

cronache di laboratorio/antropologia

Modelli per l'Evoluzione

Emiliano Bruner

"Newton non ci mostrò la causa che aveva provocato la caduta della mela:

ci mostrò una similitudine tra la mela e le stelle"

D'Arcy Wentworth Thompson

Un modello è una rappresentazione. Modello è un oggetto, fisico o concettuale, che ne rappresenta un altro. Per rappresentare si intende presentarne alcune qualità. Mentre un oggetto può essere di per se fine a se stesso, un suo modello è invece finalizzato al contesto nel quale viene progettato. Per questa ragione, il modello non deve avere tutte le qualità dell'oggetto rappresentato ma solo quelle per cui è chiamato a rispondere, cioè solo quelle specifiche proprietà che necessitano essere rappresentate. Un oggetto è valido sempre, mentre il suo modello è valido solo internamente al suo contesto di origine.

Il dibattito epistemologico sulle funzioni e sulle proprietà della Scienza fa parte della Scienza stessa, con lei è nata e con lei si trasforma. Un bipolarismo storico sul ruolo della Scienza vede da una parte la Scienza come *spiegazione* dei fenomeni e dei processi, dall'altra invece come loro *interpretazione*. Nel primo caso, la ricerca scientifica è chiamata a rivelare i meccanismi della realtà, e spiegare l'esatta natura dei processi tramite la scoperta delle relazioni che vincolano il mondo che ci circonda. In questo caso ogni scoperta rappresenta la rivelazione di un processo o di una struttura esistente. Nel secondo approccio, al contrario, la ricerca scientifica ha lo scopo di fornire dei modelli che siano utili a controllare ed interpretare i processi fenomenici. In questa seconda prospettiva non è necessaria una corrispondenza totale tra realtà ed interpretazione, nel senso che la seconda *non* è la prima, ma ne rappresenta appunto un modello che ci permette di apprezzarne le qualità. A mio avviso, questo secondo approccio presenta garanzie maggiori rispetto al primo. La consapevolezza di non lavorare sulla realtà ma su una sua rappresentazione permette

al tempo stesso un approccio più umile e più utile. Umile, perché non possiamo evidentemente mai sapere quanto ciò che noi abbiamo visto con i nostri occhi, i nostri strumenti o le nostre costruzioni logiche corrisponda effettivamente a ciò che esiste. Utile, perché interpretiamo le nostre ipotesi e i nostri dati solo limitatamente al problema e al contesto in cui questi vengono prodotti e sviluppati, in seguito a specifiche condizioni e necessità. In sintesi, ne confessiamo i limiti per poterli controllare.

In entrambi i casi, spesso e volentieri il pubblico è totalmente inconsapevole delle facoltà e delle impostazioni della ricerca scientifica, ed è indotto per questo ad assumere come assoluta verità la sua produzione, o al contrario a rigettarla integralmente. La Storia ci conferma questo scenario, in tutte le epoche, in tutte le società. Una cosa che la divulgazione omette di sottolineare è la natura "falsificatoria" della ricerca, ritenendo il pubblico forse troppo ostile a Popper. Sarebbe invece molto utile che la società sapesse che le ipotesi non possono di fatto essere verificate, ma solo smentite. Per capire\interpretare un fenomeno viene proposta una spiegazione\modello, e questa rimane valida fino a che i dati disponibili non siano più in grado di convalidarla di nuovo. Questo vuol dire che un dato non può confermare una teoria, ma solo smentirla. Se la teoria non è smentita non vuol dire che per questo sia "vera", ma solo che alla luce dei dati disponibili non sia possibile negarla. Secondo questa prospettiva appare evidente come l'atomo, la molecola del DNA o le equazioni di Newton siano appunto dei modelli, rappresentazioni estremamente efficaci di fenomeni e strutture utili a interpretare la realtà degli eventi. Ad oggi questi modelli sono ancora perfettamente coerenti all'interno dei loro specifici contesti, e ci sono di estremo aiuto per pensare, progettare e apprezzare i fatti così come la realtà ce li racconta.

IL MUSEO DI ANTROPOLOGIA "GIUSEPPE SERGI"

Il Museo di Antropologia "Giuseppe Sergi" fa parte del Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo dell'Università di Roma "La Sapienza", e si trova al secondo piano della sede di Antropologia del Dipartimento. E' organizzato in tre settori: un settore adibito alla conservazione dei reperti, un settore dedicato alla didattica e alla divulgazione, e un laboratorio di ricerca.

Nel 1884 Giuseppe Sergi (1841-1936) ottiene la prima cattedra universitaria di Antropologia della capitale. Insieme al primo nucleo del Museo venne creato il primo laboratorio di Psicologia Sperimentale italiano e la Società Romana di Antropologia (dal 1937 Istituto Italiano di Antropologia). Inizialmente il museo fu ospitato presso la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri, in S. Pietro in Vincoli. Successivamente, nel 1887, il Gabinetto di Antropologia venne trasferito presso il Collegio Romano. Nel 1916 la direzione dell'Istituto passò a Sergio Sergi (1878-1972), e nel 1938 il museo fu assegnato alla sua sede attuale, nella città universitaria.

Attualmente, il museo ospita soprattutto reperti scheletrici umani (circa 6000 individui di età preistorica, protostorica e recente), e prevalentemente collezioni craniologiche provenienti da diverse aree geografiche (circa 4500 reperti cranici). I reperti che più degli altri caratterizzano il museo sono i due crani neandertaliani di Saccopastore ritrovati nel 1929 e nel 1935 in una cava di ghiaia sulla via Nomentana, e datati a circa 120.000 anni. Il museo conserva inoltre lo scheletro fossile dell' "uomo della Maiella", rinvenuto nel 1913 presso Lama dei Peligni, in Abruzzo, datato al VI millennio a.C. (Neolitico antico). Provenienti da siti archeologici dell'Italia centrale e meridionale, il museo conserva i resti della necropoli eneolitica di Laterza (Taranto, fine III millennio), diverse collezioni di resti umani della Sicilia antica (dall'Eneolitico al periodo bizantino), e una collezione di scheletri della necropoli di Alfedena (Sulmona, Età del Ferro). Per quanto riguarda le popolazioni recenti il museo custodisce collezioni scheletriche provenienti da spedizioni scientifiche effettuate in tutti i continenti, dalla Terra del Fuoco alla Melanesia, dal Perù all'Indocina. Inoltre, una collezione primatologica conserva 170 individui rappresentativi dei principali generi di Primati attuali.

L'area espositiva del museo è organizzata in un percorso didattico articolato sulla variabilità e gli adattamenti delle popolazioni umane, l'Ordine dei Primati, l'evoluzione umana e la variabilità degli ominidi estinti, la storia dell'Antropologia a Roma e i principali campi di interesse delle Scienze Antropologiche.

Il Museo è aperto al pubblico il lunedì, mercoledì e venerdì, dalle 10:00 alle 13:00. E' possibile prenotare visite guidate per gruppi e scolaresche presso la portineria dell'istituto (tel. 06.4991.2222).



TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA E "ANTROPOLOGIA VIRTUALE"

Lo strumento fondamentale delle discipline evolucionistiche è stato per molto tempo la comparazione descrittiva, strettamente centrata e influenzata dall'esperienza soggettiva dei singoli. L'introduzione della statistica e della biometria (soprattutto dagli anni '30 del secolo scorso) e le facilitazioni di elaborazione dati introdotte con la diffusione di software e computer (soprattutto negli ultimi 20 anni) hanno introdotto una seconda fase analitica in questi settori, dove attraverso un approccio sistemico le ipotesi evolutive possono essere interpretate e verificate in termini probabilistici e sperimentali. Le analisi cladistiche utilizzano insiemi di caratteri ereditabili per produrre inferenze filogenetiche. Le analisi fenetiche analizzano la variabilità biologica del

prodotto dell'espressione genica (fenotipo) per caratterizzare le affinità funzionali e strutturali degli organismi. In entrambi i casi le metodologie e il substrato concettuale sono spesso comuni, sviluppati sulla base di impostazioni logico-formali che trovano espressione nell'applicazione di algoritmi, statistica multivariata e software dedicati. Negli anni '70 Hounsfield progetta e sviluppa le tecniche tomografiche, introducendo nella radiologia e nei settori biomedici uno degli strumenti diagnostici più determinanti. L'uso di radiografie per l'analisi anatomica e morfologica delle strutture interne è limitato da due fattori principali. Il primo è la sovrapposizione dei volumi, che vengono sottoposti ad un fascio radioattivo e restituiscono un'immagine dove tutte le strutture coinvolte sono proiettate e "schiate" su un piano, perdendo l'informazione volumetrica della terza dimensione. Il secondo limite riguarda un

errore di parallasse, dovuto appunto alla geometria del fascio radioattivo e alla sua proiezione. La distorsione è minima se lo scopo è diagnostico, ma su uno studio morfologico può alterare sensibilmente i risultati. La tomografia computerizzata elimina questi vincoli utilizzando un fascio radioattivo planare, che attraversa solamente una singola sezione dell'intero volume. La sorgente radioattiva compie un giro di 360° intorno alla sezione esaminata, e il sensore ricevente (in posizione opposta alla sorgente) ottiene così informazioni multiple su ogni singola unità irradiata da tutte le direzioni possibili (Fig. 1). Queste unità volumetriche (voxels) sono rappresentate lungo il piano di scansione dalla risoluzione del fascio (in pixel), e per la profondità dallo spessore del fascio (in mm). L'integrazione di tutte queste informazioni permette l'assegnazione ad ogni singola unità volumetrica di un codice proporzionale al potere di "attenuazione" di quell'unità sui raggi X. Una scala cromatica di grigi rappresenta su uno schermo la densità di ogni voxel. Convenzionalmente si utilizza una scala (unità Hounsfield) che va da -1000 per l'aria, a 0 per l'acqua, a 3095 per i materiali più densi. La scala può ovviamente essere estesa o ricalibrata secondo le necessità specifiche. Le varie sezioni (lastre) possono essere consecutive, spaziate tra di loro, o anche parzialmente sovrapposte (embricate). Dopo ogni sezione l'oggetto viene fatto

avanzare per produrre la sezione successiva. In alternativa, da qualche anno si usa un fascio non laminare ma spirale, che gira intorno all'oggetto mentre questo si muove (tomografia spirale, o elicoidale). Lo spazio residuo tra le eliche della spira viene calcolato secondo interpolazione dei dati contigui. Lo spessore delle lastre varia secondo le necessità, ma in genere si usano spessori di 1 mm o inferiori. I dati raccolti possono essere utilizzati come singole lastre tomografiche, o assemblati sequenzialmente per ricostruire i volumi tridimensionali. In questo caso delle sezioni alternative a quelle di scansione possono essere ricavate per interpolazione, e avere delle lastre secondo differenti piani di taglio (*rimformattazione multiplanare*). Nel caso di ricostruzioni tridimensionali, sarà sufficiente selezionare una finestra di valori per i coefficienti di attenuazione e quindi considerare per ogni sezione tomografica solo quei pixel che presentano le densità desiderate (*segmentazione*). Così sarà possibile ricostruire virtualmente solo alcuni tessuti, o alcune strutture, escludendo altre componenti morfologiche.

Verso la fine degli anni '80 il livello di risoluzione di questa tecnologia e la diffusione delle potenzialità informatiche iniziano a rendere la tomografia competitiva anche sul piano della ricerca, e nella decade successiva entra di fatto tra le tecniche di analisi in biologia evolutiva.

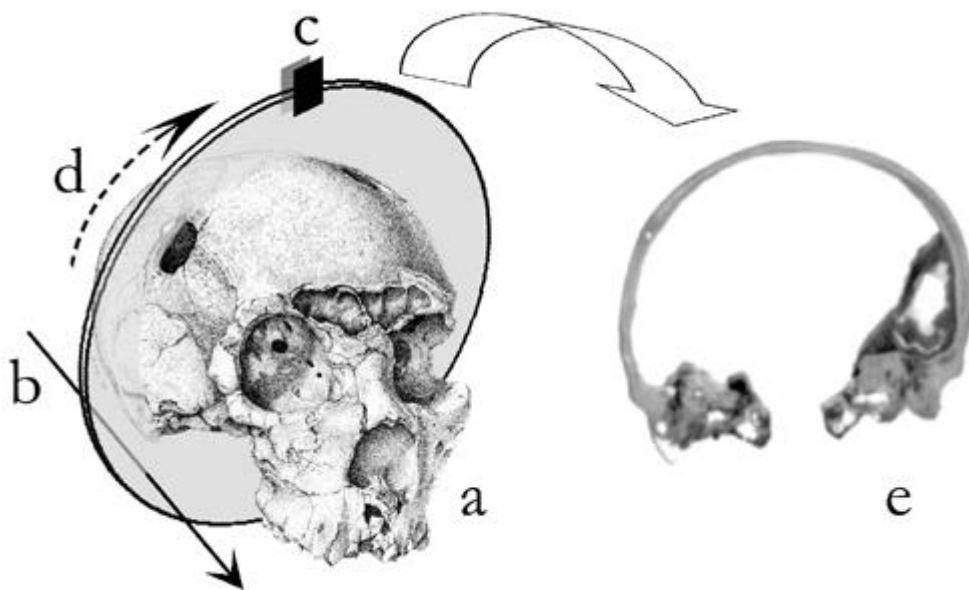


Fig. 1: Scansione Tomografica. L'oggetto scansionato (a) viene fatto passare attraverso un piano di scansione (b) generato da una sorgente emittente (c) che ruota intorno all'oggetto (d). Ogni ciclo di scansione restituisce una singola lastra tomografica (e), corrispondente alla sezione dell'oggetto attraversata dal fascio radioattivo. (Il disegno del cranio di Saccopastore 1 è di M. Mei)

La paleontologia umana è forse una delle discipline che più di altre ha trovato un riscontro applicativo in questa nuova metodologia [1,2]. In genere, più un fossile è integro e conservato (quindi rilevante), più la sua morfologia è scarsamente analizzabile. La matrice geologica che lo include è spesso difficile o impossibile da eliminare senza danneggiarlo, e in genere ne permea le cavità interne e gli spazi profondi, occultandone le strutture. Ovviamente non sono consigliabili analisi invasive, che possano compromettere l'integrità del fossile. Per la stessa ragione, un reperto ha una limitata mobilità, e può essere spostato o trasportato solo con difficili accortezze logistiche e amministrative. Tutti questi limiti sono ovviamente un ostacolo non indifferente all'estrazione e alla distribuzione delle informazioni che un reperto contiene, dalla sua analisi anatomica alla sua disponibilità in contesti museologici e didattici. La scansione tomografica di un fossile diviene quindi il passaggio necessario per superare questi limiti. La procedura è simile a quella applicata in campo biomedico, con qualche accorgimento dovuto alla particolare costituzione minerale dei reperti [3]. Spesso infatti le matrici fossili sono troppo impermeabili ai fasci radioattivi, o i volumi troppo spessi e densi. Come conseguenza, il segnale può essere eliminato o alterato, e il prodotto grafico risulterà artefatto. Un primo apporto allo studio del fossile proviene dall'analisi del suo spettro di attenuazione, che descrive la distribuzione delle densità nel volume considerato. In Fig. 2 viene mostrato lo spettro di attenuazione del cranio di Saccopastore 1, un reperto neandertaliano trovato a Roma nel 1929 e datato a circa 120.000 anni fa. Il cranio è stato totalmente estratto dalla matrice, ma ne conserva inclusioni nella cavità endocranica e negli spessori ossei. Lo spettro rivela due fasi. La fase meno densa corrisponde alla matrice fossile, mentre quella più densa corrisponde alla matrice geologica inclusa. I due picchi sono chiaramente separabili, e questo indica la possibilità di escludere il sedimento semplicemente lavorando sulle

differenze di densità. Le fasi mostrano una lieve sovrapposizione, che indica una finestra internamente alla quale sedimento e fossile non possono essere risolti. Una separazione assoluta delle due matrici non è quindi possibile su base tomografica. Le lastre in Fig. 2 mostrano una sezione sagittale e trasversale del cranio di Saccopastore 1, dove è ben visibile la matrice rocciosa della cavità endocranica. Questa fase dello studio prelude ad una analisi dettagliata dello stato di conservazione del reperto. Fratture interne, aree di maggiore o minore fragilità, collanti e sostanze artificiali secondarie, inclusioni e altre informazioni attinenti possono essere utilizzate per ottimizzare e guidare la conservazione o il recupero del reperto. Il passo successivo consiste nella ricostruzione virtuale delle strutture interne. In paleontologia umana e in particolare nello studio dell'anatomia del cranio vengono così assemblate virtualmente i seni paranasali (seni frontali, mascellari e sfenoidali), le strutture dentarie (radici, smalto), le strutture dell'orecchio interno (labirinto, coclea), gli spessori cranici, e altre strutture incluse negli strati profondi. L'apporto principale delle tecniche di elaborazione di immagini tomografiche è stata la possibilità di accedere e ricostruire le strutture encefaliche, cioè l'anatomia e la morfologia della cavità endocranica (Fig. 3). Oltre alle finalità propriamente scientifiche, queste tecniche offrono la possibilità di implementare didattica e divulgazione. Reperti incompleti possono essere ricostruiti a partire dalle strutture disponibili o da reperti morfologicamente affini. Sulle repliche virtuali è possibile condurre operazioni di ricostruzione dei tessuti molli (*morphing*) seguendo per la paleontologia umana le metodologie dell'antropologia forense. Inoltre è possibile ottenere dei calchi fisici degli oggetti ricostruiti virtualmente utilizzando resine sintetiche che polimerizzano sotto esposizione laser. Il processo è esattamente l'inverso della tomografia: si parte dall'oggetto virtuale per ottenere delle lastre e polimerizzare la resina stratificandola (*stereolitografia*).

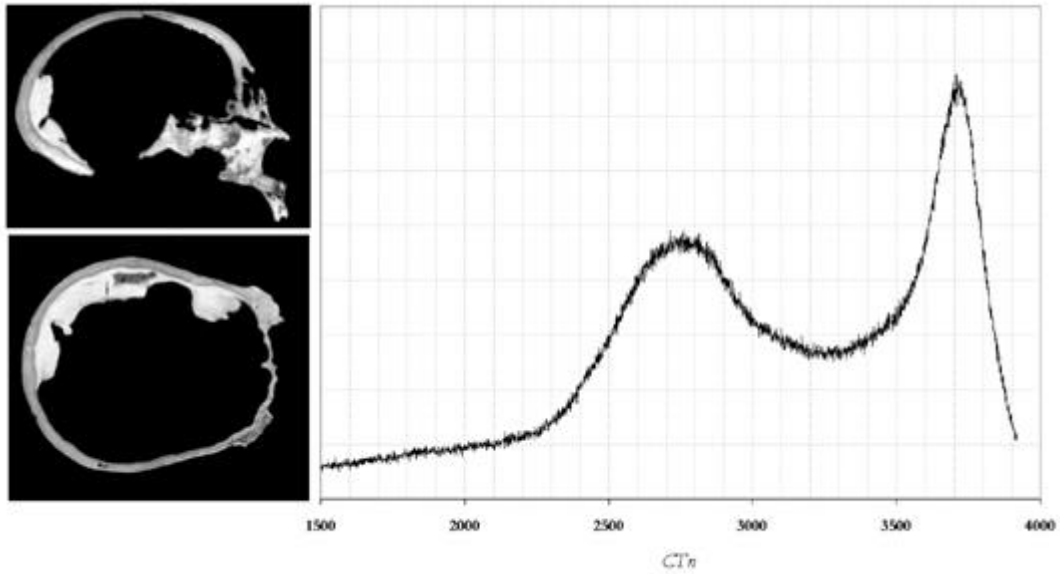


Fig. 2. Lastre tomografiche del cranio neandertaliano Saccopastore 1, in sezione sagittale e trasversale. Lo spettro di attenuazione mostra una composizione bifasica: il primo picco (bassa densità) corrisponde alla matrice fossile, mentre il secondo picco (alta densità) corrisponde alla matrice rocciosa, particolarmente evidente nella cavità endocranica [4].

Il potenziamento sul fronte della comunicazione e dell'accesso alle informazioni è evidente, e se da una parte incrementa sensibilmente i flussi e la mobilità dei dati, dall'altra introduce la necessità di un'etica e di una regolamentazione professionale. I fossili sono risorsa culturale sia in termini scientifici che amministrativi. Inoltre, va considerato che molti dei principali siti paleoantropologici sono localizzati in aree in via di sviluppo, dove rappresentano una risorsa economica e culturale. Una condivisione limitata delle sorgenti di informazione va ovviamente a scapito della ricerca e della cooperazione. Tuttavia, un accesso incondizionato a queste risorse condurrebbe ad una pericolosa centralizzazione della ricerca e della produzione scientifica, a favore di quelle istituzioni che possono economicamente e politicamente accedere alla tecnologia, e a scapito di quelle a cui invece questo accesso è precluso.

Tornando all'utilizzo di modelli, in questo caso l'interpretazione è piuttosto semplice: le repliche virtuali rappresentano modelli digitali dei fossili esaminati. In particolare, ne rappresentano due principali qualità, che sono rispettivamente la densità e la morfologia. La prima ne permette una analisi propriamente fisica, mentre la seconda ci trasmette le proprietà geometriche della struttura. I modelli sono validi quindi solo internamente a questo contesto, e vengono derivati e sviluppati seguendo una serie di assunzioni e procedimenti fisici (l'acquisizione del dato) e algebrico-informatici (il suo processamento, ovvero la codificazione in un formato dati e la successiva elaborazione). In termini pratici, questo tipo di analisi richiede una conoscenza dell'anatomia e della morfologia, integrate da una conoscenza tecnica degli strumenti tomografici e soprattutto dei software per la formattazione e l'elaborazione di immagine.

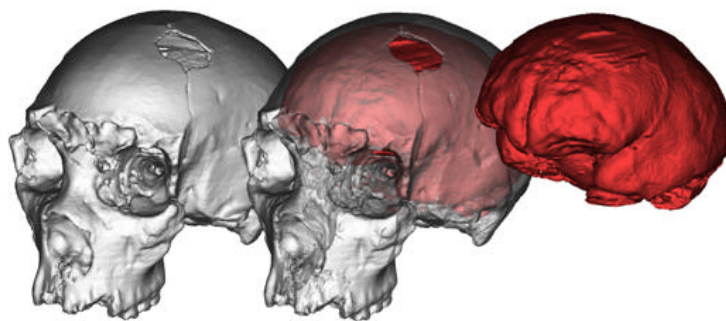
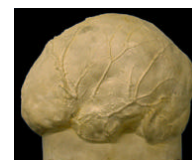


Fig. 3. Ricostruzione virtuale del cranio neandertaliano di Saccopastore 1 e del suo calco endocranico.

PALEONEUROLOGIA

Le ossa del cranio, soprattutto quelle della volta, non presentano una crescita autonoma, ma si sviluppano in risposta alla pressione encefalica. La crescita cerebrale conduce alla separazione delle componenti ossee e stimola i tessuti circostanti a indurre nell'osso la crescita. Questa stretta relazione tra encefalo e teca cranica conduce ad una corrispondenza tra superficie cerebrale e superficie endocranica, dove la prima corrisponde al positivo di una calco e la seconda al suo negativo. Sulla superficie interna del cranio si possono infatti ritrovare le tracce di tutte quelle strutture presenti sulla superficie cerebrale, come le circonvoluzioni e i solchi encefalici o le impronte del sistema vascolare. Queste informazioni, insieme allo studio dei volumi e della morfologia cerebrale, costituiscono la base della Paleoneurologia, disciplina che si occupa di analizzare l'evoluzione del sistema nervoso centrale nelle popolazioni estinte tramite l'analisi dei loro calchi endocranici.



MORFOMETRIA GEOMETRICA

Nel 1912 D'Arcy Wentworth Thompson, biologo e matematico inglese, propone una interpretazione della variabilità biologica che considera lo studio strutturale e i rapporti biomeccanici delle componenti morfologiche. Per confrontare strutture affini tenta una formalizzazione geometrica basata sulla distorsione dello spazio causata dalla trasformazione tra due conformazioni. L'impianto concettuale di D'Arcy Thompson è estremamente attuale, e le sue ipotesi rimangono ad oggi uno stimolo eccezionale per zoologi e botanici. Al contrario, sul piano metodologico Thompson risente dei vincoli tecnici del proprio tempo, limitandosi quindi ad una fase propositiva e dichiarando che il compito di rendere effettive le sue teorie "... deve essere lasciato ad altri tempi e ad altre mani". I tempi di cui parlava Thompson erano gli anni '80 del secolo scorso, e ovviamente coincidevano con la diffusione e la divulgazione di software e personal computer. Storicamente la morfologia ha sofferto di un bipolarismo tra studi quantitativi e studi qualitativi. I primi, rappresentati generalmente da analisi metriche, sono formalizzabili e suscettibili di analisi statistiche, ma non rendono conto delle forme originarie e perdono l'informazione contenuta nella geometria e nei rapporti tra strutture. Al contrario questa informazione è disponibile negli approcci qualitativi e descrittivi, che però non sono facilmente codificabili e comunicabili in termini oggettivi. Alla fine degli anni '80 fu prodotta una sintesi tra questi due approcci, sfruttando le potenzialità di calcolo dei computer e gli spunti di D'Arcy Thompson. Questa sintesi, chiamata Morfometria Geometrica, si basa sostanzialmente sull'utilizzo di coordinate

spaziali per caratterizzare le strutture biologiche [5]. Alcuni punti anatomici idonei a caratterizzare le proprietà strutturali di un sistema biologico (*landmarks*) vengono identificati in un sistema di coordinate cartesiane. Il campionamento di queste coordinate viene effettuato tramite proiezioni ottiche o puntatori elettromagnetici ideati appositamente a questo scopo. Ogni oggetto viene quindi rappresentato da una serie numerica di coordinate spaziali. La medesima configurazione di landmarks viene utilizzata per rappresentare ogni individuo del campione. A questo punto le configurazioni vengono rese confrontabili tramite una serie di trasformazioni matematiche che ne ottimizzano la sovrapposizione. In due dimensioni si può utilizzare una semplice baseline di riferimento su cui traslare le configurazioni. In genere, si preferisce invece operare secondo quella che viene chiamata Generalised Procrustes Analysis (GPA), o Analisi Generalizzata di Procuste. Procuste era un personaggio mitologico che derubava le proprie vittime e poi le "confrontava" col suo giaciglio: se erano troppo corte rispetto alle dimensioni del letto le "allungava" con metodi poco ortodossi, se erano troppo lunghe ne tagliava l'eccedenza. La sovrapposizione di Procuste trasforma le configurazioni tramite traslazione, scalatura e rotazione dei sistemi di coordinate (Fig. 4). La traslazione porta a coincidere nello spazio i centroidi di tutti i sistemi di coordinate, la scalatura ne normalizza la taglia, la rotazione ne ottimizza l'orientamento secondo una procedura di minimi quadrati. A questo punto gli scarti presentati tra i vari individui rappresentano la variabilità e le caratteristiche geometriche di ogni individuo, e sono disponibili per analisi multivariate. La prima particolarità del metodo è che riesce a ordinare i

campioni basandosi su una quantità di informazioni consistente e direttamente correlata non tanto alla misura dei singoli caratteri ma al rapporto spaziale di ogni punto rispetto a tutti gli altri. Questo permette una visione integrata di tutto il contesto morfologico analizzato, dove le parti sono tutte

direttamente rappresentate da uno stesso sistema. Ogni cambiamento geometrico, più o meno localizzato che sia, viene sempre interpretato come il risultato di un processo che coinvolge l'intera struttura.

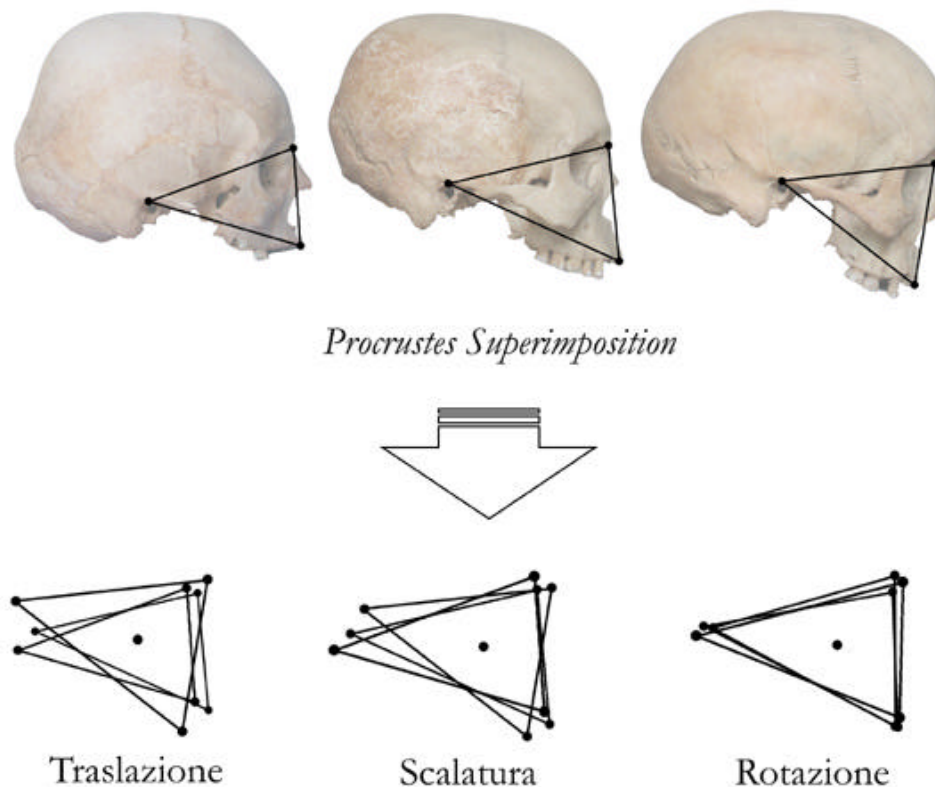


Fig. 4 Superimposizione di Procuste. I sistemi di coordinate provenienti da diversi individui vengono sottoposti a traslazione (coincidenza dei centroidi), scalatura (normalizzazione) e rotazione (approssimazione per minimi quadrati).

Il secondo punto di forza della morfometria geometrica è la possibilità di visualizzazione dei processi morfologici ordinati dalle tecniche multivariate. Utilizzando funzioni interpolanti come il *thin-plate spline* è possibile descrivere e quantificare la distorsione dello spazio passando da una configurazione ad un'altra, o più in generale "muovendosi" senza soluzione di continuità all'interno dello spazio multivariato generato dall'analisi. Questo vuol dire, una volta passati dalla geometria delle strutture ai numeri della statistica, tornare nuovamente dai numeri alla geometria, e visualizzare graficamente quali processi strutturali caratterizzano un gruppo rispetto ad un altro, una certa variabilità morfologica, o una certa correlazione con parametri ecologici o evolutivi [6-8]. Sottoponendo i dati ad una Analisi delle

Componenti Principali, per esempio, gli individui vengono ordinati secondo le differenze e affinità morfologiche più determinanti, che corrispondono in questo spazio multivariato della forma (*morphospace*) a "trasformazioni" specifiche visualizzabili tramite un graduale movimento dei landmarks utilizzati. La grafica utilizzata per questo scopo varia in funzione del tipo di informazione che si vuole ottenere, ma in genere tutti i metodi utilizzati sono complementari e confrontabili. D'Arcy Thompson utilizzò delle griglie di riferimento che si deformano in funzione della distorsione dello spazio. Questo tipo di grafica è limitata soprattutto ad analisi bidimensionali ma, data la sua immediatezza, resta ad oggi uno dei principali strumenti di visualizzazione. In alternativa, le variazioni spaziali possono essere

visualizzate tramite vettori, o anche semplicemente unendo graficamente i landmarks con delle linee e formando quindi delle figure geometriche di riferimento. Recentemente si stanno sviluppando software che permettono una visualizzazione delle aree di crescita o riassorbimento morfologico tramite variazioni cromatiche delle superfici. Utilizzando una Analisi Discriminante è possibile visualizzare le differenze morfologiche che ottimizzano una separazione tra gruppi. Con la statistica multivariata è possibile infine sapere se queste differenze sono o meno significative, o raggruppare gli oggetti analizzati secondo gerarchie di affinità morfologiche. E' possibile anche esaminare se ci siano delle correlazioni tra la forma e altri parametri (variabili ecologiche, geografiche,

biochimiche etc.). In questo caso una delle analisi più utilizzate è una regressione della forma sulla dimensione. Molte delle differenze che noi vediamo nella forme biologiche sono il risultato di un semplice cambiamento di taglia corporea e dei conseguenti vincoli strutturali (allometria). Il processo di sovrapposizione a cui vengono sottoposti i dati elimina la taglia come variabile assoluta, scalando tutti gli oggetti ad una dimensione unitaria. Quindi, se la forma risultante da questo processo è ancora in un certo modo correlata alla taglia, vuol dire che c'è in quella struttura una componente allometrica residua: una parte della variabilità morfologica è una semplice conseguenza della variabilità nelle dimensioni (Fig. 5).

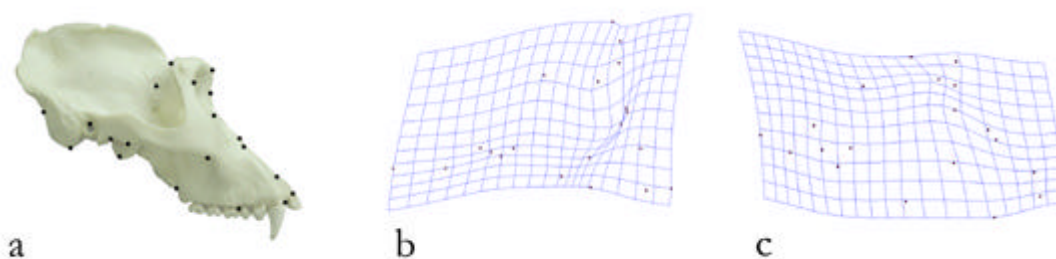


Fig. 5. Utilizzando una configurazione bidimensionale su norma laterale su un campione di grandi scimmie africane (a), è possibile individuare un processo di crescita condiviso da gorilla e scimpanzé [9]. Questo modello comune è correlato alla crescita dimensionale, ed è rappresentabile come una traiettoria di sviluppo che va dai cuccioli di scimpanzé (b) ai gorilla adulti (c). La distorsione delle griglie mostra la visualizzazione delle trasformazioni morfogenetiche che caratterizzano questo processo.

Nella morfometria geometrica l'utilizzo del concetto di modello è sicuramente più eterogeneo. Modello è infatti la configurazione di landmarks utilizzata: rappresenta sinteticamente la morfologia dell'oggetto e le sue proprietà geometrico-strutturali. Ma modello è anche lo stesso spazio multivariato generato dall'analisi delle coordinate: rappresenta una realtà algebrica dove ad ogni posizione nello spazio corrisponde una precisa variazione della struttura. In entrambi i casi, i modelli sono ancora validi solo nella rappresentazione delle loro specifiche proprietà e nel loro contesto in cui sono stati prodotti, cioè utilizzando una data configurazione, su un dato campione, elaborato secondo precisi protocolli matematici e in risposta a determinate richieste dell'operatore.

Spesso si giudica un modello come "buono" o "cattivo", dimenticando che una rappresentazione non ha in se dei giudizi di valore! I modelli possono semplicemente essere più o meno utili, o più o meno adeguati, in virtù del livello di risoluzione con cui si accordano ai dati disponibili.

Attualmente, sulla base delle potenzialità di processamento dati, della quantità di informazioni disponibili, e della necessità di una qualità più raffinata nella ricerca e nella divulgazione scientifica, non è consigliabile procedere senza il controllo di queste variabili analitiche. Gli approcci descrittivi in biologia evolutiva restano ancora un'utile fonte di ipotesi e inferenze, garanti dell'indipendenza di giudizio e dell'esperienza soggettiva. Tuttavia, dovrebbero essere utilizzati come complemento intrinseco di un approccio sperimentale più articolato e codificabile, senza il quale risulterebbero solo essere un anacronismo metodologico. La complessità degli scenari evolutivi e l'utilizzo di approcci e paradigmi sperimentali richiedono una riconfigurazione delle discipline evolucionistiche, che coinvolga l'intero percorso analitico dall'acquisizione dei dati alla loro interpretazione, da parte dei ricercatori tanto quanto della società. Molte nuove impostazioni sono già state ben delineate, anche se l'inerzia culturale non ne ha permesso ancora una loro completa distribuzione.

IL LABORATORIO DI PALEONTOLOGIA UMANA

Il laboratorio di Paleontologia Umana del Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo dell'Università La Sapienza di Roma è diretto dal Prof. P. Passarello e dal Prof. G. Manzi. Le principali linee di ricerca riguardano l'anatomia e la morfologia del cranio nei Primati umani e non-umani, estinti e attuali. Il settore paleoantropologico è prevalentemente indirizzato alla caratterizzazione del popolamento europeo e delle forme neandertaliane. Le analisi sulle popolazioni attuali comprendono studi sulla variabilità endocranica, sulla variabilità dello scheletro facciale, e sul popolamento del Nord Africa. Le ricerche primatologiche riguardano lo studio strutturale del cranio nei primati non-umani e le dinamiche allometriche.



BIBLIOGRAFIA

- [1] **ZOLLIKOFER C., PONCE DE LEÓN M., MARTIN R.**, Computer assisted paleoanthropology. *Evol. Anthropol.*, 6, 1998.
- [2] **RECHEIS W., WEBER G.W., SCHAFFER K., PROSSINGER H., KNAPP R., SEIDLER H., ZUR NEDDEN D.**, New methods and techniques in anthropology. *Coll. Antropol.*, 23, 1999.
- [3] **SPOOR F., JEFFERY N., ZONNEVELD F.** Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. *Journ. Anat.*, 197, 2000.
- [4] **MANZI G., BRUNER E., CAPRASECCA S., GUALDI G., PASSARELLO P.**, CT-scanning and virtual reproduction of the Saccopastore Neandertal crania. *Rivista di Antropologia* 79,2001.
- [5] **BOOKSTEIN F.L.**, *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press: Cambridge, 1991.
- [6] **ROHLF F.J., BOOKSTEIN F.L.**, *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. University of Michigan, Museum of Zoology, 1990.
- [7] **MARCUS L.F., BELLO E., GARCÍA-VALDECASAS A.**, *Contribution to Morphometrics*. Museo Nacional de Ciencias Naturales: Madrid, 1993.
- [8] **MARCUS L.F., CORTI M., LOY A., NAYLOR G., SLICE D.**, *Advances in Morphometrics*. Plenum Press: New York, 1996.
- [9] **BRUNER E., MANZI G.**, Allometric analysis of the skull in *Pan* and *Gorilla* by geometric morphometrics. *Rivista di Antropologia*, 79, 2001.

LIBRI CONSIGLIATI

- THOMPSON D'A. W.**, *Crescita e Forma*. Universale Bollati Boringhieri, 1992.
BRADSHAW J.L., *Evoluzione Umana, una prospettiva neuropsicologica*. Giovanni Fioriti Editore, 2001.
ARSUAGA J.L., *I primi pensatori*. Feltrinelli, 2001.

Emiliano Bruner

è collaboratore di ricerca presso il Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo
Sede di Antropologia dell'Università di Roma "La Sapienza"
e-mail: emiliano.bruner@uniroma1.it