce del senno di poi che riconosciamo gli effetti di grande rilevanza che possono scaturire da mutamenti chimici piccolissimi.

All'inizio le strutture chimiche presentate in questi capitoli possono essere apparse ai lettori estranee e sconcertanti. Speriamo però di essere riusciti nel corso del libro a dissipare un po' del mistero che le avvolgeva, e che ora i lettori possano vedere come gli atomi che compongono le molecole si conformino a regole ben definite. Eppure, all'interno dei confini di queste regole ci sono possibilità apparentemente infinite di strutture differenti.

I composti che abbiamo scelto come protagonisti di storie interessanti e importanti si suddividono in due gruppi principali. Il primo comprende molecole fornite da fonti naturali: molecole preziose ricercate in natura dall'uomo. Il desiderio di queste molecole ha governato molti aspetti della storia del passato. Nel corso dell'ultimo secolo e mezzo è diventato più importante il secondo gruppo di molecole. Queste sono composti prodotti in laboratori o in fabbriche: alcuni di essi, come l'indaco, sono assolutamente identici a molecole estratte da un prodotto della natura, mentre altre sono variazioni della struttura del prodotto naturale. A volte, come nel caso dei clorofluorocarburi (CFC), sono molecole del tutto nuove, che non hanno analoghi in natura.