

1.6 Analisi morfologiche e morfometriche

A. Riga, L. Bondioli

La descrizione dello scheletro e dei denti è lo strumento più immediato che abbiamo a disposizione per estrarre informazioni dai resti umani. Attraverso l'osservazione e la misurazione si possono ottenere dati ripetibili e comparabili; questo procedimento è alla base del metodo scientifico.

La morfometria è un approccio quantitativo alla descrizione dei resti umani; tradizionalmente si avvale di distanze lineari, angoli o archi di cerchio per descrivere la variabilità scheletrica. La morfologia è un approccio di tipo qualitativo che, attraverso l'osservazione, permette di descrivere i resti umani in termini di forme.

Morfometria

A partire dalla fine del XVIII secolo gli antropologi hanno codificato misure lineari e angoli per descrivere in termini quantitativi aspetti dello scheletro e del corpo umano. Nel corso della storia dell'antropologia, questa attitudine alla misurazione come mezzo di descrizione della variabilità morfologica è stata largamente e intensamente perseguita. Basti pensare che il *Lehrbuch der Anthropologie* di Rudolf Martin (1914) riporta ben 109 misure e 41 (varianti escluse) indici soltanto per descrivere il neurocranio, la porzione del cranio che contiene l'encefalo.

Anche se questa quantità di variabili può apparire eccessiva e ridondante, la morfometria ha dei vantaggi che l'hanno resa indispensabile per lo studio scientifico della variabilità scheletrica umana. Infatti le misure sono osservazioni facilmente ripetibili e relativamente poco soggettive; inoltre, attraverso la misurazione si ottengono dati di tipo continuo, facilmente trattabili statisticamente.

In passato, la morfometria è stata utilizzata molto come uno strumento per costringere la variabilità della nostra specie in categorie definite, oggi desuete in quanto prive di realtà, quali i tipi umani e le razze. Oggi, il nuovo paradigma dell'antropologia, intesa come storia naturale degli esseri umani, ha superato la vecchia e obsoleta visione delle popolazioni umane in chiave gerarchico-razziale. La variabilità è al centro dell'indagine antropologica, poiché è la materia prima su cui agisce l'evoluzione. La morfometria resta uno degli strumenti migliori che un antropologo ha a disposizione per la descrizione di questa variabilità.

Morfologia

L'approccio morfologico, attraverso la descrizione della forma e della struttura dello scheletro, offre un altro metodo per lo studio della variabilità. Utilizzando solo misure lineari, angoli e archi di cerchio, non è possibile cogliere altri rilevanti aspetti della variabilità scheletrica, quali creste e cuspidi sulle corone dei denti, faccette accessorie sulle articolazioni, porosità e rugosità sulle ossa, sviluppo di apòfisi⁵ e aree di en-

⁵Le apòfisi o processi sono porzioni di osso che sporgono dal corpo principale.

tèsi⁶. In questi casi la descrizione morfologica, anche se spesso produce osservazioni soggettive e/o poco ripetibili, è l'unica possibilità di cogliere e descrivere la variabilità delle forme, anche se oggi moderni approcci, ancora non del tutto perfezionati, di rilevamento digitale/fotogrammetrico possono contribuire a rendere meno soggettivi i rilevamenti.

La descrizione anatomica è essenziale nella definizione delle specie nel record fossile. La morfologia generale, singoli dettagli anatomici o la compresenza di alcuni caratteri in un fossile, possono essere indicativi della sua collocazione tassonomica⁷, anche in situazioni di alta frammentarietà in cui è impossibile applicare tecniche morfometriche (semi)quantitative. Anche nello studio delle popolazioni più recenti la morfologia gioca un ruolo importante. Alcune combinazioni di caratteri anatomici sui denti e sul cranio sono più frequenti in determinate popolazioni, e rappresentano un buon compromesso, pure se con potere informativo minore, per studiare i rapporti tra popolazioni archeologiche senza ricorrere a studi più impegnativi in termini economici e di tempo e più invasivi, come il DNA antico.

La morfologia e la morfometria interna

Lo sviluppo di nuove tecnologie in campo bio-medico e informatico ha rivoluzionato l'approccio classico agli studi morfometrici e morfologici. La Tomografia Computerizzata (TC) è diventata uno strumento accessibile ai ricercatori e, con le microTC⁸ e le microtomografie in luce di sincrotrone⁹, ha raggiunto livelli di definizione elevatissimi, permettendo di studiare nel dettaglio le strutture interne dello scheletro e dei denti in maniera non invasiva. Per fare un esempio su tutti, mentre fino a pochi decenni fa la morfologia dei denti poteva essere studiata soltanto sulla superficie esterna della corona, adesso è possibile separare virtualmente la dentina dallo smalto, studiando anche nel dettaglio la giunzione dello smalto con la dentina, area di grande interesse in ambito evolutivo, rendendo molto più facile osservare caratteri diagnostici e permettendo di misurare con estrema accuratezza porzioni anatomiche altrimenti impossibili da valutare, come il volume dello smalto (fig. 1.4).

⁶Le entèsi sono le aree delle ossa da cui originano o su cui si inseriscono i muscoli e i tendini. Spesso si riconoscono come aree morfologicamente ben distinte sulle ossa (ad es. rugosità e rigonfiamenti).

⁷La tassonomia è la disciplina della sistematica che si occupa delle regole nomenclaturali e delle tecniche di classificazione degli esseri viventi all'interno di un sistema gerarchico.

⁸Le microTC sono strumenti che permettono di ottenere immagini delle strutture interne, misurando l'attenuazione dei raggi X che attraversano l'oggetto. Rispetto alle normali TC riescono a fornire immagini ad una risoluzione migliore (nell'ordine dei *micron*)

⁹Il sincrotrone è un acceleratore di particelle di forma circolare in cui, grazie a un campo elettromagnetico, particelle subatomiche cariche vengono accelerate a velocità prossime a quella della luce. Le particelle in accelerazione emettono radiazioni elettromagnetiche (raggi X) in direzione tangente a quella del moto delle particelle. I fasci di radiazione sono collimati su linee apposite e vengono sfruttati per vari scopi, tra cui la creazione di immagini radiografiche e tomografiche ad altissima risoluzione (anche al di sotto del *micron*).

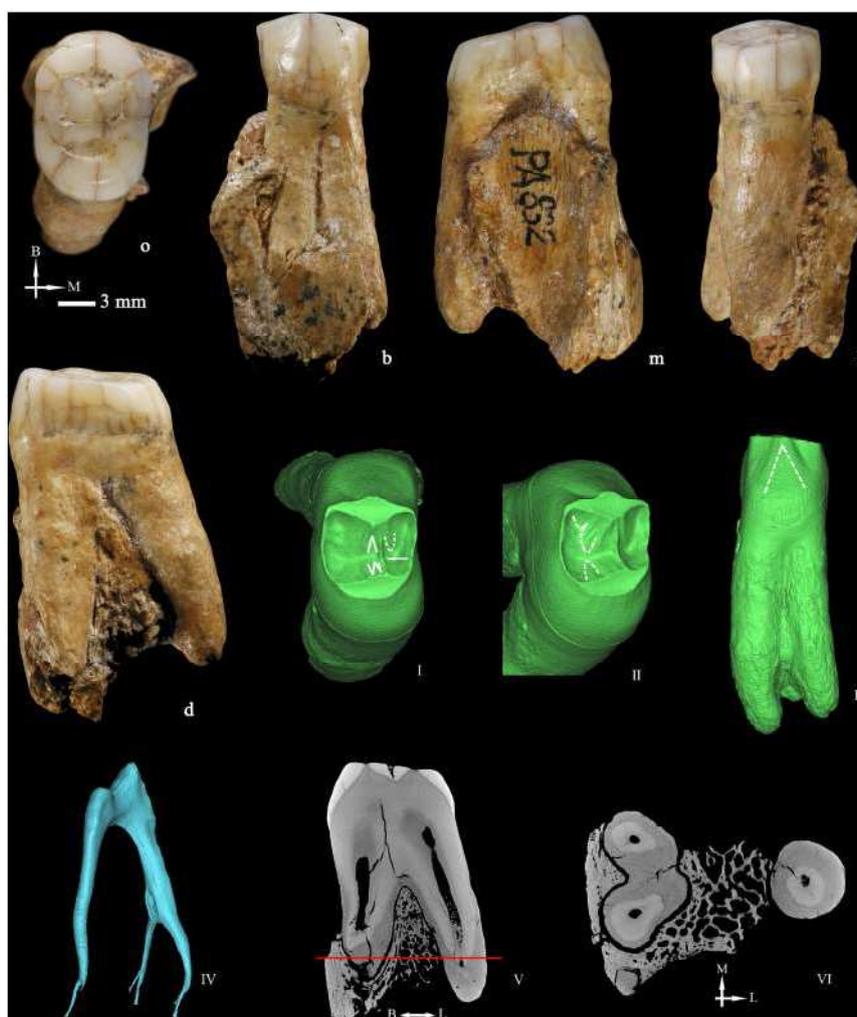


Figura 1.4: Primo molare superiore di un essere umano del Pleistocene Medio, dal sito di Longtan Cave (Hexian, China) visto dalle facce occlusale, buccale, mesiale, linguale e distale). Nelle immagini in verde (I, II, III) lo smalto è stato rimosso virtualmente e la giunzione smalto dentina messa in evidenza. Nell'immagine in celeste (IV) sono stati estratti virtualmente i volumi della cavità e dei canali pulpari. Nelle ultime due immagini una sezione sagittale (V) e una sezione trasversale (VI) ottenute dai dati digitali. Immagine: Xing et al. 2014.

La morfologia funzionale

Uno degli aspetti in cui morfologia e morfometria si sono incontrate è lo studio dello scheletro in termini funzionali e adattativi. La forma di un qualsiasi organo è correlata alla funzione che svolge, perciò studiando la forma dello scheletro e dei denti possiamo ottenere informazioni sulla loro funzione.

A partire da questo concetto, si è sviluppato in ambito antropologico l'approccio biomeccanico che, mutuando tecniche ingegneristiche, permette di indagare le reazioni delle strutture scheletriche alle sollecitazioni e di ricavare informazioni sulla loro funzione. La biomeccanica si avvale dei metodi dell'antropologia virtuale, che permettono lo studio di questi aspetti su modelli virtuali ricavati da Tomografie Computerizzate o da scanner 3D. Tra le tecniche più utilizzate ci sono la geometria delle sezioni (*cross-sectional-geometry* – CSG) e l'analisi degli elementi finiti (*finite elements analysis* – FEA). Le loro applicazioni in ambito antropologico sono molteplici. In paleoantropologia possono essere applicate allo studio della locomozione o della masticazione comparando i risultati ottenuti per la nostra specie con quelli di altre specie fossili e viventi. In bioarcheologia, la CSG ha una notevole influenza sullo studio dei pattern di attività delle popolazioni antiche.

La morfometria geometrica

Gli sviluppi statistici e informatici hanno invece reso possibile una sintesi tra morfologia e morfometria. Se la morfometria classica doveva rinunciare allo studio delle forme e la morfologia non aveva la possibilità di basarsi su dati quantificabili, la morfometria geometrica ha reso possibile quantificare le variazioni di forma e studiarle con tecniche statistiche. Il concetto alla base di questa tecnica è la sostituzione delle misure lineari tra due punti di repere¹⁰ (*landmarks*) registrati come coordinate spaziali (in due o tre dimensioni) di questi stessi punti. Così, laddove per descrivere il rapporto spaziale tra n *landmarks* erano necessarie $n(n-1)/2$ misurazioni, con la morfometria geometrica è sufficiente avere le coordinate spaziali dei punti di interesse. Inoltre si può descrivere quantitativamente la forma di curve e superfici attraverso particolari punti di repere, detti *semilandmarks*¹¹ (fig. 1.5).

Ma la potenzialità più interessante della morfometria geometrica è quella di poter trattare separatamente forma (*shape*) e dimensioni (*size*): questo la rende uno strumento insostituibile per tutti quegli studi interessati ad indagare contemporaneamente i cambiamenti nella *shape* indipendentemente dai cambiamenti nelle dimensioni, da un lato, e come funzione dei cambiamenti dimensionali dall'altro, come richiesto dagli studi sul dimorfismo sessuale, sull'ontogenesi, sull'allometria e sull'eterocronia¹².

¹⁰I punti di repere (*landmarks* in inglese) sono punti anatomici standard (definiti in base al concetto di omologia), la cui identificazione è univoca in individui diversi. Il loro riconoscimento è alla base di qualsiasi misura che sia ripetibile e confrontabile.

¹¹I *semilandmarks* sono particolari punti di repere che permettono di quantificare curve e superfici, in due o tre dimensioni, che possano essere considerate omologhe tra loro.

¹²L'allometria è l'accrescimento relativo differenziale durante l'ontogenesi: ad esempio, i cambia-

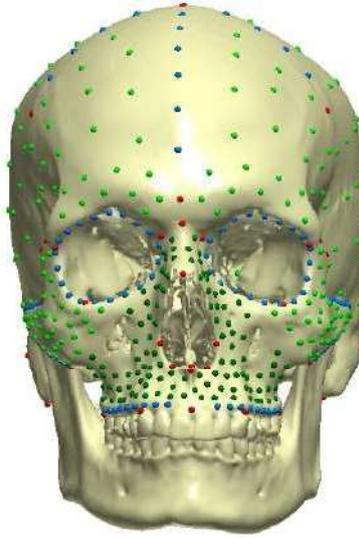


Figura 1.5: Modello tridimensionale di un cranio umano. I *Landmarks* (in rosso) sono punti anatomici ben definiti e omologhi (ad es. i punti di contatto tra due ossa); i *semilandmarks* sono invece punti matematicamente analoghi che permettono di descrivere curve (ad es. il contorno delle orbite, in blu) e superfici (ad es. la superficie dello zigomo, in verde). Immagine modificata da Rmoutilová et al. 2018

L'approccio microscopico

Gli attuali avanzamenti tecnologici offrono di contro un potente insieme di strumenti analitici in grado di migliorare la qualità e la quantità delle informazioni che possono essere recuperate dallo studio dei tessuti mineralizzati dello scheletro e dei denti. Tra di essi l'analisi istomorfometrica avanzata - cioè l'analisi microscopica di sezioni sottili di denti e di osso - sia classica che, più recentemente, virtuale (tramite microtomografia in luce di sincrotrone) permette di rivelare aspetti specifici della vita individuale (tassi di rimodellamento osseo, patologie) e di aprire, nel caso dei denti sia decidui sia permanenti, una finestra cognitiva sulla vita prenatale ed infantile (sino alla prima adolescenza). I denti, infatti, conservano un accurato archivio biologico della crescita individuale, dello sviluppo, della dieta, della chimica e di possibili patologie. Inoltre, i denti registrano inalterati i tassi di crescita individuali che possono essere misurati direttamente grazie all'orologio giornaliero su cui si basa la loro struttura a strati. Infine, la crescita dei denti è correlata a quella di tutto il corpo e quindi le informazioni che possono essere tratte dal suo studio possono essere estese, in una certa misura, allo studio delle traiettorie ontogenetiche delle popolazioni attuali e dei nostri antenati, in una prospettiva evolutiva.

Accoppiando all'analisi istologica classica l'analisi chimica elementare ed isotopica

menti nella proporzione tra testa e corpo di un bambino e di un adulto sono legate ad accrescimento allometrico. L'eterocronia è il ritardo o l'accelerazione selettiva dello sviluppo di singoli tratti, di complessi di caratteri correlati o di interi fenotipi.

ad alta risoluzione dei tessuti dentari è inoltre possibile tracciare a livello individuale, con alta precisione cronologica, eventi quali le modalità di allattamento, lo svezzamento, la mobilità territoriale, i cambiamenti di dieta. L'istologia classica è per sua natura una tecnica analitica distruttiva (i reperti devono essere tagliati con microtomi). È comunque possibile ridurre al minimo il danno, attraverso al ricostruzione dei reperti dopo il taglio, con tecniche di restauro derivate dall'odontoiatria conservativa.

Bibliografia essenziale

1. Dean 2010
2. Hillson 2014
3. Schaefer et al. 2009
4. Slice 2005
5. T. M. Smith e Tafforeau 2008
6. T. D. White 2011
7. Weber et al. 2011