

## Sulle tracce dell'evoluzione dell'arco longitudinale del piede umano

### Introduzione

L'evoluzione del bipedismo, forma unica di locomozione che caratterizza *H. sapiens* e che lo differenzia dagli altri primati, ha portato a dei cambiamenti morfologici e biomeccanici nello scheletro degli ominini fino a raggiungere l'adattamento funzionale che caratterizza lo scheletro di *H. sapiens*. Tra i vari adattamenti craniali e post-craniali, il piede è quello che sicuramente manifesta le maggiori specializzazioni morfo-funzionali per la camminata bipede essendo l'unico supporto a interfacciarsi con il terreno durante la cinematica del passo. Tra i tratti di modernità che caratterizzano il piede umano vi è l'arco plantare del piede, costituito dall'arco trasverso (dal primo metatarsale al quinto metatarsale) e l'arco longitudinale suddiviso in mediale (calcagno, astragalo, navicolare, cuneiforme mediale e primo metatarsale) e laterale (calcagno, astragalo, cuboide e quinto metatarsale). L'arco longitudinale mediale (parte interna del piede) rappresenta il più alto dei due archi longitudinali in *H. sapiens*. Mentre l'arco trasverso è a vario grado presente anche in altri primati, l'arco longitudinale è una caratteristica unica del piede umano e di alcuni antenati fossili. Al contrario, i piedi delle scimmie antropomorfe sono caratterizzati dall'assenza dell'arco longitudinale (sia mediale sia laterale) e pertanto presentano un piede piatto. L'arco longitudinale in *H. sapiens* è considerato un adattamento funzionale che permette al piede di transitare da ammortizzatore a leva durante le fasi di contatto e distacco del piede dal substrato di appoggio (*gait cycle*), un meccanismo che permetterebbe una camminata bipede efficiente. Tuttavia, vi è un ampio dibattito sui tempi di sviluppo dal punto di vista evolutivo dell'arco longitudinale nei nostri antenati bipedi (gli ominini). Alcuni studi suggeriscono che esso possa essere stato presente già nelle australopitecine (o almeno in alcune specie di *Australopithecus*), altri suggeriscono che sia un carattere evoluto con il genere *Homo*, in particolare con *H. erectus*, il primo a migrare fuori dall'Africa. A parte lo studio delle rare impronte fossili (ad esempio quelle di Laetoli, Tanzania), la maggior parte di questi studi mira ad evidenziare caratteristiche morfologiche legate alla presenza dell'arco longitudinale nelle ossa della caviglia e del piede degli ominini fossili comparando *H. sapiens* (arco longitudinale presente) con le scimmie antropomorfe (arco longitudinale assente). Questa forma interpretativa dicotomica risente dell'assenza della valutazione dell'ampia variabilità di *H. sapiens* che ancora oggi include al suo interno forme di piede piatto. Al fine di giungere ad una più ampia conoscenza di quelle che sono le caratteristiche legate all'arco longitudinale, si rende indispensabile la conoscenza delle variazioni dell'arco longitudinale in *H. sapiens* che è possibile ottenere solo tramite lo studio di individui viventi valutati in ambiente clinico-ortopedico.

### Obiettivi

Il progetto si focalizzerà sullo studio morfo-funzionale di astragalo e navicolare. L'astragalo è l'osso della caviglia che lega le ossa della gamba (tibia e fibula) con le altre ossa del piede (calcagno e navicolare). Il navicolare si trova lungo la colonna mediale del piede e rappresenta l'apice (o chiave di volta) dell'arco longitudinale mediale nell'uomo. Variazioni dell'arco longitudinale sono primariamente riconosciute nell'abbassamento o assenza dell'arco longitudinale mediale. Studi clinici hanno evidenziato che individui con piede piatto mostrano un orientamento dell'articolazione astragalo-navicolare che è più orizzontale rispetto a quello di un piede allineato in modo neutro, contribuendo all'instabilità dell'articolazione del piede e al probabile collasso dell'arco mediale in

quegli individui. Questo permette di indicare l'astragalo e il navicolare come ottimi *targets* per lo studio dell'evoluzione *sinsu stricto* e variazione dell'arco longitudinale mediale.

L'obiettivo primario di questo progetto è quello di analizzare differenze morfologiche dell'osso navicolare e dell'astragalo in un campione di uomini viventi caratterizzati da piede piatto e arco longitudinale "normale" che possano permettere, con uno sguardo al passato, di evidenziare caratteristiche legate alla presenza dell'arco longitudinale negli ominini fossili al fine di accrescere la nostra conoscenza sulle tempistiche in cui questo tratto derivato è comparso nella nostra storia evolutiva. Uno degli obiettivi del progetto sarà inoltre quello di evidenziare differenze morfologiche tra scimmie antropomorfe e *H. sapiens* finalizzato ad individuare tratti legati alle diverse forme di locomozione (arboricola e *knuckle-walking* vs. bipedismo) che potrà essere usato per inferire sui modi locomotori degli ominini fossili in un contesto atto a investigare l'evoluzione del bipedismo.

### **Contesto della ricerca e collaborazioni**

Il presente progetto si colloca all'interno degli studi volti ad investigare l'evoluzione dell'uomo, in linea con le finalità del Centro di Evoluzione Umana (Università di Bologna). Il progetto si inquadra altresì in un'ampia cornice di collaborazioni nazionali ed internazionali, che oltre alla condivisione di expertises e metodiche, vede la condivisione di collezioni scheletriche primatologiche, collezioni scheletriche umane, e modelli virtuali di ossa navicolari e astragali provenienti da acquisizioni cliniche.

Tra i partner nazionali e internazionali coinvolti vi sono: Istituto Ortopedico Rizzoli (Bologna, Italia); University of Colorado School of Medicine (USA); Museo di Antropologia dell'Università di Bologna presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali dell'Università di Bologna (Italia); Duke University Trinity College of Arts and Sciences and Duke Lemur Center, Division of Fossil Primates, Durham NC (USA); National Museum of Natural History, Washington DC (USA); American Museum of Natural History, New York (USA); University of Cambridge (UK); Institute for Anthropological Research, Zagreb (Croatia); Pennsylvania State University (USA); Keck School of Medicine (USA).

### **Piano di Attività e Metodologia**

Il presente progetto si propone di affrontare gli obiettivi combinando metodi di morfometria geometrica con metodi di biomeccanica trabecolare. Questi metodi prevedono che il campione sia acquisito virtualmente e a tal fine sono state e saranno effettuate scansioni micro-tomografiche ad alta risoluzione ( $< 50 \mu\text{m}$ ) e acquisizioni delle superfici esterne delle ossa tramite laser scanner per i campioni osteologici. I dati anonimizzati del campione di individui con piede piatto o arco longitudinale saranno resi disponibili dall'Istituto Ortopedico Rizzoli (Bologna, Italia) e dall'University of Colorado School of Medicine (USA).

Il candidato dovrà occuparsi di elaborare i modelli virtuali delle ossa, tramite il software Avizo 9.1 (ThermoFisher Scientific), al fine dell'analisi morfologica attraverso l'applicazione di configurazioni di (semi)landmarks (templates) utilizzando Viewbox 4 software (dHAL Software). I dati micro-tomografici delle ossa verranno analizzati tramite Medtool 4.2 software (Dr. Pahr Ingenieure e.U., 2018) per estrarre le informazioni di Bone Volume Fraction (BV/TV), Degree of Anisotropy (DA) and Trabecular Thickness (Tb.Th).

I dati raccolti dovranno essere analizzati statisticamente in R software (R Core Team) programmando degli appositi script per eseguire analisi specifiche quali: Generalized Procrustes Analysis, Principal Component analysis, ANOVA, Pearson product-moment correlation coefficient, phenetic distance analysis. Oltre all'analisi delle singole ossa, il candidato dovrà elaborare una metodologia per investigare la covariazione tra astragalo e navicolare.

### **Produzione e divulgazione dei risultati**

I risultati ottenuti confluiranno in articoli scientifici da sottoporre a riviste *peer-reviewed* con IF indicizzate in repertori bibliografici (Pubmed, Scopus, Web of Science). I risultati verranno divulgati presso il pubblico specializzato in convegni scientifici nazionali e internazionali di ambito antropologico, paleoantropologico e clinico.