

## Stile di vita ancestrale e collisione evolutiva. Parte 2\*: natural born runners



F. Gregorio<sup>1</sup>, M. Sudano<sup>2</sup>, D. Gregorio<sup>3</sup>  
franco.gregorio@sanita.marche.it

<sup>1</sup> UOSD Malattie Metaboliche e Diabetologia Ospedale ASUR Marche, AV2, ZT6 "E. Profili" Fabriano (AN);

<sup>2</sup> Servizio di Diabetologia e Malattie Metaboliche – ASUR Marche AV1 Urbino; <sup>3</sup> Corso Laurea in Scienze e Tecniche Psicologiche dei Processi Mentali, Università di Perugia

**Parole chiave:** Corsa aerobica, Caccia, Evoluzione homo

**Key words:** Endurance running, Unting, Hominid evolution

Il Giornale di AMD, 2014;17:24-32

### Riassunto

È noto che gli scimpanzé in particolari condizioni ambientali effettuano battute di caccia: pertanto la predisposizione biologica dell'uomo alla carnivoria è una caratteristica che proviene da un lontano passato. Già l'*Homo Habilis* si nutriva occasionalmente di carne che si procurava con un'attività scavenging. Quando poi le condizioni climatiche ambientali mutarono drammaticamente, determinando la progressiva scomparsa delle foreste pluviali sostituite da aperta e arida savana, si determinò una forte pressione selettiva verso una vera e propria attività di caccia. L'aumentato consumo di carne determinò così un miglioramento della qualità della dieta con aumentato apporto di grassi e proteine. Dal momento che il cervello umano è un organo metabolicamente assai costoso, il suo sviluppo fu consentito proprio dall'attività predatoria e dal conseguente aumentato apporto nutrizionale di proteine animali. Tutto questo sembra abbastanza logico e consequenziale ma esiste un problema di non facile soluzione: l'uomo è un corridore mediocre, assai più lento di tutte le sue prede. Gli autori descrivono come l'uomo sia però in grado di effettuare e mantenere una corsa aerobica su lunghe distanze (endurance running) ad un costo metabolico assai inferiore a quello delle sue prede. Egli riesce così a inseguire a lungo la sua preda fino a raggiungere e ad abbattere l'animale inseguito, ormai così esausto da non rappresentare più alcun pericolo. Vengono anche descritte le caratteristiche fisiologiche, anatomiche e psicologiche alla base dell'endurance running e come esse si siano evolute nell'uomo.

### Summary

It is well known that different groups of chimpanzees hunt in different environmental conditions: therefore the biological predisposition of human carnivore behavior is far back in the past.

Early *Homo Habilis* already ate meat resulting from scavenging activity. A dramatic climatic shift causing progressive disappearance of rain forests and widening of open dry savannah also exerted a strong evolutionary pressure toward hun-

ting activity. Increased meat intake consequently resulted in a higher-quality diet rich in fats and protein. Since human brain is energetically the most expensive tissue of whole body, the cost for the growing brain was supported by hunting and the intake of animal-derived foods. This scenario looks plausible but a problem arises when we consider that humans are very mediocre runners, far slower than their prey. The authors assess how humans can easily perform a sustained, aerobic long-distance running (endurance running), with a metabolic cost lower than that one of their prey, catching in the end the exhausted animal with low risk. Here we also review the physiological, anatomical and psychological bases of endurance running capabilities evolved in humans.

### Premesse

È stato già ricordato nella prima parte che la divergenza della genetica umana dallo scimpanzé risale a 6 MA di anni ma in questo abisso temporale il nostro profilo genetico si è scostato di appena il 3% da quello dei nostri cugini arboricoli. Siamo abituati ad immaginare gli scimpanzé come innocue, pacifiche scimmiette dai grandi occhioni dolci che giocano fra i rami, mangiano banane e fanno buffi versi ai turisti ma è già stato sottolineato (nella prima parte della rassegna) che in realtà gli scimpanzé alternano frequentemente la loro dieta vegetariana con alimentazione carnea ottenuta grazie a vere e proprie battute di caccia, all'occorrenza anche verso altre scimmie, condotte con ferocia e determinazione predatoria. Pertanto è assai probabile che le predisposizione comportamentale alla caccia (e la capacità di digerire le proteine animali) si sia sviluppata già nelle foreste ben prima dell'emergere di *Homo*. Comunque è con l'*Homo Habilis* (2,5 MA) che l'apporto di proteine animali iniziò ad essere più consistente, sebbene derivante unicamente da attività scavenging<sup>(1,2)</sup>. A tale proposito alcuni studi sembrano indicare

\*La prima parte è stata pubblicata nel fascicolo 4/2013.

Basato sul contributo presentato al XIX Congresso Nazionale AMD, svoltosi a Roma dal 29 maggio al 1 giugno 2013.

un debito di riconoscenza della nostra specie nei confronti dello smilodonte, la cosiddetta “tigr dai denti a sciabola”. Infatti, mentre tutti gli altri grandi predatori preferivano gli ambienti aperti, le sciabole vivevano nei boschi e nelle foreste. Cacciavano prede di grandi dimensioni ma i grandi denti erano incapaci di frantumare le ossa e impedivano loro di spolpare le carcasse fornendo così un facile e sicuro apporto proteico ai nostri progenitori<sup>(3)</sup>.

Alla metà del cenozoico cataclismi tellurici dettero inizio alla formazione della faglia di Rift Valley e al conseguente sollevamento del suolo fino a formare quelli che oggi sono gli altopiani del “Corno d’Africa”. Il clima si modificò progressivamente diventando sempre più fresco e più asciutto. Il processo fu accelerato dalla prima grande glaciazione (Donau), che iniziò 2,5 MA fa e durò circa mezzo milione di anni. Infatti la formazione di gigantesche calotte glaciali (che raggiunsero le Alpi) sottrasse enormi quantità di acqua al sistema terra inaridendo il pianeta. Le grandi foreste nell’Africa Orientale scomparvero definitivamente con la formazione di un ambiente più aperto (e più pericoloso) di savana e prateria. Ciò condusse le sciabole all’estinzione (circa 1,7 MA) e costrinse l’*Homo Habilis* a passare ad una forma di scavenging più “di confronto” spostandosi in ambienti più aperti e competendo con altri predatori. Tutto questo favorì il passaggio verso l’*H. Erectus* (1,5 MA) che rapidamente si diffuse anche in Europa. Era ormai un efficiente e temibile predatore che iniziava ad utilizzare strumenti per la caccia e la macellazione. Con l’*H. Erectus* il “salto” verso la carnivora può dirsi completato. Seguirono altre quattro glaciazioni. L’*H. Sapiens Neanderthalensis* comparve circa 250 mila anni fa, dopo la seconda glaciazione ma si estinse 35 mila anni fa. L’*H. Sapiens* comparve più tardi, circa 100 mila anni fa, dopo la terza glaciazione.

I *Sapiens* del paleolitico erano predatori abili e potenti in grado di cacciare animali di grosse dimensioni come tori, cinghiali, bisonti erano in grado di competere perfino con il terribile “leone delle caverne” (300 kg di muscoli in 3,5 metri di lunghezza): i graffiti delle Grotte di Altamira e di Chauvet ne sono la testimonianza.

## To feed the brain

“... anatomically speaking hominids were peculiarly defenceless creatures”<sup>(1)</sup>.

Non mi soffermerò sugli aspetti biochimici e metabolici della dieta carnea, già approfonditi con chiarezza nella prima parte della rassegna. Mi limiterò a sottolinearne gli aspetti che hanno avuto un impatto sulle capacità fisico-predatorie dell’evoluzione umana, aspetti con richieste energetiche contraddittorie, contrastanti che hanno richiesto soluzioni evolutivistiche inusuali e innovative.

Infatti una dieta carnea (a maggiore densità energetica e ricca di acidi grassi neurotrofici poliinsaturi) ha favorito lo sviluppo fisico e cerebrale del genere *Homo* e a sua volta il maggior sviluppo fisico e intellettuale hanno consentito più efficaci strategie di caccia. L’improvviso, rapi-

do sviluppo cranico e staturale verificatisi in coincidenza con l’inizio della dieta carnea ne sono la prova. Sebbene i due processi siano evidentemente connessi, è probabile che sia stata l’originale predisposizione biologica alla carnivoria a condizionare l’iniziale attività scavenging e con questo a favorire il successivo sviluppo fisico e cerebrale. È stato ricordato che il cervello umano è un organo metabolicamente costoso e la necessità evolutiva prioritaria è stata perciò quella di “feed the brain”. Vi si poteva far fronte solo a patto di avere un’alimentazione costante, ad alta densità energetica e qualitativamente ricca. È un pattern nutrizionale che solo una dieta carnea può assicurare<sup>(4-7)</sup>. Come già indicato in precedenza la carnivoria ha consentito la riduzione della lunghezza dell’intestino alleggerendo sia il peso corporeo che il costo metabolico dell’organismo. Rispetto ai mammiferi carnivori l’intestino umano è ancora troppo lungo e con un colon percentualmente troppo esteso ma rispetto a quello delle grandi scimmie è assai più breve e con una netta prevalenza del tenue. Si tratta di un processo ancora in atto visto che la lunghezza del ceco è oggi minore di quella delle mummie egiziane vissute solo poche migliaia di anni fa<sup>(8)</sup>.

Ma il processo di encefalizzazione ha prodotto una “crisi energetica” a cui si doveva trovare una soluzione in grado di conciliare la priorità di “nutrire il cervello” (2% della massa corporea 25% del metabolismo basale nell’adulto, 70% nel bambino) con le necessità energetiche di tutto il restante organismo. Ridurre la massa intestinale era una prima soluzione, ma non sufficiente. Proseguendo in una *efficace* spending review, il processo evolutivo ha prodotto sistemi biologici in grado di riciclare efficacemente scarti metabolici (lattato, chetoni etc) trasformandoli prevalentemente in glucosio, il substrato principale per il cervello. Per converso ha “convinto” il cervello ad adattarsi al consumo di corpi chetonici in condizioni di necessità estrema.

Ma ancora non era sufficiente. Per mantenere costante il “budget metabolico” era necessario intervenire proprio su chi produce l’approvvigionamento energetico dell’intero organismo, cioè al tessuto muscolare, quello che sostiene l’attività fisica del cacciatore.

All’inizio si è favorito l’impiego muscolare degli acidi grassi (energeticamente più vantaggioso) limitando l’utilizzo del glucosio per riservarlo al cervello (Ciclo di Randle); nel contempo si è cercato di contrastarne il catabolismo proteico per non compromettere l’efficienza muscolare. Ma non bastava ancora. Il processo evolutivo è stato costretto a “tagliare” la massa muscolare portandola ad una percentuale largamente inferiore rispetto a quella degli altri mammiferi di pari peso.

La necessità di avere un “cash energetico” sempre disponibile per alimentare un cervello vorace ha reso necessario il costituirsi di opportune scorte energetiche, cioè un aumento percentuale della massa grassa sia nell’età adulta sia soprattutto alla nascita. Alla nascita il volume cerebrale dei nostri piccoli è simile a quello dei cuccioli di scimpanzé. La differenza di massa cerebrale si realiz-

za dopo la nascita grazie a una maggiore velocità (e non durata) della crescita cerebrale dei nostri piccoli rispetto a quella dei cuccioli di scimmia e questa maggior velocità è consentita proprio dalla maggiore disponibilità di scorte energetiche<sup>(9)</sup>. È probabile che il processo evolutivo abbia favorito lo sviluppo di “fittest” ominidi selezionando “fat-test” neonati. È per questo che i nostri piccoli appaiono assai più grassottelli (e più “imbottiti” di sottocutaneo) rispetto ai cuccioli di scimmia, rugosi e rinsecchiti<sup>(7)</sup>.

Però, ancora una volta, per avvantaggiare il cervello si è rischiato di compromettere ulteriormente l'efficienza fisica del cacciatore.

Infatti da un lato la riduzione percentuale della massa muscolare aveva già reso il genere *Homo* fisicamente più debole, gracile, lento (rispetto non solo agli altri predatori ma alle stesse prede) dall'altro l'aumento percentuale di tessuto adiposo rischiava di appesantirlo compromettendone ulteriormente le sue capacità di caccia e anzi aumentando il rischio di trasformarlo da predatore a preda. In generale la necessità di trovare un equilibrio ottimale fra il rischio rappresentato dalla fame (che spinge il MBI verso l'alto) e il rischio opposto rappresentato dal divenire preda di un cacciatore (che spinge il BMI verso il basso) è il principale fattore regolatorio che mantiene il BMI degli animali selvatici entro un range estremamente ristretto. Il genere *Homo* era già stato costretto a penalizzare la massa muscolare e ad aumentare la massa grassa. Pertanto l'oscillazione del BMI attorno al “setting point” ottimale si è sviluppata entro limiti di tolleranza ancor più ristretti<sup>(10)</sup>.

Come se tutto ciò non bastasse per facilitare il rimodellamento del cranio (e quindi l'aumento del volume cerebrale) si è selezionata una mutazione genetica che ha indebolito i muscoli della nostra mandibola riducendo drammaticamente la potenza del morso e quindi la capacità di dilaniare le prede cacciate<sup>(11)</sup>.

Per avere un'idea della sproporzione predatoria tra noi e gli altri cacciatori non occorre dover far riferimento al mitico ghepardo (record cronometrato 180.5 km/h): è sufficiente ricordare che anche predatori ben più veloci di noi come la volpe (50 km/h), il lupo (55 km/h) o il levriero (55-60 km/h) riescono con difficoltà ad azzannare una lepre se è adulta e sana (60-70 km/h). Infatti le prede sono generalmente un po' più veloci, con velocità di punta generalmente comprese fra i 60 (zebra, cavallo selvatico, gnu, antilope etc) e gli 80 km/h (antilopacpra, gazzella, impala etc). Questo scarto biologico fa sì che il predatore (giovane e sano) riesca a raggiungere solo prede deboli, vecchie e malate, “ripulendo” così l'ecosistema e contribuendo alla selezione naturale.

Ma noi quali prede riusciremmo mai a raggiungere? Il record olimpionico del giamaicano Usain Bolt (oro olimpico Pechino nei 100 m con 10,44m/s cioè 36,6 km/h) sarebbe stato appena sufficiente a fargli raggiungere un coniglio domestico (30 km/h) mentre il keniano Samuel Wanjiru (oro olimpico Pechino nella maratona, velocità media di 20 km/h) avrebbe incontrato qualche difficoltà. Molti di noi, non più giovanissimi né atleti di

**Tabella 1.** Velocità di punta di alcuni mammiferi (predatori e prede). In questo elenco la velocità del miglior velocista umano, Usain Bolt, appare decisamente mediocre. D'altra parte Samuel Wanjiru ha corso la maratona ad una media di 20 km/h. Fra gli altri mammiferi indicati solo gnu, cavallo, lupo e iena sarebbero riusciti a correre in un giorno per 42 chilometri e non continuativamente.

Ghepardo*	101,34 km/h	28,15 m/s
Gazzella di Grant	76,10 km/h	21,14 m/s
Impala	75,96 km/h	21,1 m/s
Greyhound o levriere inglese	71,39 km/h	19,83 m/s
Lepre	70 km/h	19,44 ms
Cavalli americani	69,34 km/h	19,26 m/s
Struzzo	69,19 km/h	19,22 m/s
Gnu	64,37 km/h	17,88 m/s
Licaone	61,96 km/h	17,21 m/s
Leopardo africano	61,16 km/h	16,99 m/s
Leone	57,13 km/h	15,87 m/s
Lupo grigio	56,16 km/h	15,6 m/s
Sciacallo	54,72 km/h	15,2 m/s
Wapiti (cervo canadese)	54,72 km/h	15,2 m/s
Volpe grigia	52,63 km/h	14,62 m/s
Volpe rossa	51,52 km/h	14,31 m/s
Giraffa	51,52 km/h	14,31 m/s
Tigre siberiana	51,52 km/h	14,31 m/s
Renna	51,52 km/h	14,31 m/s
Tigre del Bengala	51,19 km/h	14,22 m/s
Iena	49,90 km/h	13,86 m/s
Gatto domestico	48,28 km/h	13,41 m/s
Orso Grizzly	48,28 km/h	13,41 m/s
Cervo della Virginia	48,28 km/h	13,41 m/s
Cane (taglia grande)	45 km/h	12,63 m/s
Usain Bolt (Giamaica, oro olimpico Pechino, 2008: 100 m)	37,57 km/h	10,44 m/s
Coniglio domestico	32,18 km/h	8,94 m/s
Samuel Wanjiru (Kenia, oro olimpico Pechino, 2008: maratona)	20,09 km/h	5,58 m/s
Pollo	14,47 km/h	4,02 m/s
Topo comune	12,89 km/h	3,58 m/s
Bradipo	0,24 km/h	0,067 m/s
Lumaca da giardino	0,05 km/h	0,013 m/s

\* Record cronometrato di velocità: 180.5 km/h in un esemplare che ha percorso 640 metri in 20 secondi.

così alto livello, riescono a malapena a raggiungere per brevi tratti i 15-20 Km/h, il che basterebbero a malapena per agguantare un pollo (14 km/h) (Tabella 1).

Dopo queste considerazioni sembra impossibile capire in che modo l'*H. Erectus* e l'*H. Abilis* possano essere stati efficaci predatori. Quale pericolo poteva rappresen-

tare anche il primo *Sapiens* del Paleolitico, così debole e lento, privo di artigli e incapace di un morso potente, non ancora aiutato dei cani, privo frecce, trappole e altre tecnologie di caccia? Come faceva a cacciare prede tanto più grandi e più veloci così come lui stesso rappresentò nei meravigliosi graffiti delle grotte di Altamira e di Lescaux? Certo la nascente intelligenza avrebbe poi giocato il suo ruolo, ma l'iniziale e unica risorsa del genere *Homo* per svariate migliaia di anni è stata la sua impressionante capacità di "endurance running"<sup>(12,13)</sup>.

A tutt'oggi anche senza far riferimento ad atleti superallenati come maratoneti e ultramaratoneti, è sufficiente ricordare che anche corridori amatoriali possono agevolmente correre per 10-15 km al giorno. Solo pochi altri predatori, come lupi, cani da caccia e iene, sono in grado di correre quotidianamente per distanze simili e comunque non certo alla loro velocità di punta. Non molto meglio le prede (antilopi, gazzelle, gnu, zebre etc) che riescono a raggiungere elevate velocità elevate solo per brevi tratti e per pochi minuti<sup>(12,13)</sup>.

Studi recenti indicano che la capacità di corsa aerobica si sia sviluppata piuttosto precocemente, forse al momento della transizione da *Australopithecus* a *Homo*, parallelamente ma indipendentemente alla capacità del cammino bipede. Occorre infatti ricordare che il cammino e la corsa sono due processi alquanto differenti sotto l'aspetto anatomico, biomeccanico e metabolico.

Le scimmie geneticamente più vicine a noi, gli scimpanzé, non hanno una vera andatura bipede ma camminano appoggiando anche le nocche degli arti superiori; durante la caccia o un inseguimento corrono velocemente per un centinaio di metri per poi fermarsi, accalcati e ansanti, a riprendere fiato<sup>(12)</sup>.

Alcune evidenze suggeriscono che, ancor più del bipedalismo, sia stata la sua capacità di endurance running a migliorare l'efficienza di cacciatore del genere *Homo* assai molto prima dell'invenzione di sofisticati strumenti da lancio quali arco e frecce<sup>(13)</sup>.

Questa sua capacità lo ha reso terribile nelle capacità di inseguire la preda, braccandola, non dandole tregua, sfinendola.

Ma che cosa rende l'uomo un così grande corridore di resistenza, praticamente unico fra tutti i mammiferi? Questo è forse la domanda principale. Numerosi sono i fattori che vi concorrono: cercheremo di indicarne i principali.

### Natural born endurance runners

Nel range della marcia il costo metabolico del trasporto (MCOT) presenta una curva a U con il minimo intorno a 1,2 m/sec (4 km/h, la tipica velocità di marcia militare). Al superamento di una velocità intorno ai 2 m/sec (7 km/h) avviene spontaneamente il passaggio dalla marcia alla corsa. Il range di corsa aerobica va dai 2 fino ai 5-5,5 m/sec (18-19 km/h, velocità media della maratona) in soggetti ben allenati come erano sicuramente i nostri progenitori. È stupefacente osservare come, in questo range, di velocità il MCOT resti pressoché costante. Per velocità superiori (range di sprint: 6,5-10 m/sec) il metabolismo si impenna e diventa esclusivamente anaerobico (Figura 1).

Tutti gli altri mammiferi corridori hanno un profilo di MCOT assai differente. Presentano tre andature (passo-trotto-galoppo) per ciascuna delle quali mostrano un MCOT a U. Ciò significa che alle velocità più alte

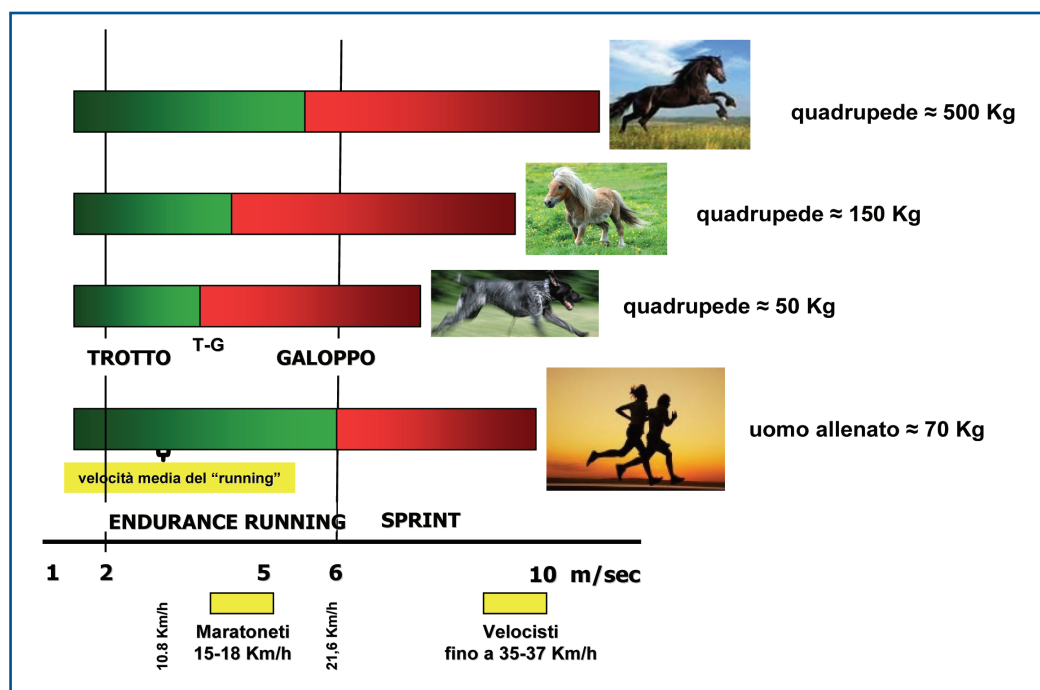
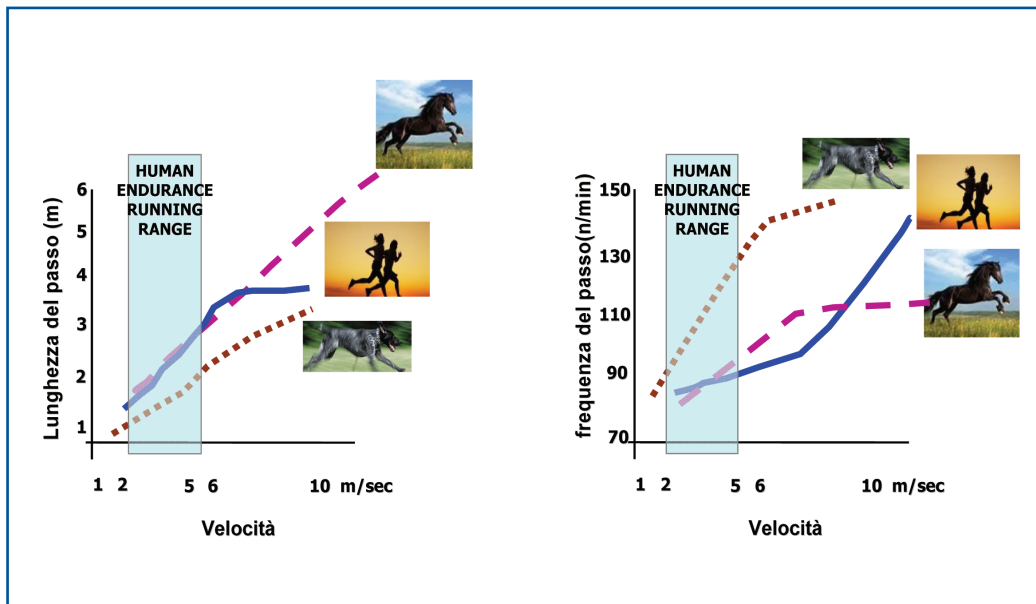


Figura 1. Range di velocità dell' Endurance Running (corsa aerobica) e dello Sprint (corsa anaerobica) nell'uomo paragonata alla velocità di trotto (aerobico) e di galoppo (anaerobico) di un mammifero "corridore" di grossa taglia (cavallo), di media taglia (pony) o di piccola taglia (cane). È evidente l'ampio range di velocità di corsa aerobica tipicamente umana (modificato da ref. 12).



**Figura 2.** Aumento della lunghezza del passo (a sinistra) e della frequenza di passo (a destra) all'aumentare della velocità della corsa. È evidente la differente modalità con cui l'uomo e gli altri mammiferi corridori aumentano la velocità di corsa: l'aumento di velocità nell'uomo deriva principalmente dall'aumento della lunghezza del passo, solo ai livelli di sprint aerobico aumenta anche la frequenza del passo. Al contrario gli altri mammiferi aumentano la velocità di corsa aumentando il numero dei passi (modificato da ref. 12).



di ciascuna andatura hanno un MCOT troppo elevato per consentir loro di mantenere la velocità a lungo<sup>(12-13)</sup>.

Il vantaggio energetico dell'“endurance running” deriva dal fatto che nel range di corsa aerobica l'uomo aumenta la velocità aumentando principalmente la lunghezza del passo e non il numero dei passi: dal momento che il “costo della corsa” deriva dal “costo del passo” è evidente il risparmio energetico e il profilo piatto del MCOT. Solo durante lo scatto l'uomo aumenta la velocità aumentando anche il numero dei passi e il costo energetico si impenna<sup>(14)</sup>.

Al contrario gli altri mammiferi aumentano la velocità la velocità della corsa aumentando soprattutto il numero dei passi è ciò determina un maggior costo energetico (Figura 2).

Avviene così che un cane di peso simile ad un uomo (60 Kg) può raggiungere una velocità di galoppo di 7,8 m/sec (in condizioni climatiche ideali) solo per 10-15 minuti. Perciò che un grosso cane può agevolmente raggiungere un uomo nella distanza di uno o due chilometri ma poi l'individuo allenato può facilmente “stancare” un cane per distanze superiori.

In questo modo i nostri progenitori, grazie ad una posizione eretta che consentiva loro di scrutare a distanza nella savana, hanno migliorato le proprie possibilità di sopravvivenza in presenza di predatori assai più potenti di loro<sup>(15)</sup>.

Lo stesso meccanismo entrava in funzione quando, da potenziali prede, si trasformavano in cacciatori. È una tecnica tutt'oggi praticata da alcune tribù primitive come i Kalenjin del Kenia Occidentale, i Boscimani, i Tarahumara nel Nord del Messico, i Navajo e i Paiute nel SudOvest degli Stati Uniti, gli Aborigeni dell'Australia. Forse l'esempio più eclatante è quello rappresentato dai cacciatori Boscimani che vivono Kalahari, una zona calda, desertica dell'Africa meridionale. I Boscimani a

differenza degli altri predatori della zona (es. i leoni) non cacciano all'alba o al tramonto, cioè nelle ore più fresche, ma in pieno giorno con temperature di 39-42°. Individuata la preda la inseguono correndo, spingendola alla fuga generalmente ad una velocità che risulta essere intermedia fra quella di trotto e quella di galoppo per la preda prescelta. Così facendo costringono l'animale ad una velocità che presenta il massimo del MCOT per entrambe le andature (che, come si è già detto, presentano una curva a U) e che quindi non può mantenere troppo a lungo. Inoltre l'elevato costo energetico determina un'elevata termogenesi che fa diventare l'animale rapidamente ipertermico, il tutto accentuato dalle condizioni ambientali. Una volta allontanatasi dai cacciatori la preda si ferma per riposarsi e soprattutto per raffreddarsi ma i cacciatori la raggiungono prima che essa possa aver recuperato. Dopo un lungo inseguimento la raggiungono accaldata ed esausta: anche se di grandi dimensioni non rappresenta più un pericolo e possono così ucciderla senza correre troppi rischi. Lo stesso vale per le altre prede: perfino i canguri, che sono fra i pochi animali in grado di sudare, raggiungono un'ipertermia letale dopo una o due ore di corsa<sup>(12,13)</sup>.

In fondo è un sistema che ricorda quello adottato nella caccia alla volpe, molto più veloce dei Beagle che la inseguono. La muta trova le tracce lasciate dalla volpe, ne cerca la tana e, alla fuga dell'animale, la insegue a lungo fino a raggiungere la preda sfinita.

## Adattamenti anatomici e biomeccanici all'endurance running

Trasformare un *Australopithec* in un maratoneta ha reso necessaria una complessa serie di modifiche anatomiche e funzionali. Ne elencherò le principali in estrema sintesi.

- Per migliorare l'appoggio al suolo si è determinato un aumento di volume delle ossa del retro piede (che debbono sostenere il "colpo di tacco" durante la corsa) e rotazione dell'astragalo sull'osso calcaneare (Figura 3); per potenziare la forza di spinta dell'avampiede si è determinato un accorciamento delle dita con distribuzione trasversale metatarsale della spinta plantare (le scimmie appoggiano solo di lato); per riassorbire le forze di collisione che si generano in fase di appoggio e potenziare il ritorno elastico nel-

la fase di distacco si è determinato il rafforzamento dell'arco plantare e del tendine d'Achille<sup>(16,17)</sup>. È necessario sottolineare che la biomeccanica del piede è perfettamente adeguata ad una corsa a piedi nudi, al più protetti da una semplice suola di cuoio così come avviene per tutte le tribù di cacciatori contemporanei sopra indicate (Tarhumara, Kalenjin etc) (Figura 4). Infatti i corridori abitualmente scalzi battono contro il terreno sull'avampiede-mesopiede prima di portare giù tallone e punta, cioè "rotolano sul pie-

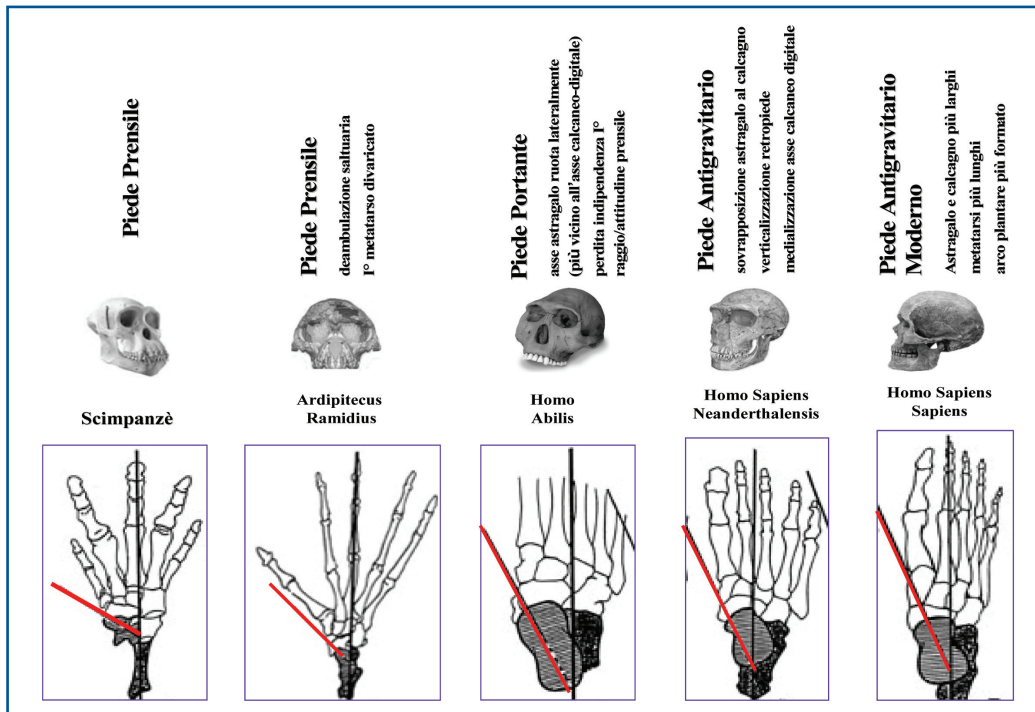


Figura 3. Evoluzione delle ossa del piede da prensile a antigravitario moderno (piede da running).



Figura 4. Molte tribù di cacciatori contemporanei (Masa, Tarhumara, Kalenjin etc.) corrono a piedi scalzi o con calzature minime rappresentate da una semplice suola di cuoio per sola funzione protettiva. Al centro l'arrivo del mitico Bikila ai Giochi Olimpici di Roma nel 1960: corse senza scarpe e vinse in 2:16:2. L'Etiopie parti senza scarpe per una precisa scelta concordata con il suo tecnico.

de generando basse forze di collisione. Al contrario i corridori abitualmente calzati battono sul retro-piede, facilitati dalla elevata imbottitura al tallone della scarpa da corsa generando un elevato spike di collisione che potenzia il ritorno elastico del tendine di Achille ma genera un impatto maggiore su tutto il sistema di ammortizzamento della gamba e della colonna<sup>(18,19)</sup>.

Dal momento che dita dei piedi più lunghe richiedono ai muscoli di fare più lavoro, di esercitare una maggiore forza per mantenere la stabilità, e spingono di meno durante la corsa la selezione ha favorito gli individui con dita dei piedi più brevi: le dita delle grandi scimmie sono più lunghe di quelle dell'*Australopithecus* che a sua volta le ha più lunghe di quelle dell'*Homo Habilis*<sup>(20,21)</sup>.

- Per potenziare e stabilizzare la spinta si è determinato un aumento del *gluteus maximus* e l'inserzione dei glutei sul gran trocantere: il *gluteus maximus* è massivamente reclutato nelle corsa, a qualunque velocità, ma non nel camminare<sup>(12,13,22)</sup>.
- Per assorbire i contraccolpi si sono sviluppati piatti vertebrali di maggiori dimensioni, un potenziamento del legamento longitudinale vertebrale (anche in funzione di stabilizzazione della colonna), l'allargamento dei piatti tibiali e della testa femorale, l'allargamento della connessione sacro-iliaca, l'allargamento tuberosità calcaneare<sup>(12,13,22)</sup>.
- Per migliorare la stabilizzazione e contrastare il momento angolare della corsa si sono sviluppati una vita più stretta e più alta, spalle più basse e larghe, deconnessione muscolare fra capo e spalla, presenza del legamento nucale. Questi ultimi punti meritano un commento. Durante la corsa il contraccolpo dell'impatto al suolo impartisce un rapido e consistente beccheggio del corpo e un impulso ondulatorio in avanti della testa. La testa ha bisogno di essere stabilizzata quasi immediatamente per evitare un sovraccarico vestibolare e conseguenti problemi di equilibrio. Per fare ciò nel genere *Homo* si è sviluppato un sistema di smorzamento della massa in cui le accelerazioni lungo l'asse del braccio contrastano il beccheggio della testa tramite un collegamento elastico out-of phase. Inoltre la riduzione della lunghezza dell'avambraccio (del 50% circa rispetto alla massa corporea) ha ridotto il costo energetico richiesto per mantenere i gomiti flessi durante la corsa. Ma perché tutto ciò potesse funzionare era necessario che la testa fosse sconnessa rispetto alle spalle. Negli scimpanzé (così come nell'*Ardipithecus* e nell'*Australopithecus*) la spalla e la testa sono strettamente collegati da un grosso trapezio, dal *rhomboideus*, e dal muscolo atlantoclavicularis. Queste connessioni sono state perse nel genere *Homo* (con l'eccezione della componente cleidocranica del trapezio)<sup>(12,13,22)</sup>.

Spalle strette ed estese connessioni muscolari con il cranio (vedi sopra) risultarono utili all'*Ardipithecus* per ar-

rampicarsi e non disturbarono l'*Australopithecus* nel camminare ma avrebbero rappresentato un grosso impedimento all'*Homo Habilis* nella corsa. Al contrario è risultato utile lo sviluppo del legamento nucale, struttura similtendinea, che si ancora da un lato all'occipite e dall'altro al trapezio e alla fascia profonda attaccato alla colonna cervicale. Questa struttura compare per la prima volta nell'*H. Erectus* e contribuisce a stabilizzare il capo durante la corsa.

## Termoregolazione ed endurance running

Come sottolineato più volte il genere *Homo* si è sviluppato in aree calde e aride e le sue abitudini predatorie preferivano le ore relativamente calde del giorno nelle quali l'elevato MCOT degli mammiferi, sia predatori che prede, gli dava un certo vantaggio.

Però dovendo cacciare in queste condizioni ambientali estreme non era sufficiente che l'*H. Habilis* si fosse specializzato nell'endurance running. Si rendevano necessari altri accorgimenti evolutivi in grado di ottimizzarne la termodispersione e di proteggerlo dall'ipertermia.

Generalmente gli animali si raffreddano ansimando (panting). È un respiro superficiale che si sviluppa nello spazio morto delle vie aeree (non ossigena i polmoni) a una frequenza di circa 10 volte superiore a quella della normale respirazione. Il panting determina solo una modesta dispersione termica ma soprattutto l'accoppiamento biomeccanico 1/1 fra passo e respiro durante il galoppo è biologicamente incompatibile con il panting. In altre parole l'animale si deve fermare per poter ansimare.

L'uomo si raffredda sudando. La capacità di sudare ci ha reso termogeneticamente più efficienti delle nostre prede ed ha consentito che il ritmo del respiro derivasse solo dalle necessità di ossigenazione e fosse indipendente dalla necessità di raffreddamento. Una sudorazione efficace ha richiesto la sostanziale atrofia dell'apparato pilifero (sudare è inutile con una pelliccia) che però si è conservato in limitate aree dove rappresenta un vantaggio, per esempio sulla testa dove i capelli crespi dei nostri antenati contribuivano ad isolare il capo dal caldo mantenendo un'intercapedine umida. L'ispessimento della diploe cranica e un maggior numero di forami accessori ha contribuito allo scopo<sup>(12,13,22)</sup>.

Un effetto "collaterale" determinato dall'atrofia dei peli è stata l'impossibilità dei cuccioli di attaccarsi alla pelliccia della madre per farsi trasportare. La riduzione dell'apparato pilifero (già presente nell'*Australopithecus Afarensis*) ha costretto le madri a trasportare i figli in braccio spingendo sull'acceleratore del bipedalismo. Nel contempo la conseguente minore attività prensile degli arti inferiori (anch'essa documentata già nell'*A. Afarensis*) ha ridotto la capacità dei figli di aggrapparsi alla madre<sup>(23)</sup>.

Ma c'è un altro aspetto da considerare. Sebbene la sudorazione risultasse termogeneticamente assai vantaggiosa per i nostri progenitori che dovevano cacciare



correndo in un ambiente caldo e arido (1 litro di acqua disperde circa 600 calorie di temperatura corporea) poneva poi il problema della reintroduzione dei liquidi e soprattutto del sodio perduto (1 litro di sudore contiene circa 2 g di Na) in un ambiente povero di acqua e ancor più povero di sodio. Per evitare la disidratazione e l'ipotensione si è sviluppata una forte pressione selettiva verso una genetica che mettesse a punto un efficace sistema di ritenzione idrico-salina<sup>(24,25)</sup>, pressione che è risultata più lunga e più prolungata nelle popolazioni nere africane<sup>(26)</sup> venendo a costituire quel "thirsty genotype"<sup>(25)</sup> che oggi ha perso il suo iniziale carattere protettivo contribuendo anch'esso all'attuale collisione evolutiva.

## Capacità cognitive e running for hunt

Inseguire un animale in fuga senza perderlo dopo un lungo, estenuante inseguimento rappresenta un'altra priorità energetico-metabolica. Un animale che perde la preda inseguita rischia una deprivazione calorica potenzialmente condizionante la sua efficienza predatoria e quindi l'efficacia della successiva caccia. Un ghepardo che fallisce 3-4 attacchi consecutivi rischia la vita. Pertanto è stato necessario che il genere *Homo* sviluppasse (e quindi si selezionassero individui con) abilità cognitive utili a riconoscere i versi, scovare le tracce e i segni lasciati dall'animale in fuga, dedurre i tempi della fuga, la direzione presa e la distanza della preda. Era poi necessario costituire un ordine gerarchico-sociale con un leader in grado di coordinare il gruppo-branco e di ideare efficaci strategie predatorie (per esempio identificare l'area geografica più idonee in cui spingere le prede: gole, strettoie, dirupi etc). Il tutto in assenza di efficaci armi da lancio.

Occorreva poi trasmettere queste abilità alla prole, il che presuppone lo sviluppo di capacità sia di insegnamento che di apprendimento.

Ciò ha determinato una pressione selettiva anche a livello cognitivo avvantaggiando gli individui in grado di trasformare le esperienze maturate in schemi mentali e di adattare/accomodare gli schemi mentali maturati alle nuove circostanze (flessibilità). È l'ultimo livello evolutivo, quello più avanzato del cacciatore paleolitico e rappresenta il principio fondante di quella che viene indicata come "Epistemologia Genetica" che identifica lo sviluppo dell'intelligenza come la più elevata forma di adattamento umano all'ambiente.

L'acquisizione della funzione simbolica del pensiero (ultimo stadio del periodo senso motorio) rappresenta il presupposto alla funzione relazionale umana rappresentata dal linguaggio. È una capacità iniziata già nell'*H. Abilis* e conclusa nel primo *Sapiens* e nel *Neandertal* con l'abbassamento del laringe e la mutazione, cromosoma 7, del gene FOXP2<sup>(27)</sup>.

Successivamente si sviluppa la capacità di costruire operazioni mentali su un progetto contingente come il comportamento da utilizzare per cacciare un animale

incontrato per caso (stadio operatorio concreto) che a sua volta precede evolutivamente l'intelligenza astratta e anticipatoria come la pianificazione di un progetto/strategia di caccia con appostamenti, reti, trappole etc (stadio operatorio formale)<sup>(28)</sup>.

Certamente i *Sapiens* del Paleolitico erano predatori pericolosi, dotati di abilità cognitive (memoria anticipatoria, coordinamento con altri membri del gruppo, ideazione di armi etc) e secondo alcuni Autori così efficienti da contribuire all'estinzione della megafauna allora presente (the "overkilling hypothesis")<sup>(29)</sup>.

## Generalmente in natura... conclusioni

Generalmente gli animali sono assai più veloci dell'uomo, sia le prede che i predatori. Generalmente le prede hanno sviluppato velocità di punta un po' più elevate rispetto a quelle dei loro predatori naturali consentendo loro di scampare da eventuali attacchi. Generalmente le risorse energetiche e metaboliche servono per assicurare all'animale le migliori performance fisiche (e riproduttive) subordinando a queste l'evoluzione della massa cerebrale e dell'intelletto. Generalmente i predatori fisicamente più potenti e più adattati alla velocità sono anche quelli in grado di correre per minor tempo. Generalmente la selezione naturale favorisce la velocità perché nella filosofia biologica dell'interazione predatore-preda gli animali più lenti sono quelli fisicamente più deboli, troppo giovani o troppo vecchi, feriti o ammalati.

In questo panorama generale la specie *Homo Sapiens Sapiens* si è sviluppata seguendo un percorso evolutivo completamente differente che ha privilegiato le capacità aerobiche e di endurance sulla velocità e ha subordinato il metabolismo energetico allo sviluppo della massa cerebrale (e all'intelligenza). La naturale predisposizione alla carnivoria si è supportata attraverso una tecnica predatoria unica in natura basata sull'endurance running. Ciò ha prodotto un risparmio energetico che ha permesso di nutrire un cervello metabolicamente "affamato" il quale a sua volta sviluppandosi ha consentito di migliorare tecniche e strategie predatorie.

**Conflitto di interessi:** nessuno.

## BIBLIOGRAFIA

1. Gregorio F, Sudano M. Archeologia dell'alimentazione umana. G. Ital. Diabetol. Metab. 28: 223-232, 2008.
2. Stanford CB: The hunting apes: meat eating and the origins of human behavior. Princeton University Press, Princeton, 1999.
3. Curtis W, Marean. Sabertooth cats and their relevance for early hominid diet and evolution. J. Human Evolution. 18(6):559-582, 1989.
4. Aiello LC, Wheeler P. The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in human and primate evolution. Curr Anthropol. 36:199-221, 1995.
5. Leonard WR, Robertson ML, Snodgrass JJ, Kuzawa C.



- Evolutionary perspectives on human nutrition: the influence of brain and body size on diet and metabolism. *Am J Hum Biol.* 6: 77-88,1994.
6. Leonard WR, Robertson ML, Snodgrass JJ, Kuzawa C. Metabolic correlates of hominid brain evolution. *Comp. Biochem. Physiol. Part A* 136: 5-15, 2003.
  7. Cunnane CS, Crawford MA. Survival of the fattest: fat babies were the key to evolution of the large human brain. *Comp Biochem Phys. Part A* 136:17-26, 2003.
  8. Aiello LC, Wheeler P. The expensive-tissue hypothesis:the brain and the digestive system in human and primate evolution. *Curr. Anthropol.* 36: 199–221, 1995.
  9. Robson SL, Wood B. Hominin life history: reconstruction and evolution *J. Anat.* 212: 394-425, 2008.
  10. Speakman JR. A nonadaptative scenario explaining the genetic predisposition to obesity: the “predation releare” hypothesis. *Cell Metab.* 6:5-12: 2007.
  11. Currie P. Muscling in on hominid evolution. *Nature* 428: 373-374, 2004.
  12. Bramble DM, Lieberman DE: Endurance running and the evolution of Homo. *Nature* 432: 345-352,2004.
  13. Lieberman DE, Bramble DM. Brains, brawn and the evolution of human endurance running capabilities.. in:Grine FE, leagle JG, Leakey RE eds. *The first humans. Origin and early evolution of the genus Homo.* Springer, 2006.
  14. Kram R, Taylor R. energetics of running: a new perspective. *Nature* 346: 265-267, 1990.
  15. Dart R. Taung and its significance. *Natural history* 26: 315-327, 1926.
  16. Crompton RH, Vereecke EE, Thorpe SKS. Locomotion and posture from the common hominoid ancestor to fully modern hominins, with special reference to the last common panin/hominin ancestor *J. Anat.* 212: 501–543, 2008.
  17. Selles WI, Pataky TC, Caravaggi P, Crompton RU. Evolutionary robotic approaches in primate gait analysis. *Int. J. Primatol.* 31: 321-338, 2010.
  18. Liebermann DE, Venkadesan1 M, Werbel WA, Daoud1 AI, D’Andrea S, Davis IS, Mang’Eni RO, Pitsiladis Y. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature* 463: 531-535, 2010.
  19. Meldrum J. Midfoot flexibility, fossil footprint and sa-squatch steps: new perspectives on evolution of bipedalism. *J. Scient. Explorat.* 18: 65-79, 2004.
  20. Rolian C, Lieberman DE, Hamill J, Scott JW, Werbel W. Walking, running and the evolution of short toes in humans. *J. Exp.Biol.* 212:713-721, 2009.
  21. Crompton RH, Vereecke EE, Thorpe SKS. Locomotion and posture from the common hominoid ancestors to fully moderns hominids, with special reference to the last common panin/hominin ancestor. *J. Anat.* 212: 501-543, 2008.
  22. Zimmer C. Faster than a Hyena? Running may make humans special. *Science* 306: 1283, 2004.
  23. Watson JC Payne RC, Chamberlain AT, Jones RK, Sellers WI. The energetic cost of load-carrying and the evolution of bipedalism. *J. Hum. Evol.* 54: 675-683, 2008.
  24. Jackson FLC. An Evolutionary Perspective on salt, hypertension, and human genetic variability. *Hypertension* 17 [suppl I]: 1-129-I-132, 1991
  25. Lev-Ran A, Porta M. Sant and hypertension: a phylogenetic perspective. *Diabetes Metab. Res. Rev* 21: 118-131, 2005.
  26. Luft CF, Miller JZ, Grim CE. Fineberg NS, Christian JC, Daugherty SA, and Weinberger MH. Salt sensitivity and resistance of blood pressure age and race as factors in physiological Responses. *Hypertension* 17 [suppl I]: 1-102-I-108, 1991
  27. Marcus GF, Fisher SE. FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *TRENDS in Cognitive Sciences*, in press.
  28. Piaget J. *L’epistemologia genetica.* Bari, G. Laterza Ed (2 Edizione), 2000.
  29. Diamond J. *Armi, acciaio e malattie,* (Chap. 7), Milano Einaudi, 2006.

