

Il computer dà un volto agli antenati dell'uomo

L'antropologia sposa l'informatica nel laboratorio virtuale dell'Università di Zurigo dove vengono riassemblati e studiati alcuni dei fossili più importanti del mondo

JACOPO PASOTTI

ZURIGO. Non è necessario essere un antropologo per riconoscere individui distinti in questi crani incompleti. Come in una danza macabra, i quattro crani girano intorno a un unico asse sullo schermo del computer mentre il giovane professore di antropologia mostra la loro diversa forma, le differenti arcate sopraccigliari, le fosse temporali e le forme più o meno rotondeggianti delle scatole craniche. Questi individui avevano sicuramente un aspetto molto diverso tra loro. Immersi nel rumore di fondo dei computer e del ventilatore rappresentanti di *Homo erectus* mostrano i caratteri della variabilità tra individui che noteremmo attraversando una qualunque piazza della nostra città, ma che raramente si può studiare nei resti fossili dei nostri antenati. Questo per il semplice fatto che il ritrovamento di un resto fossile è un evento raro.

Con la *Computer-assisted Paleanthropology*, quella variabilità che anche un occhio inesperto riesce ad apprezzare può essere misurata con precisione in un ambiente digitale, con il minimo impatto sui fossili originali. I resti di *Homo erectus* che stiamo contemplando sono stati ritrovati a Dmanisi, in Georgia, nel più grande giacimento di fossili di *erectus* scoperto finora. È la prima volta che gli antropologi possono studiare la variabilità morfologica di una specie ominina così antica e così poco conosciuta. I crani, recentemente rinvenuti nella catena caucasica, sono riassemblati virtualmente con un programma che impiega le potenzialità del CAD e la realtà virtuale. I quattro esemplari sono pronti per un nuovo progetto di ricerca sulla morfologia di questi ominini che ci aiuterà a capire le relazioni tra questi individui e i loro predecessori giunti dal continente africano.

In una calda estate zurighe, Marcia Ponce de León e Christoph Zollikofer, antropologi dell'Università di Zurigo, descrivono alcune delle applicazioni del loro programma per lo studio dei resti fossili dell'uomo e dei suoi predecessori estinti. Sullo schermo del computer, i quattro crani continuano a roteare lentamente. Christoph Zollikofer è profes-

re di antropologia e Marcia Ponce de León è *senior research assistant* nello stesso dipartimento. I due ricercatori sono partner nella scienza e nella vita, all'università condividono l'ufficio le cui grandi finestre si aprono sulle colline boschive che circondano Zurigo. Nella stanza gli scienziati si danno le spalle, ma il



CORTESIA ZOLLIKOFER

confronto è costante e ora firmano insieme quasi tutte le pubblicazioni scientifiche perché «non riusciamo più a distinguere chi dei due ha avuto per primo un'idea», come dice sorridendo de León, «spesso le idee ci vengono in cucina, a casa, o mentre suoniamo». Infatti, i due ricercatori sono anche musicisti e la loro unione è nata grazie alla condivisa passione per Bach, piuttosto che per la dedizione alla ricerca scientifica.

I due antropologi hanno sviluppato un nuovo approccio alla morfometria – lo studio di forma, dimensioni e geometria – dei resti ominini fossili, descritto nel loro saggio *Virtual Reconstruction*. «Per lungo tempo in antropologia si è fatto uso del calibro e sono state misurate le distanze e gli angoli», spiega Zollikofer. «In questo modo si hanno solo misure lineari, mentre abbiamo bisogno di conoscere la geometria completa e le sue variazioni tridimensionali e temporali» e questo ha richiesto, grazie a tecnologie che fino a dieci anni fa erano fantasia, un serio lavoro di *computer graphics* e programmazione.

I due ricercatori hanno partecipato, una decina di anni fa, a un seminario di *computer graphics* tenuto da Peter Stucki, negli anni '70 manager dell'Advanced Computer Application Development Project alla IBM ed esperto nell'area della *digital image processing*, ora professore di Scienze dell'informazione all'Università di Zurigo. Da questa esperienza è nata una collaborazione con il Multimedia Laboratory dell'Università di Zurigo che ha fornito al gruppo di antropologia capacità e tecnologie digitali d'avanguardia. Fu proprio durante il seminario di Stucki che Zollikofer e de León intuirono che le nuove tecnologie digitali per il trattamento dei dati potevano essere una soluzione a molti grattacapi che da tempo affliggevano gli antropologi.

Per esempio, come riassemble le parti fossili di uno scheletro di *Australopithecus* senza doverlo manipolare rischiando di danneggiarlo? O come migliorare il confronto tra parti omologhe di reperti provenienti da scavi diversi? O, ancora, come compiere misure morfometriche sui campioni e poter analizzare i dati nelle tre dimensioni, studiarne i rapporti geometrici e di forma? E infine come restituire la forma originale a un cranio di un nuovo fossile, contorto, frammentato, incrostato, da poco estratto dal terreno sabbioso del deserto sahariano?

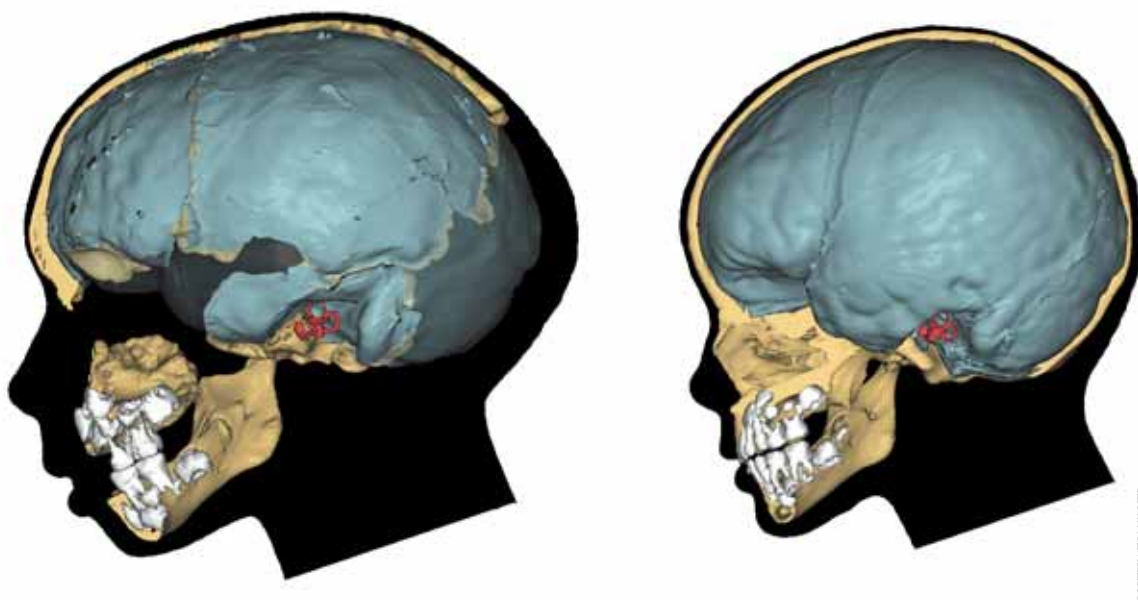
E infatti è proprio partendo da questi quesiti irrilevanti che si è giunti al connubio tra due discipline all'apparenza così poco affini. «È il matrimonio tra l'antropologia e l'informatica», dice Zollikofer, un personaggio pacato e apparentemente introverso ma che in questo caso non nasconde un certo orgoglio. «Molto spesso, nella ricerca scientifica alcuni quesiti trovano risposta solo quando emerge una tecnologia che ne permette lo studio. Fu così con l'astronomia e l'invenzione dei telescopi moderni, è così con l'antropologia e l'informatica oggi».

A questo punto, intuite le potenzialità che offrivano le nuove tecnologie digitali, ci voleva qualcuno che conoscesse sia le problematiche dell'antropologia moderna che l'informatica. Qui Zollikofer si sentiva sicuro essendo, come dice de León, «un autentico *freak* dell'informatica». È così che con il laboratorio di multimedia il team di antropologi ha sviluppato il programma il cui nome racchiude molte speranze e un progetto ambizioso: FORM-iT, acronimo di *Fossil Reconstruction and Morphometry Interactive Toolkit*.

Il processo consiste nel sottoporre il fossile da studiare a una tomografia computerizzata con una attrezzatura per indagini radiologiche ai raggi X. Nel caso di un cranio il reperto viene fotografato in sezioni sub-millimetriche come se fosse tagliato in sottilissime fette. Le immagini, una volta sovrapposte, compongono l'oggetto in tre dimensioni in



Marcia Ponce de León e Christoph Zollikofer.



CORTESIA ZOLLIKOFER

Una comparazione tra il Neanderthal Gibilterra 4 e un bambino contemporaneo di circa 4 anni.

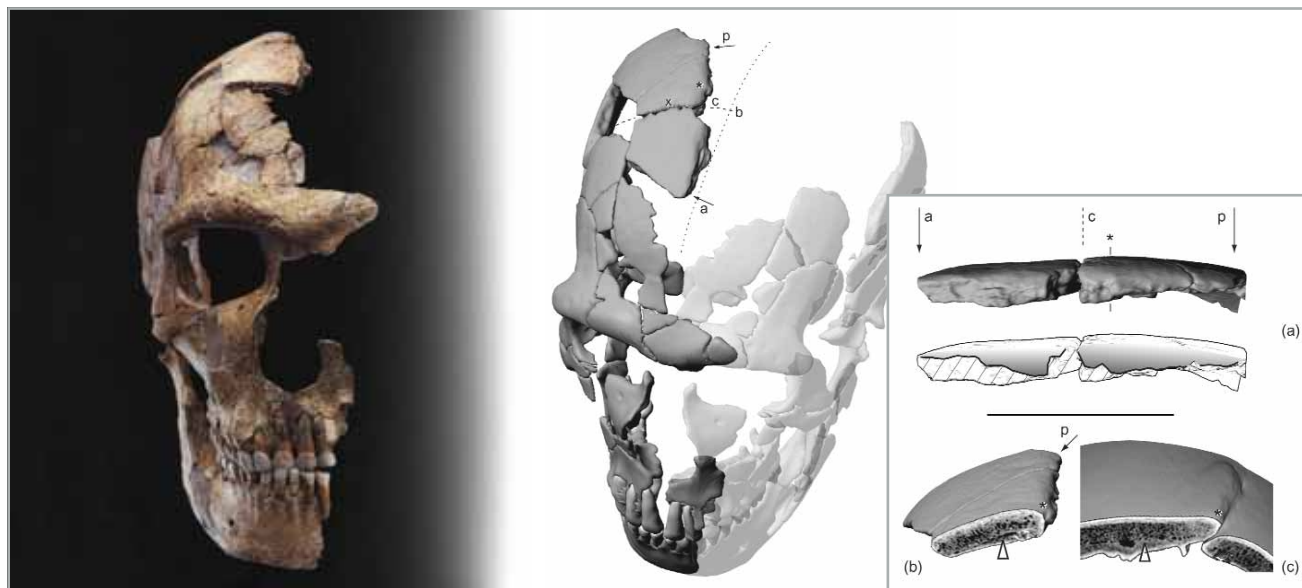
modo analogo alla costruzione dei plastici per le ambientazioni in cui vari strati di cartoncino impilati riproducono la topografia di una regione. Dopo aver inserito nel computer i dati ottenuti dalla tomografia, si entra nel mondo della *computer graphics*. La struttura tridimensionale delle parti anatomiche viene rappresentata da un insieme di superfici, applicando un sofisticato algoritmo di triangolazione. Il computer campiona dei punti e forma un modello rappresentato da facce triangolari dell'oggetto. In una *workstation* sufficientemente veloce si riesce a visualizzare e manipolare questi oggetti sotto ogni angolo desiderato.

Zollikofer e de León però avevano bisogno di qualcosa di più della semplice visualizzazione tridimensionale di un cranio scansionato ai raggi X. La loro necessità era di lavorare su frammenti fossili di ossa, compiendo misure ed esperimenti sullo sviluppo morfologico dei *neanderthalensis* e di altri predecessori del genere umano. I due antropologi avevano dei modelli che dovevano essere manipolati come in un laboratorio classico. Da qui è nata la necessità di addentrarsi nel regno della realtà virtuale, che sfrutta una serie di tecnologie per ricreare al computer mondi e oggetti che sono la rappresentazione digitale di ambienti reali o di fantasia. Per Zollikofer e de León costituisce un laboratorio virtuale, in cui possono spostare, duplicare, modificare gli oggetti come se fossero fisicamente presenti. O anche farli roteare attorno a un asse per un'ospite sbalordito, come nel caso dei crani di *Homo erectus* che instancabilmente girano sullo schermo del laboratorio di Zollikofer.

In questo modo, hanno ricostruito il cranio di un giovane *neanderthalensis* ritrovato alla Torre del Diavolo, a Gibilterra. Il reperto consisteva di cinque frammenti che sono stati scansionati con la tomografia ed elaborati al computer, ricostruendo l'anatomia del cranio e creando alcune parti speculari per completare l'esemplare. Il lavoro è stato confrontato con alcuni modelli di giovani *sapiens* della stessa età e, infine, il team ha prodotto un modello in silicone del *neanderthalensis* adolescente che è apparso da allora su innumerevoli riviste.

Ricostruire in dettaglio un cranio fossile può rivelare informazioni sulla vita, o sulla morte dell'individuo, che sono più difficili da osservare negli originali. Per esempio, mentre Zollikofer e de León stavano lavorando al modello di uno scheletro di Neanderthal ritrovato in una grotta a St. Césaire, in Francia, hanno notato una frattura nella parte superiore del cranio. Il fossile del Neanderthal è stato ritrovato nel 1979 ma fino ad allora i frammenti non erano stati riassemblati in maniera tanto precisa, mentre con la loro tecnica digitale i due antropologi hanno scoperto la probabile causa del decesso dell'individuo: un impatto violento di un oggetto affilato, forse un'arma. Questa era una nuova evidenza che i *neanderthalensis* utilizzavano strumenti non solo per la caccia e la preparazione del cibo, ma anche per colpire un loro pari.

Quello che si ottiene con il metodo fin qui descritto è una simulazione, ma i parametri morfometrici sono lì, nel computer, pronti per essere studiati. Per analizzare i dati, ad esempio per calcolare



A sinistra il fossile di Neanderthal trovato a S. Césaire, a destra la ricostruzione al computer di Zollikofer e Ponce de Léon dello stesso fossile. Sul cranio, in prossimità della zona parietale destra si nota chiaramente una lesione di media gravità presumibilmente prodotta da una lama che ha successivamente provocato delle deformazioni della calotta cranica.

le variazioni di spessore di una scatola cranica e ottenere una «mappa» degli spessori, i due ricercatori hanno bisogno di strumenti di calcolo che possano operare nella realtà virtuale. Questo serve anche per analizzare lo sviluppo nelle tre dimensioni della forma dei crani dei neanderthaliani dallo stadio adolescenziale a quello adulto, calcolando tutti i parametri morfometrici direttamente al computer. Per fare questo, i due antropologi hanno abbinato alla realtà virtuale l'impiego del Computer-Assisted Design (CAD).

Zollikofer, per spiegare questa tecnica, visualizza sullo schermo la ricostruzione virtuale di un cranio fossile appena estratto dai sedimenti di una grotta. Il tempo e i processi di sedimentazione lo hanno deformato come se fosse stato di plastilina. Applicando algoritmi sviluppati per l'ingegneria e la progettazione dei materiali all'interno del CAD, il ricercatore simula una deformazione uguale e contraria a quella subita dal fossile e in pochi istanti il reperto riacquista la sua forma originaria. Questo processo può essere compiuto su ogni fossile e nel mondo virtuale sviluppato dal gruppo zurighese non è necessario frammentare o manipolare il reperto, che quasi sempre è un oggetto prezioso e delicato.

Quello che si può fare per i resti di antichi antenati dell'uomo, si può applicare ad altri resti fossili di animali. È stato questo il caso dell'ittiosauro, un rettile marino vissuto tra 250 e 66 milioni di anni fa, che uno studente di dottorato dell'Università di Basilea aveva portato ai due antropologi. Il fossile aveva un problema al rostro, infatti il lungo e appuntito muso

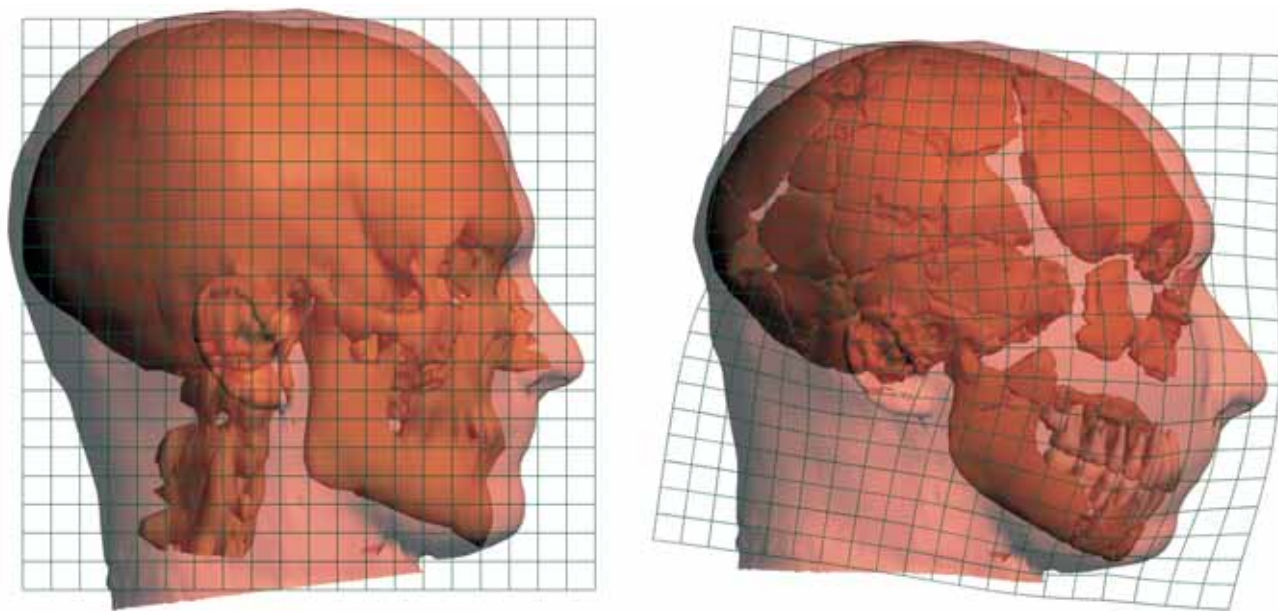
del rettile si era frantumato e si era piegato ad arco durante le vicende geologiche. Il fossile è stato scansionato ai raggi X e i dati sono stati elaborati con il FORM-iT restituendo all'ittiosauro, dopo centinaia di milioni di anni, la sua forma originale con grande soddisfazione del dottorando basilese.

Ma Zollikofer e de León non si sono accontentati di queste tecniche di ricostruzione computerizzate, perché hanno studiato come realizzare prototipi sintetici dei modelli, un processo da loro battezzato *Real Virtuality*, che consiste nel riconvertire nella realtà fisica i fossili generati al computer usando una tecnologia per la prototipazione rapida, la cosiddetta stereolitografia.

Alcuni risultati dei prototipi sono in mostra in una teca nell'ufficio dei due ricercatori. Sui ripiani protetti dal vetro fanno mostra di sé alcune teste umane e diversi primati, tutti poco più grandi di una mela e di color crema, come se fossero fatti di cera. Il modello tridimensionale viene processato dal software ed è poi rielaborato da uno stereolitografo che polimerizza in forma solida una resina fotosensibile, creando un prototipo tridimensionale dell'oggetto.

Un fossile del Ciad

Il metodo di Zollikofer e de León è stato applicato al più antico ominino mai ritrovato e i risultati sono apparsi su un recente numero di *Nature*. Il *Sabelanthropus tchadensis*, scoperto nel 2001 in Ciad da un team francese, è vissuto nel Miocene superiore tra i 6 e i 7 milioni di anni fa e il suo ruolo nell'evoluzione del genere umano è stato subito oggetto di



CORTESA ZOLLIKOFER

A sinistra la ricostruzione al computer del cranio di un Homo Sapiens e a destra quella di Homo neanderthalensis che evidenzia la diversa morfologia fra le due specie.

accese discussioni. Il fossile è stato soprannominato Toumai, che in lingua Goran significa «speranza di vita», ed è l'unica testimonianza per ora accertata delle primissime fasi dell'evoluzione della specie ominina. La controversia riguardo a Toumai – e se questo individuo faccia parte della specie umana o sia piuttosto una scimmia antropomorfa – non si è ancora conclusa. Infatti, il cranio del *Sabelanthropus* ha dimensioni e mostra caratteri tipici delle scimmie antropomorfe ma, secondo i due antropologi svizzeri, Toumai camminava in posizione eretta. E questo dato comporta qualche problema ad alcune ipotesi sull'evoluzione umana. Zollikofer ricorda che per lungo tempo si è pensato che lo sviluppo del cervello e la bipedalità fossero due caratteristiche della nostra specie che procedessero di pari passo. Ma se Toumai camminava, nel caso che fosse una scimmia antropomorfa o un remoto ascendente della nostra specie, questa sarebbe la prova che sette milioni di anni fa c'era già qualcuno della nostra grande famiglia che esplorava le possibilità date dalla bipedalità, anche se aveva il cervello delle dimensioni di una scimmia.

Ad ogni modo, Zollikofer e de León sono convinti che Toumai camminasse in posizione eretta e che il suo cranio non si può proprio confondere con quello di un gorilla o di uno scimpanzé, come altri ricercatori sostengono. «Toumai ha caratteristiche che rappresentano sia le scimmie antropomorfe che la specie umana» dice Zollikofer, «e noi abbiamo studiato questi due caratteri per capire chi fosse real-

mente questo individuo». Per verificare l'ipotesi i due antropologi hanno sottoposto il cranio del *Sabelanthropus* a una scansione tomografica presso lo Swiss Laboratory for Materials Testing. Poi con il programma FORM-iT hanno scomposto le parti del cranio fossilizzato e le hanno ripulite dalla matrice in cui il fossile era immerso. Per fare questo hanno utilizzato un processo digitale tramite il quale FORM-iT riconosce nell'immagine il diverso modello della matrice del fossile e questo consente di rimuoverla. Poi hanno ricomposto i frammenti del cranio e lo hanno riportato alla sua forma originale simulando una decompressione delle parti che erano state deformate dai processi di sedimentazione e fossilizzazione.

Fatto questo, i due antropologi hanno provato a muovere i frammenti del cranio, come una sorta di mosaico, fino a trasformarlo in quello di un ipotetico gorilla e di un ipotetico scimpanzé, rispettando la geometria tridimensionale di *landmark* caratteristici di queste scimmie antropomorfe. I *landmark* sono punti anatomici che mantengono tra loro una geometria, e infatti ogni specie ha una serie di *landmark* caratteristici. I due ricercatori hanno provato a ricomporre il cranio soddisfacendo questi parametri negli ominini, nei gorilla e negli scimpanzé. Le configurazioni simili a gorilla e scimpanzé, hanno concluso Zollikofer e de León, sono impossibili perché alcune parti anatomiche verrebbero a sovrapporsi, mentre in altre regioni si formerebbero degli spazi.

Infine, dopo aver restituito al computer la forma

più fedele possibile al cranio originale, i ricercatori hanno concentrato la loro attenzione sul foramen magnum, il canale di comunicazione tra cavità cranica e canale vertebrale.

Nell'uomo l'angolo tra i piani orbitali e il piano formato dal foramen magnum è grossomodo perpendicolare, tipico di una postura eretta e della locomozione bipede. Invece negli scimpanzé, e in altre specie con postura in prevalenza non eretta, l'angolo è di circa 60 gradi. La scatola cranica di Toumai ha il volume minore finora ritrovato in un ominino adulto (360-370 ml), mentre l'angolo formato tra i due piani è perpendicolare, simile a quello dell'*Australopithecus africanus*, un più recente rappresentante della tribù ominina. «L'importanza di Toumai non è tanto nella sua appartenenza alla nostra specie o a quella delle scimmie antropomorfe», conclude de León, «comunque sia, questo individuo secondo noi camminava, e siccome lo faceva molto prima di

quanto abbiamo supposto finora, questo ci costringe a rivedere le nostre ipotesi sull'inizio della bipedalità e sull'assioma che questa caratteristica e l'aumento del volume del cervello siano andati di pari passo».

Un fossile georgiano

Recentemente i due ricercatori hanno ricevuto dei fondi dall'Università di Zurigo per la ricostruzione digitale e l'analisi morfometrica dei primi abitanti europei, vissuti quasi 2 milioni di anni fa in Georgia. I resti fossili di *Homo erectus*, ritrovati dal gruppo di David Lordkipanidze a Dmanisi vicino ai resti di un villaggio medioevale, sono unici per il loro stato di conservazione, per il numero di individui recuperati, ad oggi almeno sei, e per il fatto che rappresentano la prima apparizione di *Homo erectus* in Europa. Questo ri-

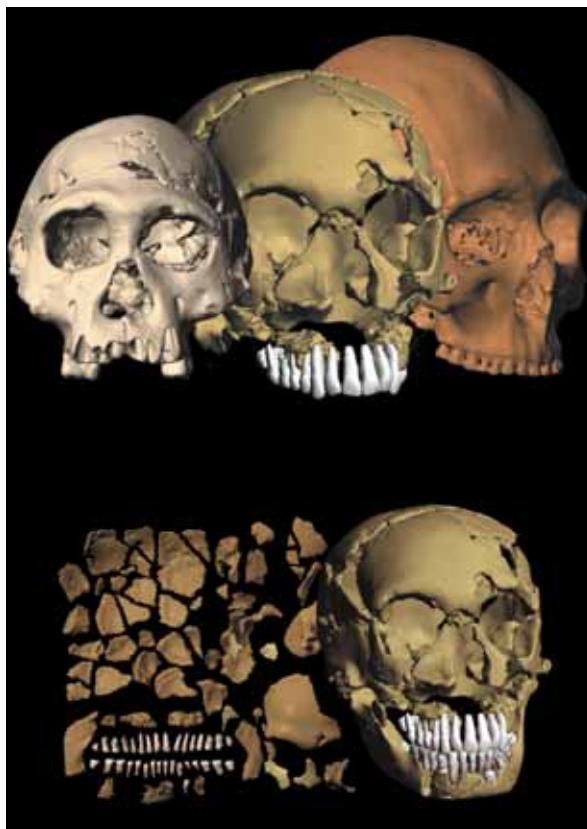
trovamento, ancora una volta, obbliga gli antropologi a ridisegnare la linea evolutiva del nostro genere e ripensare le ipotesi sui flussi di migrazione che dall'Africa si sono irradiati nei vari continenti. Forse, i quattro individui che Zolikofer mostra sullo schermo

del suo computer si conoscevano, si incontravano quotidianamente nei boschi del Caucaso. Oppure, ed è questo ciò che suggeriscono gli antropologi, questi *erectus* vissero in periodi diversi, ma pur sempre all'interno di un breve arco di tempo nella storia evolutiva della nostra specie. Ma, se come alcuni suggeriscono, questi individui non facessero parte della stessa specie?

Rispondere a queste domande è cruciale perché i fossili ritrovati in Georgia marcano la prima evidenza di una colonizzazione dell'Europa da parte di precursori del genere umano. Per ricostruire un quadro verosimile dell'evoluzione umana e della lunga marcia che il nostro genere ha compiuto sulla Terra è fondamentale,

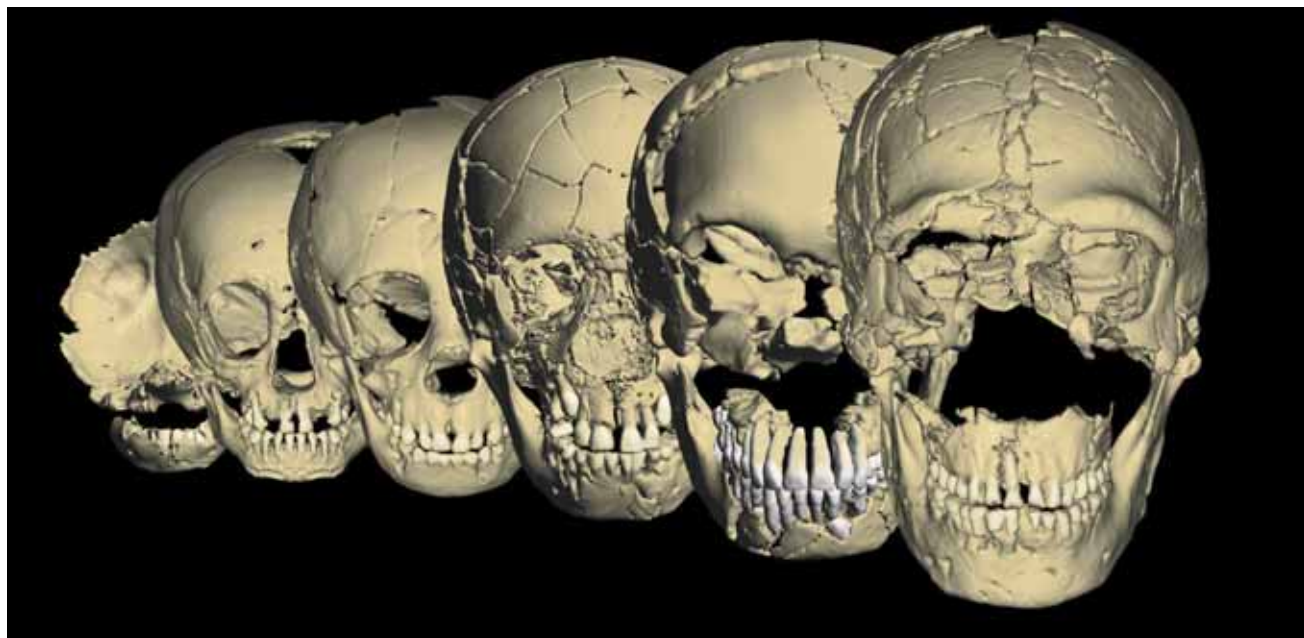
sostengono i due ricercatori, capire quali siano i rapporti tra questi individui, gli altri *erectus*, e gli *habilis*, una specie vissuta in Africa circa 2 milioni di anni fa e molto rassomigliante agli individui ritrovati a Dmanisi. Il progetto di ricostruzione virtuale dei fossili di Dmanisi non è ancora terminato e ogni anno vengono trovati altri preziosissimi reperti. Ai quattro crani ricostruiti dal team di Zurigo si uniranno altri due ritrovati da poco, e forse altri reperti che potrebbero risultare dagli scavi in atto.

Ma i due antropologi svizzeri un risultato lo hanno già raggiunto. I crani di *Homo erectus*, del *Sabellanthropus tchadensis*, e di vari neanderthaliani sono apparsi su *Science*, *Nature* e molte altre riviste. Non si tratta di modelli artistici, ma di modelli ricavati dai dati esistenti e le loro ricostruzioni parlano



In alto, la ricostruzione di tre crani: a sinistra *H. erectus* di Dmanisi, di circa 1,7 milioni di anni, al centro *H. neanderthalensis* di Le Moustier, di circa 50.000 anni, e a destra *H. sapiens* ritrovato in Patagonia nel secolo scorso. In basso la ricostruzione del fossile di Le Moustier a partire dai frammenti raffigurati a sinistra.

CORTESIA ZOLIKOFER



CORTESA ZOLLIKOER

Ricostruzione al computer di una serie di crani di Neanderthal, da sinistra a destra immediatamente poco dopo la nascita, a 2 anni, 4, 8 e 16, e infine nell'età adulta. Nella pagina a destra ricostruzione virtuale del cranio di Neanderthal di St. Césaire.

chiaro, a chiunque. Descrivere le caratteristiche distintive di questi resti fossili è una pratica comune in antropologia.

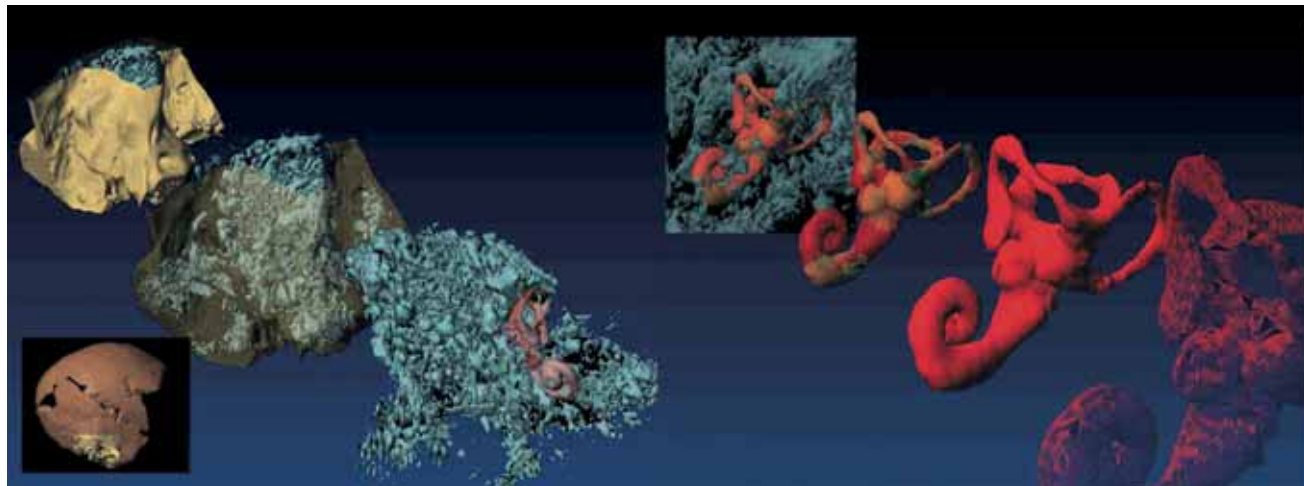
È difficile, però, riuscire a illustrare il punto a chi non è specialista di questo argomento ma può essere interessato alla questione per altre ragioni, per esempio ai geologi che lavorano nel team in Georgia e che cercano resti fossili di fauna negli stessi strati in cui sono stati rinvenuti gli *erectus*. Zollikofer e de León dicono che mostrando le loro immagini e le loro analisi a ricercatori di discipline affini, questi ultimi dispongono di un quadro di rife-

rito più chiaro e preciso che li aiuta nelle loro ricerche.

Il cranio di Neanderthal

Uno degli oggetti di studio del team di antropologi zurighese, e quello che ha dato l'avvio alla loro carriera di esperti in *Computer-assisted paleoanthropology*, è l'uomo di Neanderthal. L'uomo di Neanderthal è stato per decenni oggetto di un vigoroso dibattito scientifico che riguardava la sua appartenenza alla nostra specie piuttosto che a una specie distinta. Oggi, indagini molecolari sembrano aver chiuso il dibattito e

Sequenza della ricostruzione virtuale delle parti interne dell'orecchio di Le Moustier 1.



CORTESA ZOLLIKOER



CORTESIA ZOLLIKOEFER

assegnato l'uomo di Neanderthal a una specie indipendente dalla nostra. Tra il 1995 e oggi Zollikofer e de León hanno pubblicato decine di lavori sull'*Homo neanderthalensis*.

Uno dei primi e forse più noti lavori è stato pubblicato da *Nature* nel 1995 e mostrava la ricostruzione al computer di un cranio appartenuto a un giovane Neanderthal trovato a Gibilterra e di cui abbiamo già parlato. Secondo le prime relazioni, i cinque frammenti del cranio sembravano appartenere a due individui diversi a causa della loro forma. Infatti, parti del cranio ricordavano quello di un individuo di circa 3 anni, ma l'eruzione dei denti, misurata secondo parametri ricavati dallo sviluppo dell'uomo moderno, e lo sviluppo della regione auricolare, facevano pensare che queste parti appartenessero a un individuo di età più avanzata. Zollikofer e de León hanno riportato alla forma originale i frammenti distorti del *neanderthalensis* e ricostruito nella maniera più accurata possibile sia il cranio che la mandibola, completando alcune parti ossee mancanti con immagini speculari in modo da ottenere un quadro completo.

Il risultato della loro analisi ha mostrato con chiarezza che mandibola e cranio appartenevano allo stesso giovane neanderthaliano. La ricostruzione ha portato i due ricercatori svizzeri a concludere che i *neanderthalensis* avevano uno sviluppo vistosamente più rapido della dentizione rispetto all'*Homo sapiens*, e questo non era che l'ennesima conferma che la nostra e quella neanderthaliana sono due specie distinte.

In ogni caso Zollikofer e de León non si sono fermati qui, perché questa ricerca apriva un interessante

campo di indagine sui processi di sviluppo all'interno di una sola specie. Infatti i *neanderthalensis*, a differenza di specie rare come l'*erectus*, consentono di affrontare studi di popolazione grazie alle centinaia di esemplari ritrovati fino a oggi. Anche se ormai è comunemente accettato che la linea evolutiva nostra e dei neanderthaliani è separata da almeno 500.000 anni, non è chiaro in che fase dello sviluppo individuale, dallo stato embrionale a quello dell'individuo adulto, i caratteri si separino. I due ricercatori di Zurigo hanno applicato il loro metodo su modelli tridimensionali di crani e di mandibole di *sapiens* e *neanderthalensis* di ogni età, da Amud 7, un neanderthaliano di poco più di sei mesi, fino a individui adulti. Zollikofer e de León hanno confrontato la posizione nello spazio tridimensionale dei vari *landmark*, potendo così compiere le analisi di variabilità e visualizzare i cambiamenti della forma dei crani delle due specie confrontandoli per classi di età. Il loro lavoro mostra che le differenze anatomiche tra noi e questo primevo gruppo di *Homo* emergono molto presto nello sviluppo dell'individuo, perché le caratteristiche specifiche delle due specie sono già distinte nelle prime fasi della dentizione. Anzi, suggeriscono che ogni carattere distintivo è presente nell'embrione e si mantiene negli individui in età adulta, invece di emergere lentamente durante lo sviluppo dell'individuo in fase post-natale. In breve, noi e i neanderthaliani siamo molto diversi e il loro sviluppo era più rapido del nostro.

Normalmente in antropologia si vede una minuscola finestra della storia, come un fotogramma di un film lungo milioni di anni ma, dice Marcia de León, i processi non sono qualcosa di statico. Lo sviluppo dell'individuo e l'evoluzione sono dinamici e con questi moderni strumenti di analisi gli antropologi possono investigare i processi evolutivi come prima non era possibile. Una chiave in più per studiare il lungo cammino della nostra specie.

Bibliografia

- Zollikofer C.P.E., *et al.*, (1995) Neanderthal computer skulls, *Nature*, 375, 283-285.
- Ponce de León M.S., Zollikofer C.P.E. (1999). New evidence from le Moustier 1: computer-assisted reconstruction and morphology of the skull. *Anat. Rec.*, 254, 474-489.
- Ponce de León M.S., Zollikofer C.P.E. (2001). Neanderthal cranial ontogeny and its implication for late hominid diversity. *Nature*, 412, 534-538.
- Zollikofer C.P.E., *et al.*, (2002). Evidence for interpersonal violence in the St. Césaire Neanderthal, *PNAS*, 99, 6444-6448.
- Vekua A., *et al.*, (2002). A new skull of early *Homo* from Dmanisi, Georgia. *Science*, 297, 85-89.
- Brunet M., *et al.*, (2002). A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature*, 418, 145-151.
- Zollikofer C.P.E., *et al.*, (2005). Virtual cranial reconstruction of *Sabelantropus tchadensis*. *Nature*, 434, 755-759.