

Percorsi



ISBN 978-88-420-81449



9 788842 081449



PROGETTO GRAFICO: SILVANA AMATO/STUDIO ORECCHIO

Percorsi

G. Biondi F. Martini
O. Rickards G. Rotilio

In carne e ossa



DNA, cibo e culture
dell'uomo preistorico

 *Editori Laterza*

ce, è stata la migrazione verso le isole del Pacifico, iniziata solo 6.000 anni fa; e quella verso la Nuova Zelanda, dove i primi colonizzatori-agricoltori sono arrivati 800 anni fa. La migrazione verso nord, e quindi la colonizzazione dell'Europa, è iniziata molto tempo dopo quella che ha interessato l'oriente e non sembra andare oltre i 35.000 anni fa. Un ritardo così marcato potrebbe essere dovuto alle condizioni climatiche, che avevano reso inospitali tante terre del nostro continente coprendole con spesse coltri di ghiaccio. L'ultima grande migrazione della preistoria ha visto coinvolte le popolazioni dell'Asia settentrionale, che hanno attraversato il corridoio della Beringia per raggiungere le Americhe in tre ondate successive, databili a 30.000-15.000 anni fa, a 15.000-10.000 anni fa, e infine ad un periodo compreso tra 9.000 e 6.000 anni fa (fig. 15). Una volta raggiunto il Nuovo Mondo, possiamo dire che l'*Homo sapiens* abbia portato a termine la più ambiziosa opera di colonizzazione mai tentata dagli ominini, l'occupazione dell'intera Terra, un primato che solo di recente abbiamo voluto sfidare ancora per andare fin nello spazio.

Capitolo primo
Dal cibo al DNA:
alimentazione, geni e malattie

La strategia alimentare Parte seconda

L'alimentazione degli ominini fino alla rivoluzione agropastorale del Neolitico

di Giuseppe Rotilio

I nutrienti appartengono a sei classi: carboidrati o glucidi, grassi o lipidi, proteine, vitamine, sali minerali e acqua. Le prime tre classi sono assunte in quantità relativa molto abbondante (macro nutrienti), così come l'acqua e alcuni minerali (ad esempio calcio e fosforo). Le vitamine e la maggior parte dei minerali, invece, sono assunti con la dieta in quantità molto minori (micro nutrienti) in quanto in genere servono come cofattori essenziali di processi (enzimi) che esercitano la loro attività in maniera catalitica, cioè sono in grado di dare origine a un gran numero di atti funzionali con una sola molecola. Gli alimenti, soprattutto quelli vegetali, contengono anche quantità variabili di sostanze nutritive come fibre o di carboidrati non digeribili (ad esempio amido) (fibra alimentare) e di molecole che dopo l'assorbimento non sono metabolizzate a fini energetici o strutturali (ad esempio i polifenoli). Come vedremo, anche la presenza di questi non nutrienti è importante ed è stata importante nel rapporto tra l'alimentazione ed evoluzione umana. Ulteriori notizie che renderanno più agevole la comprensione degli argomenti trattati in questa parte sono riportati nella tavola 1.

ce, è stata la migrazione verso le isole del Pacifico, iniziata solo 6.000 anni fa; e quella verso la Nuova Zelanda, dove i primi colonizzatori-agricoltori sono arrivati 800 anni fa. La migrazione verso nord, e quindi la colonizzazione dell'Europa, è iniziata molto tempo dopo quella che ha interessato l'oriente e non sembra andare oltre i 35.000 anni fa. Un ritardo così marcato potrebbe essere dovuto alle condizioni climatiche, che avevano reso inospitali tante terre del nostro continente coprendole con spesse coltri di ghiaccio. L'ultima grande migrazione della preistoria ha visto coinvolte le popolazioni dell'Asia settentrionale, che hanno attraversato il corridoio della Beringia per raggiungere le Americhe in tre ondate successive, databili a 30.000-15.000 anni fa, a 15.000-10.000 anni fa, e infine ad un periodo compreso tra 9.000 e 6.000 anni fa (fig. 15). Una volta raggiunto il Nuovo Mondo, possiamo dire che l'*Homo sapiens* abbia portato a termine la più ambiziosa opera di colonizzazione mai tentata dagli ominini, l'occupazione dell'intera Terra, un primato che solo di recente abbiamo voluto sfidare ancora per andare fin nello spazio.

Capitolo primo Dal cibo al DNA: alimentazione, geni e malattie

La strategia alimentare - Parte seconda

L'alimentazione degli ominini fino alla rivoluzione agropastorale del Neolitico

di Giuseppe Rotilio

Il cibo è il nutrimento indispensabile per la sopravvivenza e lo sviluppo di ogni organismo. Gli animali, e in particolare l'uomo, sono organismi eterotrofi, cioè non sono in grado di sintetizzare da soli le sostanze nutritive che necessitano per vivere. Per questo devono ricorrere all'esterno per procurarsi il cibo. La dieta, cioè l'insieme degli alimenti ingeriti, è quindi un fattore determinante per la salute e il benessere dell'organismo. In questa parte della monografia si analizza l'evoluzione della dieta umana, dalla caccia e raccolta primitiva all'agricoltura e all'allevamento domestico. Si discute il ruolo di diversi nutrienti, come le proteine, i carboidrati, i lipidi, le vitamine e i minerali, e si evidenzia come l'evoluzione dell'alimentazione abbia influenzato lo sviluppo genetico e l'insorgenza di alcune malattie. Si conclude con una riflessione sulla necessità di una dieta equilibrata e sana per il benessere dell'uomo moderno.

Capitolo primo
Dal cibo al DNA:
alimentazione, geni e malattie

La strategia alimentare di *Homo sapiens* appare caratterizzata da uno straordinario onnivivorismo, che fra i mammiferi non ha uguali se si eccettuano, ma a una certa distanza, il maiale e l'orso bruno. Questa strategia gli permette di avere un regime alimentare (o *dieta*) capace di acquisire tutte le sostanze necessarie alle sue esigenze energetiche e strutturali (i *nutrienti*) ricorrendo alle migliori fonti (gli *alimenti*) disponibili nell'ecosistema di origine e anche, a partire da un certo momento della sua evoluzione, adattandosi ad ecosistemi remoti. I nutrienti appartengono a sei classi: *carboidrati* o glicidi, *grassi* o lipidi, *proteine*, *vitamine*, *ioni minerali* e *acqua*. Le prime tre classi sono assunte in quantità relativa molto abbondante (macronutrienti), così come l'acqua e alcuni minerali (ad esempio calcio e fosforo). Le vitamine e la maggior parte dei minerali, invece, sono assunti con la dieta in quantità molto minori (micronutrienti) in quanto in genere servono come cofattore essenziale di proteine (enzimi) che esercitano la loro attività in maniera catalitica, cioè sono in grado di dare origine a un gran numero di atti funzionali con una sola molecola. Gli alimenti, soprattutto quelli vegetali, contengono anche quantità variabili di *non nutrienti*, sotto forma o di carboidrati non digeribili dall'intestino umano (fibra alimentare) o di molecole che dopo l'assorbimento non sono metabolizzate a fini energetici o strutturali (ad esempio i polifenoli). Come vedremo, anche la presenza di questi non nutrienti è importante ed è stata importante nei rapporti fra alimentazione ed evoluzione umana. Ulteriori notizie che renderanno più agevole la comprensione degli argomenti trattati in questa parte sono riportati nella tavola 1.

Tavola 1. *Gli alimenti dell'onnivorismo di «Homo sapiens» all'inizio del Neolitico*

Alimenti	Nutrienti caratterizzanti	Funzione predominante
Carne, uova	Proteine ad alto valore nutrizionale (VN), grassi, minerali micronutrienti, alcune vitamine (B12, A, D)	Componenti essenziali di tutti i tessuti ed enzimi. Energia a lungo termine dai grassi
Pesce e altri animali acquatici	Come sopra più acidi grassi essenziali	Come sopra più componenti essenziali del cervello e dei nervi
Latte, yogurt, formaggi	Come sopra più acqua, calcio e fosforo	Come sopra più funzioni dell'acqua e componenti essenziali delle ossa
Frutta	Carboidrati a rapido assorbimento (zuccheri), vitamine, fibra alimentare, polifenoli. Grassi (olive, palma ecc.)	Energia a breve termine, enzimi, funzione antiossidante, massa fecale. Energia a lungo termine dai grassi vegetali
Miele	Zuccheri	Energia a breve termine
Cereali e tuberi	Carboidrati a lento assorbimento (amidi), proteine a medio basso VN. Vitamine B	Energia a medio-breve termine, enzimi
Legumi	Carboidrati a lento assorbimento, fibra, proteine di medio VN (alto per la soia)	Energia a medio termine, massa fecale, buoni sostituti della carne (specie la soia)
Verdure	Vitamine, fibra, polifenoli	Enzimi, funzione antiossidante, massa fecale
Bevande	Acqua, minerali, etanolo (se fermentate), polifenoli (nel vino)	Componenti di tutti i tessuti e di molti enzimi: pressione arteriosa. Energia (se fermentate)

Note di commento alla tavola.

Gli apporti nutrizionali si riferiscono al cibo crudo. Gli effetti della cottura sono trattati nel capitolo VII, Parte seconda.

Alcuni di questi alimenti (ad esempio il latte e i suoi derivati, le bevande alcoliche fermentate) riguardano l'evoluzione umana solo a partire dalla rivoluzione agropastorale del Neolitico. Fino a quest'epoca anche gli altri alimenti sono rappresentati dalle varianti selvatiche delle specie vegetali e animali interessate. L'apporto nutrizionale delle due varianti (selvatica e domestica) della stessa specie può essere molto differente.

L'onnivorismo della specie umana è ulteriormente aumentato in epoca storica, per gli scambi alimentari fra varie culture fin dall'epoca classica ma specialmente per la produzione tecnologica di nuove molecole introdotte in grande quantità nell'alimentazione negli ultimi 500 anni. Un tipico esempio è rappresentato dal saccarosio, o zucchero da cucina, che ha anche dato origine, come sottoprodotto della sua raffinazione, all'industria delle bevande alcoliche distillate, a contenuto di etanolo molto più alto che in quelle fermentate.

Discuteremo fra poco come il confronto del genoma umano con nuove molecole alimentari richieda tempi molto lunghi, dell'ordine di migliaia di anni, per generare fenotipi adattati, e questo concetto va tenuto ben presente sia nella storia dei rapporti fra cibo ed evoluzione, sia nell'interpretazione, in una corretta prospettiva biologica, delle molteplici innovazioni che l'umanità attuale propone continuamente a se stessa in materia di alimenti e di diete.

Infatti la grande flessibilità e creatività nell'approccio al cibo, che è culminata 10.000 anni fa con la conversione totale di molte popolazioni all'agricoltura e all'allevamento, si è instaurata gradualmente nel corso dell'evoluzione umana. Anche nel mondo attuale rimangono isole di gruppi umani con alimentazione molto specializzata in quanto perfettamente adattati ad ecosistemi che sono rimasti immutati dal Pleistocene: la tundra artica e subartica, la foresta fluviale amazzonica, i deserti sudafricano o australiano. In questi habitat l'adattamento umano è avvenuto attraverso l'aumentata espressione di geni che portano alla sintesi di enzimi specializzati per la conversione delle variabili risorse nutrizionali dell'ambiente nelle molecole essenziali alle funzioni vitali. Fra queste molecole spiccano, nelle particolari situazioni alimentari e metaboliche degli habitat estremi, il glucosio (per l'energia di pronta disponibilità) e i grassi (per la termoregolazione, l'energia di riserva e la composizione strutturale delle membrane, soprattutto quelle alla base delle attività cognitive e di percezione sensoriale come le membrane delle fibre nervose, dei neuroni e delle sinapsi). A questo proposito un esempio ben studiato è quello degli Inuit dell'Artico (Eschimesi). Queste popolazioni, fino a pochi decenni fa, erano quasi totalmente carnivore, cibandosi di foche, caribù e pesce, che non contengono glucosio, o suoi precursori appartenenti alla stessa famiglia biochimica (glicidi). Nelle popolazioni che invece hanno trasformato il loro habitat mediante tecniche agricole il glucosio si acquisisce per ingestione di glicidi complessi come i polisaccaridi (amidi) da cereali e tuberi, poi scomposti in glucosio dalle amilasi intestinali, o come i disaccaridi, quali il lattosio del latte e il saccarosio dello zucchero da cucina, scissi a loro volta da lattasi e saccarasi. Gli Inuit mantengono costanti i loro livelli di glucosio ematico mediante un'attività enormemente ac-

cresciuta di gluconeogenesi, cioè di produzione di glucosio da precursori non glicidici. Alla base di questo adattamento è l'aumentata espressione dei geni che codificano gli enzimi della trasformazione degli aminoacidi, sia derivati dalle proteine degli alimenti che da quelle dei propri muscoli, in glucosio. Inoltre la necessità di superare periodi di riduzione delle risorse alimentari, tipici dell'ambiente artico, ha adattato gli Inuit al «metabolismo del digiuno». Questo adattamento consiste nella capacità di utilizzare, oltre che le proteine endogene per gluconeogenesi, soprattutto i grassi dei depositi adiposi a fini energetici. In queste condizioni di apporto di glucosio scarso o assente si accumulano dei particolari metaboliti dei grassi, i corpi chetonici, che però possono essere riutilizzati a fini energetici in tessuti specializzati, e con maggiore efficienza in popolazioni adattate mediante una maggiore disponibilità degli enzimi specializzati in questa trasformazione.

Nel contesto di questo libro, gli studi sui regimi alimentari e i conseguenti adattamenti metabolici di popolazioni attuali occupanti «nicchie pleistoceniche» residue ha un duplice interesse. L'aspetto più ovvio è che essi ci aprono finestre sull'alimentazione di ominini vissuti in ambienti caratterizzati da condizioni analoghe a quelle delle nicchie attuali. L'altro punto, di presa meno diretta ma con implicazioni molto importanti, riguarda le possibili informazioni sui rapporti fra alimenti ed espressione genica e quindi fra cibo ed evoluzione umana. A questo proposito si è rivelata molto utile l'osservazione che malattie legate all'alimentazione (diabete di tipo 2, obesità, ipertensione) hanno maggiore incidenza in popolazioni passate solo recentemente da regimi alimentari «preagricoli» a regimi ricchi di carboidrati e di sale, tipici delle popolazioni che hanno adottato modelli agropastorali fin dall'inizio della rivoluzione neolitica. D'altronde, questo problema si inserisce nel contesto più vasto di come certi adattamenti alimentari possano contribuire alla fitness darwiniana di certi tipi genetici o genotipi. Nel caso da noi analizzato si tratterebbe di un genotipo parsimonioso o economo o frugale (in inglese «thrifty genotype»). Questo genotipo si sarebbe selezionato nel Paleolitico in risposta alla necessità di utilizzare al meglio l'abbondanza di alimenti proteici e ricchi di grasso dei periodi di grande disponibilità di car-

casce animali in alternanza con lunghi periodi di scarsità di risorse. Il fenotipo prodotto dall'espressione di questo tipo genetico è caratterizzato soprattutto da una pronta stimolazione alla secrezione dell'insulina, in modo che il glucosio, del resto non immesso mai rapidamente e in gran quantità nel sangue dai cibi carnei, sia utilizzato «parsimoniosamente» per la sintesi dei depositi adiposi da bruciare nei periodi di carestia. L'insulina è un ormone secreto dal distretto endocrino del pancreas (*insulae* di Langerhans) in seguito all'aumento del tasso ematico di glucosio (glicemia) al di sopra dei valori normali, in genere subito dopo un pasto glucidico e in assenza di attività fisica sostenuta, che lo drenerebbe immediatamente all'interno dei muscoli. Questo ormone ha molte funzioni importanti, fra cui quella di stimolare la captazione del glucosio da parte del tessuto adiposo, perché sia poi convertito in acidi grassi e quindi in depositi lipidici. E qui nasce il problema. Il rigonfiamento delle cellule adipose genera segnali di sazietà che, a livello del cervello, si percepiscono come cessazione di fame e, a livello dei tessuti, come blocco dei meccanismi di assunzione di ulteriore glucosio dal sangue, che è denominato resistenza all'insulina. È difficile pensare di sottovalutare l'importanza di queste regolazioni nella storia naturale dei rapporti fra cibo ed evoluzione umana. L'eccesso di alimenti ricchi di zuccheri ai quali è ricorsa gran parte dell'umanità dopo il Neolitico, soprattutto nei secoli più vicini a noi nei quali è aumentata anche la sedentarietà, ha portato nei genotipi parsimoniosi l'aumento di sintesi lipidica nel tessuto adiposo e di resistenza all'insulina che, in termini di patologia metabolica, si trasformano nella sequenza obesità → diabete. In altre parole il cambiamento alimentare «neolitico» a vantaggio dei carboidrati non è stato, o è stato solo parzialmente, compensato dalla selezione di un nuovo genotipo metabolicamente «sprecone», capace, ad esempio, o di deprimere la gluconeogenesi oppure di aumentare l'utilizzazione muscolare o la dissipazione termica dell'energia del glucosio. La causa di ciò è chiaramente la brevità del tempo intercorso dall'inizio della rivoluzione agricola, come dimostrato dal fatto che i livelli di questo adattamento variano, nelle attuali popolazioni umane, in funzione del loro tempo di arrivo all'adozione di agricoltura e pastorizia. Infatti la sindrome metabolica (obesità, ipertensione,

diabete) è attualmente molto meno frequente (se pur in crescita) nelle società, come la nostra, di lunga tradizione agricola che non in popolazioni (Amerindi, Polinesiani, Africani) da poco convertite alle nostre abitudini alimentari. Il rimedio per surrogare questa carenza adattativa rimane limitato ad un considerevole aumento del dispendio energetico con l'esercizio fisico o, secondo alcune scuole di pensiero americane, al ritorno ad una dieta tendenzialmente «paleolitica», cioè più ricca di grassi e proteine a scapito dei carboidrati¹. Questo suggerimento, però, non ci deve far dimenticare che i grassi delle prede pleistoceniche erano molto più insaturi di quelli delle specie analoghe sottoposte alle attuali tecniche di allevamento, che portano all'accumulo di tessuto adiposo ricco di grassi saturi, ritenuti più nocivi per la salute umana.

Sfortunatamente non è facile calcolare i tempi di questi effetti dell'alimentazione sui geni perché non si conoscono i coefficienti di selezione che regolano il tempo necessario all'eliminazione degli alleli nutrizionalmente sfavorevoli². Esiste però un caso che permette qualche calcolo perché si conosce il *terminus post quem* della mutazione. Si tratta della tolleranza alla presenza nel latte dello zucchero lattosio, che rimane dopo lo svezzamento nel 70-100 per cento degli Europei, mentre è del tutto assente negli Asiatici orientali, quasi del tutto nei Bantu, negli Eschimesi e negli Amerindi, ed è presente a livello del 30-40 per cento negli Indiani e nei neri Africani non bantu. Chiaramente questo adattamento consegue all'abitudine di bere latte degli animali addomesticati nel Neolitico e quindi non può essere anteriore a 8-10.000 fa. Il tempo intercorso può variare da poco più di un migliaio di anni per coefficienti selettivi molto alti (probabili in questo caso per l'alto valore nutrizionale del latte anche non materno per l'uomo e per fattori culturali concomitanti) a poco più di centomila con coefficienti cento volte infe-

¹ S.B. Eaton, M.J. Konner, *Paleolithic Nutrition: A Consideration of its Nature and Current Implications*, in «New England Journal of Medicine», 312, 1985, pp. 283-89.

² L.L. Cavalli Sforza, P. Menozzi, A. Piazza, *The History and Geography of Genes*, Princeton University Press, Princeton (N.J.) 1996 (trad. it., *Storia e geografia dei geni umani*, Adelphi, Milano 2000).

riori. In ogni caso l'esempio illustra come lo studio di malattie legate all'alimentazione sia utile alla comprensione dei cambiamenti genotipici e fenotipici che hanno portato all'attuale onnivoro di *Homo* e dei loro effetti selettivi.

L'investigazione di questo capitolo deriva dal titolo dell'articolo del biologo texano-americano Amos Zahavi che propone l'idea che certi handicap per la fitness consolidati di una specie, crescano per mutazione, possono generare il successo selettivo. Un loro portatore nella selezione sessuale? Io credo che il principio dell'handicap sia completo almeno una volta nella storia evolutiva della storia alimentare umana, e in termini di straordinaria efficacia evolutiva. La scoperta di un recente fascicolo di «Nature» di dedicato ad un articolo su una ricetta molto significativa di una di queste diete. Essa ripercorre le immagini delle culture cratiche di Gombe gorilla e di Homo sapiens. Come si può vedere dalla figura 1, le aree di strutto dei primate della montagna, molto meno le tracce della volta cranica nel gorilla, mentre sono limitate in parte dell'area temperata nell'uomo. Inoltre nel cranio umano si nota l'assenza di sovrapposizione fra occipite anteriore e posteriore, cioè le linee di suttura delle ossa craniche durante lo sviluppo cerebrale. Perciò la grande espansione del cervello umano durante il lungo periodo di sviluppo primate, che porta a dimensioni tre volte e mezzo superiori rispetto al gorilla, è cresciuta in virtù dell'handicap alimentare nella potenza dei muscoli della masticazione a vantaggio della grande elasticità del cranio. La distorsione della figura è «brain versus brawn», cervello versus muscoli, efficienza mentale rispetto a forza fisica.

¹ A. Zahavi, *Male Selection: A Selection for a Handicap*, *Journal of Theoretical Biology*, 11, 1975, pp. 35-41.

² H.H. Silliman et al., *Brain Case: Multiple Correlations with Anatomical Changes in the Human Lineage*, in «Evolution», 48, 1994, pp. 115-18.

Capitolo secondo

Dal DNA al cibo: selezione di un handicap

L'intestazione di questo capitolo deriva dal titolo dell'articolo del biologo teorico israeliano Amotz Zahavi che propose l'idea che certi handicap per la fitness consolidata di una specie, comparsi per mutazione, potessero generare il successo selettivo dei loro portatori nella selezione sessuale¹. Io credo che il «principio dell'handicap» sia comparso almeno una volta molto chiaramente nella storia alimentare umana, e in termini di straordinaria efficacia evolutiva. La copertina di un recente fascicolo di «Nature» dà risalto ad un articolo² su una ricerca molto significativa ai fini di questo discorso. Essa riporta le immagini delle calotte craniche di *Gorilla gorilla* e di *Homo sapiens*. Come si può vedere dalla figura 1, le zone di attacco dei muscoli della masticazione, molto estese (circa metà della volta cranica) nel gorilla, mentre sono limitate a parte dell'area temporale nell'uomo. Inoltre nel cranio umano si nota l'assenza di sovrapposizione fra queste zone e le sutture, cioè le linee di saldatura delle ossa craniche durante lo sviluppo cerebrale. Perciò la grande espansione del cervello umano durante il lungo periodo di sviluppo postnatale, che porta a dimensioni tre volte e mezzo superiori rispetto al gorilla, è ottenuta in virtù dell'handicap alimentare nella potenza dei muscoli della masticazione a vantaggio della grande elasticità del cranio. La didascalia della figura è: «brain versus brawn», cervello *versus* muscolo, efficienza mentale rispetto a forza fisica.

¹ A. Zahavi, *Mate Selection: A Selection for a Handicap*, in «Journal of Theoretical Biology», 53, 1975, pp. 205-14.

² H.H. Stedman *et al.*, *Myosin Gene Mutation Correlates with Anatomical Changes in the Human Lineage*, in «Nature», 428, 2004, pp. 415-18.

La parte più interessante della ricerca cui si riferisce questa figura è però l'analisi genetica della mutazione in questione. Gli autori dimostrano che la riduzione della massa muscolare masticatoria è dovuta all'inattivazione di un gene della catena pesante della miosina, cioè della parte della proteina principale del muscolo che genera, a livello molecolare, la forza contrattile. Il gene in questione, *myb 16*, codifica la sintesi della proteina MYH 16, che costituisce la catena pesante della miosina dei muscoli mascellari. Diversamente dai primati l'uomo possiede in questo gene una mutazione che impedisce l'accumulo di proteina MYH 16 nei tessuti interessati, producendone una marcata riduzione dimensionale. Si può risalire con buona approssimazione al tempo di questa mutazione mediante calcoli basati sulla velocità con cui si accumulano le mutazioni neutrali, cioè non sottoposte a pressione selettiva. In base a questi calcoli la data della mutazione del gene *myb 16* si colloca approssimativamente intorno a 2,4 milioni di anni fa, un periodo di poco antecedente la comparsa delle prime specie di *Homo*.

Anche se gli autori di questa ricerca non approfondiscono l'associazione, che risulta chiaramente dai loro dati, fra gracilizzazione dell'apparato masticatorio ed espansione cerebrale, è evidente che si deve creare una condizione necessaria, anche se non sufficiente, perché questa associazione si realizzi: la sopravvivenza alimentare dei mutanti. Senza questa mutazione, i primati non umani attuali preferiscono cibarsi degli alimenti di più facile reperimento nei loro habitat forestali (noci, foglie, frutti selvatici) che, pur essendo molto coriacei per la ricchezza in fibra, sono convenientemente aggrediti dai loro muscoli mascellari (oltre che, come vedremo nei prossimi capitoli, dai loro apparati dentali e digerenti). Per quanto possiamo dedurre dallo studio dei fossili, gli ominini del Pliocene avevano caratteristiche anatomiche analoghe, e, condividendo le tipologie di habitat dei primati non umani attuali, avevano presumibilmente lo stesso approccio alle risorse alimentari, anche se cominciavano a prodursi delle differenze dettate dal bipedismo già molto avanzato, se è vero che potrebbe già essere presente nel *Sahelanthropus tchadensis* di 7 milioni di anni fa³. Di

³ C.P.E. Zollikofer et al., *Virtual Cranial Reconstruction of «Sahelanthropus tchadensis»*, in «Nature», 434, 2005, pp. 755-59.

fatto le dimensioni del loro cervello erano del tutto paragonabili a quelle delle scimmie antropomorfe attuali. Ma, una volta che i cambiamenti anatomici dei mutanti «leiognati» («di mascella gracile») resero queste nicchie alimentari troppo competitive, divenne per loro più conveniente sfruttare il bipedismo per colonizzare nicchie di savana che, d'altronde, si stavano espandendo per i contemporanei cambiamenti climatici. In questi nuovi ambienti avrebbero trovato nuovi alimenti più adatti alla loro anatomia maxillo-facciale e più utili, dal punto di vista nutrizionale, all'espansione cerebrale. Ricordiamo, e ne parleremo *ad hoc* nel capitolo VIII, Parte seconda, che per avere un grande cervello, oltre all'elasticità del cranio nel periodo dello sviluppo, occorre un'alimentazione estremamente appropriata alle esigenze nutrizionali dello sviluppo in questione. Inoltre l'acquisizione di questi alimenti pose dei problemi di organizzazione e pianificazione tali da dare la spinta risolutiva al processo espansivo del cervello. In questo contesto va notato che la riduzione dell'apparato masticatorio e conseguentemente del palato, con un suo avvicinamento alla colonna vertebrale, è un presupposto essenziale per l'articolazione dei fonemi tipici del linguaggio umano, strumento principe della socializzazione.

Mutazioni geniche con effetti anatomici hanno quindi avuto profondi effetti sull'approccio degli ominini agli alimenti. Qui abbiamo citato bipedismo e micrognatismo e più avanti discuteremo cambiamenti a carico del tubo digerente e dello smalto dentale. È chiaro che le mutazioni si affermano per particolari condizioni di ambiente e, come abbiamo visto nel precedente capitolo, gli alimenti scelti in maniera predominante da una specie per qualche migliaio di anni possono, come costituente importantissimo della nicchia ecologica da essa occupata, produrre e selezionare mutanti che costituiscono la base di partenza per gli adattamenti alimentari durante la storia evolutiva della specie stessa. Questi adattamenti sono soprattutto metabolici, cioè capaci di regolare, a livello della trascrizione dei loro geni codificanti, la concentrazione e/o l'efficienza di enzimi della filiera di integrazione dei componenti alimentari nell'organismo, dai processi intestinali di digestione e assorbimento a quelli tissutali di modificazione chimica per la produzione di energia e costruzione delle strutture biologiche. Questi cambiamenti sono prodotti o per azione mutagena diretta di alcuni nutrienti o per selezione di mutanti spon-

tanei, e hanno coadiuvato le mutazioni anatomiche nella generazione della più spiccata specificità umana in materia di alimentazione, l'onnivorismo.

In questi due primi capitoli di questa parte dedicata al cibo degli antenati della nostra specie e dei suoi rappresentanti più antichi fino all'avvento delle tecniche agropastorali abbiamo portato elementi atti a dimostrare il flusso bidirezionale di effetti fra alimenti e geni, cioè fra cibo e DNA. Ora ripercorreremo le tappe di questa reciprocità seguendo il percorso canonico dell'evoluzione umana delineato nella prima parte di questo libro.

Capitolo terzo

L'espansione del vegetarianismo nel Pliocene

Gli ominini di 5-2,5 milioni di anni fa (ardipiteci, australopiteci e i primi parantropi) vivevano prevalentemente in foreste umide, anche se dati recentissimi di composizione isotopica sul paleosuolo circostante fossili etiopici di *Ardipithecus ramidus* indicano ambienti con alternanza di boschi e praterie a regime di precipitazioni moderato¹. Questi habitat impongono ai primati un'alimentazione essenzialmente frutti-folivora, come quella delle grandi scimmie attuali, che ha strutturato la loro anatomia digestiva, il loro metabolismo e le loro esigenze nutrizionali per 20 milioni di anni prima della comparsa del primo ominino. È un regime ricco di carboidrati a rapido assorbimento, e quindi è probabile che queste specie non sviluppassero resistenza all'insulina (si veda il cap. I, Parte seconda), cioè disponessero di un metabolismo capace di utilizzare l'energia del glucosio senza accumulare troppi grassi. Ma, paradossalmente, questa dieta è anche ricca di carboidrati poco digeribili per il nostro attuale sistema digerente, cioè di quei carboidrati provenienti dalle parti strutturali di piante e frutta (cellulosa, lignina, pectine) che prendono il nome collettivo di fibra alimentare. I primati che si basano su questa dieta necessitano di un notevole sviluppo del tubo intestinale per modificare, mediante la flora batterica, le grandi quantità di cibo che devono essere ingerite per estrarne tutti i nutrienti legati alla fibra. Infine questo regime alimentare è ricco di vitamine idrosolubili, come la vitamina C, o acido ascorbico, che i primati hanno smesso di sintetizzare, insieme a poche altre specie animali, quasi all'inizio della loro storia (cir-

¹ S. Semaw *et al.*, *Early Pliocene Hominids from Gona, Ethiopia*, in «Nature», 433, 2005, pp. 301-305.

ca 40 milioni di anni fa), molto probabilmente proprio in relazione all'abbondanza di questa vitamina negli alimenti di origine vegetale largamente disponibili nell'habitat originario dei primati. Il gene codificante l'enzima della sua sintesi, pur mantenuto, è stato inattivato mediante una mutazione che è stata poi selezionata positivamente, forse perché l'incapacità a costruirsi da sé l'acido ascorbico forniva una maggiore esposizione all'azione mutagena dell'ambiente, sempre importante ai fini evolutivi. Infatti molti mutageni sono specie reattive di tipo ossidante (radicali liberi dell'ossigeno), che si producono sia nell'atmosfera che all'interno degli organismi aerobi, cioè gli organismi che hanno bisogno di respirare ossigeno per fornire energia alle loro attività vitali. Senza la presenza di antiossidanti introdotti con l'alimentazione, il numero di mutazioni sarebbe troppo elevato per la sopravvivenza della specie. La vitamina C e altre sostanze sintetizzate dalle piante sono fra i più efficienti fra questi antiossidanti. La necessità, peraltro, di bilanciare con la dieta la carenza dell'enzima capace di sintetizzarla ha sempre mantenuto un grado variabile di vegetarianismo «crudo» durante tutta la storia alimentare umana, visto che queste sostanze sono generalmente distrutte dall'esposizione ad alte temperature.

La conferma di questa sostanziale identità di dieta per i primati ominidi del Pliocene, fino al grande cambiamento di 2,3 milioni di anni fa che portò all'avvento di climi più freddi e più secchi, è confermata dai reperti anatomici sui fossili, con qualche importante differenza. I denti dell'ardipiteco (molari più piccoli che in gorilla e orango e con smalto più sottile) sono generalmente simili a quelli dello scimpanzé, che, rispetto alle altre grandi scimmie, si ciba più di frutta che di foglie (fig. 2a). Questa attitudine sarà stata probabilmente consolidata negli ominini, perché richiede una maggiore attenzione alla variabilità spazio-temporale della frutta matura, ed è ovviamente favorita dall'andatura bipede. Ma, come poi dopo anche negli australopiteci, i canini sono più corti, e meno sessualmente dimorfici. Anche questo fa pensare a un ruolo del bipedismo che, liberando gli arti anteriori, disimpegna relativamente i denti dalla lacerazione preparatoria del cibo e distribuisce maggiormente fra i due sessi la cura parentale di questa preparazione.

È argomento dibattuto se questi ominini si siano cibati, se pur

in maniera molto limitata, anche di proteine animali, di valore nutritivo molto più alto di quello delle proteine vegetali (si vedano tav. 1 e cap. IV, Parte seconda). È chiaro che non ci riferiamo a un vero e proprio carnivorismo, cioè all'alimentazione con muscoli e organi interni di uccelli, mammiferi o comunque vertebrati di media e grande taglia, sia pure con la modalità della scarnificazione delle carcasse, perché ciò presuppone disponibilità di strumenti, efficienza locomotoria in spazi aperti e soprattutto capacità cognitive per perlustrare la savana, tutte caratteristiche che compariranno presumibilmente solo con l'*Homo habilis*. Ci riferiamo invece ad una faunivoria più ampia, che include gli invertebrati e in particolare gli insetti e che è condivisa dagli analoghi attuali dei primi ominini, le grandi scimmie antropomorfe. Questo tipo di cibo non può dare che un contributo molto basso in termini di calorie totali, per le ovvie difficoltà di raccogliere grandi quantità, a causa delle piccole dimensioni, della capacità di volare e degli apparati anatomici di protezione di molti insetti. Queste difficoltà, peraltro, non esistono per le larve degli insetti, immobili, indifese e molto nutrienti in quanto molto grasse e provviste di micronutrienti (molecole essenziali efficaci in piccolissima quantità) che, come la vitamina B12, non si ritrovano nelle piante al contrario di tutte le altre vitamine. Per di più queste prede sono spesso arboree, e quindi accessibili ai primi ominini (ancora in gran parte arboricoli) fuori dalla competizione dei predatori terricoli. L'alimentazione con larve di insetti ha inoltre dato luogo probabilmente al primo contatto con altri prodotti commestibili, ad esempio il miele, che deve essere entrato molto presto nella dieta ad incrementare la disponibilità di calorie di pronto impiego, essendo esso costituito quasi esclusivamente di zuccheri semplici a rapida assimilazione. È interessante notare come tutte queste attività collegate all'insettivorismo richiedono un certo grado di tecnologia, come la disponibilità di bastoni e recipienti rudimentali per la raccolta. Tutto ciò è documentato per gli scimpanzé (faunivori intorno al 5 per cento), ma il maggiore grado di bipedismo e quindi di utilizzazione degli arti anteriori da parte dei primi ominini avrà senza dubbio accentuato questa attitudine che costituisce il primo stadio di approccio a un più completo onnivorismo, cioè allo strumento alimentare essenziale per l'aumento

dimensionale del corpo e del cervello, tipico della sottofamiglia di primati cui noi apparteniamo.

In *Australopithecus anamensis* (4,2-3,8 milioni di anni fa) lo smalto si fa più spesso e anche i molari crescono di dimensione. Malgrado questa specie occupasse la stessa nicchia forestale della precedente, appare chiaro che essa si sia rivolta verso vegetali più duri, iniziando una tendenza che continua in *Australopithecus afarensis* (Lucy), si accentuerà nell'*Australopithecus africanus* (canini più piccoli e molari più grandi con smalto ancora più spesso) e culminerà nella specializzazione alimentare dei parantropi «schiaccianoci», con cui entriamo in pieno Pleistocene (figg. 2b, 2c e 3). Per questi ominini della transizione plio-pleistocenica Wrangham² ha proposto la teoria degli USO (*underground storage organs*) con riferimento a componenti anatomici sotterranei delle piante (tuberi, radici, rizomi, semi, noci), il cui uso alimentare avrebbe espanso il vegetarianismo del Pliocene con nuovi apporti nutrizionali. Questi alimenti richiedono apparato masticatorio potente e, essendo ricchi di fibra, un tubo intestinale molto sviluppato, come appare dalla cassa toracica a imbuto rovesciato di questi ominini (fig. 4). Ma possiedono anche altre caratteristiche, che rendono la loro utilizzazione alimentare un passaggio innovativo nell'alimentazione umana. In particolare:

a) essi sono ricchi di carboidrati a lenta digestione (amidi) il cui apporto energetico ha una durata maggiore ed è concentrato in un minor volume rispetto agli zuccheri semplici, come glucosio e fruttosio (tav. 1), che costituiscono i carboidrati predominanti in frutti e bacche;

b) noci e semi contengono anche acidi grassi polinsaturi, che ritroveremo come uno dei fattori nutrizionali determinanti, insieme alle proteine di origine animale, dell'encefalizzazione di *Homo*;

c) la ricerca degli USO, favorita dal bipedismo che rendeva possibile l'esplorazione di aree più vaste di territorio, ha permesso di coprire il fabbisogno nutrizionale anche in periodi di restrizione dell'alimentazione frugi-folivora, come ad esempio nella

² R.W. Wrangham, *Out of the Pan into the Fire*, in F.B.M. de Waal (a cura di), *Tree of Origin*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) 2001, pp. 121-43.

stagione secca, e questo ha indubbiamente avvantaggiato i nostri antenati rispetto a quelli delle grandi scimmie;

d) infine questa nuova alimentazione ha richiesto l'uso di strumenti di scavo: i primi saranno stati frammenti lignei o ossei, ma già 2,5 milioni di anni fa compaiono i primi strumenti litici olduvaiani (si veda la Parte terza) ed è probabile che con questi nuovi mezzi a disposizione gli ominini abbiano fatto il secondo passo verso un più completo onnivivorismo, con l'estensivo sfruttamento dello scavo di USO.

Lo stesso tipo di strumenti sarà usato agli inizi del terzo stadio del cammino verso l'onnivorismo. Infatti in questo periodo compaiono le prime evidenze di macellazione di carcasse.

È anche opportuno alla contemporaneità di due generi di ominini molto differenziati dal punto di vista dell'evoluzione morfologica, e quindi probabilmente dal punto di vista alimentare. Per *Australopithecus* e *Homo* (tab. 1). Nei parantropi, e in particolare nella specie *Australopithecus africanus*, si sviluppa un grado di iperplasia dei molari, di robustezza mandibolare e di spessore dello smalto di gran lunga superiore a quello presente negli omininoidi superiori, che transitano nello stesso ambiente (figg. 2c e 3). Questi caratteri denotano una specializzazione estrema verso l'alimentazione con cibi vegetali molto duri e resistenti come alternativa evolutiva in condizioni di progressiva insufficienza delle risorse alimentari vegetali della foresta pluviale e rappresentano una soluzione che nasce come continuazione diretta della scelta degli USO. Ma per circa 1 milione di anni questa alternativa si è confrontata con un'altra soluzione, conseguente dalle caratteristiche delle prime specie del genere *Homo*. L'apparato masticatorio è sempre presente, ma la superficie dei molari si riduce notevolmente, da 70 cm² ad 10 cm² (Wrangham 1999) e il dente si allunga (fig. 4). Due generi, inoltre, lo smalto diminuisce il suo spessore e gli incisivi e i canini più grandi, tali da permettere la lacerazione del materiale alimentare in grado di rendere meglio proporzionati per la digestione. Questi tratti morfologici indicano l'uso di consumi consistenti di carne alla fine del Pliocene. Si pensa, in materia ormai corroborata dopo lunghi dibattiti, allo sfruttamento di carcasse residuali di prede di grandi carnivori.

Il principale argomento a sostegno di questa tesi è l'associa-

Cibi alternativi all'alba del Paleolitico

Il milione di anni o poco più che, a partire da 2,5 milioni di anni fa, comprende al suo interno lo sviluppo dei manufatti olduvaiani, è anche associato alla contemporaneità di due generi di ominini molto differenziati dal punto di vista dell'anatomia maxillo-facciale, e quindi presumibilmente dal punto di vista alimentare: *Paranthropus* e *Homo (habilis)*. Nei parantropi, e in particolare nella specie *Paranthropus boisei*, si sviluppa un grado di megalodonzia dei molari, di robustezza mandibolare e di spessore dello smalto di gran lunga superiore a quello presente negli australopiteci simpatici, cioè conviventi nello stesso ambiente (figg. 2c e 3). Questi caratteri denotano una specializzazione estrema verso l'alimentazione con cibi vegetali molto consistenti come alternativa evolutiva in condizioni di progressiva insufficienza delle risorse alimentari vegetali della foresta pluviale e rappresentano una soluzione che nasce come continuazione diretta della scelta degli USO. Ma per circa 1 milione di anni questa alternativa si è confrontata con un'altra soluzione, esemplificata dalle caratteristiche delle prime specie del *genus Homo*. L'apparato masticatorio è sempre possente, ma la superficie dei molari si riduce notevolmente, da 756 mm² nel *Paranthropus robustus* a 478 in *Homo habilis* (fig. 4, Parte prima). Inoltre lo smalto diminuisce il suo spessore e gli incisivi si fanno più grandi, tali da permettere la frammentazione del materiale alimentare in modo da renderlo meglio preparato per la digestione. Questi tratti anatomici indicano l'inizio di consumi consistenti di carne alla fine del Pliocene. Si pensa, in maniera ormai concorde dopo lunghi dibattiti, allo sfruttamento di carcasse residuali di prede di grandi carnivori.

Il principale argomento a sostegno di questa tesi è l'associa-

zione di artefatti litici, dei quali *Homo habilis* è il primo accreditato produttore, a depositi di ossa di grandi ungulati come quello di Konjera in Kenia databile a circa 2,2 milioni di anni fa, che presentano prove certe di incisure da strumenti taglienti sovrapposte a incisure da zanne ferine. Un'ipotesi plausibile è che l'uso dei primi strumenti adoperati per la ricerca di USO si sia trasmesso ad un'attività di rottura di ossa per estrarne midollo – molto ricco in grassi e proteine – e di scarnificazione di carcasse, segnando il definitivo distacco alimentare, e in questo caso soprattutto nutrizionale, dalle grandi scimmie, i cui discendenti attuali non praticano attività di questo genere. Si entra così nel terzo e definitivo stadio di acquisizione dell'onnivorismo, cioè lo sfruttamento intensivo di grassi e proteine animali, al di là del faunivorismo marginale del Pliocene. Questa scelta è tipica di *Homo*, iniziata da *habilis* e perfezionata dai suoi successori con strumenti tecnologici (caccia, pesca, fuoco) sempre più efficaci. L'entrata della carne e dei grassi animali nella dieta umana è anche il presupposto essenziale per la resistenza della specie a latitudini più alte di quelle delle primitive sedi africane, dato che questi cibi contengono più energia per unità di peso rispetto a quelli vegetali. Essi contengono inoltre in concentrazione maggiore i nutrienti che sono alla base di una espansione cerebrale superiore a quella prevedibile in base all'aumento del peso totale del corpo (si veda p. 103). In circolo virtuoso, le aumentate facoltà cognitive hanno contribuito ad acquisire questi nutrienti in quantità sempre maggiori mediante gli strumenti tecnologici necessari per vincere la competizione dei carnivori specializzati.

Un ulteriore contributo alle nostre conoscenze sull'alimentazione degli ominini in questo periodo viene da prove ottenute più recentemente attraverso studi sulla composizione isotopica di reperti fossili, in particolare sul rapporto fra gli isotopi stabili del carbonio $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$. Il metodo si basa sulla diversa distribuzione dei due isotopi in diverse specie di piante, a seconda del tipo di via fotosintetica da esse adottata per la fissazione dell'anidride carbonica dall'atmosfera. Gli alberi, gli arbusti e i cespugli usano la via metabolica denominata C3 e questo porta ad un rapporto $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ più basso di quello che si misura nelle erbe delle praterie tropicali che usano la via fotosintetica C4. Questo differenziale si mantiene anche nei tessuti degli animali in base al loro regime alimentare pre-

dominante. Ad esempio la zebra, che si nutre essenzialmente brucando erba, ha un rapporto molto più alto della giraffa che preferisce le parti aeree delle piante. Sorprendentemente parantropi e *habilis* mostrano nel loro smalto dentale un rapporto quasi identico, che indica un apporto del 75 per cento di piante C3 e del 25 per cento di piante C4¹. Ora, considerando l'inoppugnabile argomento della struttura cranio-dentale, questa percentuale isotopica può derivare, nei parantropi, dall'effettiva prevalenza nella loro alimentazione di parti di piante C3 (come ad esempio noci e USO), in *habilis*, invece, di un consistente apporto alla dieta da parte di carcasse di grandi ungulati a regime C3 e anche di carnivori alimentati primariamente con lo stesso tipo di prede.

L'aspetto più interessante del paragone fra due ominini largamente sincronici (1,9/1,8-1,5 milioni di anni fa) e simpatrici (savana parzialmente umida) ma con nicchie alimentari nettamente separate è la diversità dell'indice di encefalizzazione (EQ, *encephalization quotient*). L'EQ è un indicatore dell'espansione della massa cerebrale nei mammiferi, normalizzata per la massa corporea. Martin² ha proposto la seguente equazione per la relazione lineare fra massa cerebrale e massa corporea:

$$\log E = 0,76 \log P + 1,77$$

dove E è la massa cerebrale e P è la massa corporea. L'EQ di *Homo sapiens* è 4,7 perché il suo cervello è 4,7 volte più grande di quanto prevedibile sulla base dell'equazione precedente. Lo scimpanzé ha un valore di EQ pari a circa il 40 per cento di quello di *Homo sapiens*, e lo stesso valore è stato ricavato, sulla base dei dati fossili disponibili, per gli australopitechi, che possiamo considerare più o meno degli scimpanzé bipedi, anche se questa caratteristica non ha subito prodotto una dieta molto differente. In *Paranthropus robustus* EQ è già il 50 per cento, e in *Homo habilis* il 57 per cento. Quindi ambedue le alternative alimentari del primo Pleistocene hanno favorito l'encefalizzazione, ma quella di *habilis*

¹ J.A. Lee-Thorp *et al.*, *The Hunters or the Hunters Revisited*, in «Journal of Human Evolution», 39, 2000, pp. 565-76.

² R.D. Martin, *Relative Brain Size and Metabolic Rate in Terrestrial Vertebrates*, in «Nature», 293, 1981, pp. 57-60.

è superiore a quella di *robustus*. Questo corrisponde esattamente a quello che noi sappiamo sulle esigenze nutrizionali del cervello, che tratteremo con maggiore profondità quando affronteremo il problema del grande cervello di *sapiens* (si vedano i capp. VIII e X, Parte seconda). Per ora basta ricordare che USO e noci hanno dato per la prima volta, come già accennato, un sostanziale apporto di acidi polinsaturi specifici delle strutture cerebrali, ma solo la carne ha permesso la disponibilità di proteine ad alto valore nutritivo per l'abbondante presenza di aminoacidi essenziali, dal metabolismo dei quali derivano, fra l'altro, mediatori chimici molto importanti per la funzione nervosa.

A questo proposito, il ruolo dell'alimentazione nel processo di acquisizione delle caratteristiche di *Homo* rispetto agli altri ominidi è indirettamente rafforzato da ricerche recenti che hanno messo a confronto il genoma umano con quello dello scimpanzé³. È noto che la differenza genica fra i due ominidi ammonta a non più dell'1 per cento, ma solo sovrapponendo le sequenze e decifrandole si può arrivare a capire il significato biologico di questa differenza. L'analisi comparativa ha dimostrato che i maggiori livelli di selezione positiva nella transizione scimpanzé-uomo sono posseduti da geni che codificano per proteine coinvolte nella funzione olfattoria e nell'attività enzimatica relativa al metabolismo degli aminoacidi. È probabile che queste differenze siano dovute a pressioni selettive dell'habitat, che hanno prodotto adattamenti nella percezione sensoriale dei segnali di cibo e nella trasformazione di materia prima alimentare ricca di contenuto proteico di alto valore nutritivo. È inoltre da sottolineare che alcuni di questi enzimi assicurano la produzione di energia da parte delle proteine endogene in condizioni di digiuno prolungato, una situazione di frequente evenienza nel Pleistocene, soprattutto in periodi di glaciazione. In un altro studio dello stesso tipo, ma più focalizzato sul livello di espressione dei geni, e limitato al settore cerebrale⁴, è stato trovato che nel cervello umano, rispetto a quello dello

³ A.G. Clark *et al.*, *Inferring Nonneutral Evolution from Human-Chimp-Mouse Orthologous Gene Trios*, in «Science», 302, 2003, pp. 1960-63.

⁴ M. Cáceres *et al.*, *Elevated Gene Expression Levels Distinguish Human from Non-Human Primate Brains*, in «Proceeding of the National Academy of Sciences, USA», 100, 2003, pp. 13030-35.

scimpanzé e altri primati non umani, sono molto più espressi geni che danno origine a enzimi del metabolismo dei lipidi, e soprattutto di quello del colesterolo, e questo è in accordo con le nostre conoscenze sulla composizione biochimica delle membrane cerebrali, di cui parleremo diffusamente nel capitolo VIII, Parte seconda. Questi dati, peraltro, possono essere presi come ulteriore conferma della posizione preminente dell'aumento del consumo di carne alla base delle origini umane.

Il primo Pleistocene (1,8-1,1 milioni di anni fa) è dominato dall'imponente figura del megacorno del fiamma di Northampton nel nord della Parte prima, p. 43, così l'*Homo ergaster* dominava a sud-ovest dell'Africa e a diverse migliaia e nord ed erano stati. Popolato a l'altro habitat, il suo contemporaneo per alcuni 400.000 anni (2,0-1,1 milioni di anni fa), *ergaster* è difficilmente adattato per le dimensioni corporee straordinariamente eccezionali, paragonabili a quelle dell'uomo moderno e, se mai, maggiori. L'alta densità di questo gruppo di individui è tanto più sorprendente se si considera che, per esigenze di più efficienza termoregolatoria, le popolazioni che attualmente vivono nelle foreste tropicali sono di norma più basse di quelle adattate a climi più aridi e temperati. A nord è chiaro l'esempio dei Piguet rispetto al Wa-tani e al Mami degli altopiani situati alla stessa latitudine. Questa differenza è geneticamente stabilizzata: in particolare l'espressione dei geni che controllano i livelli di crescita e il IGF1 (fattore di crescita insulino-simile) non sono stati nel Piguet il risultato della selezione. È possibile che una situazione analogica si sia verificata negli ominidi antecedenti a *ergaster* che il fatto abitavano nella foresta pluviale. Forse l'habitat è legittimamente ritenuto che non hanno alcuna qualità, si può però sottolineare la coincidenza tra la forte variazione climatica verso climi più freddi e asciutti intorno a 2 milioni di anni fa con le comparse di ominidi di più alta genetica che permettono, insieme alle probabilità evolutive dell'apparato pilifero e comparsa delle dimensioni corporee, una maggiore resistenza in ambienti più aridi ed esposti al sole. Ma un corpo più grande richiede un sistema termoregolatorio molto più prolungato e questo è possibile solo con il consumo di una dieta decisamente carnea, ricca cioè di proteine facilmente assimilabili.

Capitolo quinto

Nato per correre: «Homo erectus» e rivoluzione alimentare del primo Pleistocene

Il primo Pleistocene (1,8-1,0 milioni di anni fa) è dominato dall'imponente figura del «ragazzo del fiume» di Nariokotome (si veda la Parte prima, p. 43), cioè l'*Homo ergaster* destinato a uscire dall'Africa e a diventare *georgicus* a nord ed *erectus* a est. Rispetto a *Homo habilis*, ad esso contemporaneo per almeno 400.000 anni (2,0-1,6 milioni di anni fa), *ergaster* è differenziato anzitutto per le dimensioni corporee straordinariamente accresciute, paragonabili a quelle dell'uomo moderno e, se mai, maggiori. L'alta statura di questo gruppo di ominini è tanto più sorprendente se si considera che, per esigenze di più efficiente termoregolazione, le popolazioni che attualmente vivono nelle foreste tropicali sono di norma più basse di quelle adattate a climi più asciutti e temperati. A tutti è chiaro l'esempio dei Pigmei rispetto ai Wa-tutsi o ai Masai degli altipiani situati alla stessa latitudine. Questa differenza è geneticamente stabilizzata: in particolare l'espressione dei geni che controllano i livelli di ormone della crescita e di IGF1 (fattore di crescita insulino-simile) non aumentano nei Pigmei al momento della pubertà. È possibile che una situazione analoga sia esistita negli ominini antecedenti a *ergaster* che di fatto abitavano nella foresta pluviale. Senza indulgere a ragionamenti circolari che non hanno alcuna utilità, si può però sottolineare la coincidenza tra la forte variazione climatica verso climi più freddi e asciutti intorno a 2 milioni di anni fa con la comparsa di ominini di più alta statura che permetteva, insieme alle probabili riduzioni dell'apparato pilifero e comparsa delle ghiandole sudoripare, una maggiore resistenza in ambienti più secchi ed esposti al sole. Ma un corpo più grande richiede un sistema osteomuscolare molto più sviluppato, e questo è possibile solo con il viraggio ad una dieta decisamente carnea, ricca cioè di proteine facilmente utiliz-

zabili per una rapida crescita corporea in quei «mutanti» di specie capaci di esprimere i geni appropriati nel momento dello sviluppo. Per rimanere nel contesto delle popolazioni africane attuali, Masai e Wa-tutsi, pastori, sono più carnivori dei Pigmei, agricoltori e cacciatori-raccoglitori in un ambiente nel quale le risorse carnee sono più diluite, sporadiche e intermittenti.

La rivoluzione alimentare del primo Pleistocene è fortemente evidenziata dalla grande divergenza di *ergaster* da *habilis* per quanto riguarda due tratti anatomici correlati all'alimentazione: il ridotto sviluppo del complesso dentale in rapporto alla massa corporea molto aumentata e, soprattutto, la forma della cassa toracica (fig. 4). Questa non ha più l'aspetto a imbuto capovolto, tipico dei primati attuali e presente, sulla base di ricostruzioni inequivocabili dai reperti ossei, negli australopiteci e in *habilis*. Essa è invece conformata come negli uomini moderni, cioè con la geometria di un cilindro regolare. Perché ho incluso questa forma differente del torace fra le caratteristiche anatomiche collegate all'alimentazione? La ragione sta nel fatto che l'acquisizione di questa nuova forma del torace implica una notevole riduzione della lunghezza dell'intestino, che è strettamente collegata a un cambiamento di dieta. Intestini molto lunghi servono ad estrarre nutrienti da cibi ricchi di fibra alimentare, resistente all'azione dei nostri enzimi digestivi, e che necessita di una lunga permanenza nel tubo digerente per essere attaccata dai batteri della flora intestinale (si veda p. 98). Cibi di questo tipo sono le parti edibili aeree degli organismi vegetali abbondanti negli ambienti africani che hanno visto l'evoluzione dei primati: foglie, frutti selvatici, steli. Inoltre l'abbondanza relativa di componenti poco digeribili in questi alimenti diluisce i nutrienti in essi contenuti; poiché i mammiferi hanno tutti le stesse esigenze nutrizionali, indipendentemente dalla dieta disponibile nella loro nicchia ecologica, è chiaro che un'alimentazione così caratterizzata richiede l'ingestione di grandi quantità di cibo e pertanto la disponibilità di un grande volume intestinale, che si aggiunge all'esigenza di un lungo periodo di transito del materiale alimentare nel produrre lo sviluppo di grandi masse intestinali negli erbivori o in altri animali prevalentemente vegetariani. Intestini sempre più brevi si ritrovano invece in mammiferi a crescente grado di carnivorismo, poiché la carne rappresenta il cibo per eccellenza dotato di alta densità di

nutrienti e provvisto di rapida digeribilità per gli organismi che hanno sviluppato gli apparati enzimatici adatti. La carne apporta, in grande quantità condensata in volumi relativamente piccoli, e per di più in forme molto assorbibili dall'epitelio intestinale, energia, aminoacidi essenziali e ioni minerali. Questa situazione cambia totalmente, anzi inverte i tempi del ciclo alimentare dei carnivori: molto meno tempo necessario a masticare e digerire, molto più tempo da dedicare alla ricerca degli alimenti carnei.

A quest'ultimo aspetto si ricollega un altro particolare anatomico di *Homo ergaster* e di *Homo erectus*, anch'esso collegato, anche se più indirettamente, all'alimentazione, e cioè il loro bipedismo sempre più efficiente e vicino a quello dell'uomo moderno. Il tipo di impianto corporeo suggerisce una maggiore capacità di velocità ma soprattutto di resistenza nella corsa. Quest'ultima caratteristica è unica fra i primati ed anche eccezionale per molti mammiferi, a parte alcuni quadrupedi specializzati come i cavalli e alcune razze di cani. Inoltre, la configurazione corporea più slanciata collegata alla migliore stazione eretta consente, insieme alla riduzione dell'apparato pilifero e allo sviluppo delle ghiandole sudoripare, una dispersione termica più efficace molto adatta alla corsa prolungata senza il pericolo di soccombere al surriscaldamento. Come vedremo, queste condizioni sono necessarie ma non sufficienti a ipotizzare attività di caccia vera e propria come quelle tipiche dei futuri cacciatori paleolitici. Questi ultimi svilupperanno tecnologie strumentali e strategie di gruppo che renderanno meno esclusivo il ricorso alla capacità di corsa per l'acquisizione delle risorse alimentari. Ma è molto probabile che queste nuove attitudini posturali e locomotorie abbiano costituito un fattore determinante per avvistare carcasse e avvicinarsi rapidamente ad esse, e poi rapidamente sfuggire all'eventuale ritorno del predatore primario.

Oltre a queste conseguenze sull'approccio al cibo, è ovvio che quanto abbiamo detto sulla grande capacità di resistenza locomotoria da parte di *Homo ergaster* e *Homo erectus* ci ricollega immediatamente alle grandi migrazioni di cui queste specie umane sono state capaci. Può risultare però a molti meno ovvio, e occorre perciò sottolinearlo con forza, che questi grandi spostamenti spaziali, e per di più la conservazione di caratteristiche specifiche costanti – da *ergaster* a *erectus* a *georgicus* – pur in aree del piano-

ta così distanti e diverse, sono strettamente correlati alla capacità di queste specie di *Homo* di essere più carnivore dei loro predecessori. È riconosciuto infatti da tutti gli etologi che gli erbivori hanno degli habitat più ristretti e specifici, perché le piante a cui essi sono adattati come possibile fonte di cibo hanno delle nicchie molto ristrette. Infatti le piante sono costrette a sviluppare strategie molto specializzate per sopravvivere al rischio estinzione a causa di insulti ambientali e dell'attacco degli erbivori. Invece la carne è una risorsa mobile, dispersa e sporadica, per cui aumentare la sua presenza nella dieta implica anzitutto la capacità di sapersi muovere fra diverse nicchie ecologiche e di adattarsi a diversi ambienti. In questo il nuovo *Homo* del Pleistocene è stato aiutato dalla sua anatomia, non condivisa dalle scimmie antropomorfe, che forse anche per questo sono rimaste erbivore e confinate ai loro habitat originari di foresta umida. Inoltre, queste nuove abitudini devono aver portato, come si osserva nei carnivori specializzati, anche a una diminuzione della densità degli aggregati umani e a una certa diminuzione della capacità riproduttiva, data la maggiore precarietà della nuova risorsa alimentare, più ricca di nutrimento e di energia ma meno garantita come disponibilità. Nel caso di *Homo*, però, ha giocato un ruolo compensatorio la sua eredità genetica di primate, cioè di mammifero erbivoro e sociale, e quindi il carnivorismo non ha portato alla dispersione individualistica tipica di molti carnivori attuali. Sono state invece intere comunità di *Homo* a migrare in maniera solidale, e questo fra i carnivori sono capaci di farlo solo alcune specie, ad esempio i lupi.

Indubbiamente, senza la sua capacità di colonizzare i vasti spazi dell'Eurasia per soddisfare le sue nuove esigenze alimentari, *Homo erectus* non avrebbe raggiunto e conservato le dimensioni corporee che gli sono accreditate. Infatti c'è una relazione ben dimostrata fra le dimensioni dei mammiferi terrestri e l'ampiezza dell'area geografica a loro disposizione¹. Poiché le popolazioni al di sotto di un certo numero di individui sono ad alto rischio di estinzione, e, all'interno di una certa popolazione, individui con

¹ G.P. Burness et al., *Dinosaurs, Dragons and Dwarfs: The Evolution of Maximal Body Size*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences, USA», 98, 2001, pp. 10518-23.

massa corporea maggiore hanno bisogno di più cibo, e quindi di nicchie ecologiche o più produttive o più vaste, è chiaro che la sopravvivenza delle specie con individui di corporatura relativamente maggiore è più facilmente assicurata, almeno al livello minimo necessario di numerosità, da areali più ampi. A parità di estensione e produttività dell'area occupata, gli erbivori possono crescere in numero e dimensioni più dei carnivori. Infatti il cibo di origine vegetale è in genere più abbondante di quello di origine animale. Questo suggerisce un sicuro vantaggio evolutivo nel mantenere un certo grado di vegetarianismo, come in realtà ha fatto l'uomo del Pleistocene, e come dimostra il fatto che i carnivori attuali di maggiori dimensioni, gli orsi bruni, sono tendenzialmente onnivori.

L'interesse di questa teoria sta soprattutto nella sua capacità di spiegare il caso di *Homo floresiensis* (si veda la Parte prima, pp. 50-52) come una regressione dimensionale di *Homo erectus* in condizioni estreme di restrizione areale alimentare. L'isola di Flores è grande un po' più della metà della Sicilia. Le dimensioni notevoli (70 kg) del suo carnivoro più grande, il varano di Komodo, si spiegano con le esigenze energetiche molto minori di eterotermi come i rettili. Nel Pleistocene Flores ha anche ospitato omeotermi di dimensioni maggiori del varano, ma essi erano rigorosamente erbivori. Si tratta del protoelefante del genere *Stegodon*, peraltro di massa dieci volte inferiore all'attuale elefante asiatico. Malgrado il suo spiccato nanismo, lo stegodonte si è estinto, al contrario del varano di Komodo. È probabile che *Homo erectus* sia arrivato a Flores nel primo Pleistocene con le dimensioni sbagliate per l'ampiezza dell'isola, ma la flessibilità nella ricerca del cibo gli abbia permesso di adattarsi a risorse alimentari più scarse e meno nutrienti, riducendo la sua massa corporea e sopravvivendo allo stato miniaturizzato fino alle soglie dell'Olocene. Fino a quando non disporremo di studi isotopici del tipo di quelli descritti nel precedente capitolo, non potremo dire con sufficiente sicurezza quale sia stata la dieta degli hobbit di Flores, ma disponiamo già di un certo numero di indizi. Le punte di pietra ben modellate ritrovate nei siti di scavo accanto a ossa di stegodonte indicano capacità di procurarsi carne almeno da carcasse, anche se potrebbero essere stati lasciati da umani moderni contemporanei degli hobbit. Gli alimenti vegetali devono comunque essere stati

predominanti, come indica un grado di megadonzia che avvicina *floresiensis* più ad *habilis* che ad *erectus*. La conformazione scheletrica generale appare però del tipo di *erectus* e perciò *Homo floresiensis* non era in grado di sfruttare grandi quantità di cibo vegetale, alla maniera, ad esempio, degli australopiteci (si veda p. 108). Di fatto le sue dimensioni sono inferiori anche rispetto alle specie plioceniche; particolare più importante, anche il suo cervello è più piccolo di quello degli australopiteci, e si colloca negli intervalli dimensionali delle grandi scimmie attuali. Siamo perciò di fronte a una vera e propria regressione di EQ, al contrario di quello che si riscontra nei Pigmei attuali. In questi ultimi, la massa corporea si è ridotta per adattamento alle scarse risorse di un areale ristretto di foresta pluviale, che è di per sé una nicchia ecologica povera di risorse alimentari che non siano foglie e frutti. Nei Pigmei la presenza di robuste attività di caccia ha certamente contribuito a mantenere la riduzione della massa del cervello proporzionale alla riduzione della massa corporea, così che EQ è pienamente nell'intervallo di *Homo sapiens*.

C'è però un'evidenza che complica un'analisi troppo lineare della regressione dimensionale di *Homo floresiensis*. Mediante risonanza nucleare magnetica tridimensionale, sono state ottenute immagini di impronte endocraniche virtuali di questa specie². Si è visto che la forma del cervello è molto simile a quella di *Homo erectus*, e nettamente differenziabile da quella di altre specie umane antecedenti o posteriori e anche da quella di uomini attuali malati di microcefalia. Le somiglianze più notevoli sono nella convoluzione dei lobi frontali e temporali, che indica una certa capacità cognitiva. Si confermerebbe così la connessione filogenetica con *erectus*, di cui *floresiensis* costituirebbe una versione endemica miniaturizzata, per effetto di condizioni estreme di isolamento geografico e di scarsità di risorse alimentari. Allo stesso tempo, però, la tendenza a nutrirsi nella maniera più varia possibile, tipica degli umani del Pleistocene, ha generato un compromesso commisurato alle dimensioni e alla produttività dell'ambiente: un cervello piccolissimo, ma con espressione conservata di geni spe-

² D. Falk et al., *The Brain of LB1, «Homo floresiensis»*, in «Science», 308, 2005, pp. 242-45 (si veda anche nota 21, p. 51).

cifici per una strutturazione avanzata, tale da poter spiegare anche l'attività di produzione di artefatti litici ben modellati.

In conclusione la scoperta di *Homo floresiensis* è la controprova che un elevato consumo di carne è l'evento fondamentale della rivoluzione alimentare del primo Pleistocene e che esso implica una grande capacità di spostamento. A sua volta la mobilità imposta dalla ricerca della carne è la conseguenza più importante del processo di condizionamento dell'anatomia umana da adattamenti, come la riduzione della massa intestinale e l'aumento dell'efficienza nella stazione eretta e nella corsa, che facilitano un onnivorismo sempre più completo. Si amplia in questo modo il tempo giornaliero trascorso per muoversi rispetto a quello occupato per mangiare, con più difficoltà a raccogliere, conservare e distribuire il cibo, creando così le condizioni «socio-economiche» per una nuova vita di gruppo e i presupposti per sempre crescenti encefalizzazione, tempo di sviluppo cerebrale e longevità. Va infatti tenuto presente che il consolidamento della capacità di procurarsi e mangiare quasi tutti gli alimenti possibili è solo il presupposto per raggiungere questi traguardi biologici: l'approdo finale ad essi richiederà un ulteriore scatto nella strategia alimentare, una nuova tecnologia, una nuova specie di *Homo*.

³ W. H. Leonard et al., *Muscle Cavities of Handed Primate Species: An Comparative Anatomical and Psychological Study*, A. 196, 1964, pp. 3-11.

Capitolo sesto

Interpretazione di reperti fossili in chiave alimentare e formazione delle prime società

Non a caso abbiamo chiuso il capitolo precedente con l'affermazione che le pur grandi innovazioni che sono alla base della rivoluzione alimentare del primo Pleistocene non trovano una motivazione diretta in un significativo progresso sulla strada dell'encefalizzazione. In realtà la convinzione che il carnivorismo a questo stadio si sia limitato alla frantumazione di ossa e alla spoliazione di carcasse nasce dal fatto che i dati anatomici, se attentamente analizzati, non documentano un grande salto evolutivo per quanto riguarda la massa del cervello e confermano quanto detto prima sul collegamento di attività di carnivorismo più «attivo», come la caccia e il controllo del fuoco, a un grado maggiore di espansione cerebrale. Infatti il quoziente di encefalizzazione rispetto a *sapiens* passa dal 57 per cento di *habilis* a poco più del 60 per cento per l'*erectus* del primo Pleistocene (1,8-1,5 milioni di anni fa), tenendo conto che le più accreditate valutazioni del peso corporeo danno un aumento da circa 37 kg a circa 66 kg, che normalizza completamente l'aumento di massa cerebrale da 612 g a 863 g¹.

Sembrirebbe dunque che, malgrado la riduzione della massa intestinale, la quota di energia metabolica destinata a sostenere un'attività cerebrale più complessa sia ancora nell'*erectus* spalmata su altri organi e sistemi, gli apparati osteoarticolare e muscolare soprattutto. Questo dato trova riscontro nella relativa ristrettezza del canale vertebrale in questa specie umana. Questo canale ospita i fasci di fibre nervose (midollo spinale) che innervano i musco-

¹ W.R. Leonard *et al.*, *Metabolic Correlates of Hominid Brain Evolution*, in «Comparative Biochemistry and Physiology», A, 136, 2003, pp. 5-15.

li dello scheletro postcraniale. In gran parte, nella sezione superiore, si tratta dei muscoli dell'espansione toracica, cioè diaframma e intercostali. Solo una sofisticata regolazione dei loro movimenti permette la modulazione del flusso aereo adatta all'espressione dei fonemi vocali. La molto probabile assenza di queste condizioni anatomiche ci fa pensare che *erectus* non disponesse di una mappa cerebrale molto sviluppata, tale da sovrintendere all'esecuzione di movimenti complessi e in particolare a quegli strumenti di comunicazione necessari, fra l'altro, all'organizzazione e all'esecuzione delle attività di caccia in gruppo.

La conferma più significativa della notevole differenza delle attività cognitive di *erectus* rispetto ai suoi successori ci viene da dati recenti che riguardano il tempo di sviluppo del cervello². Infatti lo sviluppo del cervello umano richiede molto più tempo che negli altri primati. Alla nascita è grande circa un quarto rispetto a quello adulto, e a 1 anno è ancora il 50 per cento, per raggiungere il 95 per cento a 10 anni. Nel macaco i neonati hanno un cervello che è già grande il 70 per cento di quello adulto, mentre nello scimpanzé si passa da una dimensione del 40 per cento alla nascita ad una dell'80 per cento ad 1 anno. Questo modello di sviluppo, legato fra l'altro ai problemi ostetrici di una testa di dimensioni adulte in primati molto encefalizzati, rende il neonato umano dipendente da lunghe cure parentali, specialmente per procurarsi le risorse alimentari (*secondary altriciality*). Allo stesso tempo, però, il fatto che lo sviluppo cerebrale avvenga in molti anni di interazioni con il mondo esterno, permette l'acquisizione di capacità cognitive complesse, in primo luogo il linguaggio. In definitiva, «altricialità secondaria» e ominazione sono indissolubilmente legati, ed è fondamentale stabilire quando questo rapporto sia compiutamente realizzato. Lo studio citato riguarda un'analisi mediante tomografia computerizzata dell'unico cranio ben conservato di un neonato di *Homo erectus*, il bambino di Mojokerto (Indonesia), datato 1,81 milioni di anni fa, e di età probabile fra pochi mesi e 1 anno e mezzo. Il volume endocranico del campione è risultato essere fra il 72 e l'84 per cento dei valori assegnati a

vari crani adulti di *erectus*. Quindi l'«altricialità secondaria» non si era ancora sviluppata in queste specie, e si è presumibilmente stabilita quando l'espansione cerebrale si è accompagnata al restringimento del canale di impegno pelvico del neonato. Questa variazione anatomica è presente solo in *Homo neanderthalensis* e *Homo sapiens*. Perché il parto potesse avvenire in maniera eutocica, è comparsa l'infanzia. Senza infanzia *erectus* non aveva il tempo di far crescere il cervello in modo da sviluppare le capacità cognitive e il tipo di linguaggio dell'uomo moderno.

Alcuni dati fossili, però, ci fanno pensare all'inizio di strutture sociali a livello di questa specie. Qui citeremo alcune evidenze che hanno a che fare con l'alimentazione. La prima è uno dei primi casi documentabili di patologia alimentare. Si tratta di uno scheletro femminile di circa 1,5 milioni di anni fa, attribuibile a *Homo ergaster*, scoperto da Walker, Zimmerman e Leakey in Africa orientale³. Ci sono due aspetti molto interessanti in questo reperto, denominato KNM-MER 1808. Uno riguarda il fatto che le ossa mostrano segni inequivocabili di accumulo di vitamina A. Questo è un sintomo molto raro in patologia umana perché si manifesta solo dopo ingestione di grandi quantità di fegato crudo di una specie carnivora. Infatti attualmente è documentato fra gli Eschimesi che raccontano tuttora, malgrado la crescente occidentalizzazione della dieta, aneddoti su intossicazioni da fegato di orso polare che includono sintomi classici di ipervitaminosi A acuta. Quindi abbiamo la prova diretta, incisa nelle ossa stesse di un esemplare umano, di un carnivorismo non selettivo da parte di questi primi spogliatori di carcasse. L'altro punto di rilievo che riguarda KNM-MER 1808 è che i sintomi ossei indicano una ipervitaminosi A che si è protratta a lungo, forse per alcuni mesi. Questo è un dato eccezionale, se si pensa alla natura invalidante della malattia, tanto più grave in un ambiente denso di pericoli e di predatori in cui solo un apparato locomotore, e quindi la sua porzione scheletrica, al meglio della sua efficienza poteva permettere di sopravvivere. Non ci resta che concludere che la nostra paziente del Pleistocene debba essere stata assistita da un gruppo in grado di

² H. Coqueugnet et al., *Early Brain Growth in «Homo erectus» and Implications for Cognitive Ability*, in «Nature», 451, 2004, pp. 299-302.

³ A.C. Walker et al., *A Possible Case of Hypervitaminosis A in «Homo erectus»*, in «Nature», 266, 1982, pp. 248-50.

difenderla dagli assalti dei predatori e, durante gli stadi più avanzati della malattia che la costringevano alla quasi completa immobilità, di trasferire acqua fino al posto del suo giaciglio. Ci si apre perciò davanti il quadro di una comunità capace di mutuo soccorso e di procurarsi contenitori per il trasporto di liquidi a lunga distanza (la permanenza protratta vicino a sorgenti o corsi d'acqua non sembra facilmente ipotizzabile, data l'estrema probabilità che essi hanno di essere frequentati da predatori specializzati).

Un altro tipo di caratteri patologici che suggerisce la possibile esistenza di assistenza alimentare in ominini di questa epoca è stato trovato in un cranio di *Homo georgicus*, trovato a Dmanisi e risalente a 1,8 milioni di anni fa. Si tratta di un individuo di circa quarant'anni, quindi vecchio per quei tempi, completamente sdentato, ma con segni di ricrescita delle ossa degli alveoli dentari che denotano un tempo molto lungo (circa due anni) di sopravvivenza in queste condizioni. È chiaro che questo individuo può essersi alimentato con cibi morbidi, ma in ogni caso si deve ipotizzare la presenza di un gruppo sociale solidale.

La dinamica sociale di *Homo* in questo periodo è anche riflessa in un altro tipo di reperti fossili coevi e collegati alle nuove abitudini alimentari, segnate dalla disponibilità di massicce quantità di carne, anche se non ancora ottenuta con tecnologie di caccia organizzata. Dalla comparsa della prima specie di *Homo* 2,3 milioni di anni fa ma, in maniera più consistente, dalla comparsa di *Homo ergaster* 1,9 milioni di anni fa si trovano caverne africane con accumuli ingenti di ossa di ungulati e di altri grandi quadrupedi insieme a utensili litici del tipo adatto alla scarnificazione di carcasse. Isaac⁴ ha formulato l'ipotesi di un luogo centrale dove trasportare il cibo per consumarlo al sicuro. Questa teoria, denominata *central place foraging model*, ha resistito alle critiche e alle proposte di teorie alternative e implica la costituzione di protosocietà con divisione sessuale del lavoro di raccolta del cibo e condivisione della razione alimentare. Questo scenario differisce quantitativamente ma non qualitativamente da quello che ci presentano le grandi scimmie attuali, in particolare gli scimpanzé, che

pure mostrano attitudini a raccogliere e condividere il cibo con incipiente tendenza alla suddivisione sessuale del lavoro. La differenza sta nella grande quantità e dimensione delle prede carnee e soprattutto nei primi indizi, riscontrabili negli stessi depositi, dell'uso del fuoco.

Niente è più controverso, nella storia dell'evoluzione umana, della data di inizio dell'uso del fuoco da parte di *Homo*, un uso prima non inteso, poi controllato, e infine che viene fatto regolarmente di grandi carcasse nei circa più tardi alla corteo e che ci ha, in alcuni casi, come le scimmie. C'è però senza dubbio un accordo sul fatto che il controllo del fuoco è un punto importante nella storia dell'evoluzione umana, in quanto ha fornito un apporto nutrizionale notevolmente maggiore e di conseguenza effetti più rapidi di crescita infantile, gli stadi dell'adolescenza e l'uso di utensili di tipo non naturale, con relative conseguenze dell'espansione del genere *Homo* per l'intera la terra durante il Pleistocene. Questo evento si è prodotto in circa 3.000 anni o anche meno e che quindi la cottura del cibo ha avuto tutto il tempo per generare effetti reali sull'evoluzione umana. Ma quali sono le proprietà determinanti del cibo cotto rispetto al cibo crudo da questo punto di vista? Anzitutto l'allungamento del tempo di preparazione è compensato, e con risultati positivi largamente in eccesso, dall'abbreviamento dei tempi di masticazione e di digestione dell'alimento. I cibi vegetali però non la consistenza delle pareti cellulari di cellulosa così che molti nutrienti diventano più accessibili alla digestione e all'assorbimento. I cereali e le piante costruiti nei tuberi e nei semi subiscono processi di deidratazione.

⁴ G.L. Isaac, *The Food Sharing Behavior of Protobuman Hominids*, in «Scientific American», 238, 1978, pp. 90-108.

Capitolo settimo

Il crudo e il cotto

Niente è più controverso, nella storia dell'alimentazione umana, della data di inizio dell'uso del fuoco da parte di *Homo*, un uso prima accidentale, poi controllato, a fini che vanno dallo scongelamento di grandi carcasse nei climi più freddi alla cottura dei cibi, sia tuberiferi che prede carnee. C'è però ormai sostanziale accordo nel datare l'inizio del controllo del fuoco a questi scopi intorno a 1,6-1,4 milioni di anni fa, cioè in piena diffusione di *Homo erectus*¹. Il dibattito sulla data è molto importante soprattutto perché mangiare cibi cotti è senza dubbio un passaggio fondamentale dell'evoluzione umana in quanto ne deriva un apporto nutrizionale notevolmente migliore e di conseguenza effetti più radicali sui geni. Infatti gli studi sull'adattamento all'uso alimentare di latte non materno, con relativa conservazione dell'espressione del gene codificante per l'enzima lattasi dimostrano che questo evento si è prodotto in circa 5.000 anni o anche meno e che quindi la cottura dei cibi ha avuto tutto il tempo per generare effetti reali sull'evoluzione umana. Ma quali sono le proprietà determinanti del cibo cotto rispetto al cibo crudo da questo punto di vista? Anzitutto l'allungamento del tempo di preparazione è compensato, e con risultati positivi largamente in eccesso, dall'abbreviamento dei tempi di masticazione e di digestione dell'alimento. I cibi vegetali perdono la consistenza delle pareti cellulari di cellulosa così che molti nutrienti diventano più accessibili alla digestione e all'assorbimento. L'amido e le proteine contenuti nei tuberiferi e nei semi subiscono processi di denatura-

¹ R.M. Rowlett, *Fire Control by «Homo erectus» in East Africa and Asia*, in «Acta Anthropologica Sinica», 19, 2000, pp. 198-208.

zione che li fanno attaccare più facilmente dagli enzimi salivari (per l'amido), gastrici (per le proteine) e intestinali (per derivati di amidi e proteine). Nei vegetali crudi esistono molecole tossiche e composti inibitori della digestione (tipico è l'esempio dei fagioli e dei legumi in generale) che sono distrutti dalla cottura. Anche la fibra, contenuta in gran quantità nei cibi vegetali e responsabile della prolungata preparazione masticatoria da parte degli erbivori nonché della scarsa palatabilità di molti alimenti vegetali crudi, è ammorbidita e resa più gradevole al gusto dalla cottura e quindi i cibi che la contengono possono dare più energia e nutrienti in un tempo minore. Abbiamo già menzionato che *Homo ergaster* e *Homo erectus* hanno una conformazione scheletrica che indica una grande riduzione della massa intestinale. La cottura dei cibi vegetali, permettendo un più breve tempo di digestione di questo tipo di alimenti, ha dato un contributo notevole a questo cambiamento, fondamentale per favorire l'aumento relativo della massa e del metabolismo cerebrale.

Analoghe considerazioni si applicano agli effetti della cottura sulla carne. L'intenerimento è specialmente importante per le carni di animali selvatici, che sono molto più povere di grassi e ricche del collagene dei tendini e del tessuto connettivo rispetto alle carni degli animali da macello dell'epoca postagricola. Il collagene è una proteina dal valore nutrizionale quasi nullo. Essa infatti non contiene quei particolari aminoacidi, detti aminoacidi essenziali, e gli ioni metallici, soprattutto ferro, che conferiscono all'alimentazione con cibi di origine animale, in particolare tessuti muscolari, quel ruolo così determinante nell'evoluzione umana. Inoltre il collagene ha una struttura a fune rigida che non si scioglie in acqua, e questo rende la carne in cui esso è abbondante molto più dura da masticare. A temperature superiori a 80°C il collagene perde la sua struttura fibrosa e si trasforma in una proteina amorfa e solubile che è poi la gelatina dei nostri brodi di carne. In questo modo le fibre muscolari, che contengono invece proteine a valore nutrizionale molto alto, non sono più cementate dal collagene e si possono masticare agevolmente. Non a caso gli scimpanzé, che, fra le grandi scimmie, hanno il grado di carnivorismo più elevato (anche se non superiore al 5 per cento del peso totale di cibo ingerito giornalmente), preferiscono prede piccole e giovani, e, di queste, il sangue, il cervello e le interiora che so-

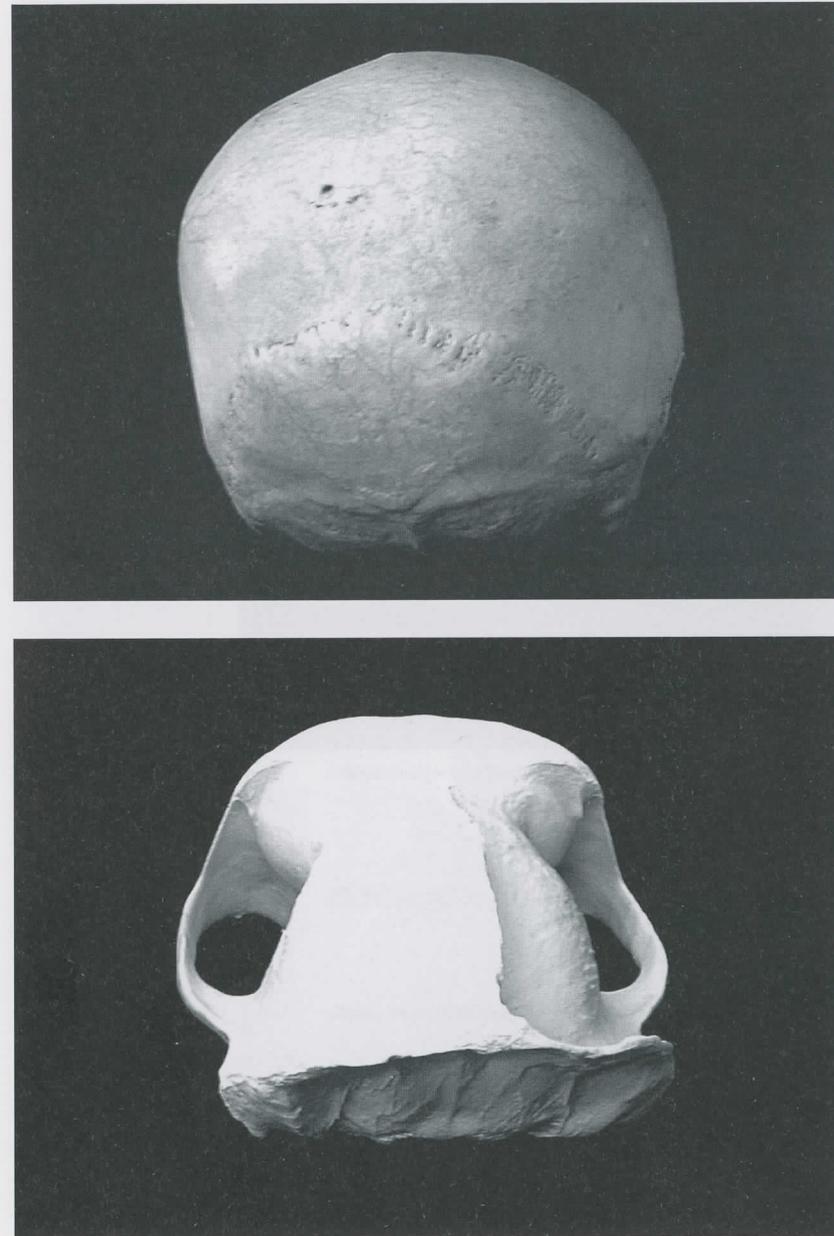


Fig. 1. Crani di gorilla e uomo attuale in vista posteriore (Collezione calchi primati non umani e ominini, Università di Roma Tor Vergata).

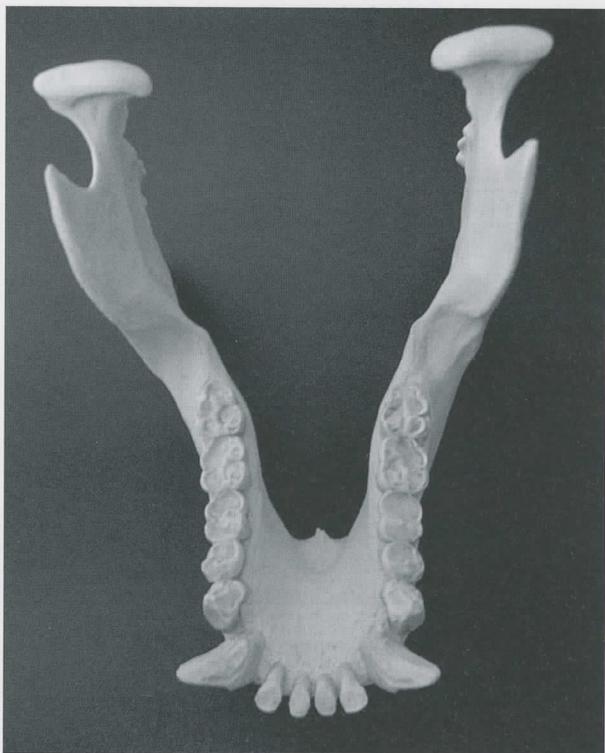


Fig. 2a.
Mandibola di
gorilla
(Collezione calchi
primati non
umani, Università
di Roma Tor
Vergata).



Fig. 2b.
Mandibola di
Australopithecus
afarensis,
risalente a 3,6
milioni di anni fa
(Collezione calchi
ominini,
Università di
Roma Tor
Vergata).

Fig. 2c.
Mascellare
superiore di
Australopithecus
africanus,
risalente a 2,5
milioni di anni fa
(Collezione calchi
ominini,
Università di
Roma Tor
Vergata).

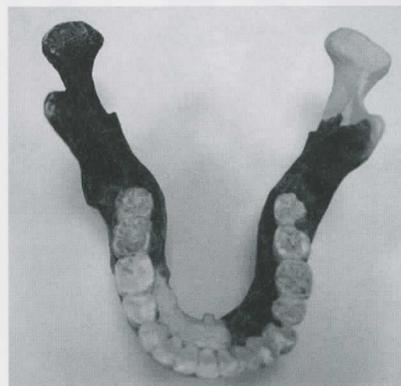
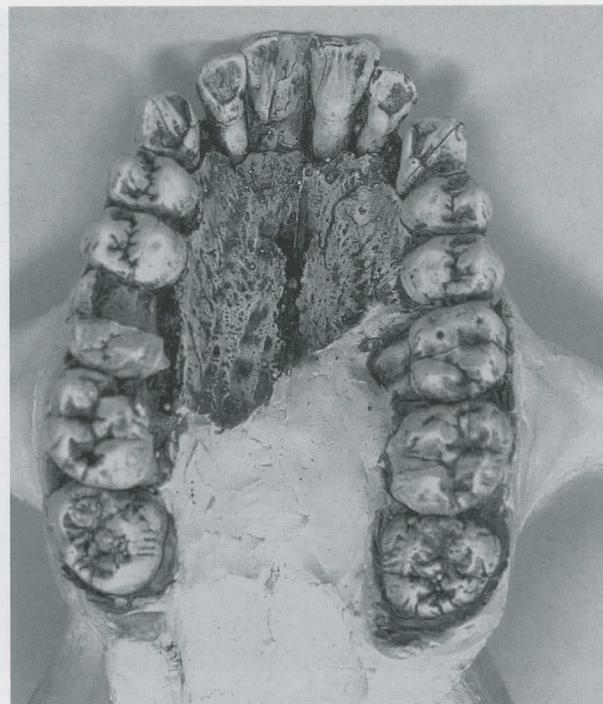


Fig. 2d. Mandibola di *Homo erectus*, Uomo di Pechino, risalente a 500.000-400.000 anni fa (Collezione calchi ominini, Università di Roma Tor Vergata).

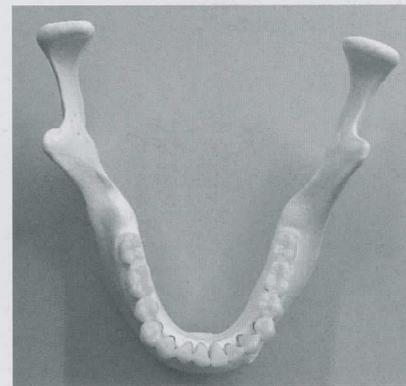


Fig. 2e. Mandibola di *Homo sapiens* (Collezione calchi ominini, Università di Roma Tor Vergata).

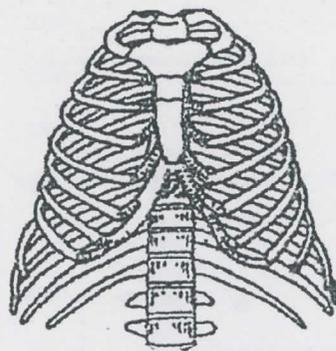


a

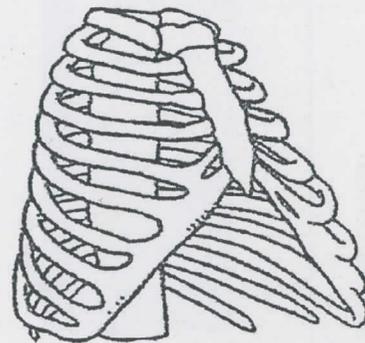


b

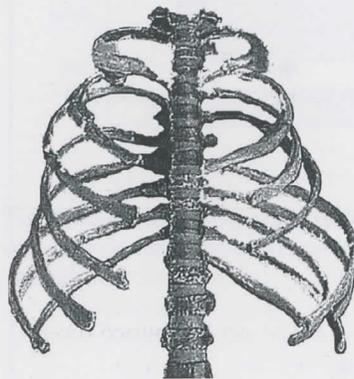
Fig. 3. Crani di *Paranthropus boisei* con l'enorme sviluppo degli attacchi dei muscoli masticatori, risalenti a 1,7 milioni di anni fa: a) vista frontale; e 1,8 milioni di anni fa: b) vista inferiore (Collezione calchi ominini, Università di Roma Tor Vergata).



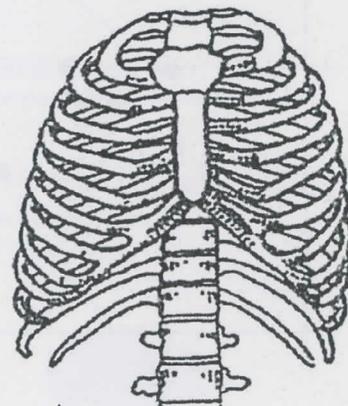
a



b



c



d

Fig. 4. Casse toraciche di ominidi ricostruite dai dati della letteratura. a) scimpanzé; b) *A. afarensis*; c) *H. ergaster*; d) uomo attuale.

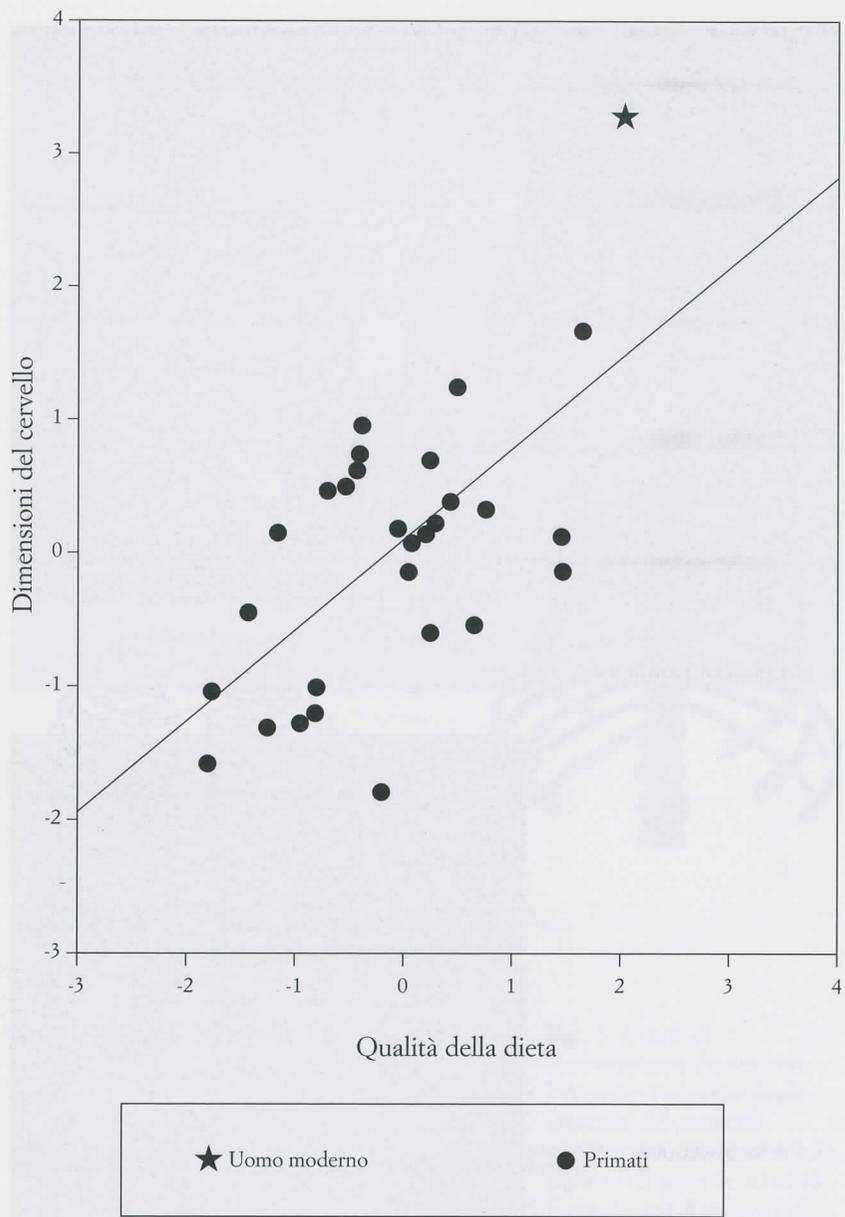


Fig. 5. Correlazione fra dimensioni del cervello e qualità della dieta nei primati.

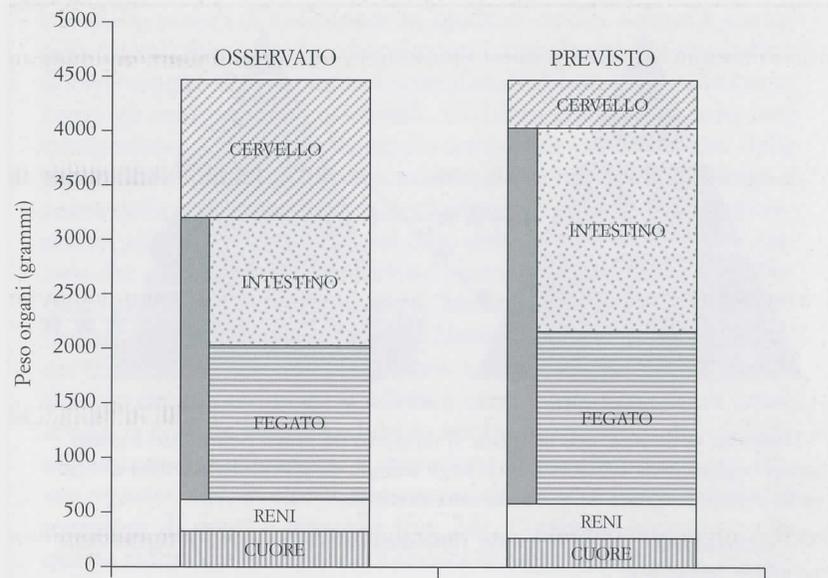


Fig. 6. Massa degli organi in un uomo medio di 65 kg. I valori previsti sono calcolati da correlazioni fra peso corporeo e peso degli organi negli altri animali.



Fig. 7. Circolo virtuoso fra alimentazione ed encefalizzazione.

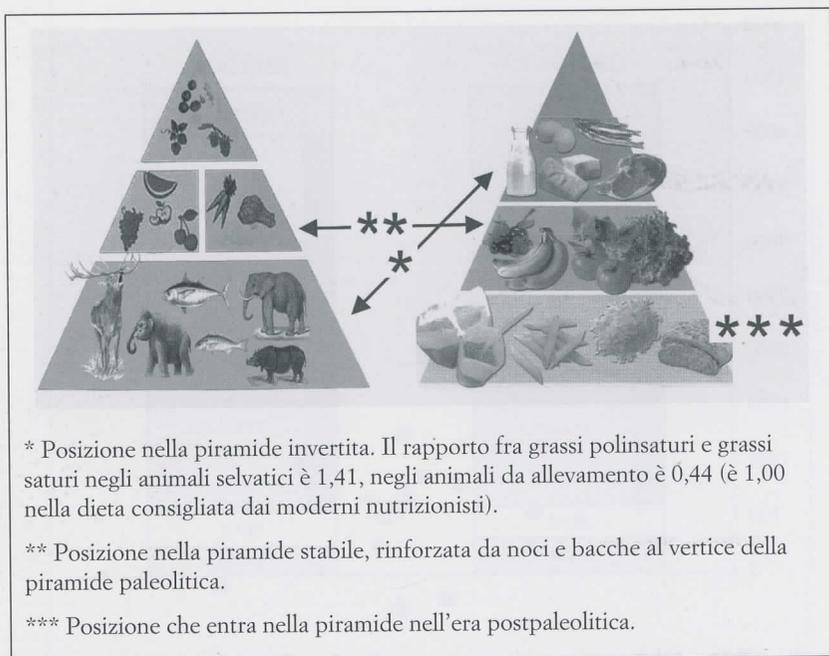


Fig. 8. A sinistra è rappresentata una ipotetica «piramide alimentare» (la piramide è una rappresentazione delle quantità relative del consumo di alimenti in ordine decrescente dal basso verso l'alto) del Paleolitico recente in area geografica soggetta a glaciazioni. A destra è riprodotta una «piramide» di società postagricola. Per i dettagli su alimenti e nutrienti si veda la tavola 1.

no molto poveri di collagene. In qualche caso le scimmie antropomorfe si cibano dei loro escrementi (coprofagia) per soddisfare il loro bisogno di componenti nutrizionali abbondanti nella carne come gli ioni metallici essenziali. È chiaro che queste soluzioni comportano un grande dispendio temporale per la cattura delle prede oltre al tempo di masticazione, già di per sé molto lungo a causa della ricchezza di fibra degli alimenti vegetali, che costituiscono più del 90 per cento del cibo delle grandi scimmie. Si calcola che gli scimpanzé mastichino i loro alimenti per il 50-60 per cento del loro tempo giornaliero. Molto di questo tempo è stato recuperato dalle prime specie di *Homo* aumentando la quota di carne nella loro alimentazione, ma, considerando che l'apparato dentale dei primati poco si adatta a un consumo rapido di carne cruda, la cottura ha senza dubbio risolto il problema del «tempo alimentare» (masticazione + digestione + assorbimento) per *Homo ergaster*, che, in effetti, mostra un'ulteriore riduzione delle dimensioni di denti e mascella (fig. 2d). Possiamo anticipare che questa riduzione si accentuerà ancora in *sapiens* (circa 100.000 anni fa) e questo cambiamento potrebbe coincidere con l'adozione della bollitura (fig. 2e).

Ma il contatto del cibo umano con il fuoco ha avuto anche risvolti di altro genere dal punto di vista dell'evoluzione nutrizionale. Quasi tutte le vitamine si inattivano con l'alta temperatura della cottura. L'uomo, che, come gli altri primati, non aveva sofferto l'incapacità di sintesi di questi essenziali micronutrienti per il vegetarianismo spinto delle specie ancestrali, ha dovuto mantenere alto l'introito di verdura e frutta cruda e questo aspetto giustifica il suo esaltato onnivivorismo. Anzi, in ambienti privi di questo apporto essenziale, è tornato, come nel caso degli Eschimesi fino ad epoche recenti, al carnivorismo crudo degli inizi, perché nelle carni non cucinate degli animali selvatici si ritrovano quantità sufficienti di vitamina C ed E.

Fra gli effetti negativi della cottura del cibo sulla storia naturale delle specie umane possiamo annoverare la probabile perdita di resistenza a tossine vegetali e ad agenti infettivi inattivati dalle alte temperature, peraltro bilanciata da un miglioramento complessivo della resistenza immunitaria a causa del migliore apporto di nutrienti competenti. Infine è da notare come il pretrattamento termico del cibo possa aver favorito un più precoce di-

stacco, rispetto agli altri primati, dei lattanti dal seno materno con la somministrazione di alimenti sostitutivi. E se questo può comportare un certo rischio per la prole, a causa della completezza dei componenti del latte materno al fine di sopperire alle esigenze nutrizionali dell'infante, ha anche prodotto un accorciamento dei periodi interfertili delle femmine e un aumento del tasso riproduttivo della specie. A questo proposito va ricordato che il rischio di abbandono precoce del latte materno è molto meno grave al giorno d'oggi. Infatti l'alimentazione incongrua diffusa in molti paesi industrializzati rende il latte materno molto povero di nutrienti, e rende spesso opportuna la sua sostituzione con latte artificiale opportunamente formulato: l'alternativa moderna alla bialla di campagna meglio attrezzata della madre naturale in termini di requisiti nutrizionali.

Capitolo ottavo

Un primate con un grande cervello e un'ottima dieta

Con *Homo ergaster* si sarebbe quindi realizzata la quarta fase del progresso dell'alimentazione umana verso livelli più alti nella catena alimentare, dove sono collocati i cibi con migliore qualità nutrizionale. La prima fase comprende un'alimentazione molto simile a quella delle grandi scimmie attuali. La differenziazione comincia con lo sfruttamento rilevante di radici e altri USO (seconda fase). La terza fase è caratterizzata dall'aumento cospicuo del consumo di carne, unito al mantenimento di un certo vegetarianismo con specializzazioni di nicchia ignoto agli altri primati. Se avvenuta a questo stadio dell'evoluzione di *Homo*, l'adozione di modificazioni tecnologiche come la cottura può essere considerata una quarta fase, in quanto rende il cibo più adatto, per il suo più efficiente apporto in nutrienti e calorie, a sostenere il passaggio ad un'encefalizzazione sempre maggiore.

Malgrado la presenza di questi presupposti, un aumento considerevole del quoziente che indica un reale incremento della massa cerebrale rispetto al peso corporeo (EQ) non è riscontrabile in *ergaster*, e lo comincia ad essere solo con le specie che compariranno nella seconda metà del Pleistocene. Infatti da *habilis* a *erectus* il quoziente di encefalizzazione sale di 6 punti percentuali, mentre l'aumento è di 11-12 punti da *erectus* a *heidelbergensis* e *neanderthalensis* (da 600.000 anni fa in poi) per un rapporto massa cerebrale/massa corporea che rimane sostanzialmente quello di *erectus*, cioè circa 1,9. La relativa normalizzazione dell'espansione cerebrale di *erectus* in base all'aumento di massa corporea rende anche più comprensibile come, alla drastica riduzione di massa in *floresiensis*, sia corrisposto un ritorno di EQ nell'intervallo tipico degli australopiteci anche se accompagnato da una certa conservazione della complessità cerebrale.

Il grande balzo in avanti dell'encefalizzazione si avrà con *sapiens*: soprattutto per la riduzione della massa corporea più che per un ulteriore aumento cerebrale, questo rapporto si posiziona in maniera significativa sopra 2 (fra 2,3 e 2,9 a secondo dei dati utilizzati dai vari autori per la statura e il peso di *sapiens*). In altre parole, assistiamo a un vero e proprio spostamento delle risorse energetiche e plastiche verso il cervello, per cui solo le specie umane della seconda metà del Pleistocene e in particolare *sapiens* mostrano una deviazione marcata dalla linea retta che correla i logaritmi di peso corporeo e peso cerebrale nei primati. Questa affermazione risulta più convincente se si considera che invece il metabolismo basale degli umani attuali, cioè la misura della spesa energetica a riposo, si colloca esattamente sulla linea retta che congiunge i valori logaritmici di questa grandezza in diverse specie di primati in funzione del peso corporeo. Questo vuole dire che gli umani dedicano una quota molto più grande del loro metabolismo per sostenere i costi energetici della loro attività cerebrale: 20-25 per cento, rispetto all'8-10 per cento dei primati non umani e al 3-5 per cento dei mammiferi diversi dai primati¹.

Quanta importanza ha la qualità della dieta nello stabilire queste correlazioni? Ne ha veramente molta, se pensiamo che già a livello delle scimmie il valore residuo peso cervello/peso corpo (cioè il differenziale sui valori attesi rispetto alla correlazione logaritmica discussa nel cap. IV della Parte seconda) è di un terzo maggiore nei fruttivori rispetto ai folivori. In uno studio analitico² è stato sviluppato un indice di qualità della dieta (QD) che è prodotto dalla media pesata delle proporzioni dei vari tipi di alimenti presenti nel cibo dei primati, sulla base del contributo energetico e nutrizionale dei loro componenti. QD ha una buona correlazione lineare in un grafico semilogaritmico che la rapporta al peso corporeo, ma l'uomo attuale esce dalla linea di regressione perché ha una QD migliore rispetto a quella necessaria, sulla base dell'equazione di Sailer e colleghi, per sostenere la sua massa cor-

¹ W.R. Leonard, M.L. Robertson, *Evolutionary Perspectives on Human Nutrition: The Influence of Brain and Body Size on Diet and Metabolism*, in «American Journal of Human Biology», 6, 1994, pp. 77-88.

² L.D. Sailer et al., *Measuring the Relationship between Dietary Quality and Body Size in Primates*, in «Primates», 26, 1985, pp. 14-27.

porea. È facile prevedere che questa QD sovrabbondante serva al cervello. Infatti graficando in maniera appropriata QD e dimensioni cerebrali (fig. 5) per un gran numero di specie di primati si è osservata una buona correlazione lineare, con l'uomo attuale distaccato di molto ai valori più alti della linea di regressione, a testimoniare che cervelli più grandi richiedono diete migliori e che *Homo sapiens* ha il cervello relativamente più grande e ha – o, perché ha – la dieta migliore in relazione al peso corporeo.

Ovviamente l'espansione della rete nervosa centrale ha determinato comportamenti più adatti a procurarsi risorse dietetiche in maniera ottimale, e di questo parleremo nel prossimo capitolo. A conclusione di quanto detto finora è da citare la più completa introduzione teorica al rapporto bidirezionale fra dieta e cervello: l'«ipotesi degli organi costosi»³. Partendo dalla constatazione, che abbiamo già discusso, che non c'è nei primati correlazione fra entità del metabolismo basale e dimensioni del cervello, e che anzi i valori metabolici dell'uomo cadono esattamente sulla linea retta che congiunge i logaritmi di questi valori in funzione dei logaritmi della massa corporea in tutti i mammiferi, questi autori suggeriscono che il sacrificio energetico a vantaggio del cervello si attua nell'evoluzione umana a carico dell'intestino. Per quanto riguarda la spesa metabolica percentuale, nell'uomo adulto fegato e cervello sono gli organi più costosi (ciascuno per il 15-20 per cento), seguiti dal muscolo scheletrico e dal tubo digerente, che ne usano ognuno poco meno del 15 per cento. Rispetto agli altri primati, però, il cervello umano mostra un incremento metabolico del 10 per cento rispetto a quello previsto per il peso corporeo della specie. Al contrario quello del fegato è sostanzialmente invariato e quello del tubo digerente è diminuito del 12 per cento. Fegato, e anche cuore e reni, hanno lo stesso peso di quello calcolato sulle basi della correlazione esistente per gli altri primati, mentre il cervello pesa tre volte di più e l'intestino due volte di meno (fig. 6). Poiché lo sviluppo della massa intestinale, come abbiamo detto più volte, è inversamente proporzionale alla qualità della dieta, è chiaro che la sua riduzione è permessa solo dall'adozione di ali-

³ L.C. Aiello, P. Wheeler, *The Expensive Tissue Hypothesis*, in «Current Anthropology», 36, 1995, pp. 199-221.

menti facili da digerire e provvisti di alta concentrazione di nutrienti. Il cervello acquisisce la quota metabolica perduta dall'intestino, quindi il suo accrescimento in *Homo sapiens* diventa una conseguenza diretta del miglioramento della qualità della dieta. Non essendoci stato, nell'evoluzione, un aumento del metabolismo basale relativo, l'aumento del consumo di energia e di utilizzazione di materiale strutturale da parte del cervello non si può essere attuato se non con una più alta qualità nutrizionale della dieta della specie con il grande cervello. Poco importa, in questo contesto, se altri fattori di selezione hanno esercitato effetti paralleli, o anche maggiori, per stabilizzare mutanti dal grande cervello. È un dato di fatto che esiste un circuito virtuoso fra dieta di qualità migliore perché arricchita di risorse carnee, intestino più piccolo che rende più energia disponibile per un cervello più grande, che a sua volta determina, e ne è anche un prodotto, un comportamento più complesso per procacciarsi, conservare e condividere quelle nuove risorse alimentari necessarie a mantenere il circuito pienamente operativo (fig. 7).

Capitolo nono

Elogio del grasso: «survival of the fittest» o «survival of the fattest»?

Occorre adesso mettere a fuoco quali ulteriori innovazioni del regime alimentare hanno accompagnato la grande crescita di EQ nelle specie di *Homo* comparse dopo 600.000 anni fa: *heidelbergensis*, *neanderthalensis* e *sapiens*. Ci devono essere state, e di significative, perché sostenere un grande cervello è impresa rara fra gli animali, ed è condivisa solo dai delfini, dalle focene e dagli umani dal medio Pleistocene in poi. Sembra, con il grande cervello, di essere nuovamente di fronte alla selezione di un handicap. Infatti il grande costo nutrizionale del cervello non trova giustificazione in un evidente vantaggio selettivo: molti altri mammiferi, non appesantiti da un simile costo, sopravvivono e si adattano benissimo. L'handicap in questione è usato con successo in diverse attività della specie, sessuali, culturali, e sociali nel senso più ampio, ma non fa parte in senso stretto di quella relazione specie-ambiente che conosciamo come «survival of the fittest». Anzi ha prodotto il rifiuto di nicchie ecologiche ristrette e la diffusione della specie in tutto il pianeta alla ricerca dell'unica risorsa insopprimibile per caricarsi, da animale terrestre, quella testa enorme: un cibo migliore, un cibo che, come vedremo, dovrà avere qualcosa di essenziale in comune con quello dei piccoli cetacei «intelligenti» citati prima. E non è detto che questa soluzione di sfruttare al massimo le fonti alimentari di questo pianeta per mantenersi il lusso di un grande cervello fuori dall'acqua porti a una sopravvivenza più lunga di questa specie di umani rispetto a quelle che l'hanno preceduta.

Un dato da sottolineare è la scarsa presenza di grasso, per quanto riusciamo a sapere, nella dieta di *Homo ergaster*. I suoi alimenti abituali ne erano molto poveri, perché, come abbiamo già

detto, povere ne sono le carni degli animali selvatici che vivono sulla terra emersa. In queste condizioni limitanti la sintesi endogena di tessuto adiposo dipende dall'abbondanza dell'apporto di zuccheri, anch'esso scarso in era preagricola. Le migrazioni hanno portato questa specie a contatto con altri ambienti, e questa situazione dietetico-metabolica può essere divenuta limitante anche per la sua sopravvivenza e per le sue capacità di adattamento, dato che i lipidi esercitano il loro ruolo nell'evoluzione mediante due meccanismi molto diversi, che considereremo con più attenzione in questo capitolo.

Il tessuto adiposo ha una funzione particolare dal punto di vista della produzione e della conservazione dell'energia. Quella termica, anzitutto. Il grasso sottocutaneo isola gli organi interni dalle variazioni di temperatura dell'ambiente esterno, mentre uno speciale tipo di grasso viscerale, detto grasso bruno, si attiva a produrre calore endogeno in particolari situazioni, come il periodo perinatale e quello di letargo. L'omeotermia è un'innovazione di uccelli e mammiferi, un tipico attributo di sopravvivenza riuscita. Inoltre i componenti metabolicamente attivi del tessuto adiposo, gli acidi grassi, si ossidano nei mitocondri producendo, a parità di peso, più del doppio dell'energia rispetto a carboidrati e proteine, per la termogenesi, il lavoro muscolare e le altre funzioni organiche. Sotto forma di esteri del glicerolo (trigliceridi) si possono accumulare fornendo una scorta di energia concentrata in volumi relativamente piccoli perché la loro struttura chimica non li fa permeare dall'acqua, il maggiore fattore di rigonfiamento per cellule e tessuti.

Altrettanto importante è il contributo dei lipidi alle componenti strutturali delle cellule. Se i trigliceridi funzionano da combustibili e isolanti termici, i fosfolipidi, gli sfingosidi e il colesterolo formano l'ossatura delle membrane che circoscrivono i compartimenti dei sistemi biologici (mitocondri, cellule, tessuti), conferendo alle cellule proprietà di specializzazione funzionale, di scambio di molecole e di reattività all'ambiente. Se l'aspetto precedente della funzione dei lipidi può essere in parte surrogato da altri meccanismi biochimici, a partire da carboidrati e proteine, questa seconda funzione del grasso è assolutamente specifica e insostituibile. Da una parte il grasso dà un'impalcatura assoluta-

mente unica a queste strutture, dall'altro in queste strutture stesse esso costituisce il veicolo di vitamine essenziali a processi di alta specializzazione come la visione e la fertilità e, nel caso del colesterolo, il punto di partenza della sintesi degli ormoni sessuali, progestinici e corticosurrenali.

L'essenzialità del grasso per il grande cervello è ancora più stringente di quanto essa lo sia, e molto, per altri tessuti. Nel muscolo scheletrico o nel fegato, organi che come il cervello hanno alti costi metabolici, gli acidi grassi si possono ossidare completamente, liberando tutta la loro alta scorta di energia, solo in presenza di adeguati apporti dietetici di carboidrati. Se questi non sono disponibili, si formano composti di ossidazione intermedia, i corpi chetonici, di natura acida, che producono la morte per acidificazione del sangue se il loro accumulo non è interrotto da apporti glicidici. Questa condizione si crea nel digiuno prolungato o nel diabete non trattato e si diagnostica facilmente per l'odore di acetone (uno dei corpi chetonici) nell'alito. Nelle prime fasi di questo processo c'è però un organo che è in grado di estrarre ulteriore energia dai corpi chetonici, ed è il cervello. È evidente la grande rilevanza evolutiva di questo adattamento, che permette il lavoro cognitivo anche in condizioni di disagio alimentare, di carestia e di digiuno, quali dovevano essere frequenti nei nuovi ambienti incontrati dagli ominini pleistocenici durante la loro colonizzazione di latitudini sempre più settentrionali.

C'è un'altra situazione in cui l'uomo consuma molto grasso e il suo cervello molti corpi chetonici. È quella della vita fetale e neonatale, che è quella poi di massima espansione cerebrale e di massimo rischio di insufficiente apporto dietetico per condizioni di carenza a cui può andare incontro la madre durante la gestazione e l'allattamento e il neonato stesso al momento dello svezzamento. Una soluzione a questo problema sta nel fatto che il feto umano è in grado di trasformare, a partire dalle ultime 5 settimane delle 40 della gestazione a termine normale, quasi tutte le calorie che gli arrivano con i nutrienti del sangue materno in tessuto adiposo, tanto che il 90 per cento del suo aumento di peso subito prima della nascita è dovuto al grasso. Questo processo continua nel neonato nei primi 6 mesi di vita ed esprime

la capacità straordinaria, unica fra i mammiferi terrestri, che ha *Homo* di accumulare grasso nel periodo perinatale (>90 per cento sottocutaneo e non viscerale come nell'obesità dell'adulto). Alla nascita, *Homo* ha il 16 per cento del peso corporeo sotto forma di grasso, e il 27 per cento a 6 mesi, mentre i primati alla nascita ne hanno appena il 6 per cento, più o meno come un neonato prematuro di 7 mesi. La grande differenza sta nel fatto che gli altri mammiferi terrestri nascono con un cervello molto più sviluppato: infatti non c'è molta differenza nel peso percentuale del cervello fra il neonato umano e quello di scimpanzé, cioè 10-11 per cento, mentre nell'adulto il rapporto uomo-scimpanzé, sia dei pesi assoluti che di quelli percentuali del cervello, è di circa tre volte. Anche il metabolismo cerebrale è straordinariamente elevato nel neonato umano. Esso ammonta a circa l'85-90 per cento del totale alla nascita e scende gradualmente fino al valore del 20 per cento tipico di *Homo* adulto durante l'infanzia e l'adolescenza.

Risulta evidente che l'espansione prolungata del cervello umano, da due mesi prima della nascita all'adolescenza, fondamentale per la scelta evuzionistica della specie, deve contare su risorse nutrizionali sicure e specifiche per questo organo. Ne fa fede il fatto che i neonati umani prematuri hanno delle difficoltà nelle acquisizioni cognitive se non alimentati in maniera adeguata. L'attivazione di geni che codificano per enzimi e ormoni capaci di favorire l'accumulo di grasso nel momento della nascita è un evento cruciale nella selezione delle specie di *Homo*. Si tratta di geni appartenenti alla famiglia del «genotipo risparmiatore», di cui abbiamo parlato nel capitolo I, Parte seconda, e portano allo sviluppo precoce del tessuto adiposo preferenzialmente a discapito del tessuto muscolare, che è anch'esso sottodimensionato in *Homo* rispetto agli altri primati. Per l'ulteriore capacità metabolica del cervello menzionata prima, il feto riesce ad usare i corpi chetonici prodotti dall'ossidazione degli acidi grassi dei suoi depositi adiposi fino al 30 per cento del suo combustibile totale (il resto è glucosio di origine materna perché gli acidi grassi non passano dal sangue al cervello). La crescita encefalica si impianta su queste basi nutrizionali e ne necessita di altre. Queste verranno dal latte materno e dall'adozione precoce di cibi molto

nutrienti precondizionati dalla cottura, ma soprattutto dalla conquista di una nuova nicchia ecologica, l'ultima frontiera del primate migratore prima della stanzialità neolitica: le regioni costiere e le distese d'acqua da esse delimitate, fiumi, laghi e mari. Dopo la savana, saranno questi i nuovi territori alimentari del Pleistocene recente e si riveleranno decisivi per la definitiva strutturazione dell'uomo anatomicamente e funzionalmente moderno.

La duplice funzione del grasso per l'organismo umano è evidente: oltre al vantaggio del cervello anche per quello che riguarda l'aspetto strutturale. Il tessuto nervoso è il tessuto più ricco di grasso (80 per cento del suo peso secco) per la grande quantità di membrane membranose contenute dalle sue cellule, fibre e sinapsi. Parte di questo grasso è identico a quello degli altri tessuti e a quello che serve per l'isolamento termico, e il cervello lo estrae dai corpi chetonici, che è in grado di importare in abbondanza dal sangue. Esso però usa una quota rilevante di grassi saturati che è molto più in quantità speciale delle membrane cerebrali e retiniche in quanto particolarmente adatto alle cellule specializzate in attività elettrica come quelle del tessuto nervoso, tra le quali sono da includere quelle della retina, che ne sono particolarmente ricche. Si tratta di acidi grassi atti a rendere le membrane eccitabili più ricche di fluidità e plasticità. A questo scopo gli acidi grassi devono avere una catena di atomi di carbonio molto lunga e ricca di doppi legami che le permettono di cambiare orientamento nel suo percorso (L.C. PUFA: long chain polyunsaturated fatty acids). Questi acidi sono anche indicati come omega 3, perché il primo doppio legame si incontra a distanza di tre atomi di carbonio dall'estremità omega della catena (cioè quella opposta all'estremità di fine che porta il carbonio del gruppo acido). Tra questi acidi grassi il più lungo (22 atomi di carbonio) e maggiormente polinsaturato (due doppi legami) è proprio quello più abbondante nel cervello e si chiama acido docosahesaenoico abbreviato con le iniziali DHA. La maggiore abbondanza di questa molecola si trova alla nascita, e il neonato a termine (ma non il prematuro o il neonato di altri primati) ha una quota di DHA che soddisfa le esigenze di

Grassi speciali dall'acqua e dai litorali: la chiave nutrizionale per il grande cervello

La duplice funzione del grasso per l'organismo umano è enfatizzata a vantaggio del cervello anche per quello che riguarda l'aspetto strutturale. Il tessuto nervoso è il tessuto più ricco di grasso (60 per cento del suo peso secco) per la grande quantità di strutture membranacee contenute dalle sue cellule, fibre e sinapsi. Parte di questo grasso è identico a quello degli altri tessuti e a quello che serve per l'isolamento termico, e il cervello lo sintetizza dai corpi chetonici, che è in grado di importare in abbondanza dal sangue. Esiste però una quota rilevante di grasso encefalico che è richiesto in maniera speciale dalle membrane cerebrali e retiniche in quanto particolarmente adatto alle cellule specializzate in attività elettrica come sono quelle del tessuto nervoso, fra le quali sono da includere quelle della retina, che ne sono particolarmente ricche. Si tratta di acidi grassi atti a rendere le membrane eccitabili più dotate di fluidità e plasticità. A questo scopo gli acidi grassi devono avere una catena di atomi di carbonio molto lunga e ricca di doppi legami che le permettono di cambiare orientamento nel suo percorso (LC-PUFA: *long chain polyunsaturated fatty acids*). Questi acidi sono anche indicati come omega 3, perché il primo doppio legame si incontra a distanza di tre atomi di carbonio dall'estremità omega della catena (cioè quella opposta all'estremità alfa che porta il carbonio del gruppo acido). Fra questi acidi grassi il più lungo (22 atomi di carbonio) e maggiormente polinsaturo (6 doppi legami) è proprio quello più abbondante nel cervello e si chiama acido docosaesanoico, abbreviato con le iniziali inglesi DHA. La maggiore abbondanza di questa molecola si trova alla nascita, e il neonato a termine (ma non il prematuro o il neonato di altri primati) ha una scorta di DHA che soddisfa le esigenze di

sviluppo del cervello per i primi tre mesi, indipendentemente dal contenuto del latte materno.

Infatti, il problema nutrizionale con questo tipo di acidi grassi (oltre al DHA, il suo diretto precursore EPA o acido eicosapentenoico, 20 atomi di carbonio e 5 doppi legami, e l'AA o acido arachidonico, 20 atomi di C e 4 doppi legami), è che sono essenziali, cioè devono venire esclusivamente dalla dieta, e da cibi molto particolari. Il più ovvio di questi cibi è il cervello animale, e dobbiamo pensare all'estrazione di quest'organo da carcasse per individuare una fonte abbondante di questo prezioso acido grasso nella dieta dei primi ominini delle savane interne. Inoltre i reperti fossili più accreditati per documentare casi di cannibalismo riguardano proprio l'allargamento del foro occipitale per estrarre materiale cerebrale. Se il cranio di Neandertal della Grotta Guattari al Circeo sembra essere stato modificato dall'attività di iene e non da altri esseri umani la stessa ipotesi appare più improbabile per le basi allargate dei crani di Neandertal di Krapina in Croazia. Qui essi si associano ad ossa bruciate e frantumate, e questo fa pensare ad un'attività pianificata di estrazione di materiale midollare e cerebrale, due tessuti che sono i più ricchi nell'organismo animale in acidi grassi essenziali.

Malgrado ciò, il cervello come cibo non si presta da solo a sostenere un'alimentazione costante e facilmente accessibile per una popolazione in crescita numerica e con aumentate esigenze nutrizionali per sostenere il processo di evoluzione espansiva del sistema nervoso centrale. AA è contenuto anche nel tuorlo d'uovo e nella carne di animali terrestri, soprattutto la carne degli organi interni come il fegato, ma DHA e EPA sono presenti solo in animali che ingeriscono direttamente, o indirettamente come gli uccelli marini, grandi quantità di fitoplancton. Ai fini nutrizionali del cervello in espansione, il cibo adatto è rappresentato da pesci, molluschi, crostacei e mammiferi marini, o anche di acque dolci ma solo a climi più temperati, che, nelle loro parti grasse, contengono quantità nutrizionalmente rilevanti di questi acidi grassi. La massima concentrazione si trova perciò in pesci molto ricchi di grasso, come nel pesce azzurro (sardine, sgombri), nell'aringa e nel salmone, ma anche in uova di uccelli acquatici, seppie, vongole, ostriche e pesci dei laghi africani della Rift Valley. Per fare un esempio calzante con l'habitat originario di *Homo*, una carpa del lago Nya-

sa contiene circa cinquanta volte più DHA che la carne di un quadrupede di savana come la zebra o il bufalo. Il neonato assume DHA dal latte materno, che ne contiene in gran quantità solo in presenza di alimentazione adeguata della puerpera. Si va infatti dallo 0,1-0,5 per cento nel latte delle donne occidentali all'1,1 per cento delle donne giapponesi fino a punte di quasi il 3 per cento in zone costiere della Cina. Nessun altro mammifero terrestre ha un latte così ricco in LC-PUFA-omega 3, e quindi l'allattamento artificiale richiede formulazioni che risolvano questo problema. Esistono numerosissimi dati epidemiologici che associano carenze nutrizionali di DHA a deficit cognitivi, visivi e psicologici di vario livello, ed è stato provato che questi disturbi si aggravano nelle generazioni successive se queste carenze persistono. Solo l'effetto selettivo di molte generazioni di *Homo* che si sono cibate di piccoli animali acquatici sulle rive di fiumi, laghi e mari, anche raccolti senza l'ausilio di perfezionati strumenti di pesca, possono aver sostenuto la formazione e il metabolismo della massa cerebrale fino a valori così grandi, eccedenti le dimensioni corporee raggiunte (si veda il cap. VIII, Parte seconda). Anche se i primi depositi di conchiglie e valve di molluschi sono stati trovati solo in insediamenti di *Homo sapiens* anatomicamente moderno (100.000 anni fa in Africa meridionale), appare più che probabile che il primo contatto con questo nuovo tipo di cibo sia avvenuto con la comparsa delle prime specie umane ad alto EQ 500.000 anni prima, e forse anche anteriormente nel caso di *Homo ergaster*.

Studi recenti¹ dimostrano che gli effetti multigenerazionali di DHA si esercitano mediante la regolazione dell'espressione di geni coinvolti nella plasticità sinaptica, nell'assemblaggio delle membrane, nella formazione di canali ionici legati alla trasmissione dello stimolo nervoso e nel metabolismo energetico. Si ha così un chiaro esempio di come si attui il passaggio dal cibo al DNA: una molecola essenziale per la struttura di un apparato funzionale diventa con la selezione anche uno dei modulatori dei geni che sovrintendono alla costruzione di quella stessa struttura.

¹ K. Kitajka et al., *The Role of n-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Brain: Modulation of Rat Brain Gene Expression by Dietary n-3 Fatty Acids*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences, USA», 99, 2002, pp. 2619-24.

Oltre ai LC-PUFA la catena alimentare litoranea contiene altri nutrienti importanti per lo sviluppo cerebrale. È a tutti nota la carenza di iodio che ha tradizionalmente colpito alcune popolazioni dell'entroterra e che prende il nome di cretinismo. È stato ipotizzato da Dobson² che le caratteristiche delle ossa di *Homo neanderthalensis* possiedono tratti che fanno pensare a questa malattia. L'autore attribuisce alla carenza iodica, e di conseguenza tiroidea, la decadenza di questa specie con l'arrivo in Europa di *sapiens*. Anche altri ioni minerali, legati alle funzioni enzimatiche antiossidanti, come rame, zinco, selenio e manganese sono molto abbondanti nella catena alimentare litoranea ed essenziali al sistema nervoso centrale che per la sua alta attività metabolica aerobia è più esposto di altri tessuti all'attacco da parte dei ROS (*reactive oxygen species*, o specie reattive dell'ossigeno). Fra i micronutrienti abbondanti in questi alimenti c'è inoltre la vitamina A, essenziale alla visione, in particolare quella notturna.

Granchi, vongole, gamberi, uova di uccelli e tartarughe marine, pesci di acque basse devono essere stati una preda molto facile per le specie umane della seconda metà del Pleistocene, accessibili anche a vecchi, bambini e donne incinte e quindi ideali a sostenere le migrazioni «out of Africa». È possibile che gran parte dell'evoluzione umana nel periodo che ha visto la diffusione delle specie di *Homo* fuori dall'Africa sia avvenuta in regioni costiere e che noi ne abbiamo perso le tracce per quanto riguarda l'alimentazione a causa dell'innalzamento recente dei livelli marini dopo la fine delle glaciazioni.

L'abitudine a nutrirsi di risorse alimentari tipiche dei litorali potrebbe essere stata introdotta in Europa da *Homo sapiens*. A parte le vecchie osservazioni di Dobson sul cretinismo dei Neandertal ora disponiamo di ricerche recenti effettuate con misure isotopiche in resti delle due ultime specie umane che hanno convissuto in Europa³. Questi resti risalgono al Paleolitico medio-superiore e sono stati analizzati per quanto riguarda la composizione

² J.E. Dobson, *The Iodine Factor in Health and Evolution*, in «Geographical Review», 88, 1988, pp. 1-23.

³ M.P. Richards *et al.*, *Stable Isotope Evidence for Increasing Dietary Breadth in the European Mid-Upper Paleolithic*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences, USA», 98, 2001, pp. 6528-32.

ne del collagene delle ossa rispetto agli isotopi stabili ¹⁵N e ¹³C. Il primo isotopo è più abbondante nei pesci, sia marini che di acqua dolce, e negli uccelli che si cibano di organismi acquatici, e meno negli erbivori terrestri. Il secondo isotopo, invece, è più rappresentato negli organismi marini. I risultati indicano che il collagene osseo degli umani anatomicamente moderni riflette un'alimentazione nella quale le proteine derivano per il 25-50 per cento da risorse di acqua dolce, mentre nei Neandertal, anche in quelli di regioni ricche di laghi e di fiumi, la composizione del collagene fa pensare a una dieta in gran parte basata su erbivori terrestri. Questo non esclude che nelle zone costiere i Neandertal non si cibassero occasionalmente di molluschi, ostriche e qualche pesce, ma dimostra che essi si erano adattati ad una dieta simile a quella dei carnivori loro contemporanei, probabilmente perché il rigore del clima e la necessità di prestazioni fisiche estreme imponevano una dieta di proteine e grassi molto concentrati e abbondanti, quali sono presenti negli erbivori terrestri. Infatti la composizione isotopica dei loro fossili è simile a quella che si trova nei resti ossei di lupi, iene e volpi. Invece, il miglioramento delle condizioni ambientali può avere indotto i *sapiens* ad allargare il loro raggio d'azione all'acquisizione dei cibi dei litorali e questa scelta alimentare può essere stata decisiva nel confronto socio-culturale, più che fisico, fra le due specie.

Capitolo undicesimo

Balla coi lupi

La caccia e la pesca organizzate per l'acquisizione di cibo richiedono strumenti adatti e un comportamento sociale sofisticato. È quindi probabile che le attività di raccolta del cibo finora descritte abbiano preceduto queste innovazioni e fornito gli elementi nutrizionali necessari allo sviluppo del cervello che renderà poi possibili strategie di gruppo più complesse. Se le tracce archeologiche riguardanti la pesca non vanno indietro di 90.000 anni fa, in quanto probabilmente sommerse a causa dell'arretramento della linea costiera, prove che la caccia si sia sviluppata come attività indipendente dalla predazione di carcasse sono molto più antiche delle date probabili per l'apparizione di *Homo sapiens* nelle varie aree geografiche. La documentazione in questo senso è molto importante ai fini del ruolo dell'alimentazione nell'evoluzione umana, perché solo la caccia pianificata per un'attuazione da parte di gruppi numerosi di operatori capaci di collaborare assicura alla comunità quell'apporto continuo di alte concentrazioni di proteine e grassi necessario allo sviluppo integrato di attività muscolari e cognitive di livello superiore.

Ci sono anzitutto delle prove anatomiche sui fossili umani del periodo paleolitico medio-superiore che sono a favore dell'esistenza da quest'epoca di strumenti vocali di comunicazione, essenziali per la caccia organizzata. Le dimensioni dei canali dei nervi ipoglossi, che portano le fibre a innervare la lingua per i movimenti fonatori, sono abbastanza simili in Neandertal e *sapiens* e molto più grandi che nelle specie più arcaiche. Differenze fra le due specie esistono nell'anatomia dell'apparato fonatorio propriamente detto, cioè cavità nasale e orale, ma non sono tali da precludere ai Neandertal la disponibilità di un linguaggio articolato.

Informazioni interessanti sono state desunte dall'analisi accurata delle incisioni sulle ossa delle prede degli umani medio-paleolitici europei, che 500.000 anni fa erano costituite da cervi, bisonti e rinoceronti. In molti casi i segni dei denti dei carnivori si sovrappongono a quelli lasciati dagli strumenti paleolitici umani, e quindi sembra che i nostri antenati avessero cominciato ad apprendere come arrivare a spolpare la preda prima di altri carnivori. La frequenza di queste tracce indica l'inversione dei tempi d'accesso alla carne fra umani e altri predatori rispetto a fasi anteriori di carnivorismo (si veda il cap. IV, Parte seconda), e anche questo è un elemento a favore dell'adozione di tecniche di caccia organizzata nel medio Pleistocene.

Ma l'esistenza di attività venatorie trova i suoi documenti più convincenti nel ritrovamento di armi appropriate. Le armi che ci interessano ai fini dell'esistenza o meno della caccia collaborativa e pianificata sul territorio sono quelle missili, che implicano l'appostamento e il lancio con ruoli diversificati da parte di più componenti di un «branco». Poiché prove dell'esistenza di arco e frecce mancano fino all'alba del Mesolitico, sono le tracce di possibili giavellotti che hanno attirato l'attenzione degli archeologi. A Schoeningen, in Germania, sono state trovate quattro lance, lunghe circa 2 metri e pesanti circa 2 chili, e costruite in modo da essere pensate più come proiettili che come picche per colpi inferti da vicino. Sono state trovate in un giacimento di 400.000 anni fa, insieme a una grande quantità di resti equini, che recano i segni dell'utilizzazione alimentare da parte umana. Tutto fa pensare all'appostamento di mandrie di cavalli sorprese durante l'abbeveramento.

Giacimenti di ossa di grandi quadrupedi con tracce di manipolazione umana sono così abbondanti in questa fase della preistoria, soprattutto in Europa, da convincerci che la macellazione di grandi animali e il consumo di quantità considerevoli di carne abbia costituito la base di quella dieta paleolitica che ha strutturato la morfologia di Neandertal e *sapiens* arcaico, e che pensiamo abbia lasciato la sua impronta sugli adattamenti metabolici della specie umana (cap. I, Parte seconda, pp. 86-89). Inoltre, l'adozione di strategie finalizzate allo sfruttamento delle risorse alimentari del Pleistocene, soprattutto quello glaciale, ha avuto un'influenza fondamentale per l'evoluzione del comportamento

umano. Voglio qui menzionare un particolare forse sorprendente, che potrebbe aggiungere un altro tassello al mosaico di indizi che si focalizzano sull'ottimizzazione delle strategie alimentari come elemento importante di differenziazione fra *sapiens* e Neandertal.

Non a caso, poche righe più sopra, avete trovato la parola «branco» ad indicare il raggruppamento coordinato di umani nell'atto della caccia organizzata. Studi di DNA mitocondriale¹ hanno dimostrato che la separazione genetica di lupi e cani è avvenuta circa 140.000 anni fa. Questa data segna quindi con molta verosimiglianza l'addomesticamento dei canidi e corrisponde alla finestra temporale che segna l'inizio della migrazione «out of Africa» di *Homo sapiens*. Quello che impressiona è la considerazione che questo addomesticamento – di gran lunga il più antico che possiamo ipotizzare – trova basi profonde nelle attitudini comuni delle due specie nella caccia cooperativa e nella condivisione del cibo con una famiglia estesa. La suddivisione di ruoli nell'approccio alla preda, l'uso di richiami vocali, l'attenzione primaria alla salvaguardia alimentare dei cuccioli sono solo alcune delle caratteristiche che rendono uomini e lupi capaci di comunicare ai fini di un più proficuo accesso al cibo. Senza pensare all'eccezionale complementarità delle doti sensoriali: vista nell'uomo, odorato e udito nel cane. Si può senza dubbio affermare che l'alleanza alimentare fra le due specie è stata vitale per la loro sopravvivenza, soprattutto nelle condizioni climatiche dell'era glaciale in Eurasia, così come lo è tuttora nelle regioni artiche.

¹ C. Vila et al., *Multiple and Ancient Origins of the Domestic Dog*, in «Science», 276, 1997, pp. 1687-89.

L'autunno del Paleolitico e della sua dieta

È stato osservato che il cane ha un cervello che è più piccolo di circa un quarto rispetto a quello del lupo, a parità di peso corporeo. Si è anche osservato¹ che *Homo sapiens* ha perso circa il 16 per cento della sua massa corporea fra 50 e 10.000 anni fa e che negli ultimi 35.000 anni anche la massa cerebrale è diminuita nella proporzione attesa sulla base del ridotto peso del corpo. Il grande aumento di EQ si situa incontrovertibilmente fra 600 e 150.000 anni fa e abbiamo analizzato quelle che a nostro parere ne sono le basi nutrizionali. C'è allora da chiedersi, senza creare rapporti causa-effetto di incerta validità, se il relativo regresso degli indici corporei e cerebrali nel Paleolitico superiore non si associ anche a cambiamenti delle abitudini alimentari. L'archeologia ci fornisce a questo proposito elementi di grande interesse, in particolare la recente pubblicazione² dell'esplorazione di un sito medio-orientale con tracce di triturazione e cottura di semi di cereali selvatici risalenti a poco più di 20.000 anni fa. Questi cereali appartengono alla famiglia dell'orzo e del grano, che perciò sarebbero entrati nell'alimentazione umana almeno 10-15.000 anni prima della loro domesticazione in Asia sud-occidentale, e forse molto prima.

Infatti, se le pietre da taglio sono le maggiori innovazioni della tecnologia paleolitica per quanto riguarda la manipolazione delle risorse alimentari, a partire da 50.000 anni fa compaiono le pietre da macina, indizio della molitura di grani e semi. Questa procedura, unita a un sempre più razionale controllo del fuoco sotto for-

¹ C. Ruff *et al.*, *Body Mass and Encephalization in Pleistocene «Homo»*, in «Nature», 387, 1997, pp. 173-78.

² D.R. Piperno *et al.*, *Processing of Wild Cereal Grains in the Upper Paleolithic Revealed by Starch Grain Analysis*, in «Nature», 430, 2004, pp. 670-73.

ma di focolari e poi di forni, comporta una rivoluzione alimentare di enorme rilevanza nutrizionale e metabolica. Con la triturazione e la cottura le particelle d'amido dei cereali si riducono di dimensione e si amalgamano con l'acqua, divenendo così rapidamente digeribili, cioè attaccabili dagli enzimi intestinali che liberano dall'amido il glucosio, il suo componente elementare e il combustibile metabolico di pronto uso per la produzione d'energia a vantaggio del lavoro muscolare. L'assunzione alimentare di amidi macinati (farine) e arrostiti rende il loro glucosio immediatamente disponibile per l'assorbimento intestinale, così che esso passa in gran quantità nel sangue e arriva rapidamente alle sedi cellulari di utilizzazione. L'indice glicemico è una misura della capacità relativa dei cibi contenenti carboidrati ad innalzare la glicemia postprandiale, posto uguale a 100 l'innalzamento prodotto da una quantità equivalente di glucosio. È stato calcolato che la cottura aumenta del 70 per cento la capacità di cereali come l'orzo e il grano di innalzare il contenuto di glucosio nel sangue e in conseguenza la quantità di energia prontamente disponibile. Come abbiamo visto nel capitolo I, Parte seconda, questa energia è utilizzata immediatamente dai muscoli se c'è richiesta di prestazioni contrattili per sforzi fisici intensi e prolungati. Se questo non avviene, l'aumento della glicemia stimola la secrezione di insulina, il cui effetto più importante è l'aumento di sintesi e accumulo di tessuto adiposo. Questo comporta un senso di sazietà che inibisce l'assunzione di grandi quantità di cibo, specialmente se ricco di grassi. Si può ragionevolmente ipotizzare che un'alimentazione con quantità sempre maggiori di cereali selvatici resi facilmente commestibili a seguito di procedimenti di molitura e di cottura abbia indirizzato l'uomo alla loro domesticazione, prima fase della rivoluzione agroalimentare del Mesolitico e del Neolitico.

Si è generato così un processo che ha portato la specie umana a basare la sua sicurezza alimentare sui carboidrati dei cereali a discapito della carne di animali selvatici (fig. 8). La carne è rimasta una quota importante dell'alimentazione umana perché è intervenuto l'allevamento di alcune specie animali. Ma l'alimentazione di questi animali in regime di pastorizia ha prodotto una carne di tipo diverso, soprattutto perché molto più povera di acidi polinsaturi nella sua componente grassa di quella degli animali selvatici. Attualmente solo tre tipi di cereali apportano circa il 50 per cen-

to delle calorie totali della nostra alimentazione (23 per cento riso, 17 per cento frumento, 10 per cento mais) riducendo di molto la molteplicità nutrizionale cui aveva accesso l'uomo del Paleolitico. Va inoltre ricordato che la domesticazione degli alberi da frutto e dei cereali ha prodotto l'irruzione nella dieta umana delle bevande alcoliche fermentate (tracce della produzione di vino in Medio Oriente risalgono già a 7.500 anni fa) e quindi a nuovi apporti calorici a pronta utilizzazione. Questi cambiamenti alimentari hanno inoltre influito sull'organizzazione delle comunità umane, che sono divenute più sedentarie e meno impegnate nello sviluppo di sempre nuove soluzioni per l'acquisizione del cibo. In seguito a questa che è stata la prima vera globalizzazione dei regimi alimentari e degli stili di vita delle società umane, si è arrestata l'espansione cerebrale e la crescita in peso e altezza. Nel contempo è cominciato il periodo che porterà al grande aumento della popolazione e delle malattie, infettive e metaboliche, come tratto biologico caratterizzante dello stadio attuale dell'evoluzione umana.