



Università
degli Studi
di Ferrara



Metodologie di Studio in Paleoantropologia

La linea evolutiva umana

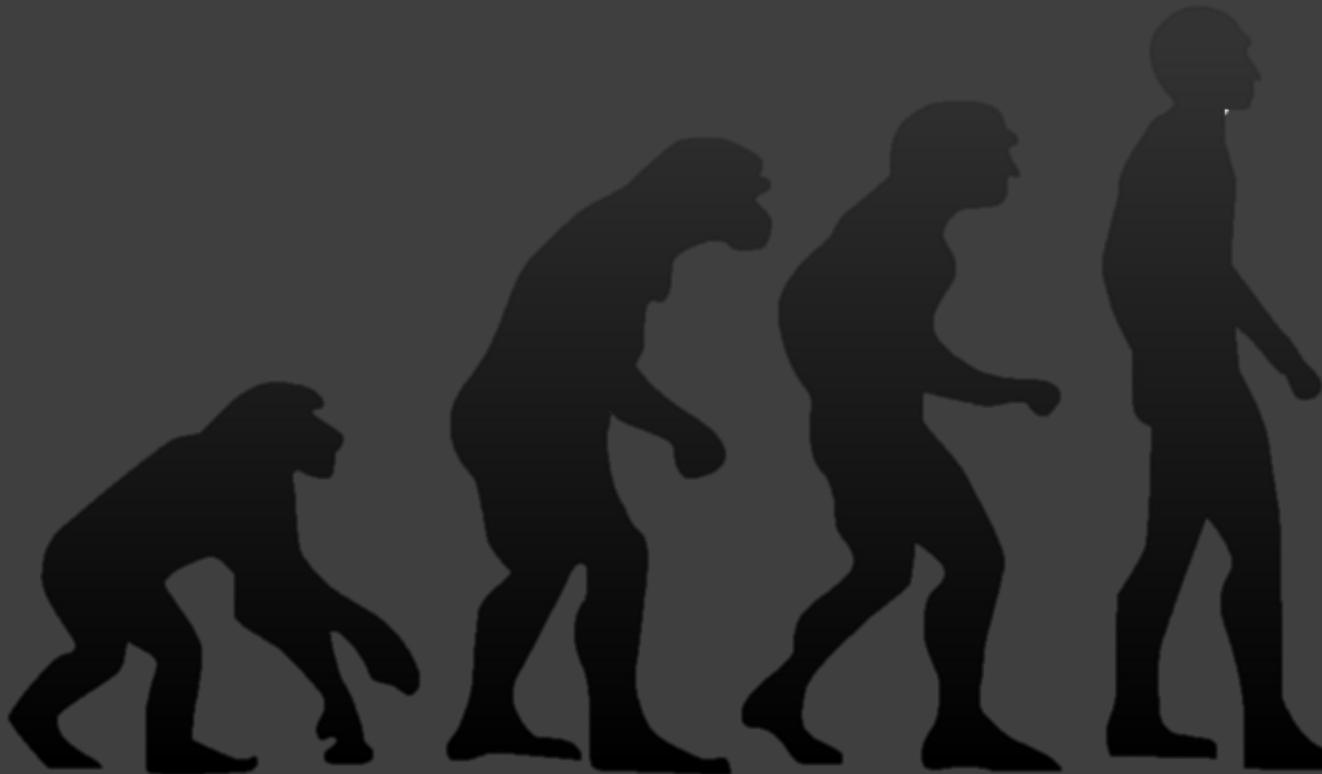
Julie Arnaud

julie.arnaud@unife.it

Paleoantropologia / Paleontologia umana

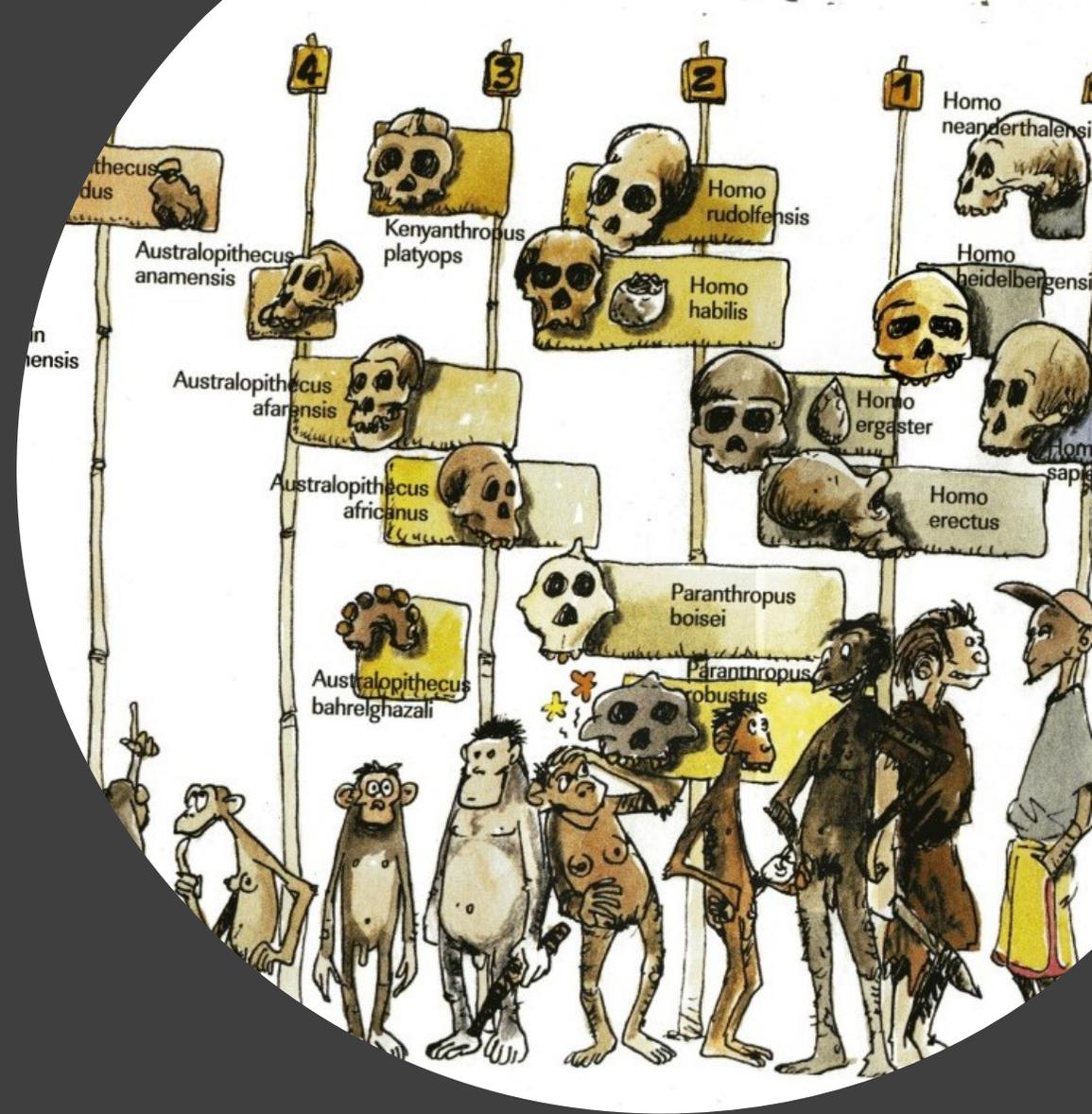
Paleoantropologia o Paleontologia umana è una disciplina dell'antropologia nata dallo studio dei resti fossili dell'uomo e dei tipi umani ormai estinti (*wikipedia*)

Paleoanthropology is the branch of physical anthropology (often called biological anthropology) that focuses on the study of human evolution, tracing the anatomic, behavioral and genetic linkages of pre-humans from millions of years ago up to modern times (wikipedia)



Definizione

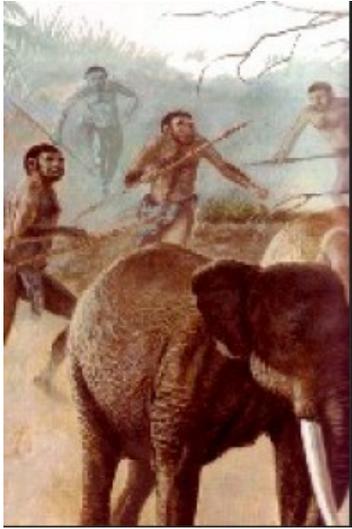
- « La paleoantropologia è la disciplina dell'antropologia che si impegna a scoprire e analizzare i resti fossili e archeologici documentando i ultimi 10 a 15 milioni d'anni [...]. »
- « [...] l'antropologia è lo studio dei essere umani in una prospettiva biologica, sociale, culturale e preistorica. »
(Mann, 2005)
- « *Paleoanthropology is the branch of anthropology that focuses on research and analysis of fossil and archaeological remains of the last 10 – 15 millions of years [...].* »
- « [...] anthropology is the study of human beings from the biological, social, cultural and prehistoric perspectives. » (Mann, 2005)



Nozioni e concetti generali

Tafonomia

La **tafonomia** è la disciplina della paleontologia che studia i processi che intervengono dopo la morte di un organismo fino alla fossilizzazione.



Biocenosi



Tanatocenosi: resti organici



Fossili



Collezione



Predazioni, Accidenti,
Malattie, invecchiamento



Carrognaggio, trasporti (acqua),
calpestamento, seppellimento,
dissoluzione, mineralizzazione



Erosione, collezione-
scavo, preparazione,
restauro

Quello che rimane...



Venosa 1: vista anteriore, laterale, posteriore, mesiale (mod. da Belli et al. 1991).

Venosa 1 (Notarchirico, ~500ka):
Diafisi di femore

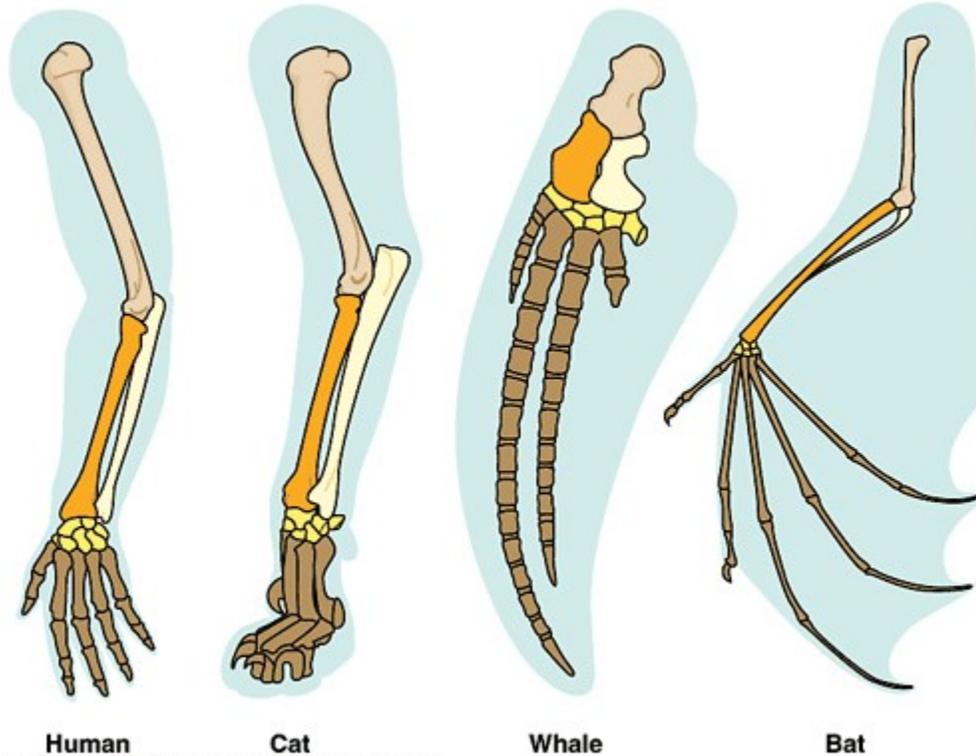
Le ossa lunghe sono facilmente frammentabili, questi frammenti sono difficile da determinare e portano poche informazione morfologiche diagnostiche (tassonomia, filogenia..)

Le parte epifisale che danno delle informazione morfologiche e funzionale sono molto fragile e raramente preservate.

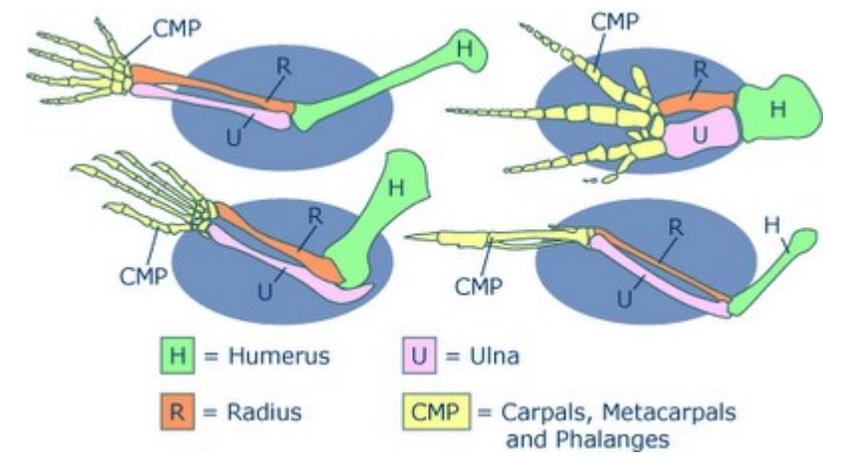
Fortunatamente, una parte delle ossa del cranio e i denti sono più robuste e più spesso preservati e riconosciuti sullo scavo.

Omologia vs analogia

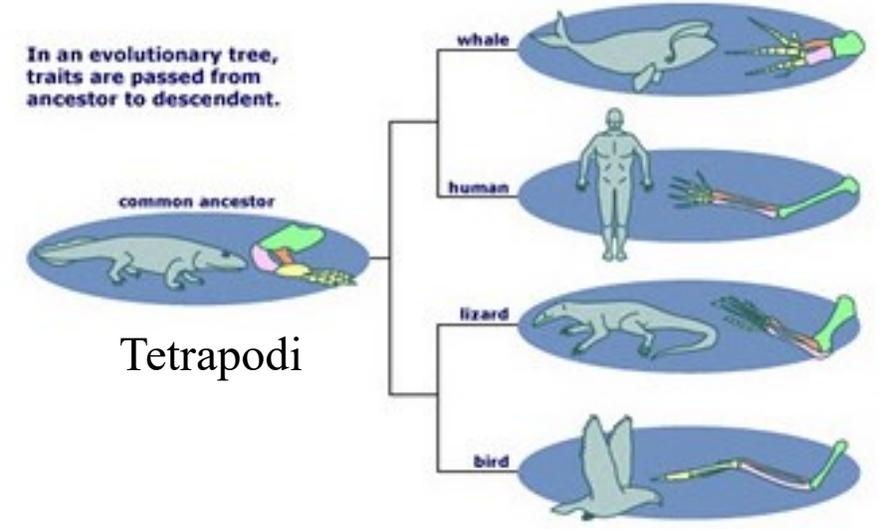
Omologia = similitudine ereditata da un antenato comune



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



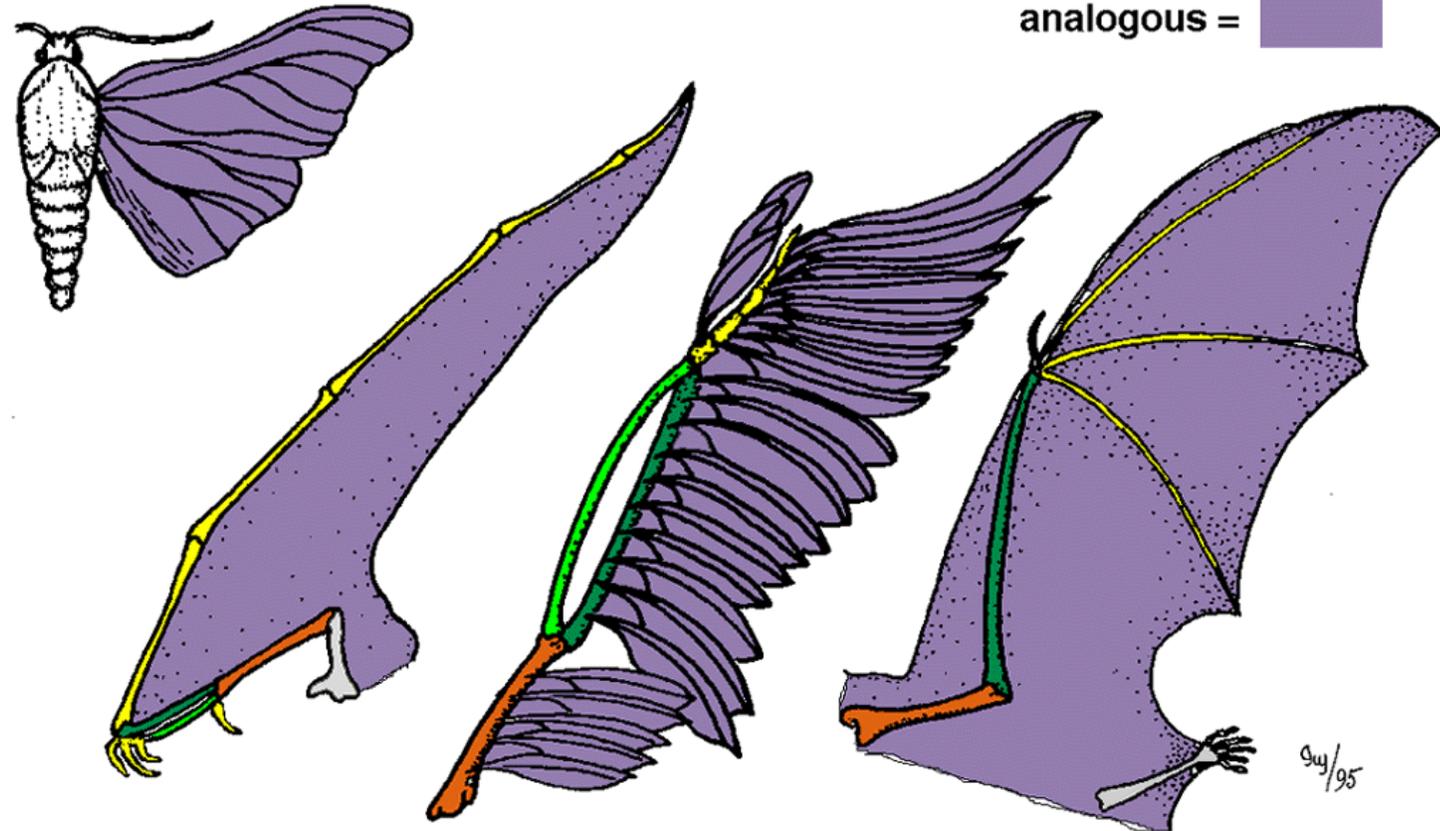
In an evolutionary tree, traits are passed from ancestor to descendent.



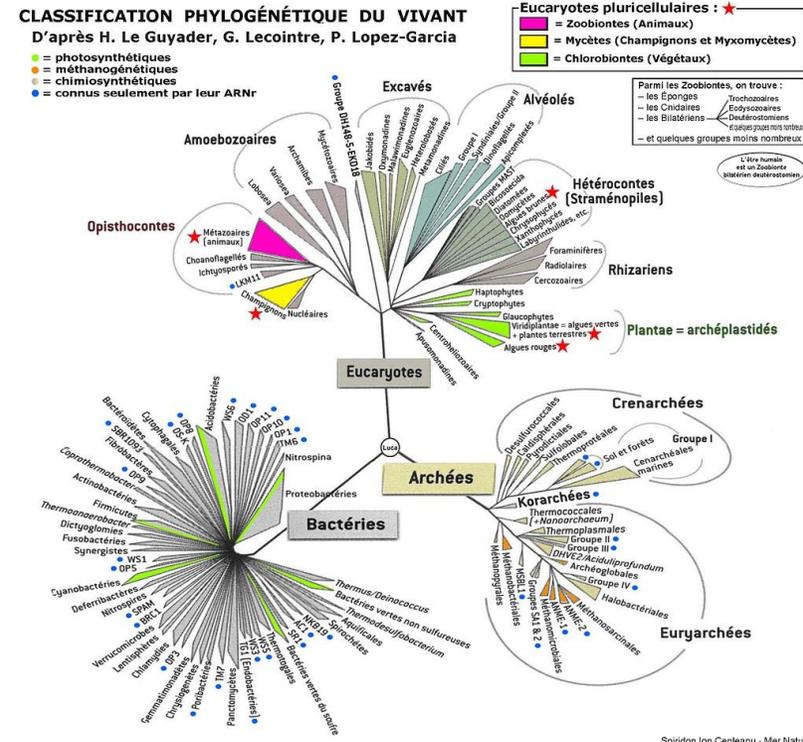
Omologia vs analogia

Analogia = similitudine dovuta ad una convergenza evolutiva

Ali dei insetti, Pterodattili, uccelli, pipistrelli



Filogenesi



Ricostruzione delle relazioni di parentale evolutiva:

- Tra gli individui (genealogia)
- tra le popolazioni (in una stessa specie, intraspecifico)
- tra specie (interspecifico)

Dendrogramma

La reconstruction phylogénétique

Concepts et méthodes [Nouvelle édition revue et augmentée]



Pierre Darlu & Pascal Tassy
Cyrille d'Haese & René Zaragüeta i Bagils

Fenetica (fenogramma)

La lunghezza dei rami rappresenta la distanza genetica tra i taxa

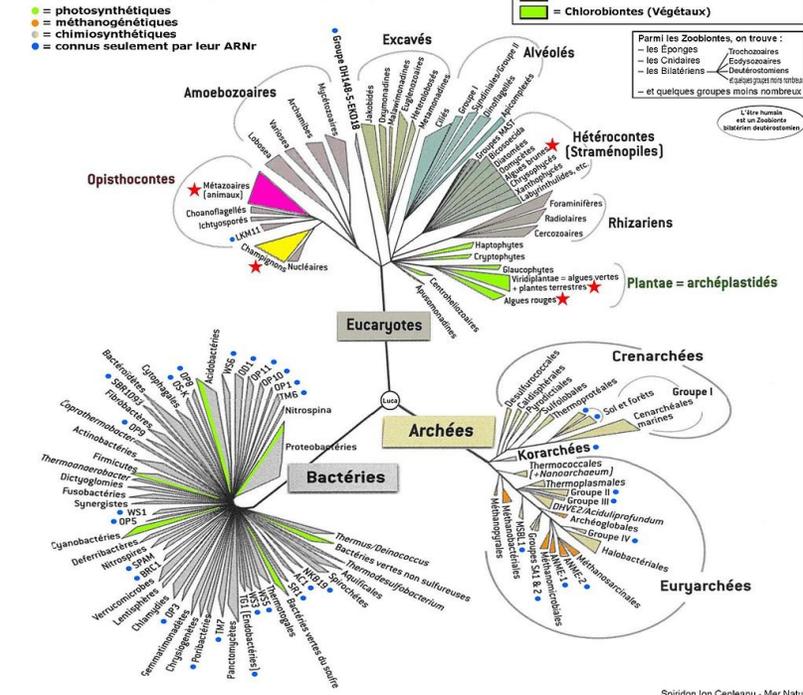
Cladistica (cladogramma)

compare sui rami gli eventi evolutivi (stato derivato di caratteri omologi).
Ogni nodo corrisponde ad una sinapomorfia

Phylogenesis

CLASSIFICATION PHYLOGÉNÉTIQUE DU VIVANT

D'après H. Le Guyader, G. Lecointre, P. Lopez-Garcia



Reconstruction of evolutionary parental relationships :

- Between individuals (genealogy)
- Between population (in one species, intraspecific)
- Between species (interspecific)

Dendrogramme

Phenetic (phenogramme)

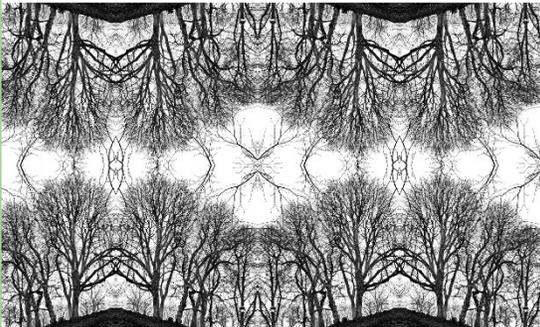
The lengths of the branch represent the genetic distance between taxa

Cladistic (cladogramme)

Events appeared on the branch (derived state of the homologous features). Each knot corresponds to a sinapomorphy

La reconstruction phylogénétique

Concepts et méthodes [Nouvelle édition revue et augmentée]



Pierre Darlu & Pascal Tassy
 Cyrille d'Haese & René Zaragüeta i Bagils

Filogenesi – Gli oggetti

Caratteri morfologici



forma nel senso largo

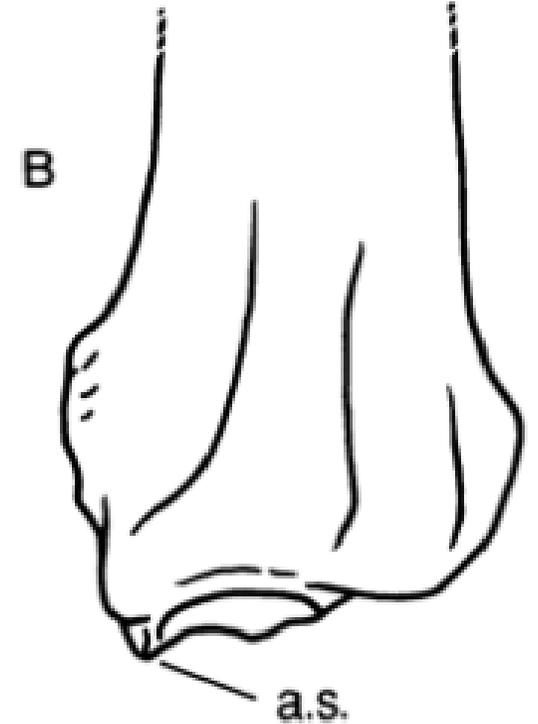


caratteri fenotipici

Carnivoro (*Panthera leo*)



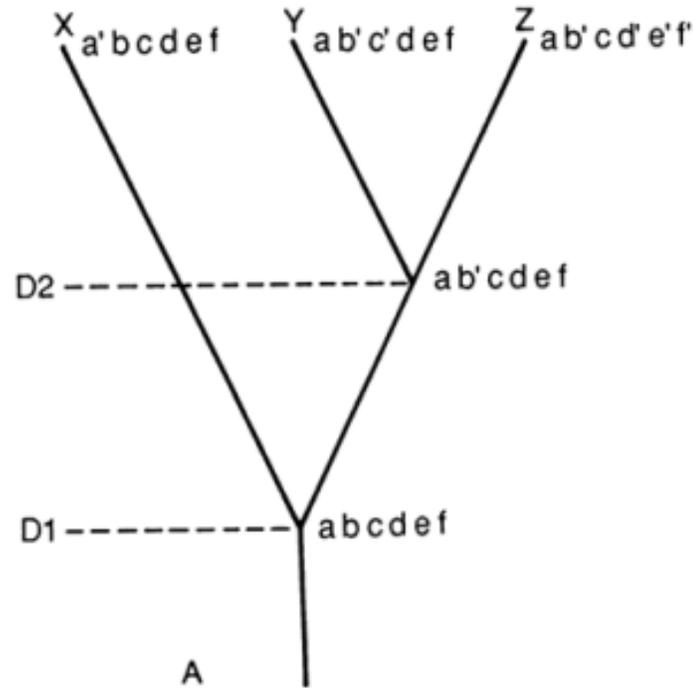
ungulato (*Oryx dammah*)



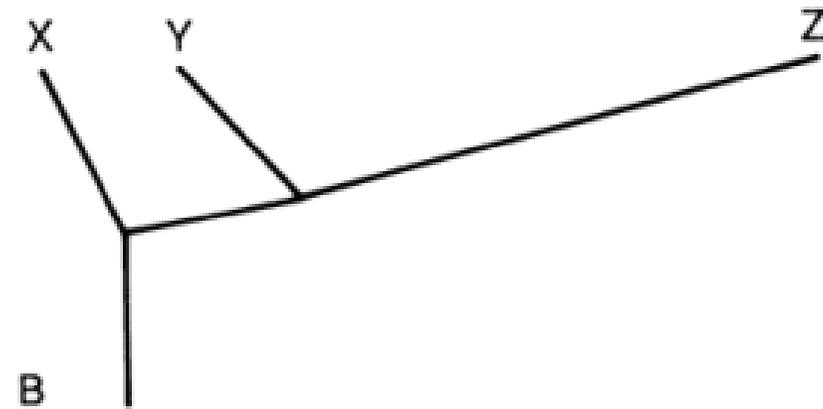
Caratteri e stato di caratteri
L'apofisi stiloide si presenta sotto due stati:
massiccia (A) o gracile (B)

Cladistica

Relazioni filogenetiche tra 3 taxa terminali X, Y e Z a partire dell'analisi di 6 caratteri



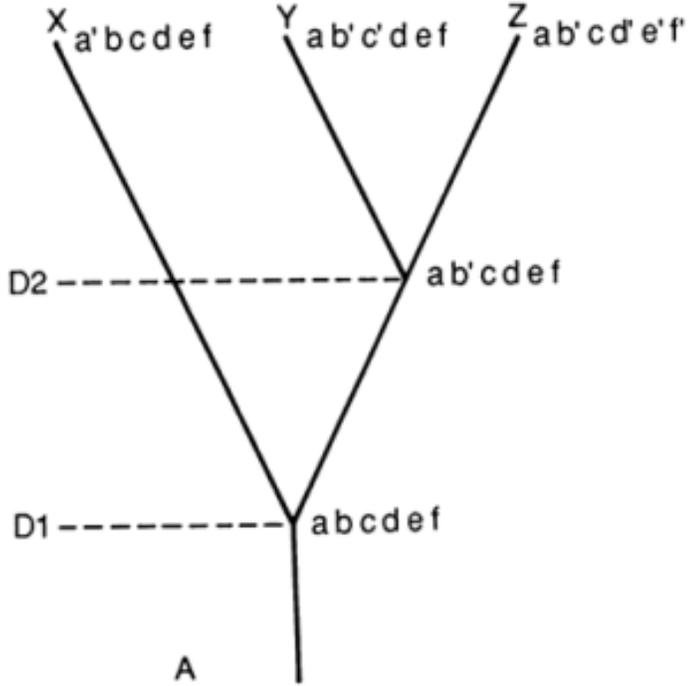
Trasformazioni dei caratteri: $a \rightarrow a'$
D1 = data di origine del taxa (Y, Z)
D2 = data di differenziazione del taxa (Y, Z)



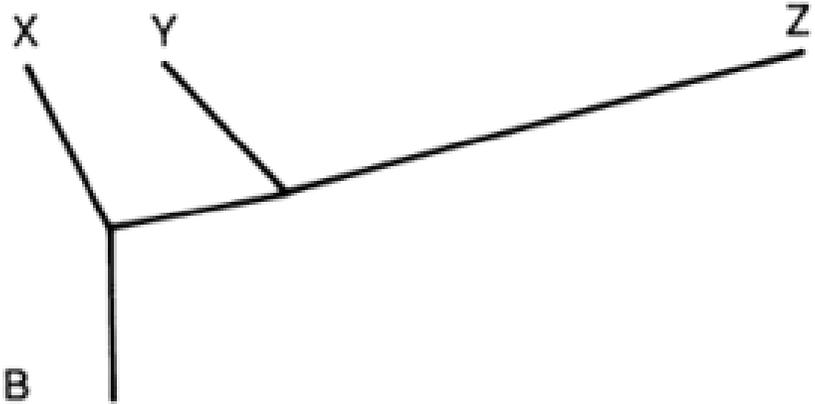
Stesso schema dove le lunghezze dei rami corrispondono al grado di divergenza morfologica

Cladistic

Phylogenetic relationship between 3 terminal taxa X, Y, Z from the analysis of 6 features



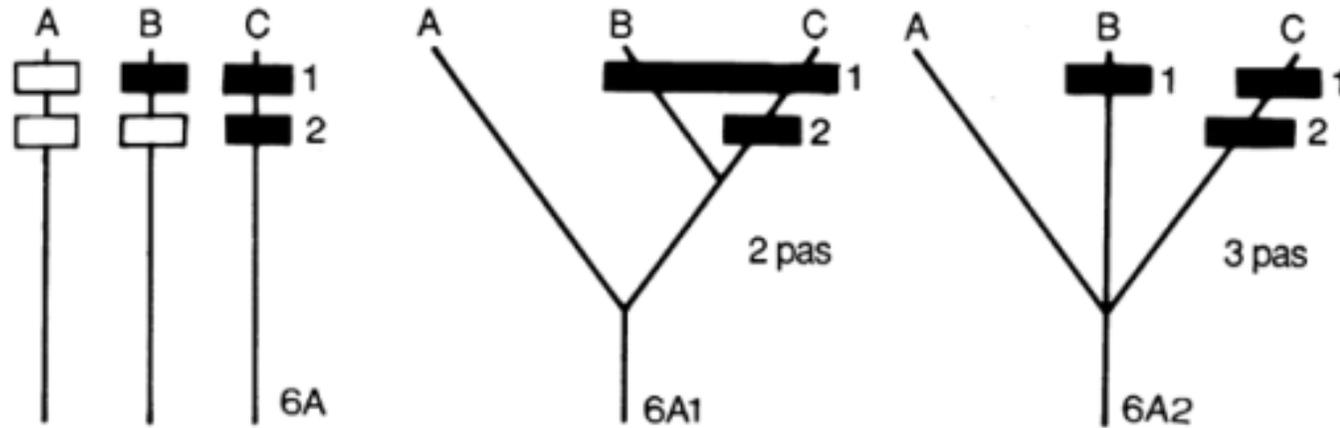
Transformation of feature: a → a'
 D1 = origin date of the taxa (Y, Z)
 D2 = date of the differentiation of the taxa (Y, Z)



Same schema where the length of the branch corresponds to the grade of morphological divergence

Il principio di parsimonia

Fa parte dei metodi ipotetico deduttivo basata sull'osservazione dello stato dei caratteri



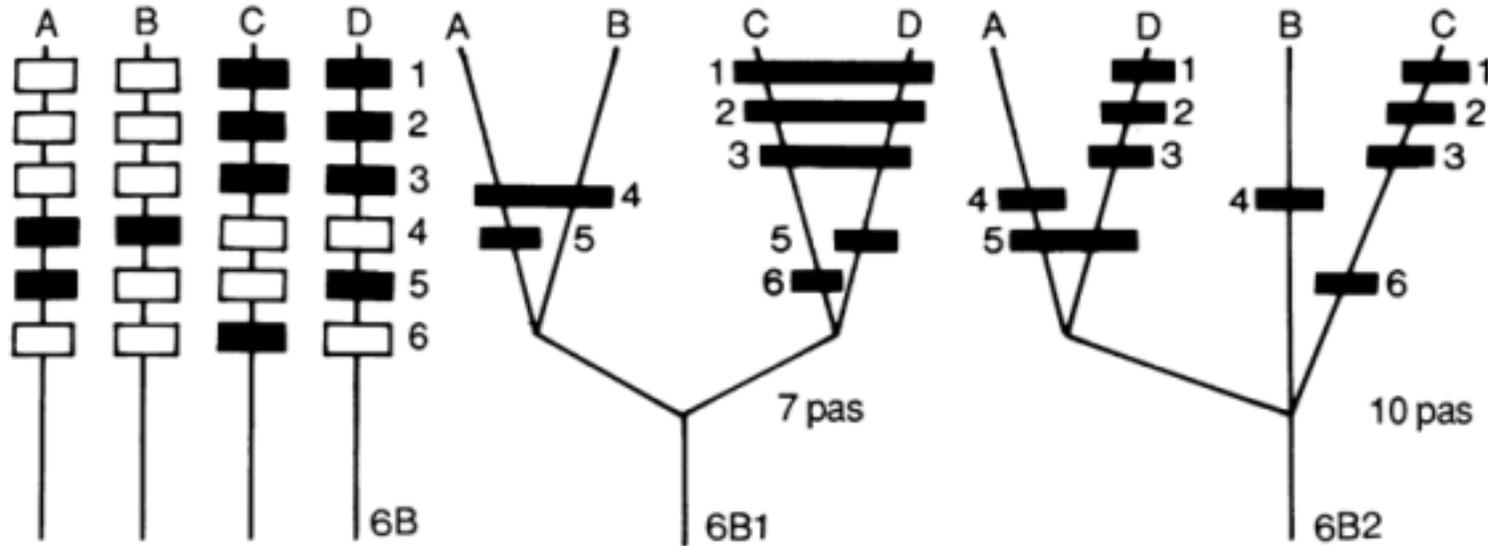
Relazioni di parentela tra 3 taxa

1-2 = caratteri ■ stato apomorfo

□ stato plesiomorfo

Il principio di parsimonia

Fa parte dei metodi ipotetico deduttivo basata sull'osservazione dello stato dei caratteri



Relazioni di parentela tra 4 taxa

1-6 = caratteri ■ stato apomorfo

□ stato plesiomorfo

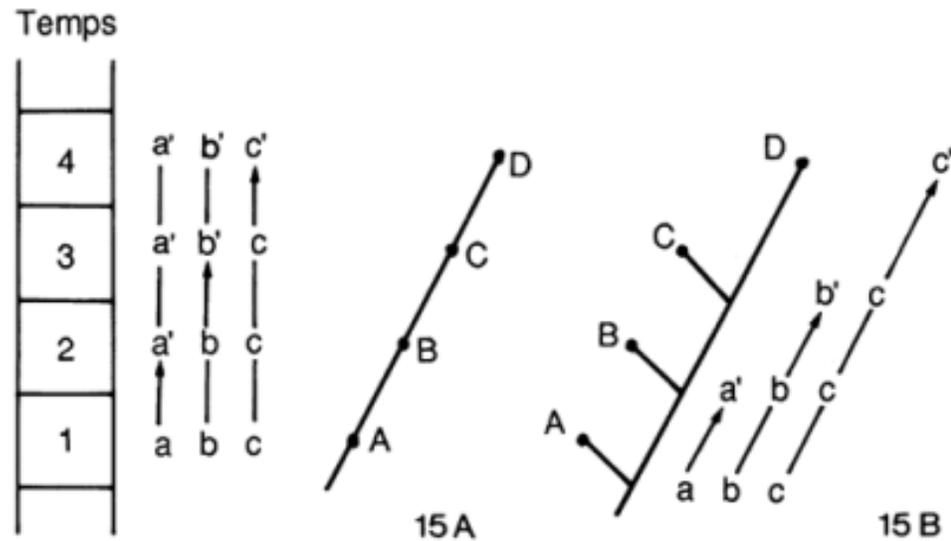
Il principio di parsimonia

criteri paleontologico e corologico

Criterio paleontologico o criterio della precedenza geologica (Hennig, 1996; Mayr; 1986):

Se, in un gruppo monofiletico, uno stato di carattere è presente nei fossili antichi e l'altro stato è presente nei fossili più recenti, il primo è lo stato **plesiomorfo** e il secondo lo stato **apomorfo**.

Questo criterio è detto ausiliare perché un carattere antico non è sempre primitivo (esempio il mammoth e la blatta fanno parte dello stesso gruppo monofiletico: Metazoa. Secondo questo criterio la blatta dovrebbe essere più evoluta del mammoth)



linea filetica

cladogramma

1-4: era geologica

A,B,C,D: specie

a→a' : serie di trasformazioni dei caratteri

linea filetica: sistema chiuso, la totalità delle informazioni a disposizione

cladogramma: sistema aperto, delle popolazioni non ancora scoperte possono essere integrate senza alterare le trasformazioni

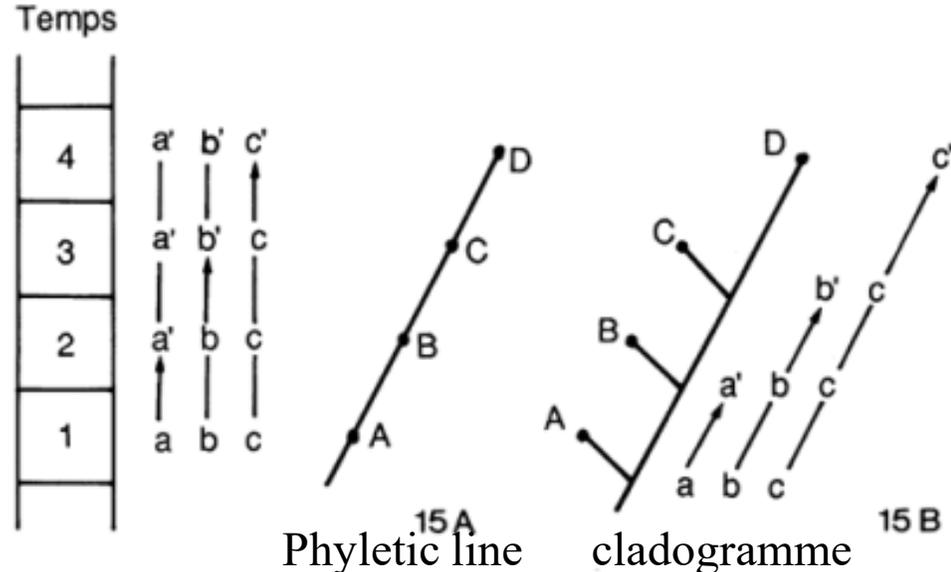
The parcimony principle

Chorologic and paleontologic criteria

Palaeontologic criterion or the geological precedence criterion (Hennig, 1996; Mayr; 1986):

If, in a monophyletic group, a state of feature is present in ancient fossil and another state is present in more recent fossil, the first is the **plesiomorphic** state and the second the **apomorphic** state.

This criterion is auxiliary because one ancient feature is not always primitive (for example the mammoth and the cockroach are part of the same monophyletic group: Metazoa. Following this criterion the cockroach should be more evolved that the Mammoth).



1-4: geological era

A,B,C,D: species

a→a' : series of features transformations

Phyletic line: close system, all the available information.

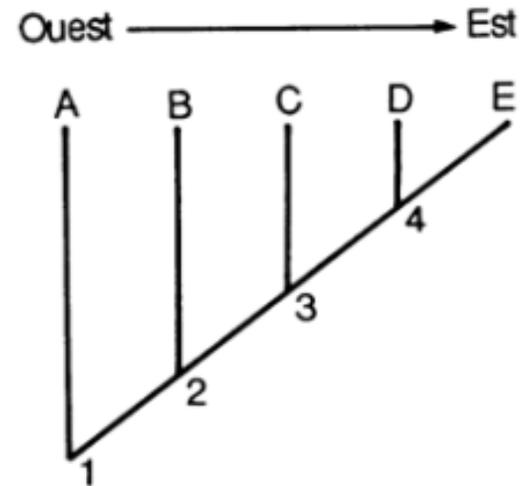
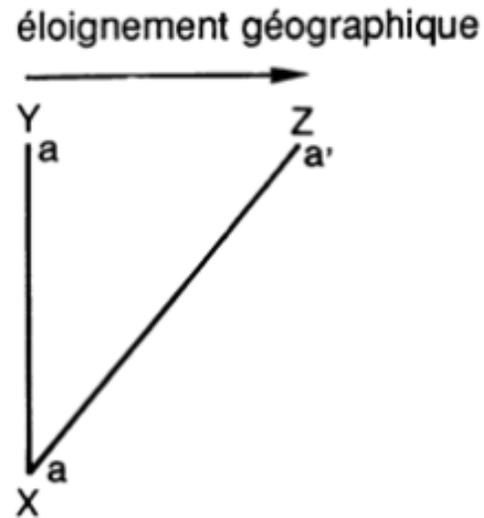
Cladogramme: open system, population not yet discovered can be integrate without altering the transformations.

Il principio di parsimonia

criteri paleontologico e corologico

La corologia è la distribuzione geografica dei esseri viventi.

Si ammette che quando una specie X si suddivide in due specie Y e Z, lo stato trasformato a' compare nella specie Z che si è allontanata di più geograficamente della specie iniziale.

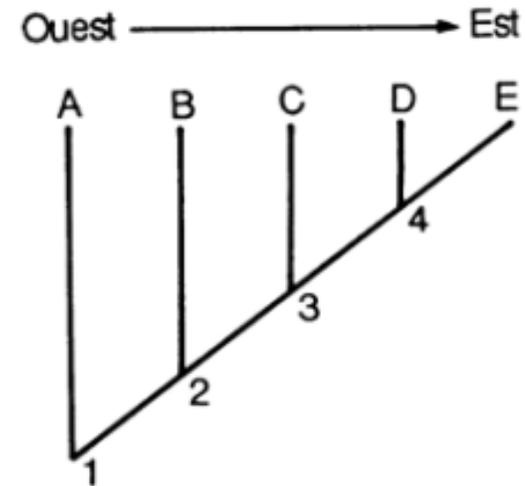
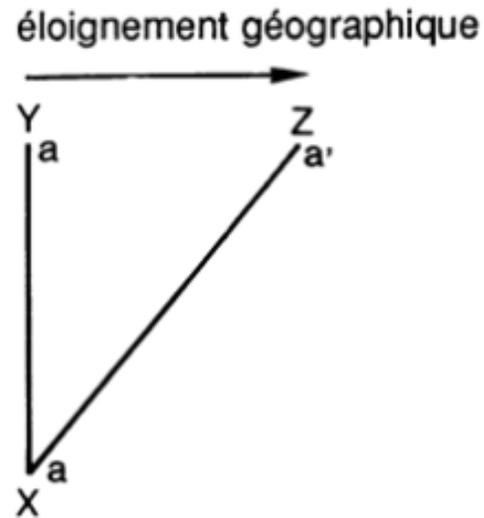


The parcimony principle

Chorologic and paleontologic criteria

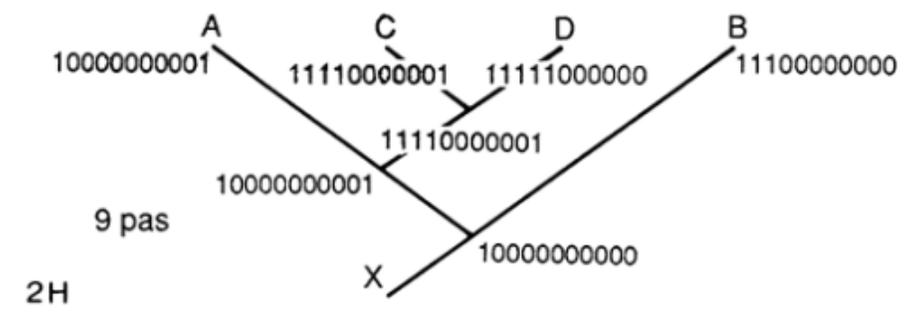
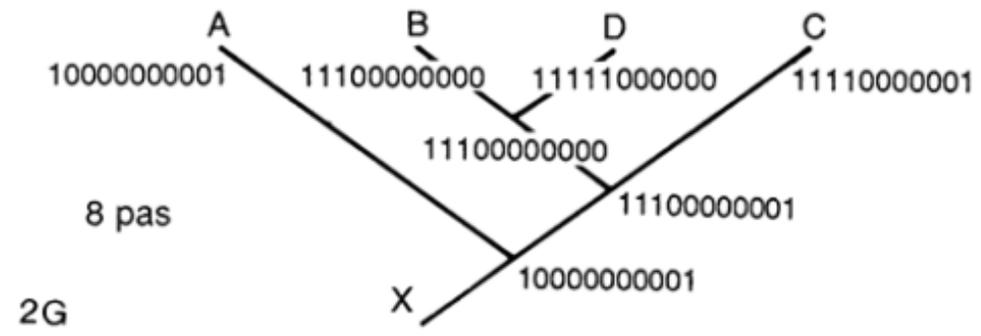
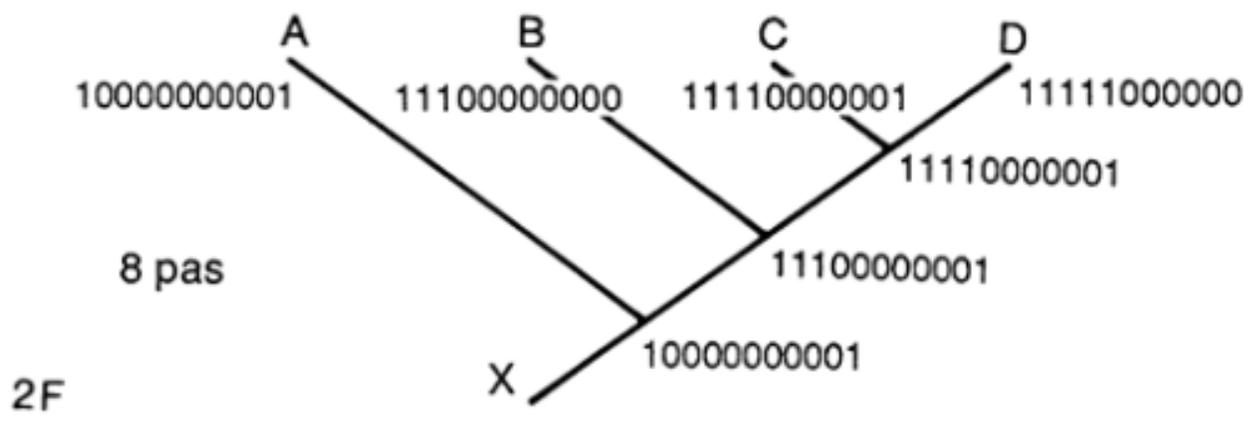
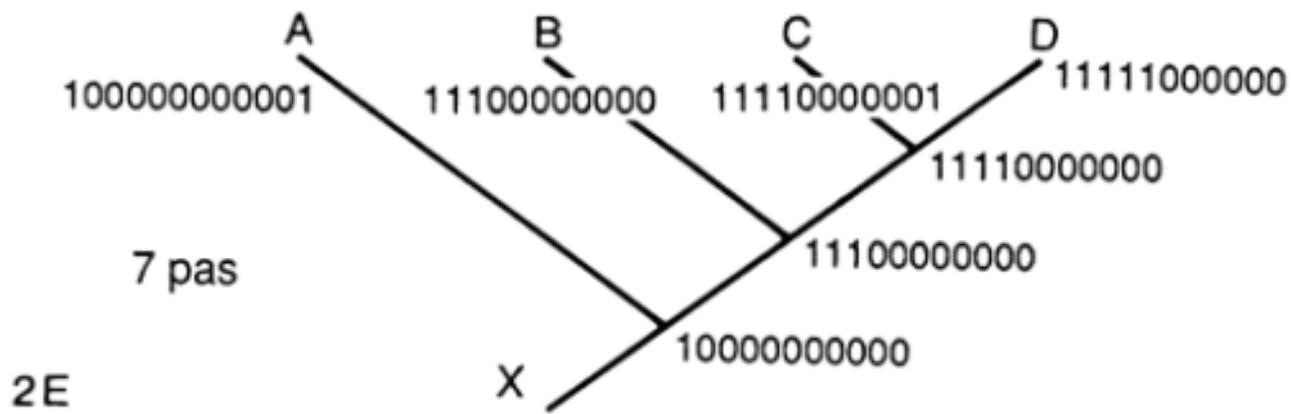
The chorology is the geographical distribution of living being.

We supposed that when a specie X is subdivided in two species Y and Z, the trasformed state a' appeared in the species Z which moved away fare from the initial specie.



Il principio di parsimonia alla ricerca dell'albero il più corto

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
B	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
D	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
E	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
F	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
G	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
H	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Eterocronia

Orologio di Gould

Cambiamenti dei tempi di sviluppo in una linea evolutiva monofiletica rispetto all'ultimo antenato comune

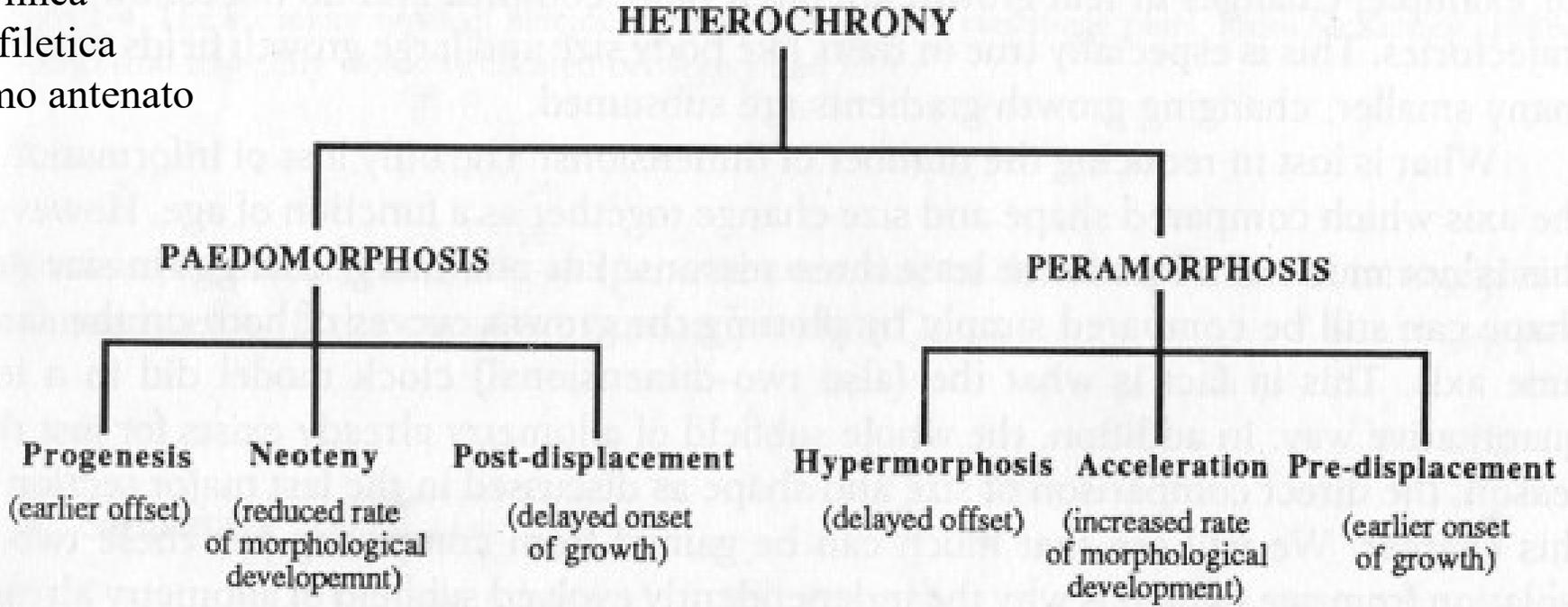
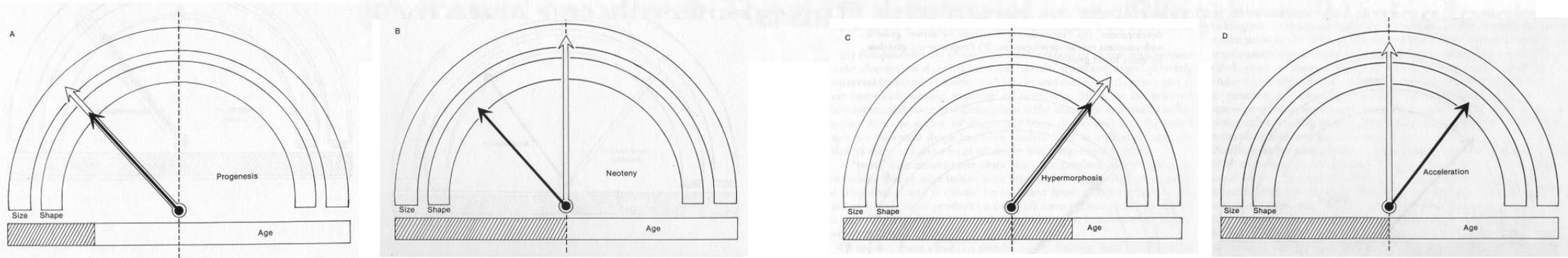


Figure 2-3. The hierarchical classification of heterochrony. Modified from McNamara (1986a).



Heterochrony

Gould clocks

Changes of development time in an evolutionary monophyletic line in relation to the last common ancestor

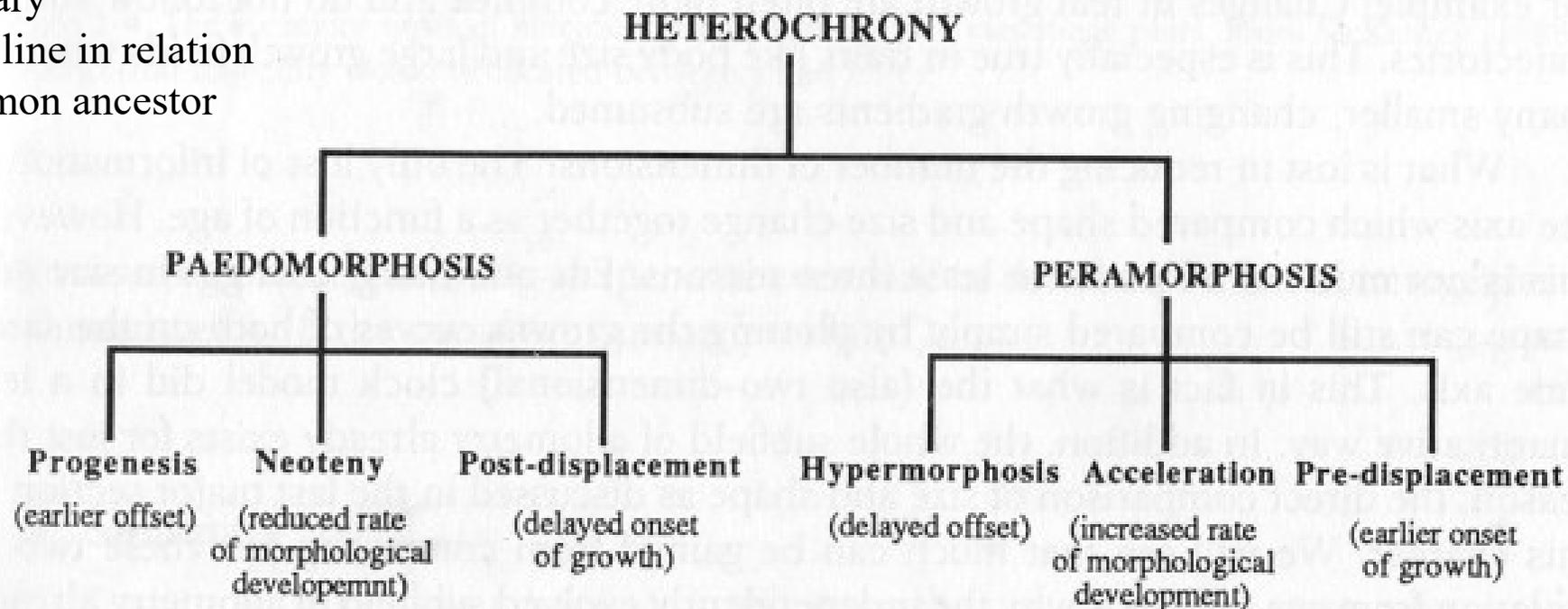
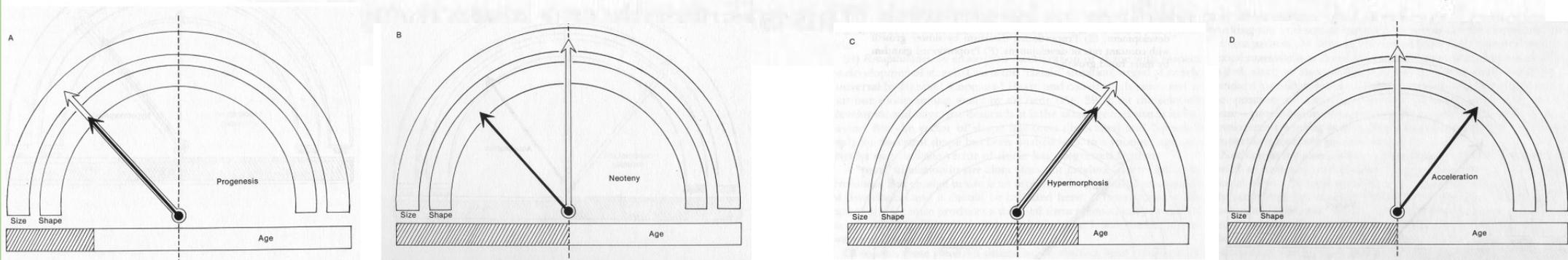
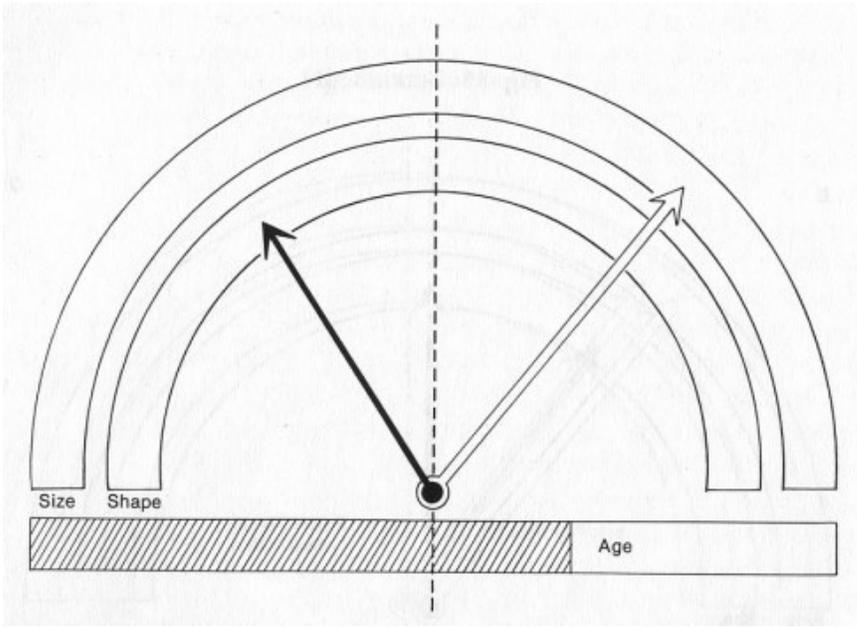


Figure 2-3. The hierarchical classification of heterochrony. Modified from McNamara (1986a).



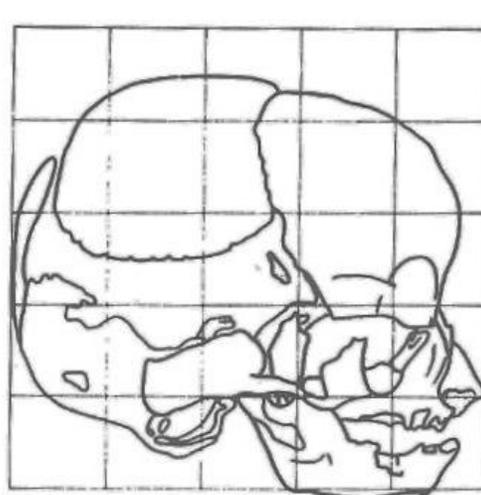
Eterocronia

Orologio di Gould

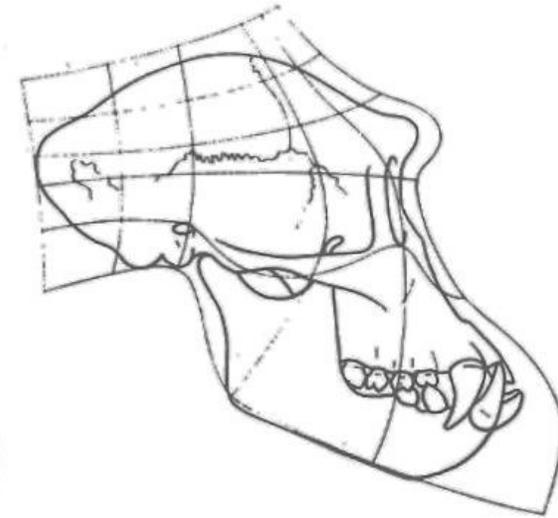
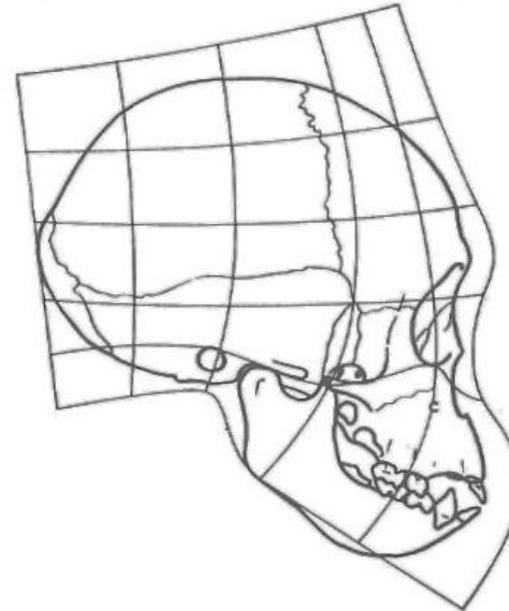


Neotenia: persistenza di caratteristiche morfologiche e fisiologiche delle forme giovanile in un individuo adulto.

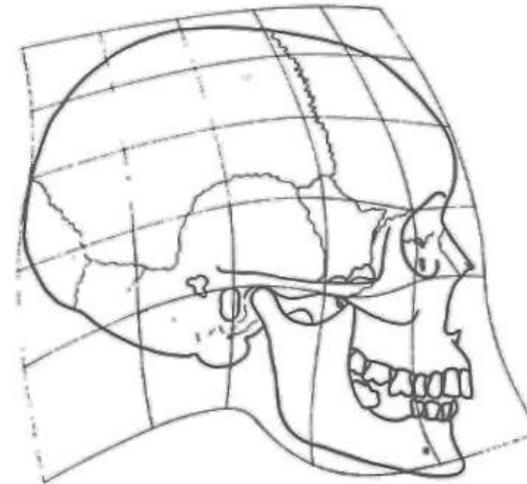
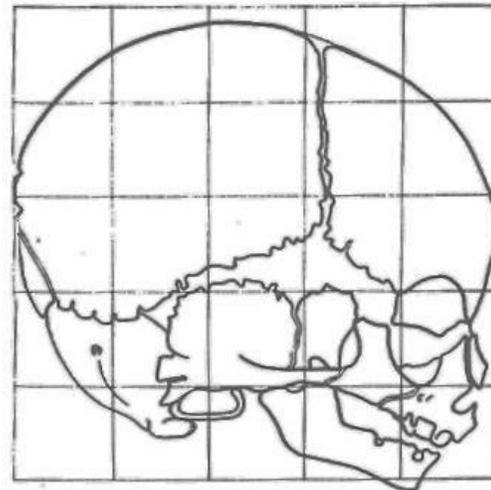
Invecchiamento ritardato, aumento della taglia e la forma rimane nel *range* delle forme giovanile dei antenati.



Pan

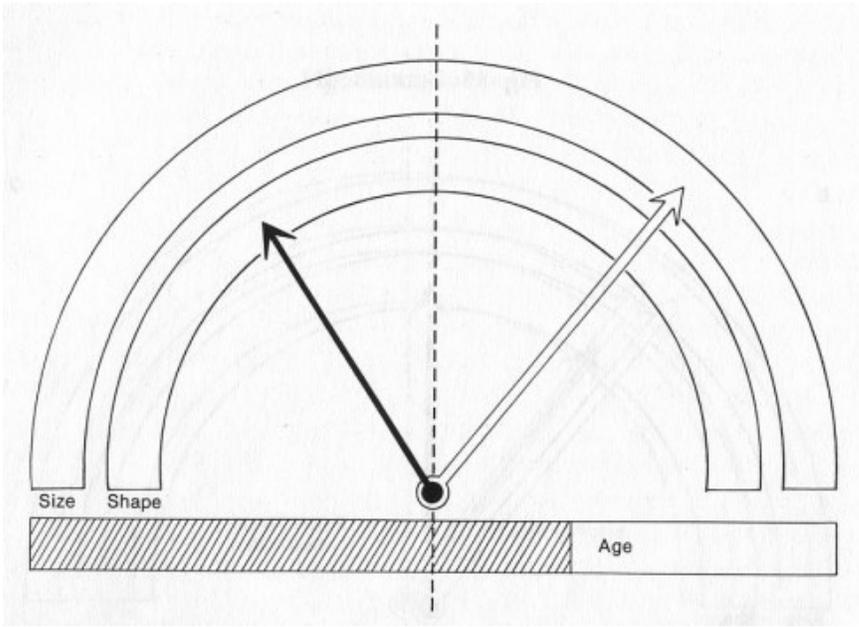


Homo

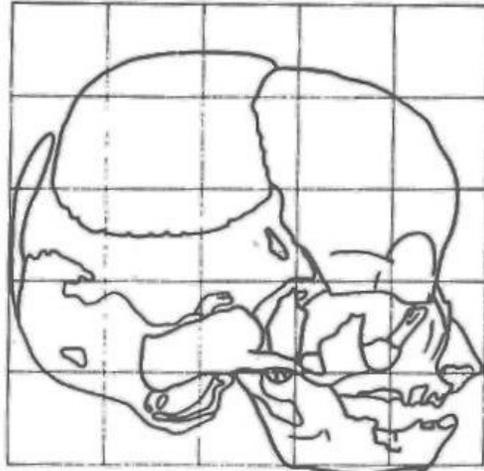


Heterochrony

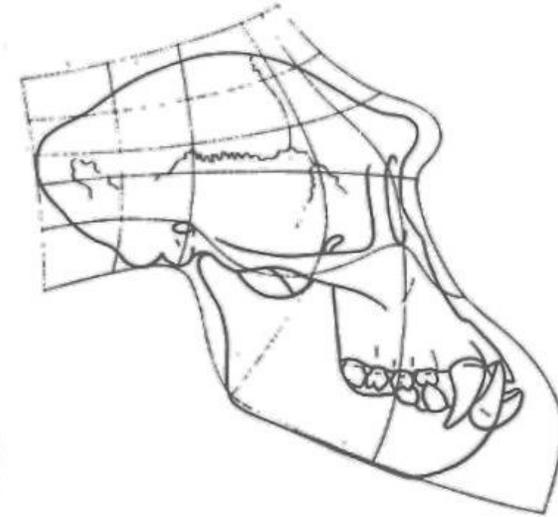
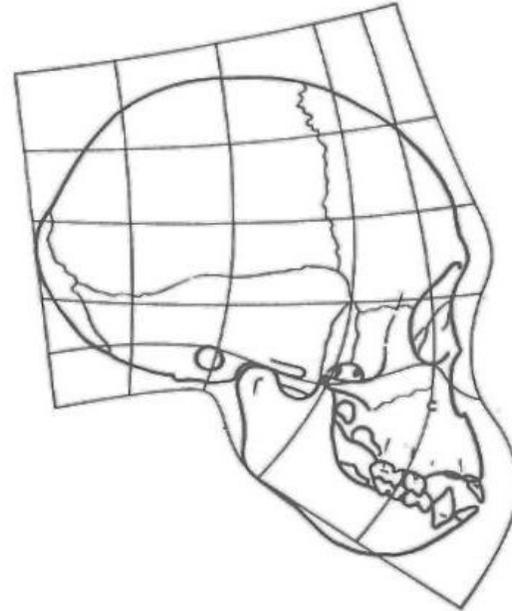
Gould clocks



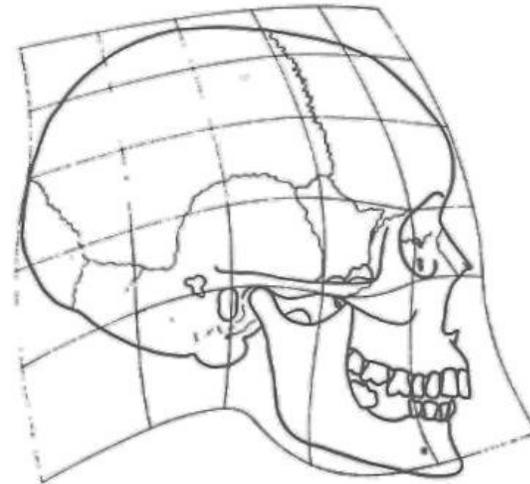
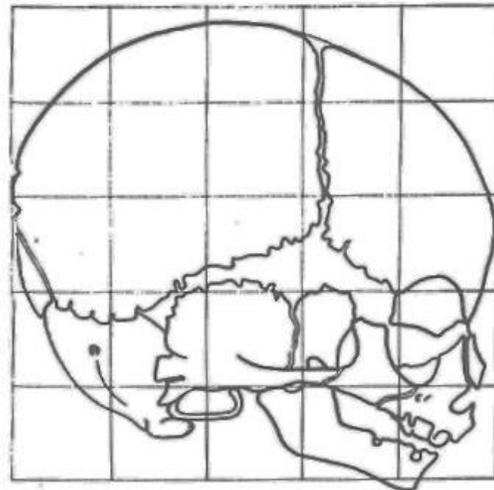
Neoteny: persistence of juvenile morphological and physiological in adults.
Delayed ageing, increase of the size and the shape stay in the range of juvenile shape of the ancestor.

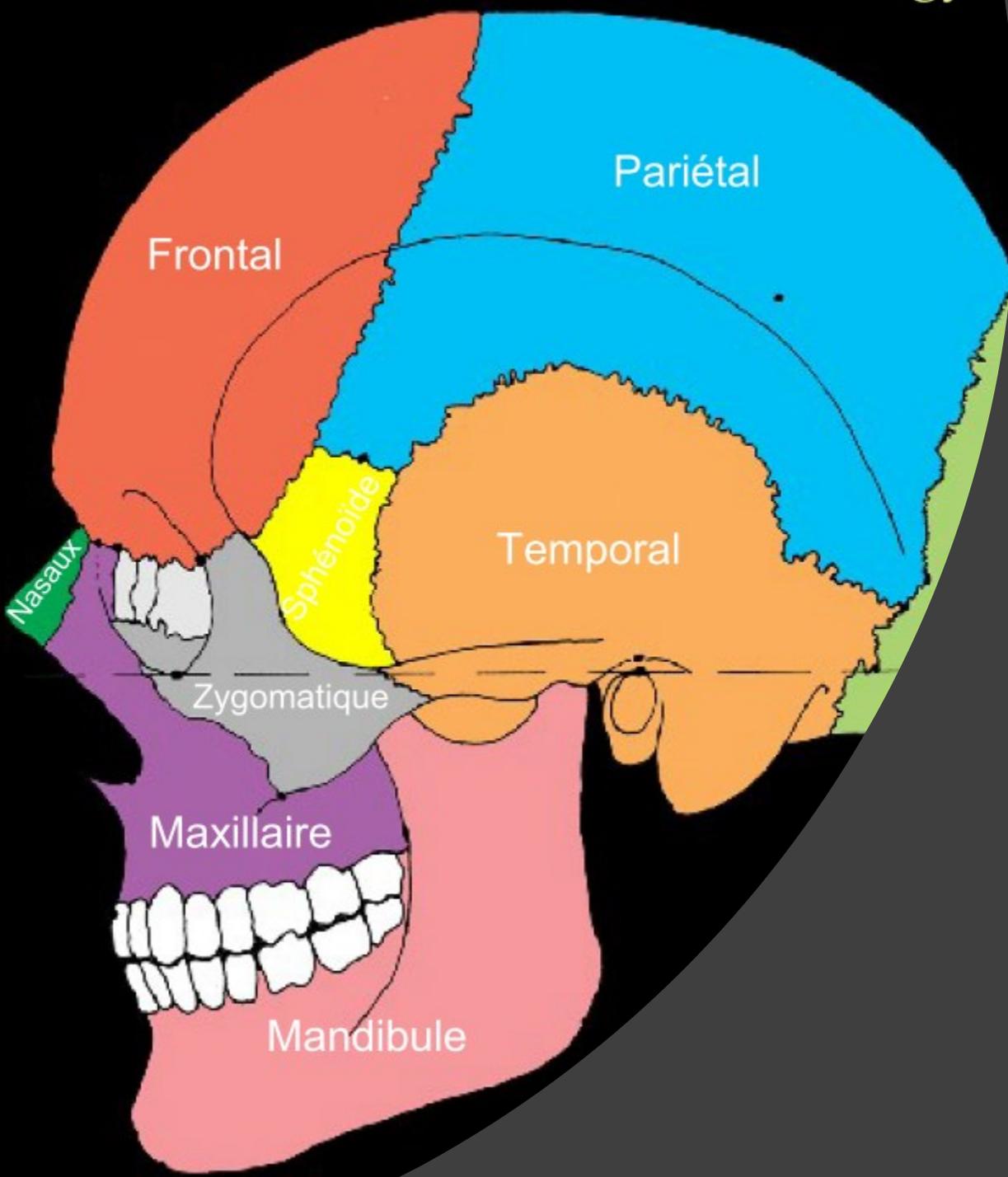


Pan



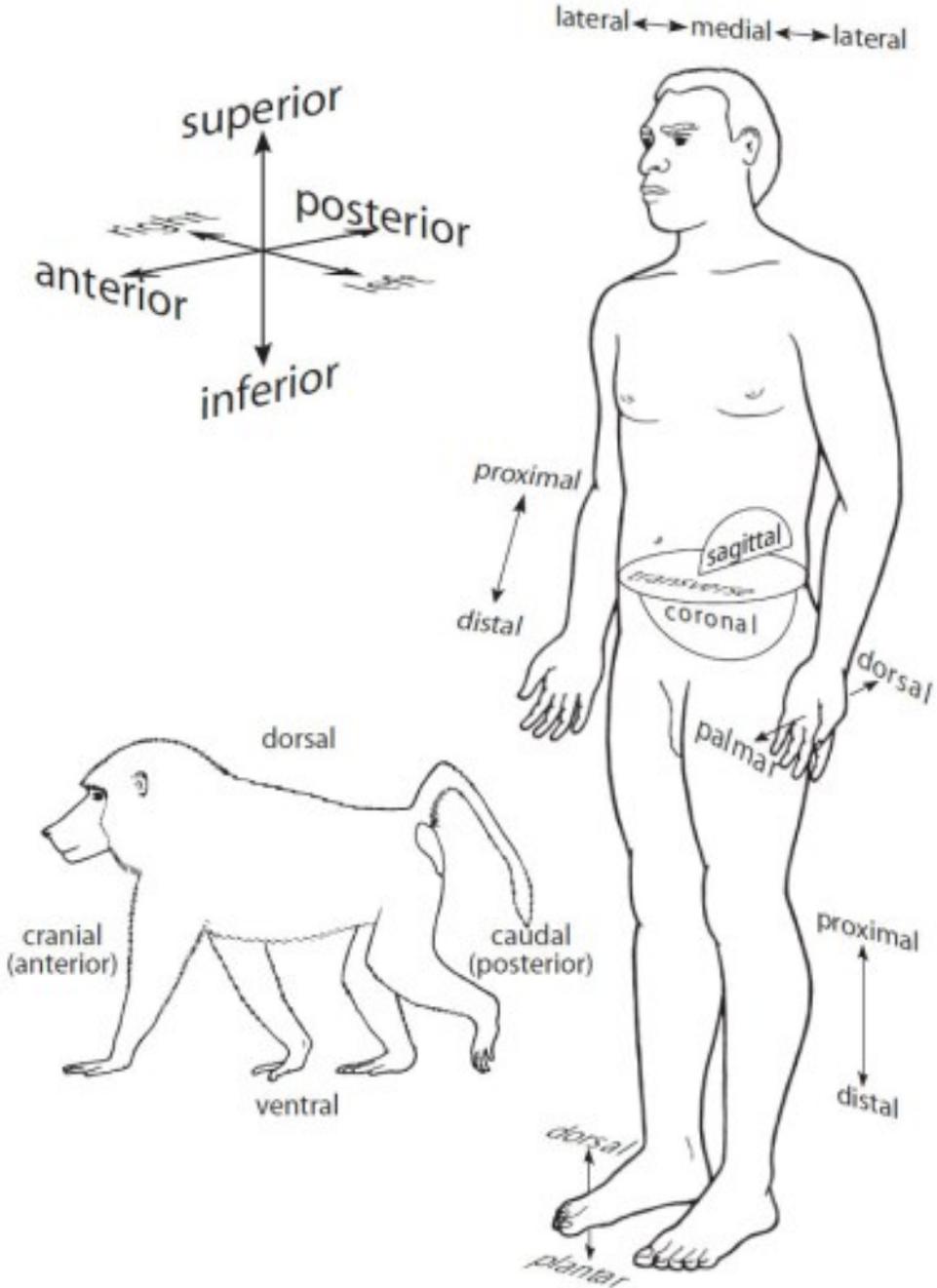
Homo





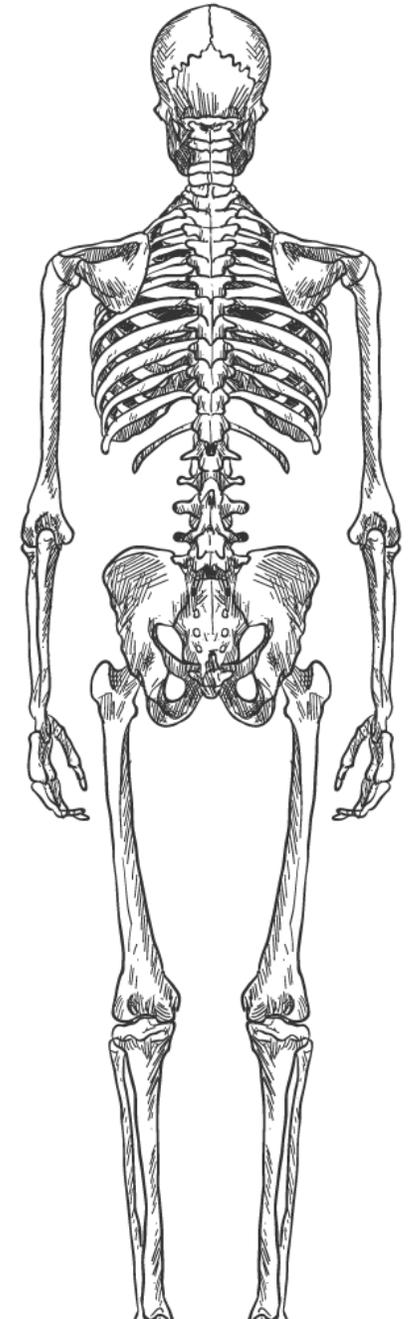
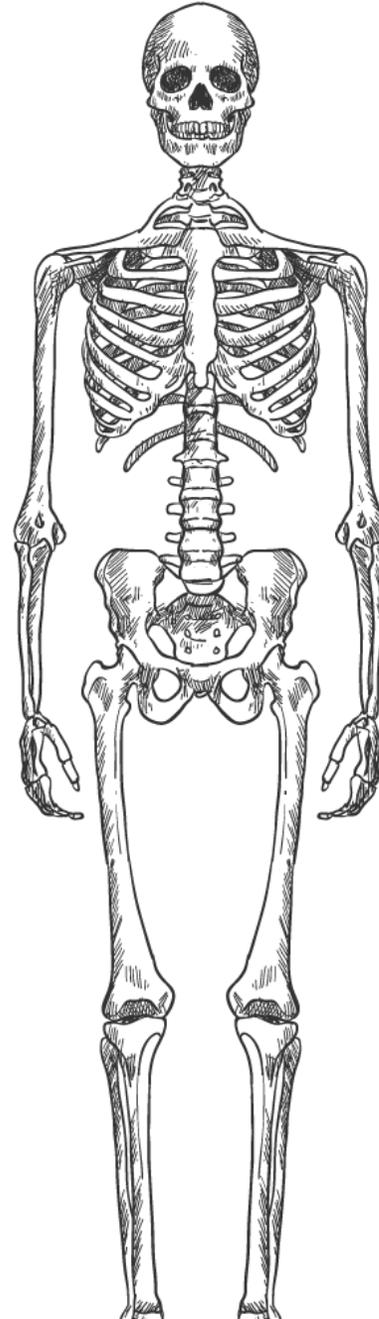
Caratteri morfologici e strutture anatomiche

Materiale di Studio - Lo scheletro Umano

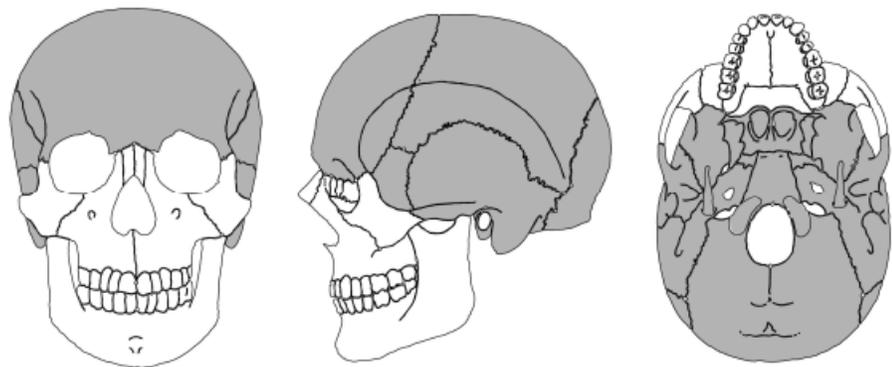


Lo scheletro Umano

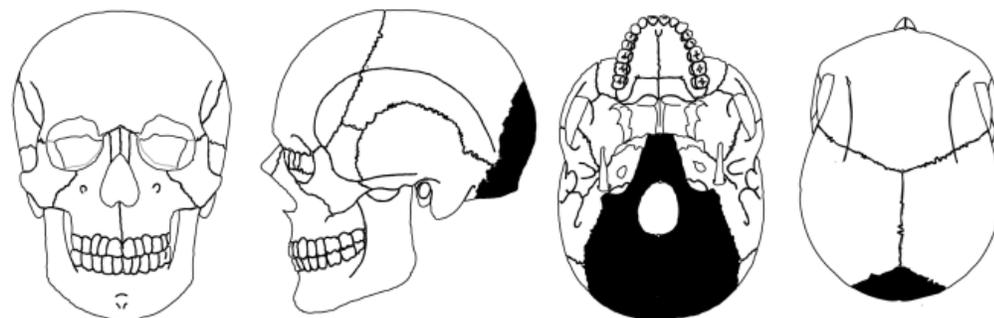
- Più di 200 ossa articolati (+ ossa dell'orecchio e mano/piedi)
- Rachide: Colonna vertebrale
- 32/33 vertebre
- Coste e sterno
- Testa ossea (cranio, mandibola e denti)
- Arti (superiori e inferiori)
- Cinto (scapolare e pelvico)



Il neurocranio



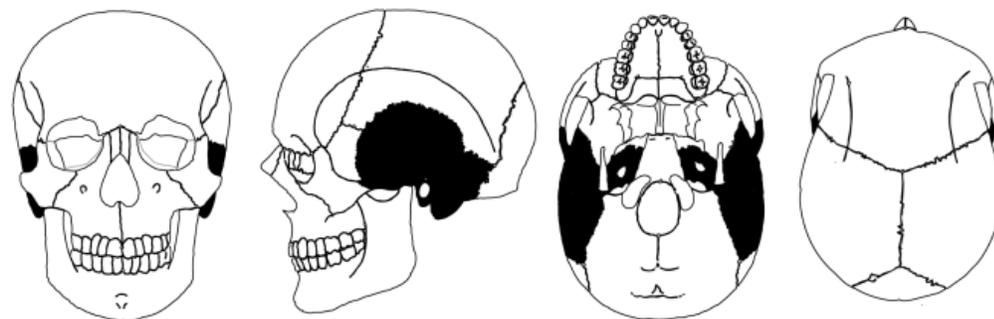
occipitale



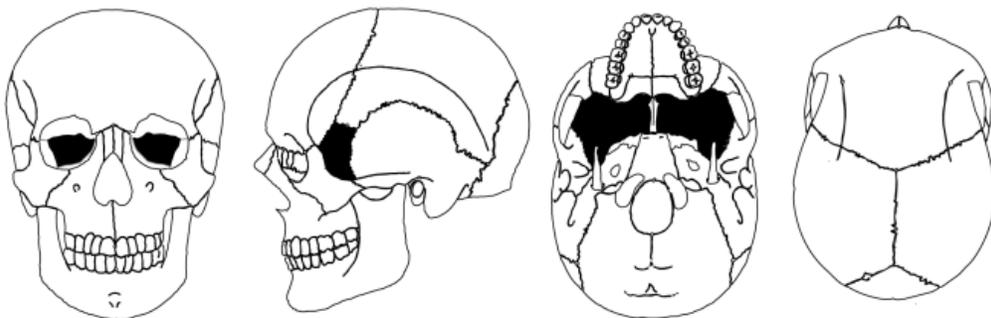
frontale



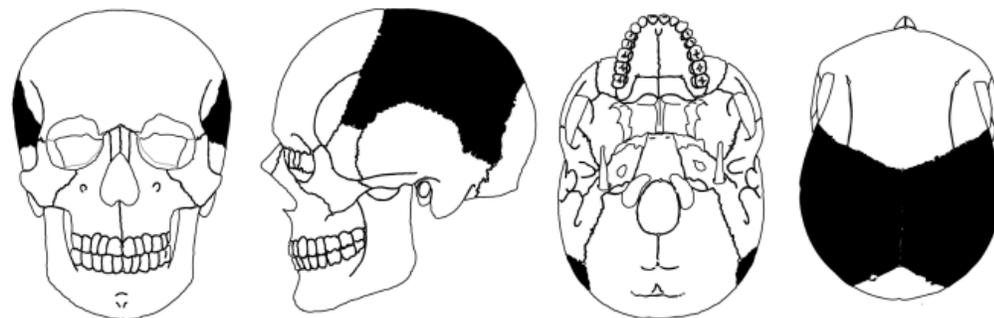
temporale
(x2)



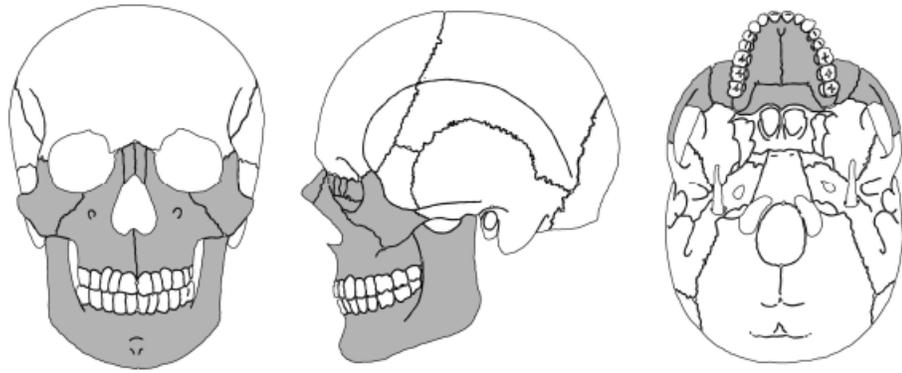
sfenoide



parietale
(x2)



La faccia

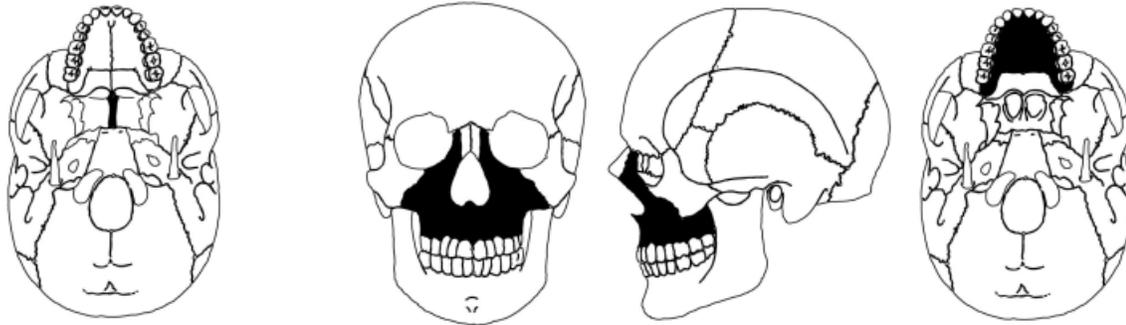


nasale
(x2)

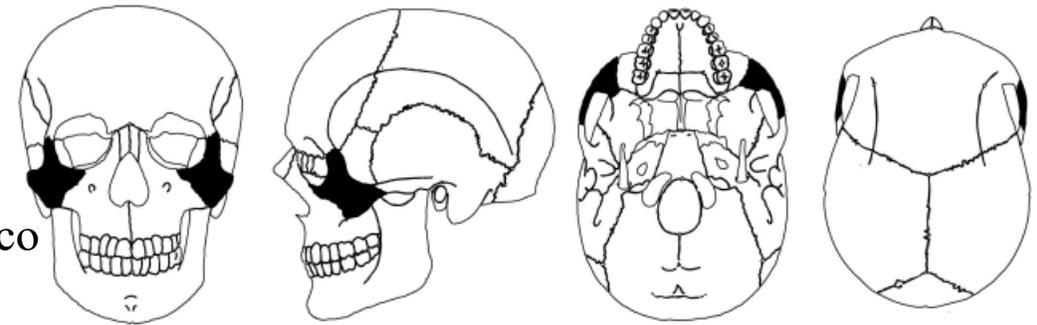


vomere

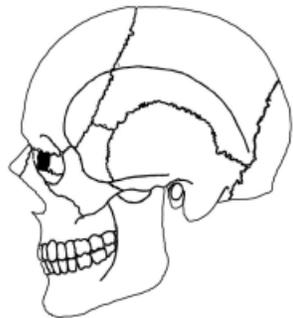
mascellare



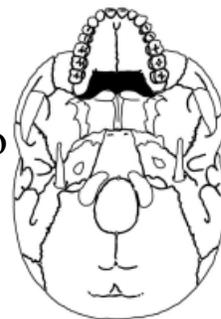
zigomatico
(x2)



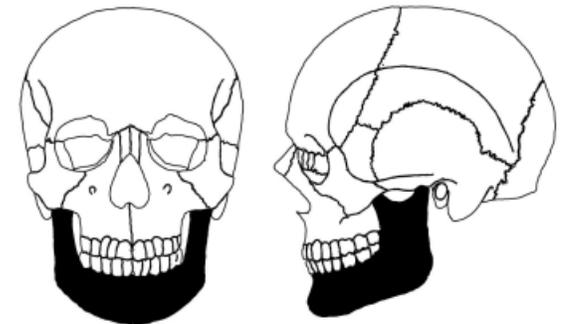
lacrimale
(x2)



palatino
(x2)



mandibola



Muscoli masticatori

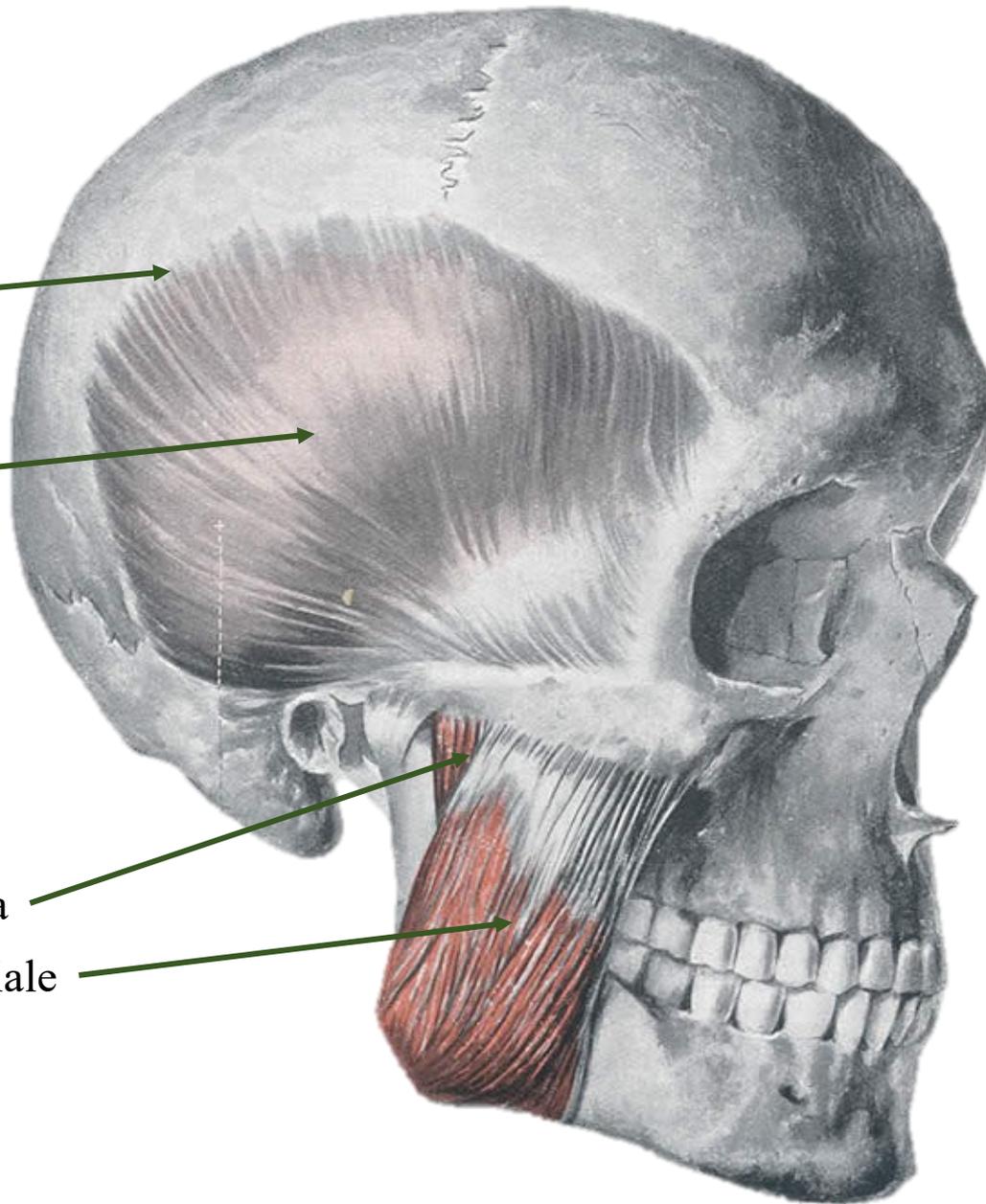
Linea temporale

Muscolo temporale

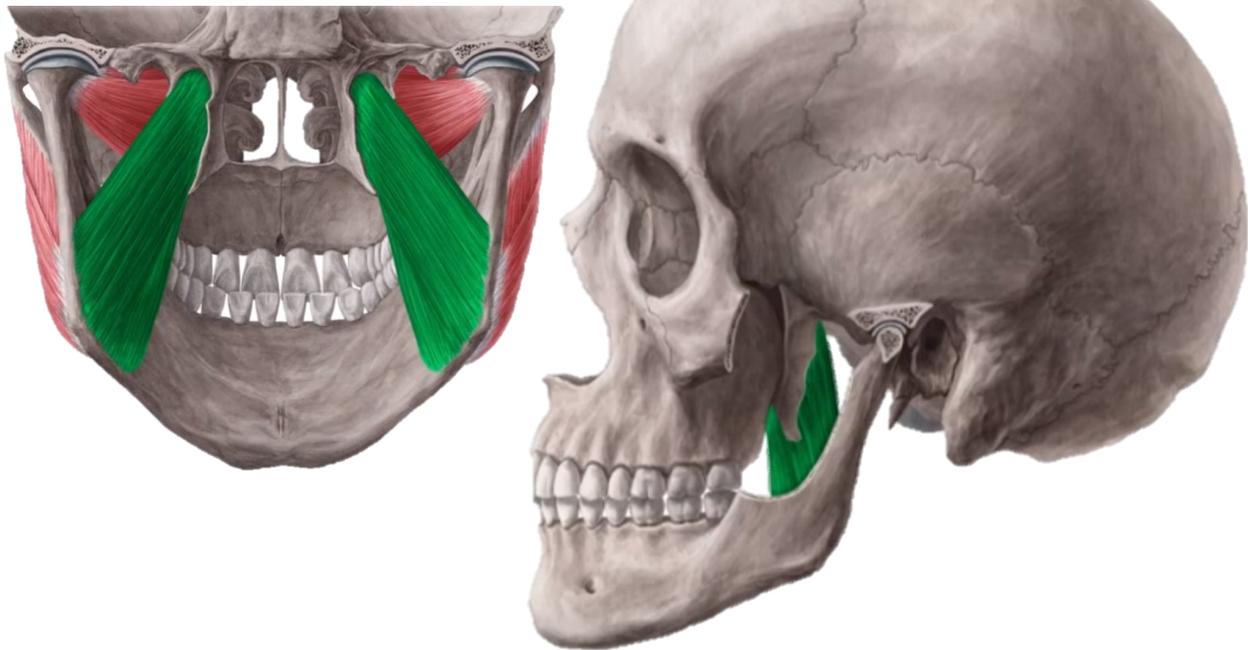
Muscolo massetere

parte profonda

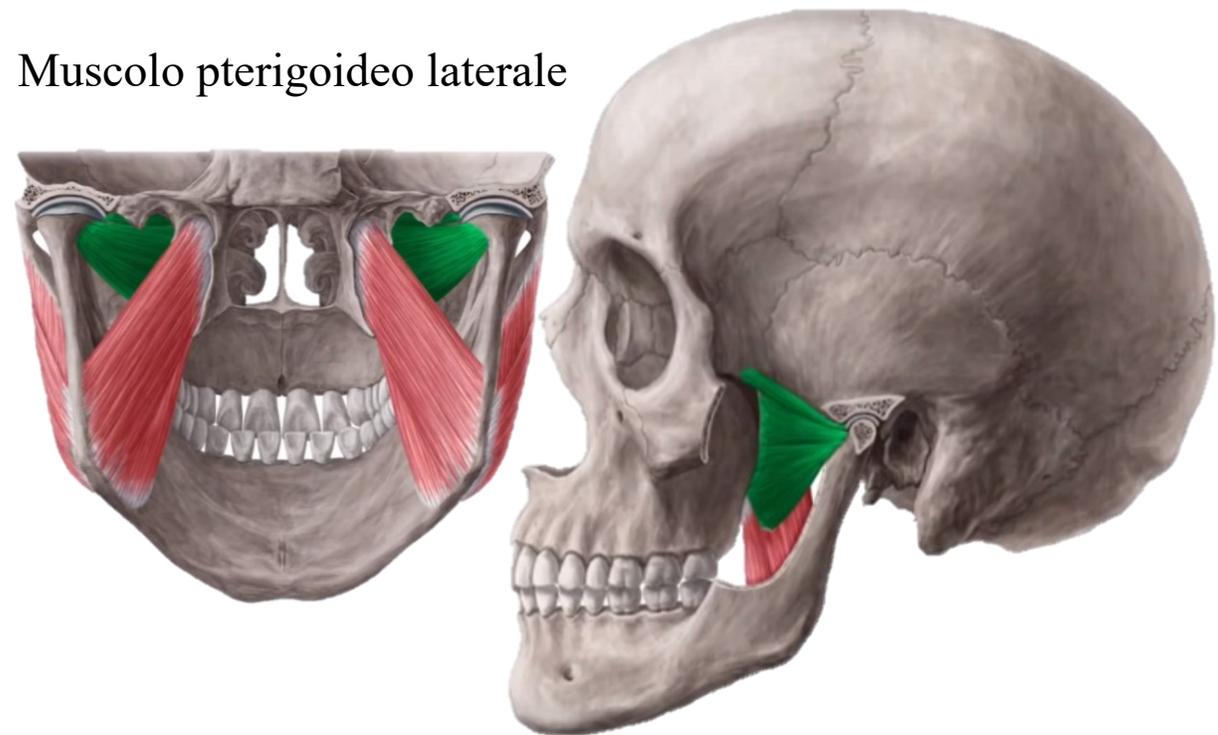
parte superficiale



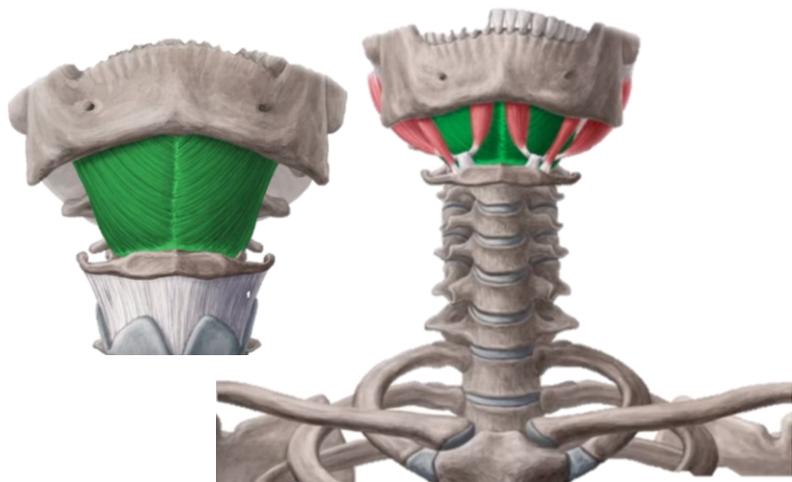
Muscolo pterigoideo mediale



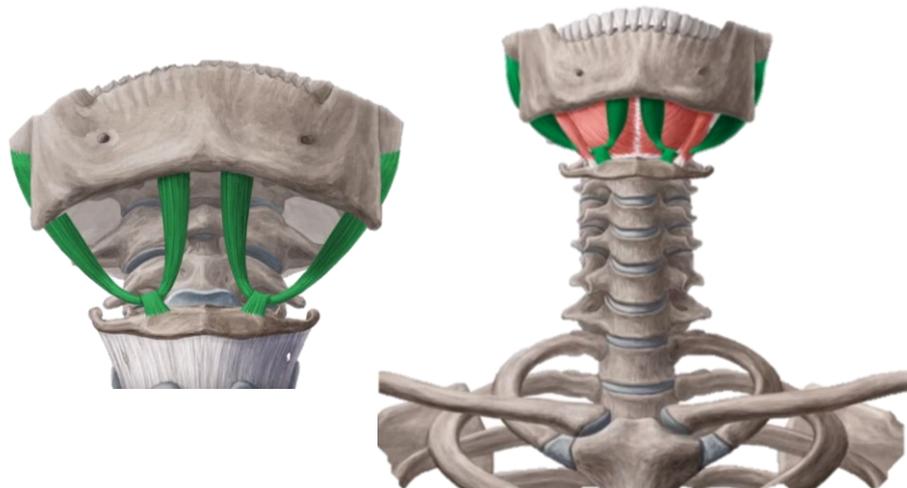
Muscolo pterigoideo laterale



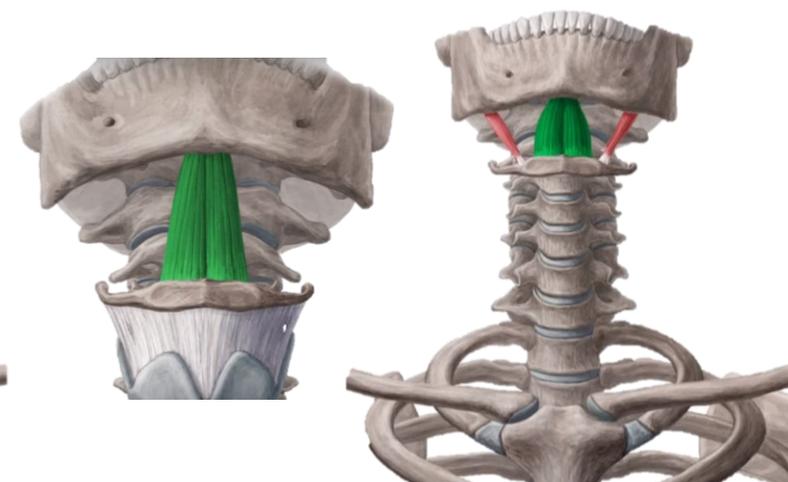
Muscolo milojoideo



Muscolo digastrico



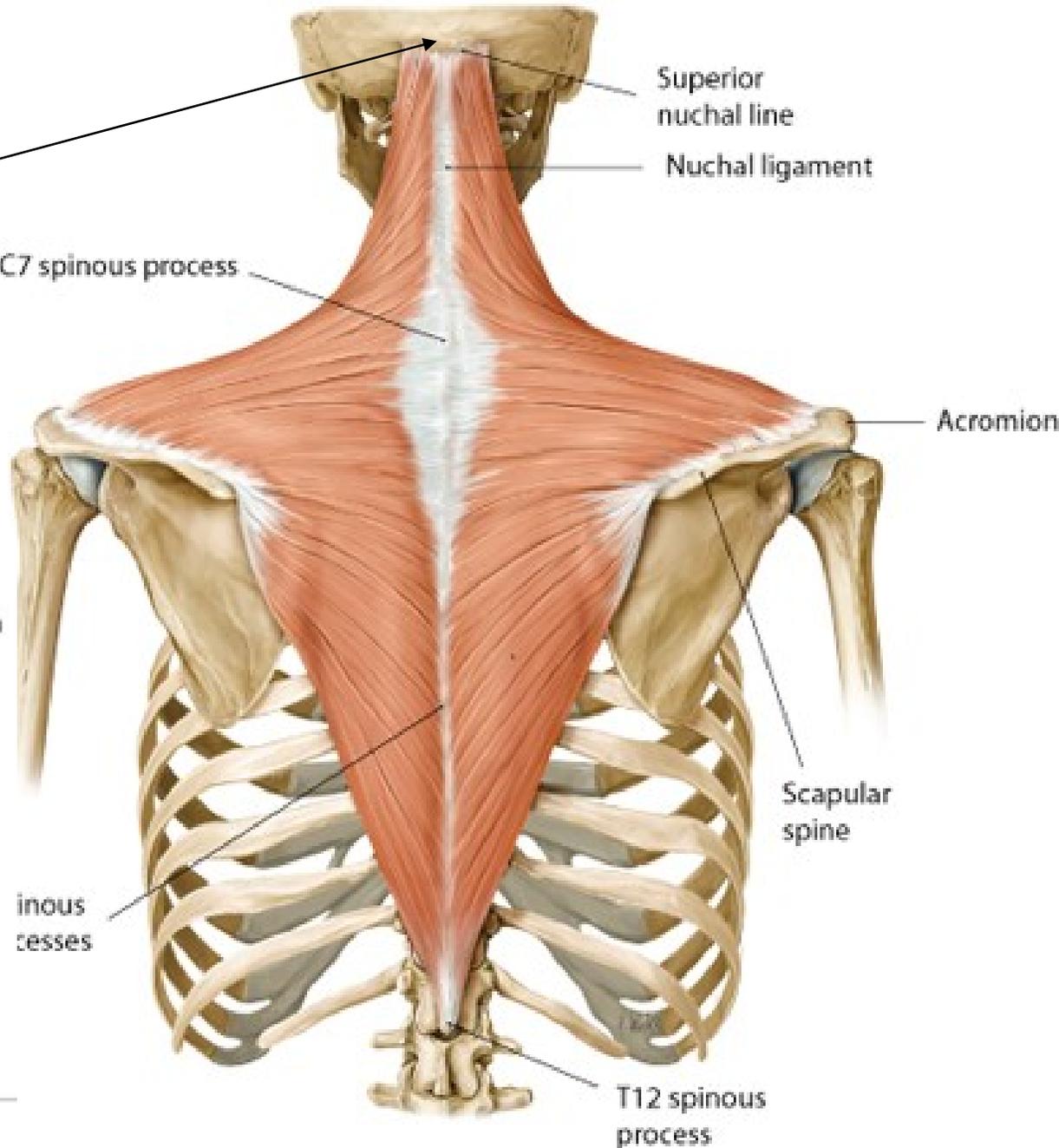
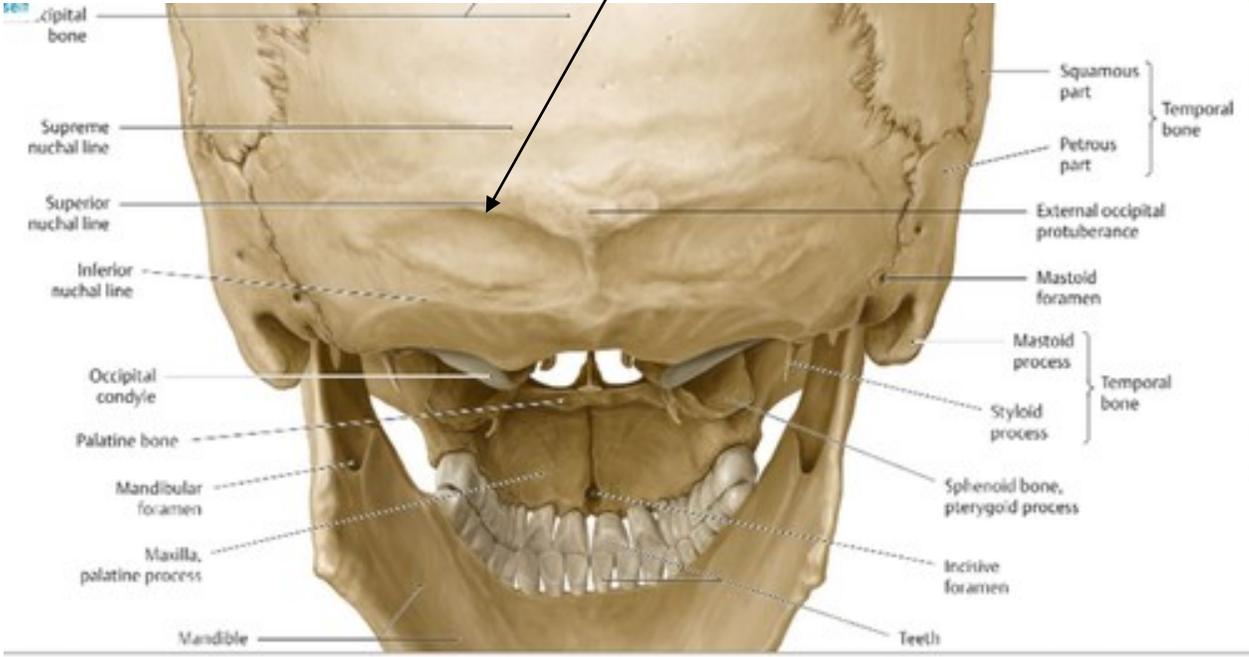
Muscolo geniojoideo



Caratteri morfologici e strutture anatomiche

Muscoli del collo

Linea nucale





Proiezione laterale dei zigomatici



Prognatismo faciale

Forma del cranio in
vista superiore



Parete convergente verso l'avanti: forma sfenoidale



Parete convergente quasi-
parallele: forma ovoidea



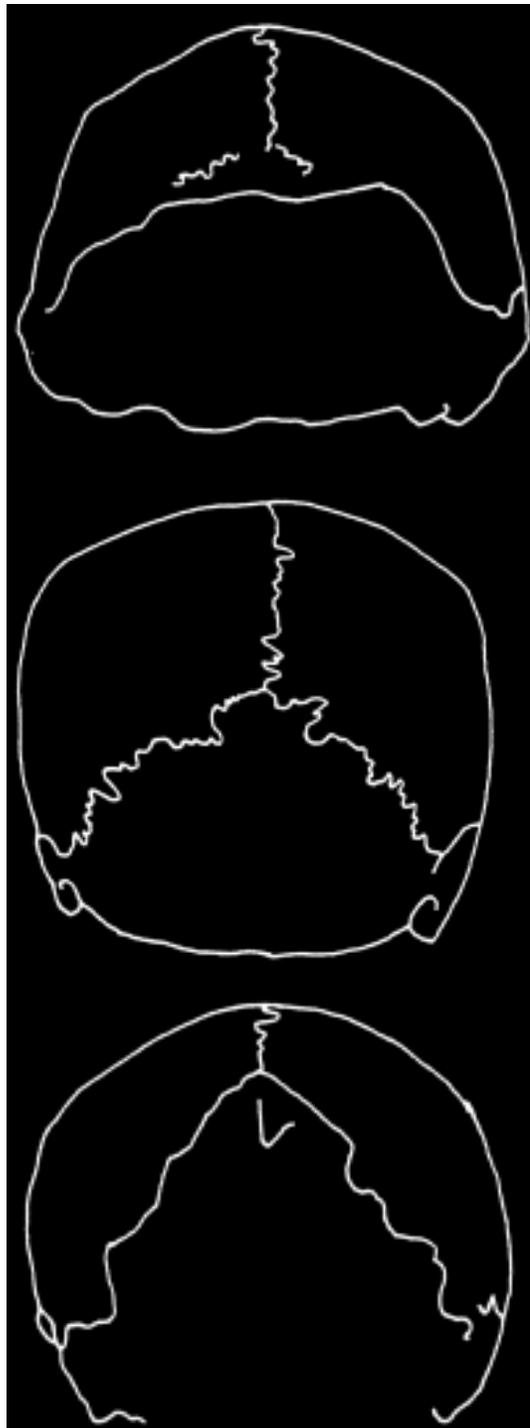
Toro occipitale trasverso



Pentagonale a parete convergente verso l'alto

A « tetto di casa »
(*Homo sapiens*)

Circolare (Caso particolare dei
neandertaliani)



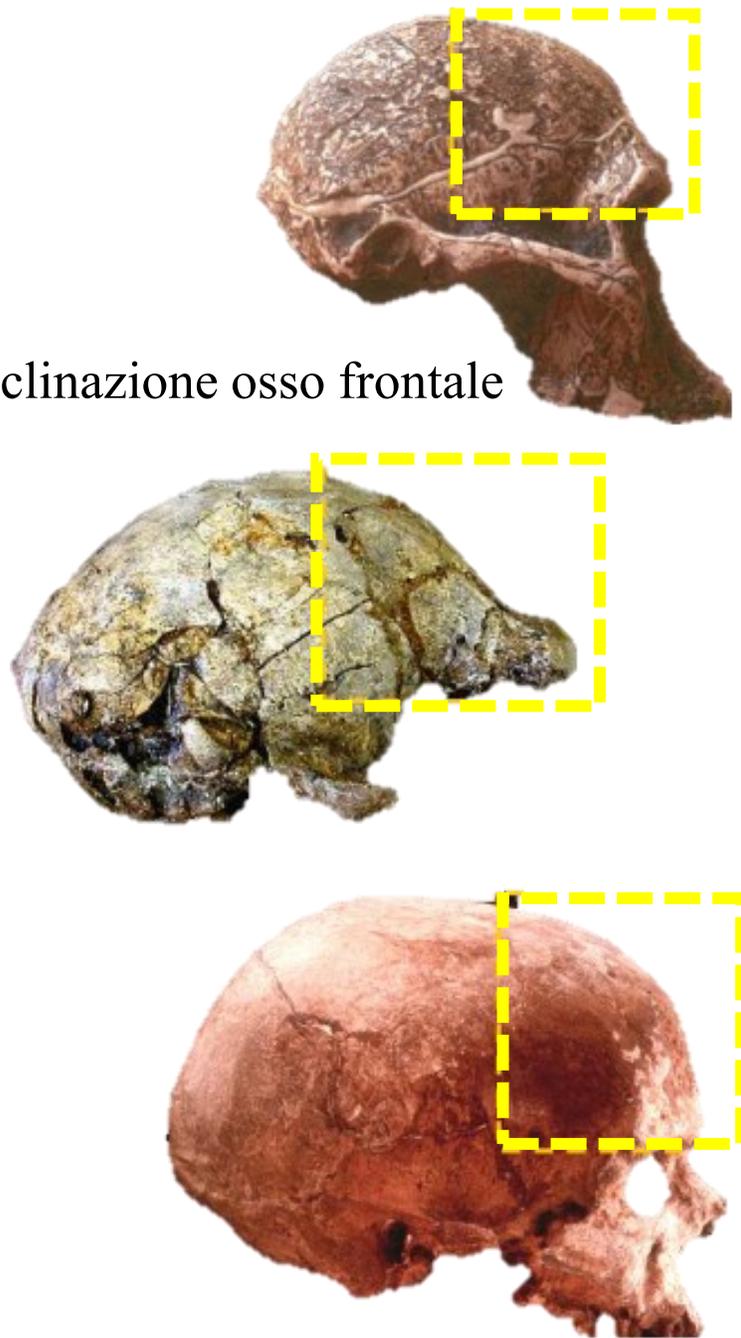


Forma dell'osso occipitale

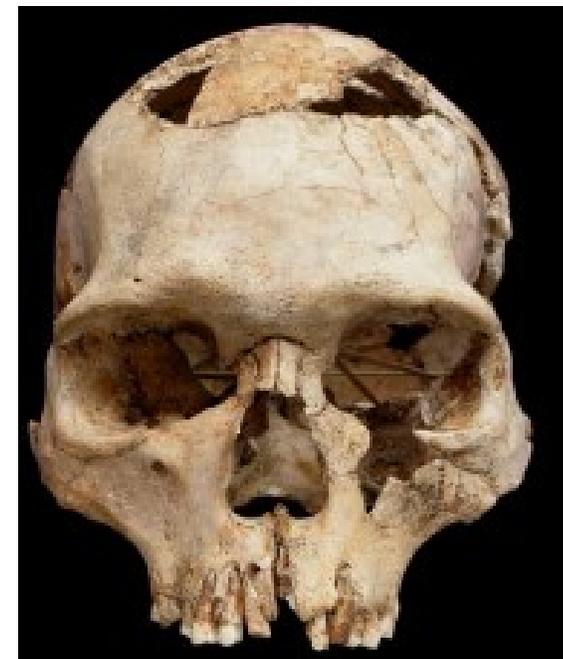
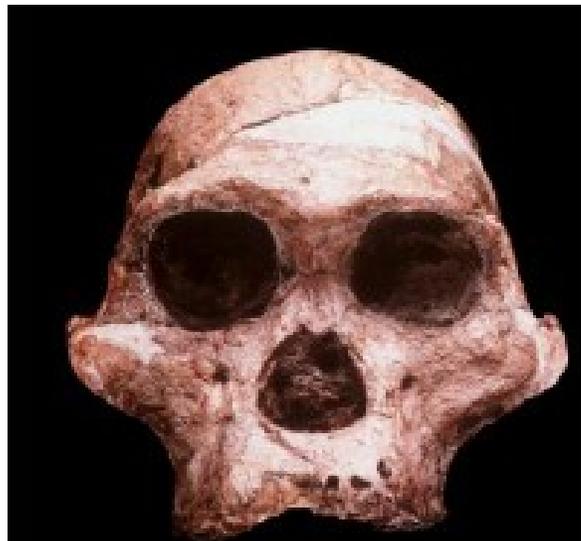


Forma della squama temporale e dell'apofisi mastoidea

Inclinazione osso frontale



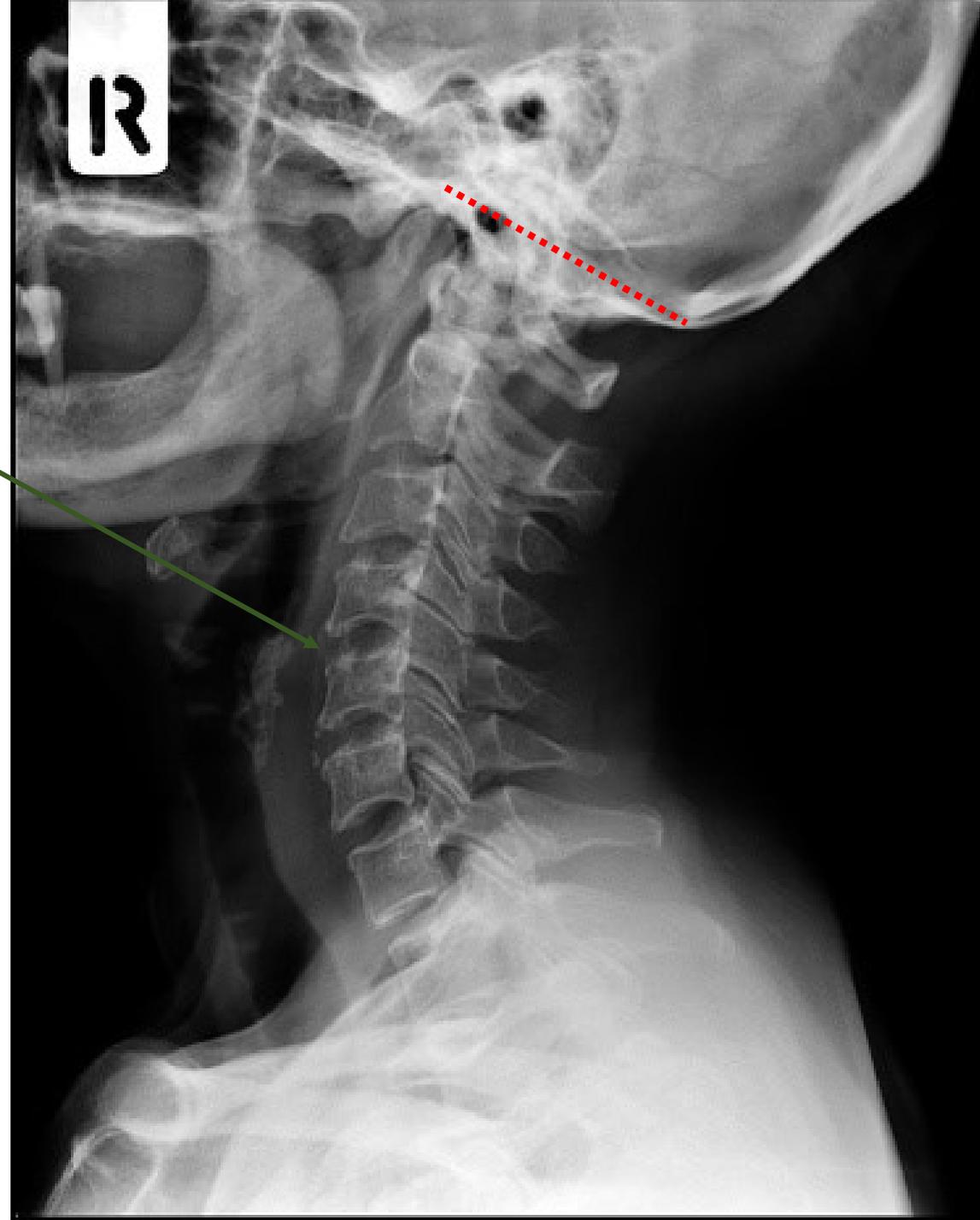
Complesso sopra-orbitale



Orientazione della base
del cranio



Accentuazione
della curvatura
cervicale

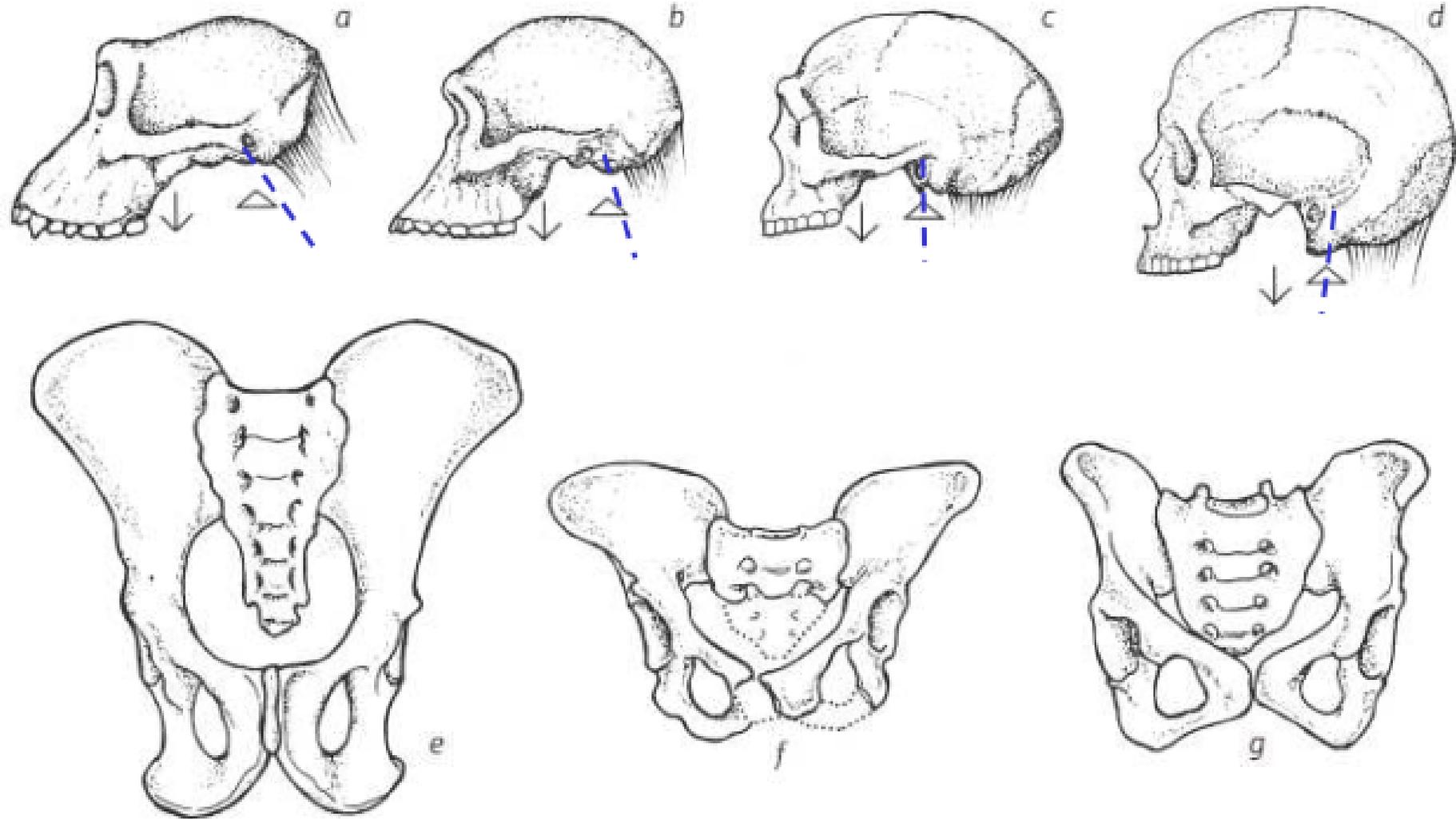


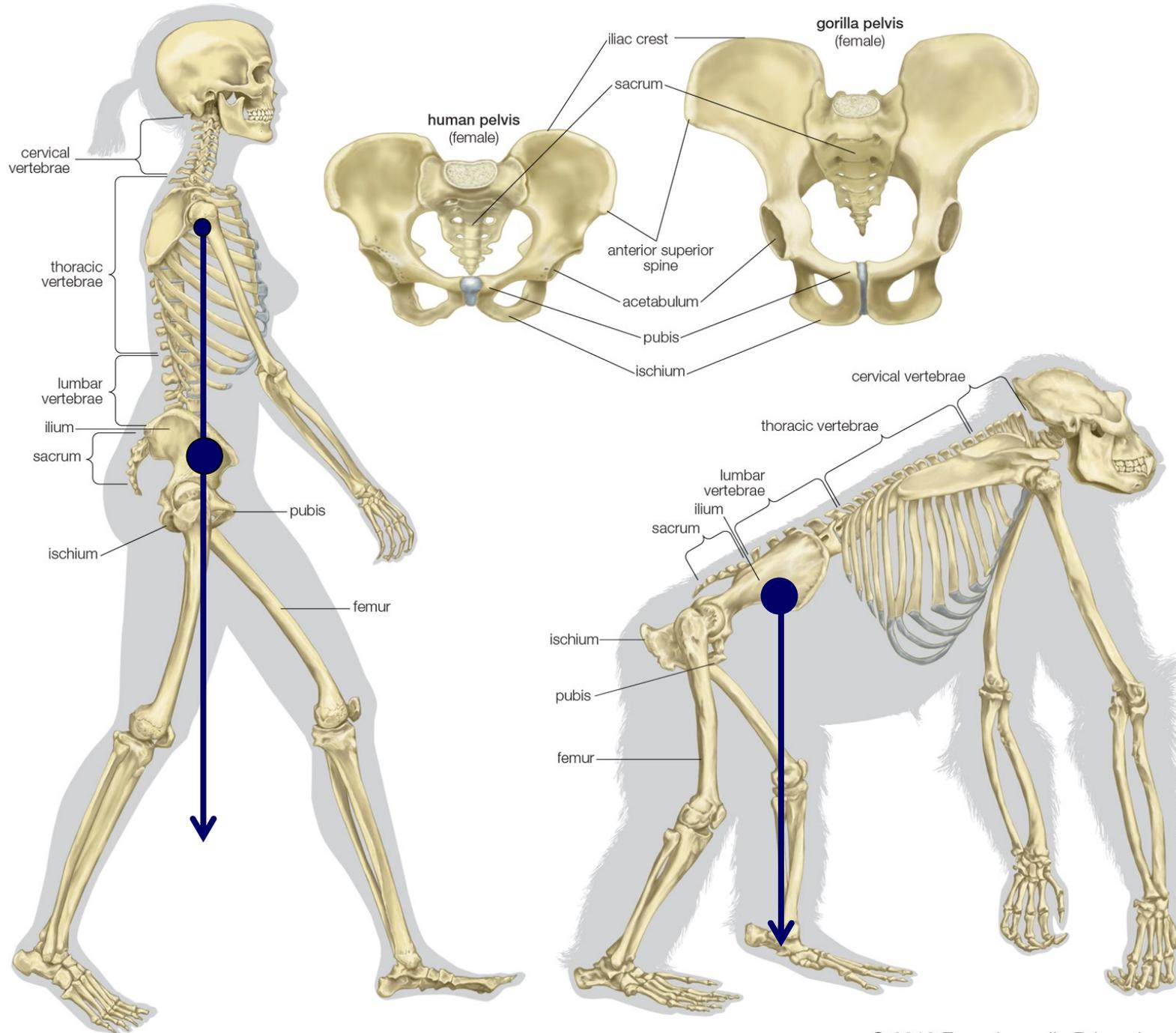
Antenati : orientazione obliqua e orientata posteriormente
Homo sapiens : Orientazione obliqua e orientata anteriormente

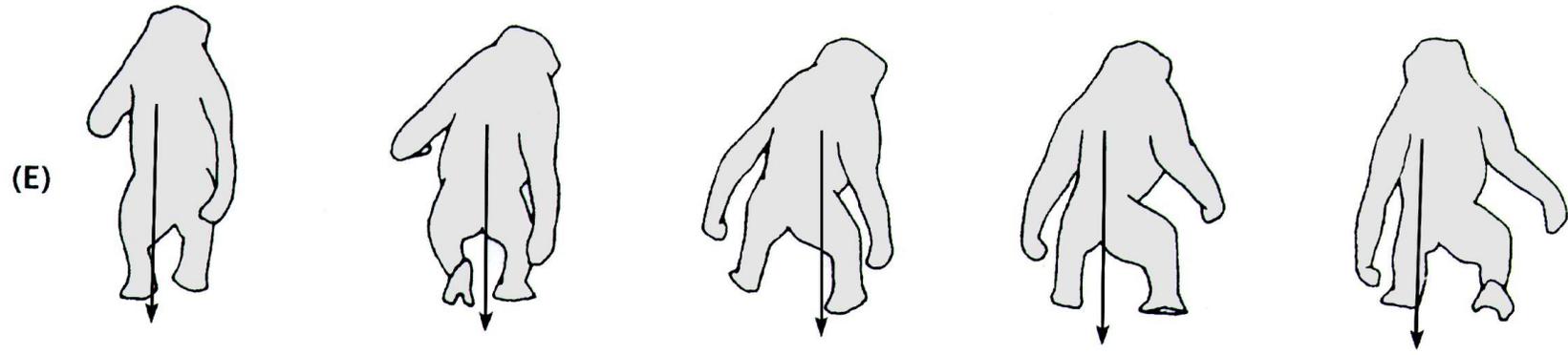
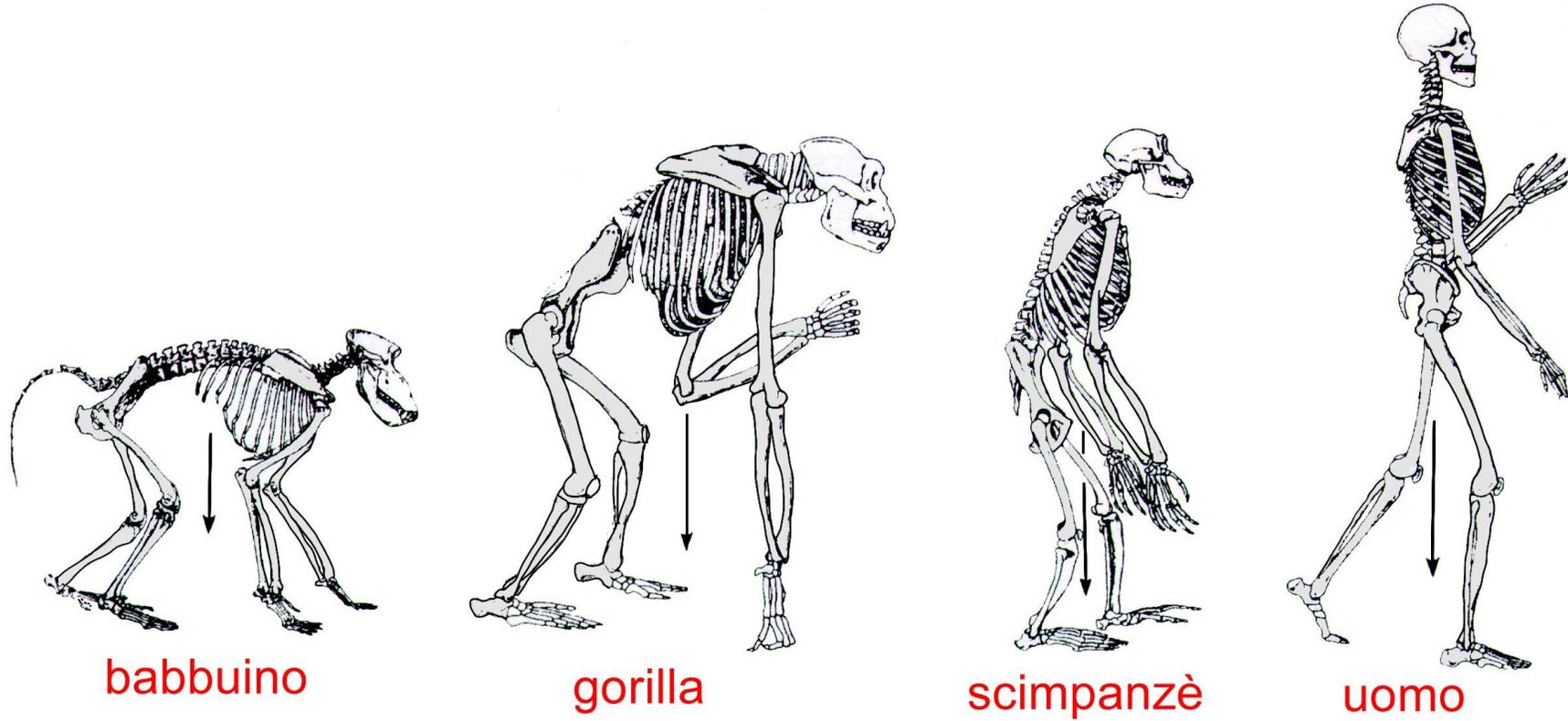
--- Axe de la colonne vertébrale

△ Point d'appui de la colonne vertébrale

↓ « déséquilibre » face / boîte crânienne

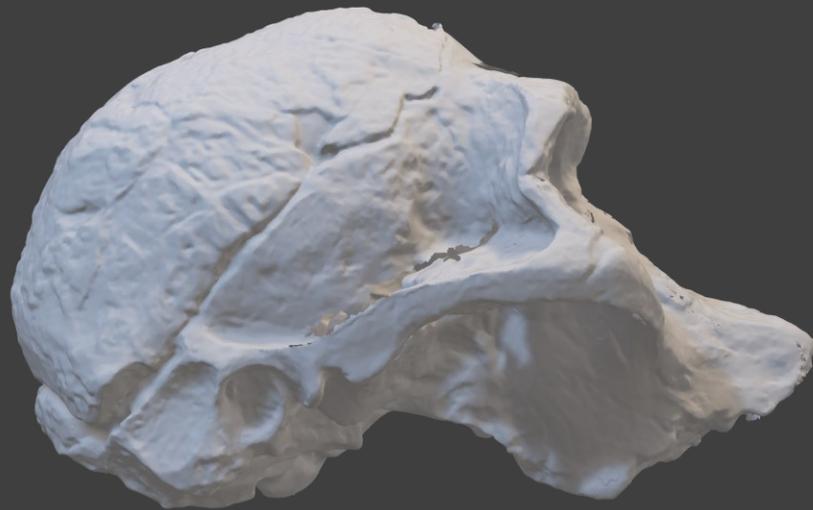






Bipedismo occasionale

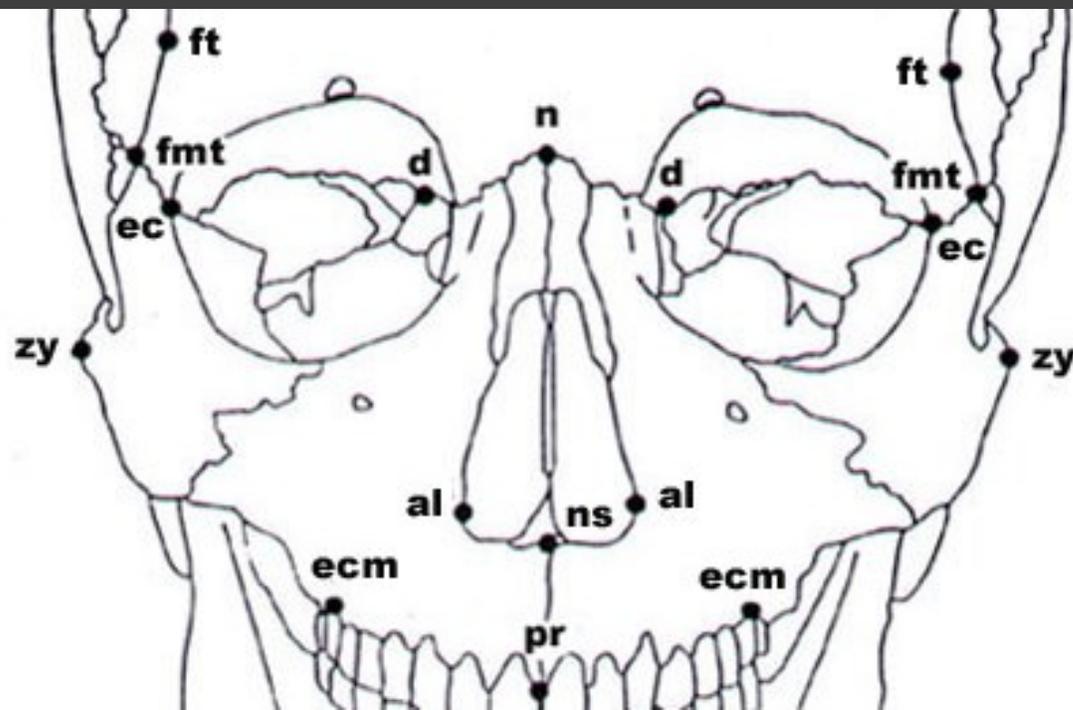
Tecnologie e Metodologie per l'acquisizione dei dati





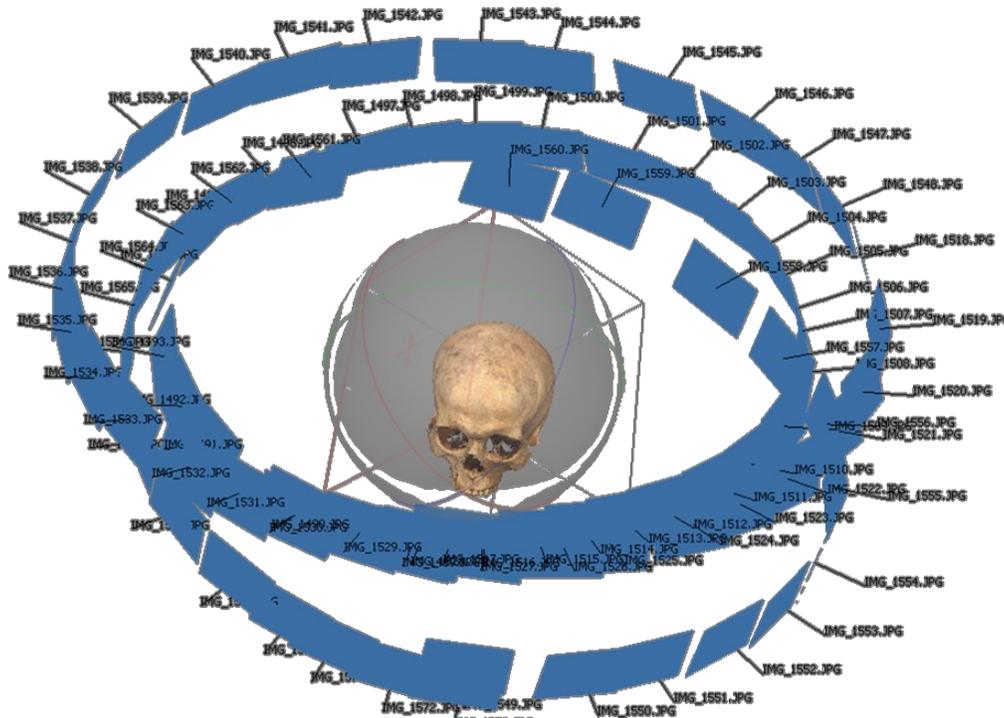
Digitalizzatore Microscribe

- Tecnica: Cattura le proprietà fisiche dell'oggetto
- Metodica: Il microscribe è un braccio articolato con un puntatore che definisce la posizione di un punto nello spazio in relazione al punto di riferimento dello strumento (base del robot). Il robot conosce la posizione del puntatore grazie a dei potenziometri nel braccio articolato.
- Risoluzione: 0,2 mm



Fotogrammetria

- Tecnica di rilievo che permette di acquisire dei dati metrici di un oggetto tramite l'acquisizione e l'analisi di una coppia di fotogrammi stereometrici.



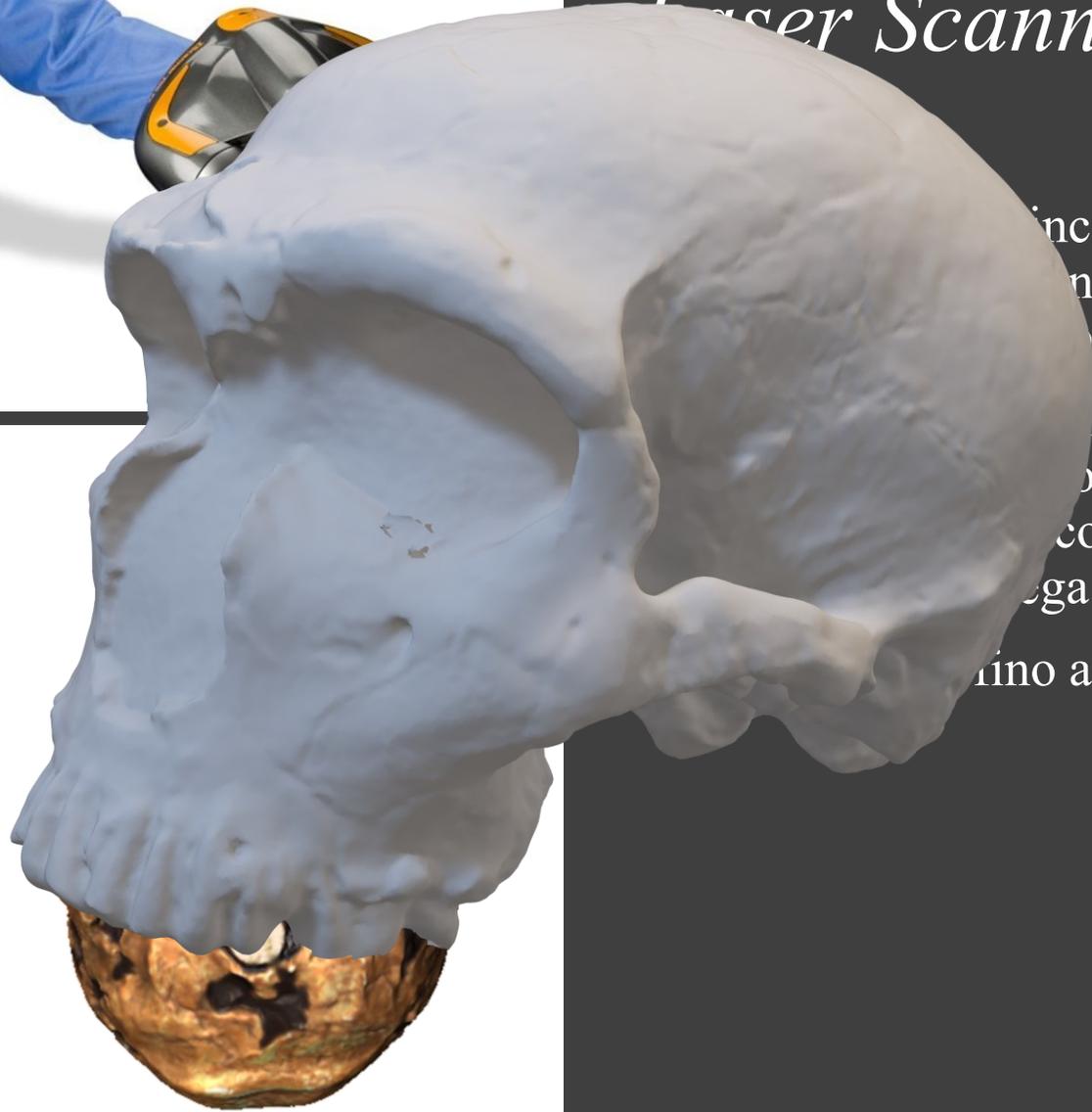
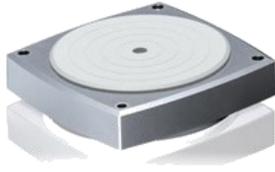


Scanner di superficie

Laser Scanner

- Tecnica laser Principio: Misura la posizione di un campionamento di punti in un sistema cartesiano della superficie di un oggetto.
- Metodica: lo scanner misura la distanza dall'oggetto usando un raggio laser. La distanza viene calcolata contando il tempo che il laser impiega nel tragitto a/r.
- Risoluzione: fino al μm per i più precisi



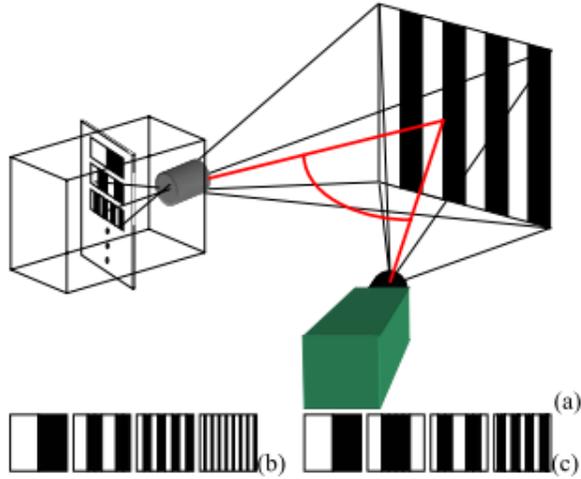


Scanner di superficie *Laser Scanner*

Principio: Misura la posizione
centro di punti in un sistema
coordinata sulla superficie di un oggetto.

Per misurare la distanza
tra il scanner e un raggio laser. La
distanza è calcolata contando il tempo
che il raggio impiega nel tragitto a/r.

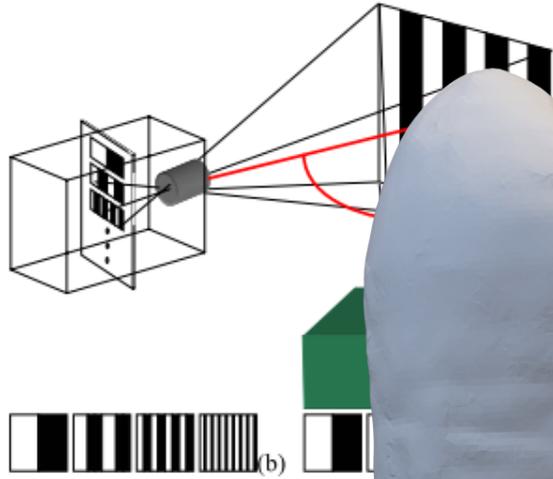
Precisione fino al μm per i più precisi



Scanner di superficie *Breuckmann*

- Tecnica topometrica
- Principio: Analisi di bande di luce bianche proiettate sull'oggetto
- Metodica: Da una parte un proiettore di banda di luce e dall'altra una telecamera CCD (fotosensibile) che cattura le immagini che verranno analizzate da uno speciale software. La luce proiettata è codificata con un sistema binario (000, 001...) che sarà successivamente trasformato in immagine numerica dal computer passando dalla telecamera CCD.
- Risoluzione 0.26mm





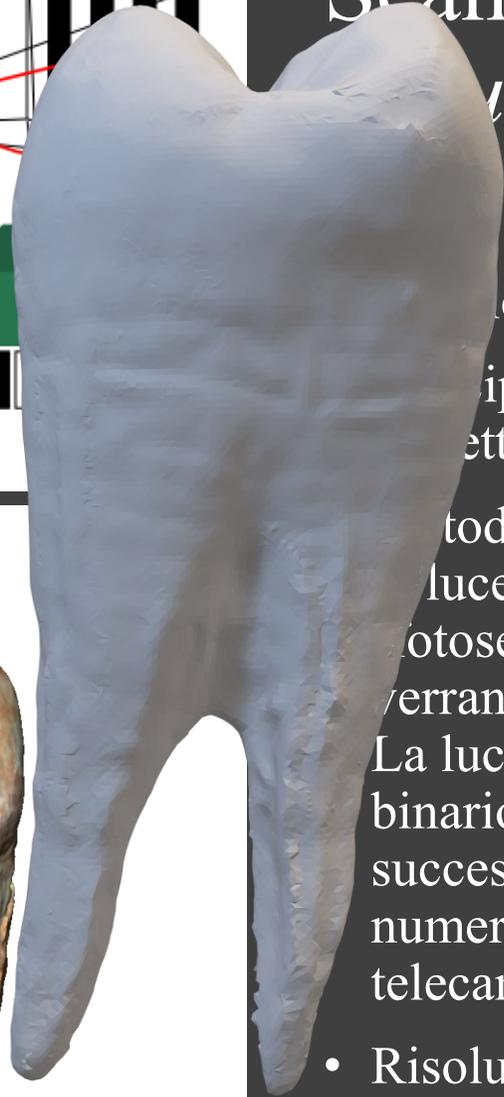
Scanner di superficie GOM Bruckmann

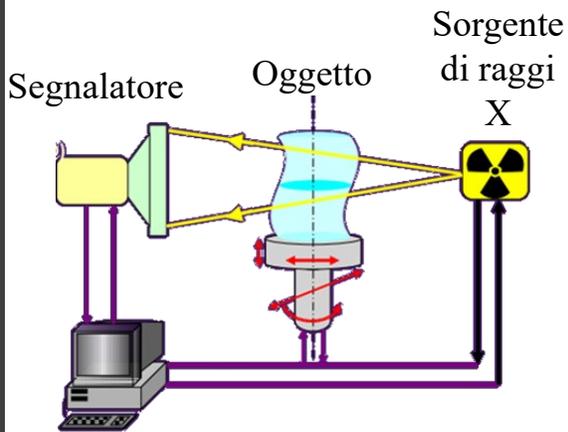
...ca topometrica

...ipio: Analisi di bande di luce bianche
...ettate sull'oggetto

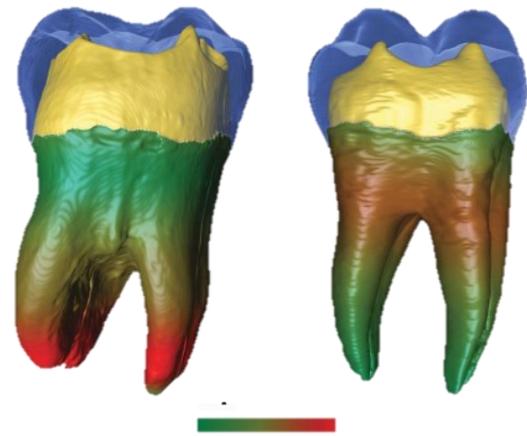
...odica: Da una parte un proiettore di banda
...luce e dall'altra una telecamera CCD
...otosensibile) che cattura le immagini che
...verranno analizzate da uno speciale software.
La luce proiettata è codificata con un sistema
binario (000, 001...) che sarà
successivamente trasformato in immagine
numerica dal computer passando dalla
telecamera CCD.

- Risoluzione 0.26mm





Ricostruzione,
stoccaggio e analisi
dell'immagine



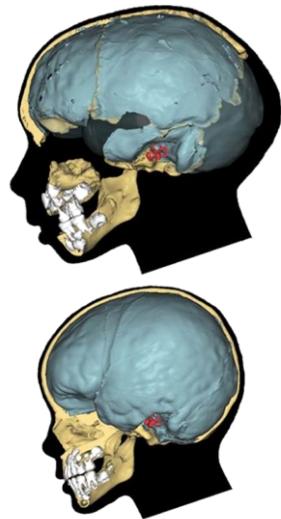
M1 La Chaise (Macchiarelli
et al., 2006)

Tomodensitometria *scanografia, CT scan (Computer Tomography), TAC, micro CT.*

- Tecnica di scansione medica
- Principio: Misura l'assorbimento dei raggi X da parte dei tessuti riproducendo sezioni o strati corporei.
- Metodica: Il fascio di raggi X viene attenuato dal corpo che attraversa. L'attenuazione varia in modo proporzionale alla densità elettronica dei tessuti attraversati. Più la densità è alta più la gradazione del grigio è chiara.

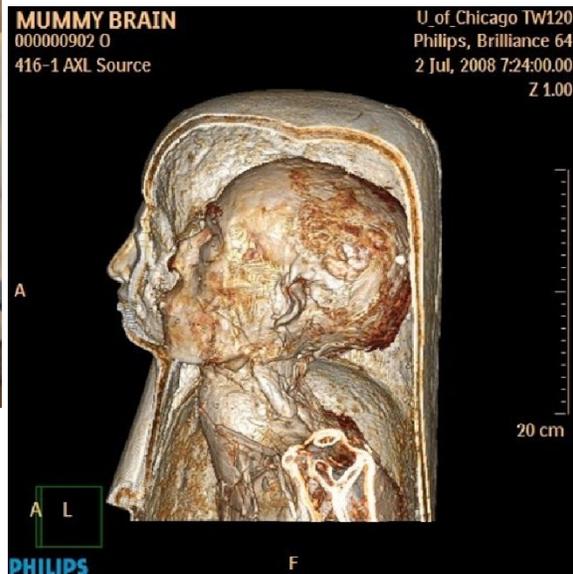


Osso trabecolare
di un topo



Tomodensitometria *scanografia, CT scan (Computer Tomography), TAC, micro CT.*

- Unità di misura: L'UH (Unità di Hounsfield) comprendente 2001 diverse tonalità di grigio, dal nero al bianco:
- Densità dell'aria = -1000 UH
- Densità dell'acqua = 0 UH
- Densità dell'osso compatto = + 1000 UH
- Utilità: Ricostruzione 3D delle strutture anatomiche
- Risoluzione : 0,4-0,8 mm e fino a 5µm per i microCT





Sincrotrone ELLETRA, Trieste



Thrips del cretaceo con i grani di pollini
(Enrique Peñalver et al., 2012)

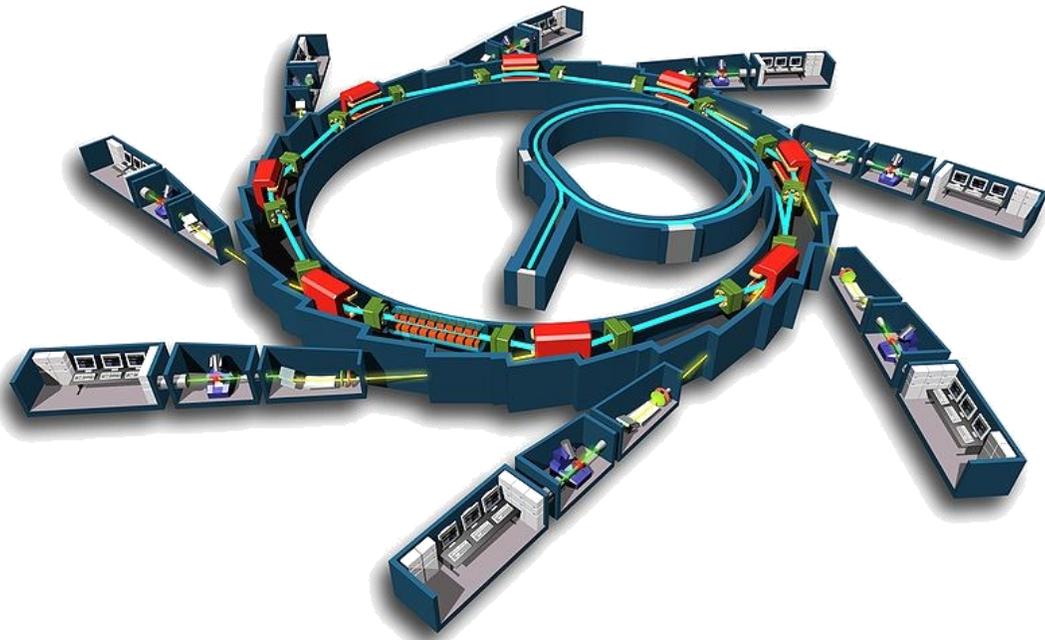
Sincrotrone

- Acceleratore di particelle circolare, in cui il campo magnetico e il campo elettrico variabile sono sincronizzati con il fascio delle particelle stesse.
- Tecnica: Il sincrotrone si compone principalmente di :
 - un piccolo acceleratore che prepara le particelle a bassa energia
 - un anelo magnetico che mantiene le particelle su una traiettorie circolare
 - delle cavità acceleratrici destinate ad aumentare o mantenere l'energia delle particelle girando attorno all'anello.

Le particelle sono mantenute in un vuoto estremo, attorno all'anello, all'interno di un tubo di forma torica.

Metodica: Il raggio ottenuto viene raccolto in diversi punti del tubo, le linee di luce. Ogni raggio incontra lenti, specchi o monocromatore che seleziona una gamma di lunghezze d'onda e modifica le caratteristiche dei fasci di luce.

I raggi X ottenuti permettono di fare della microtomografia ad alta risoluzione



Apporto delle nuove tecnologie alla ricerca e alla museologia

- Scambio di dati
- Immortalare i resti fossili unici
- Visualizzazione delle strutture interne che aprono nuove prospettive e metodologie di studio dei resti fossili
- Ricostruzione facciale
- Ricostruzione virtuale delle parti mancanti
- Realizzazione di calchi grazie al modello 3D evitando dannosi contatti col reperto

Trattamento dei Dati
principi di morfometria

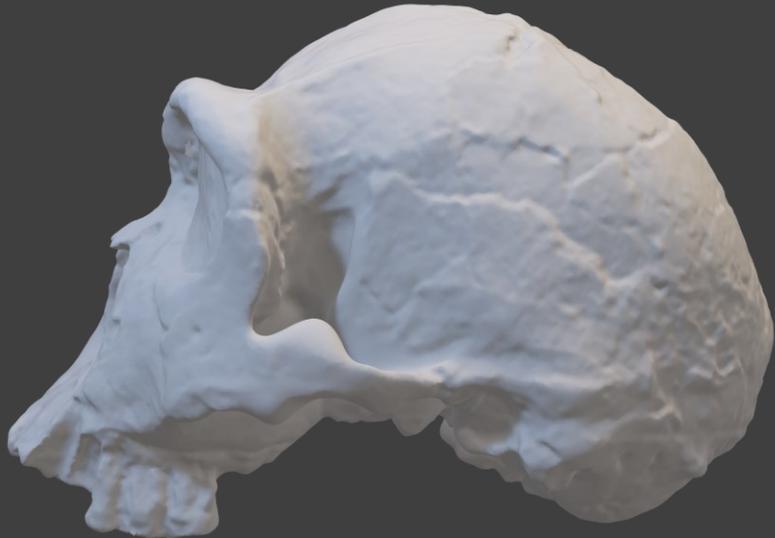
Perché usiamo la morfometria?



Paleontologia/Paleoantropologia è basata su descrizioni e confronti

Si lavora con delle caratteristiche morfologiche

- Tassonomia
- Filogenia (cladistica)



Si lavora sulle forme (descrizione e confronti quantitativi)

- Caratteristiche ed evoluzione delle forme (crescita, evoluzione, fattori interni e esterni...)

Why we use morphometrics?

Paleoanthropology is based on description and comparison

We work on morphological features

- Taxonomy
- Phylogeny (cladistic)

We work on shapes (description and quantitative)

- Features and evolution of shapes (growth, evolution, internal and external factors...)



Perché usiamo la morfometria?

Paleontologia/Paleoantropologia è basata su descrizioni e confronti

Si lavora con delle caratteristiche morfologiche

- Tassonomia
- Filogenia (cladistica)

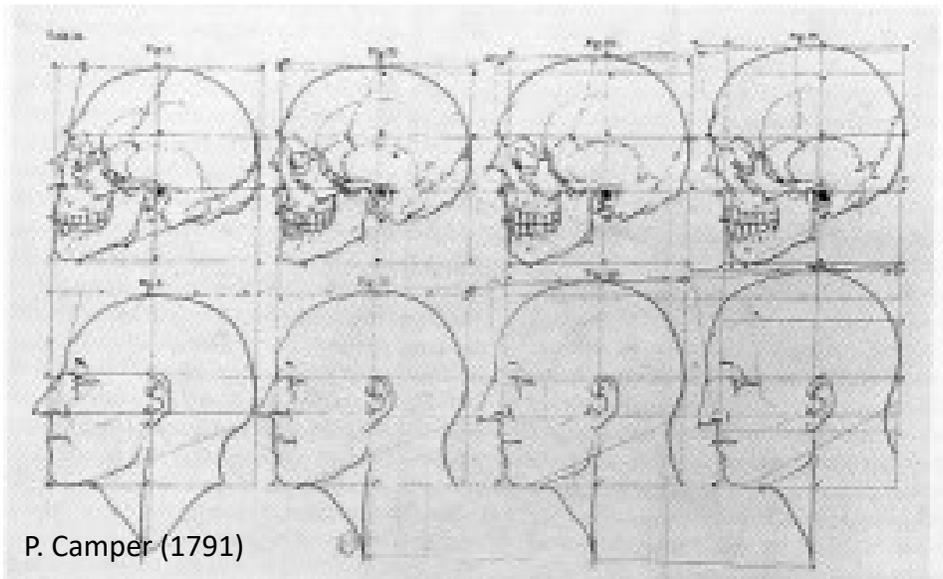
Si lavora sulle forme (descrizione e confronti quantitativi)

- Caratteristiche ed evoluzione delle forme (crescita, evoluzione, fattori interni e esterni...)

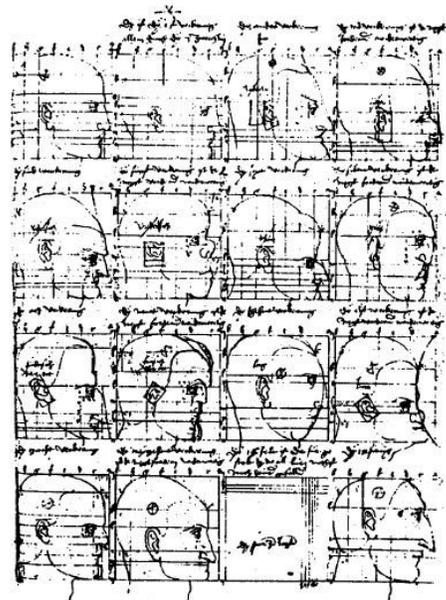
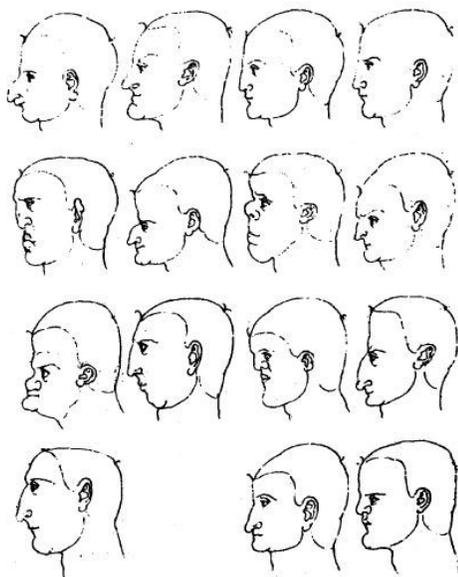


Perché usiamo la morfometria?

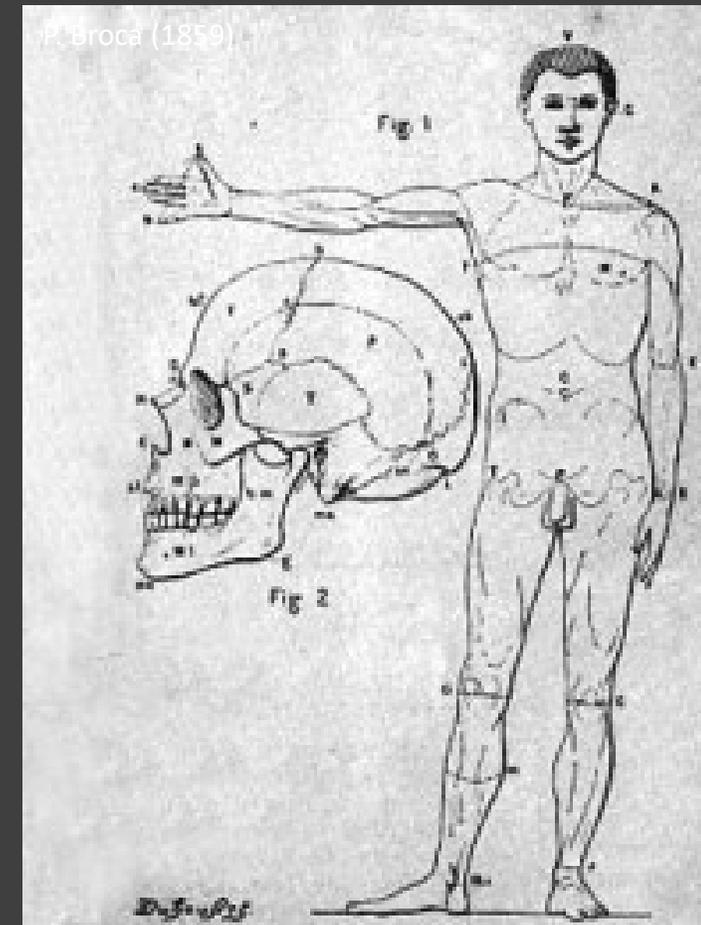
La morfometria è « la descrizione quantitativa, analisi, e interpretazione delle forme e delle variazioni di forme [di soggetti biologici] » (Rohlf, 1990)

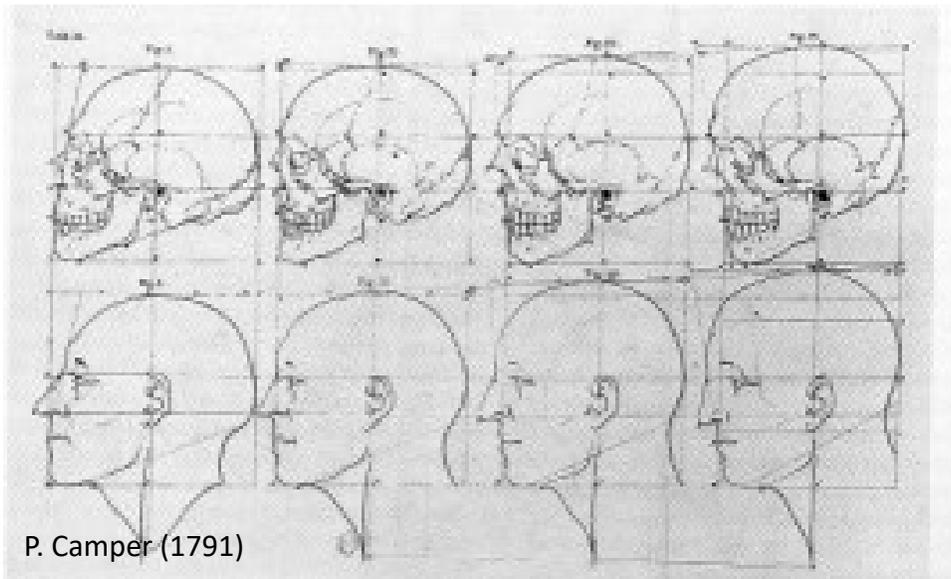


P. Camper (1791)



Disegni di Dürer su il ruolo delle proporzioni nel viso umano.

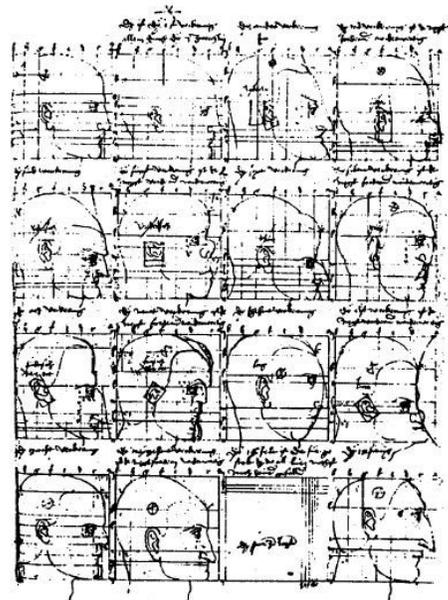
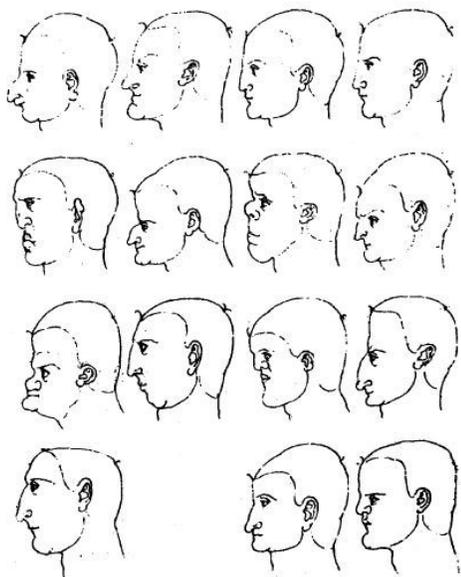




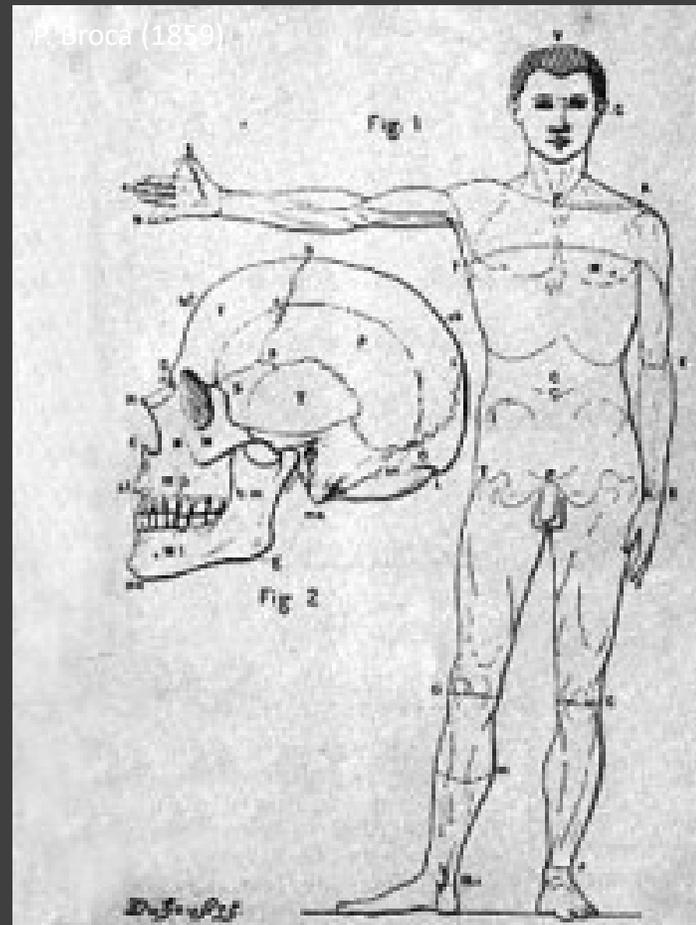
P. Camper (1791)

Why we use morphometrics?

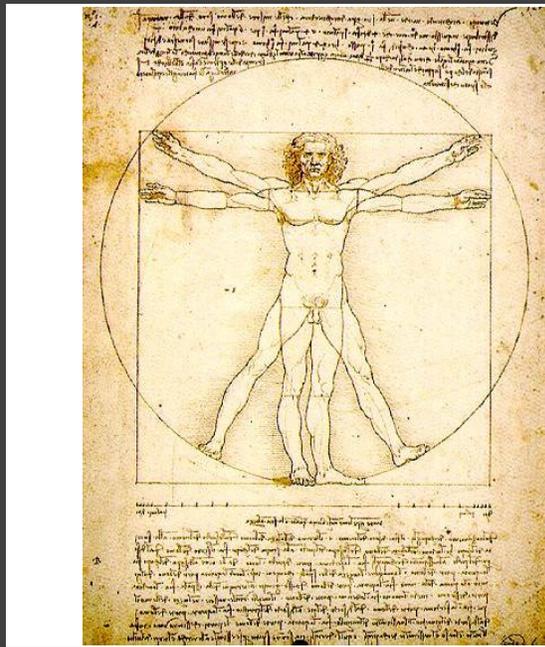
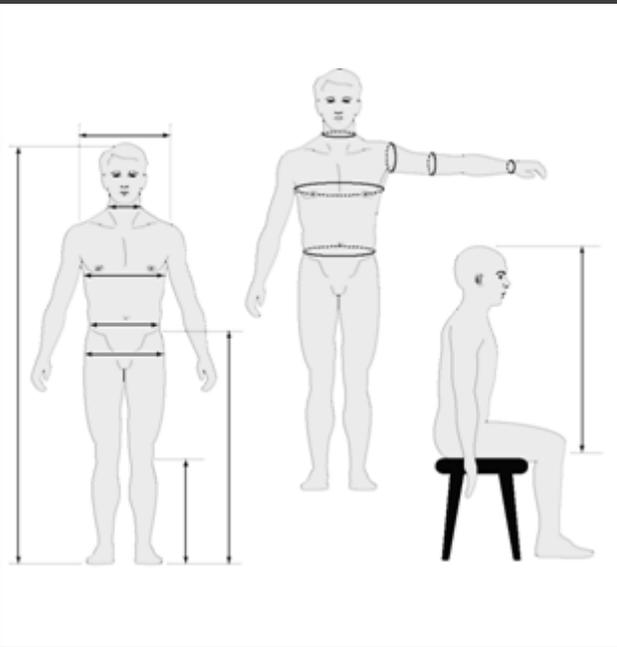
Morphometrics is «the quantitative description, analysis and interpretation of shape and shape variation [of biological subject] » (Rohlf, 1990)



Disegni di Dürer su il ruolo delle proporzioni nel viso umano.

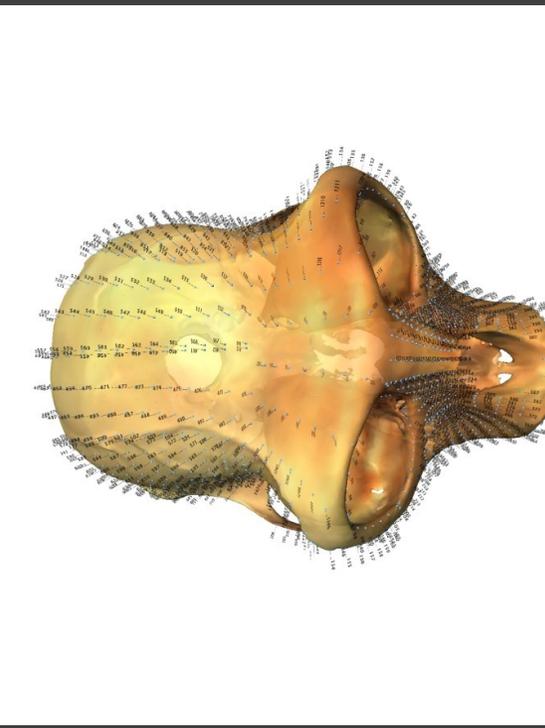
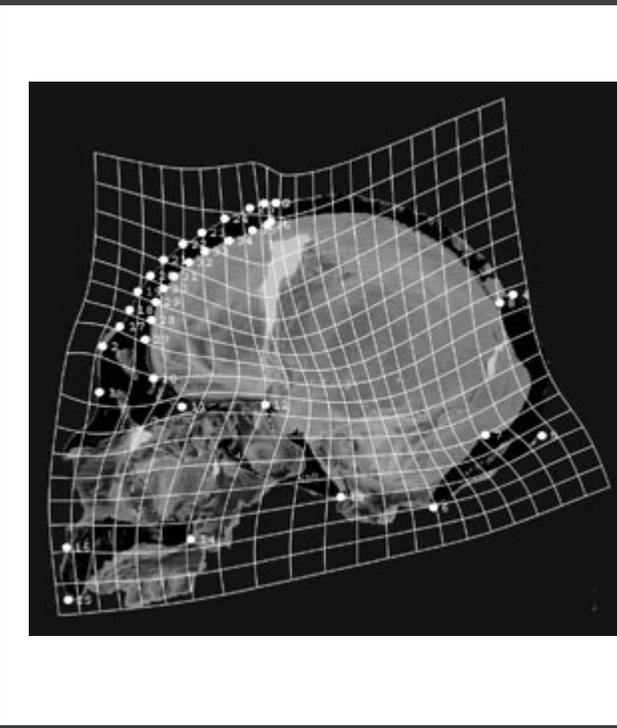


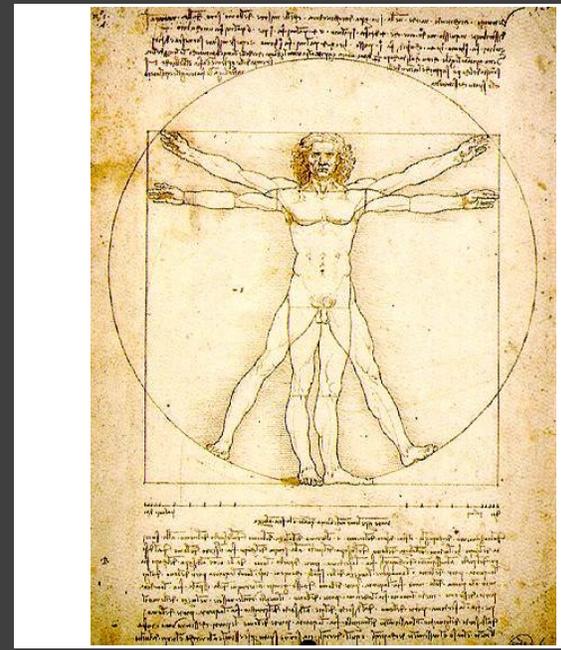
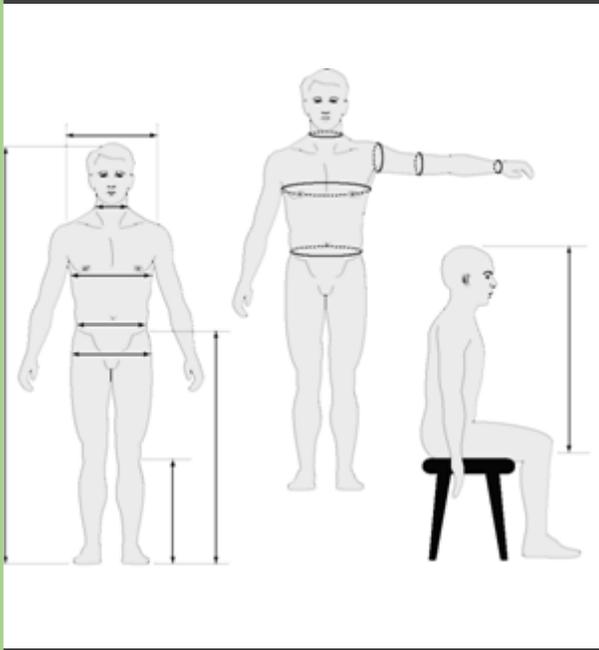
P. Broca (1859)



Tipi di morfometria

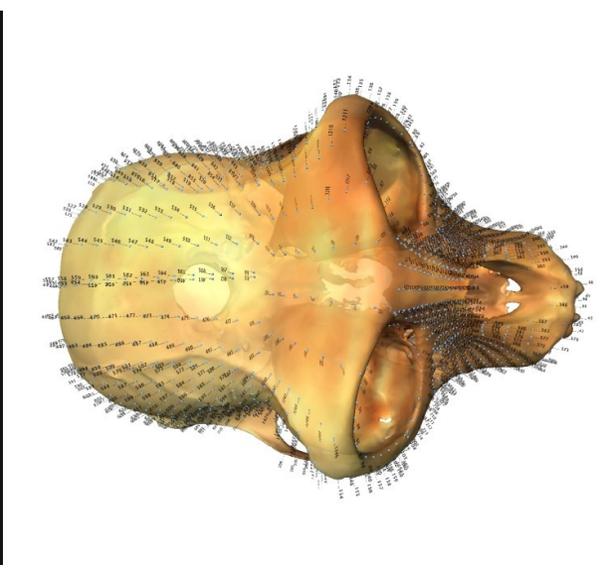
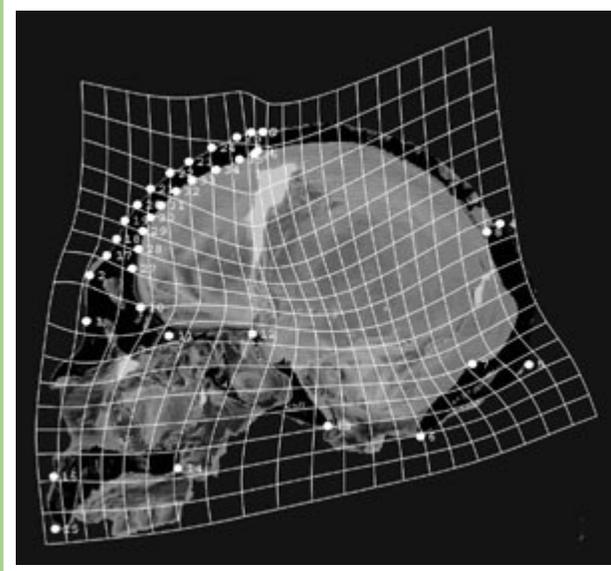
- **Morfometria tradizionale** : Misure classiche (lunghezza, larghezza, spessore....). Analisi di dati lineare in 2D
- **Morfometria geometrica su punti omologi** (Landmarks)
- **Morfometria geometrica sull'analisi dei contorni**

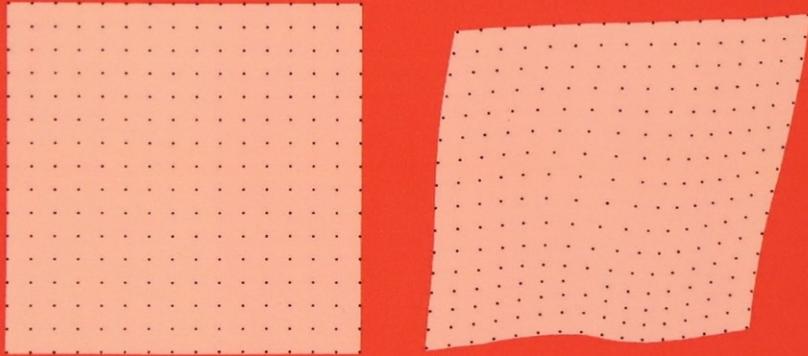
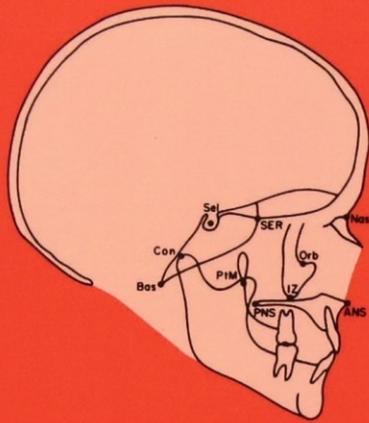




Types of morphometrics

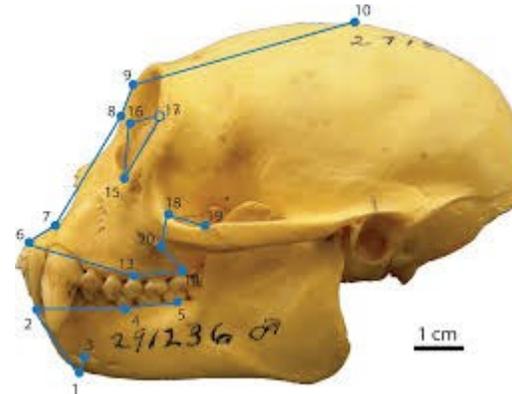
- **Traditionnal morphometrics:** Classic measurements (length, breadth, thickness...). Linear analysis
- **Geometric morphometrics on homologous points (Landmarks)**
- **Geometric morphometrics on outlines analysis**



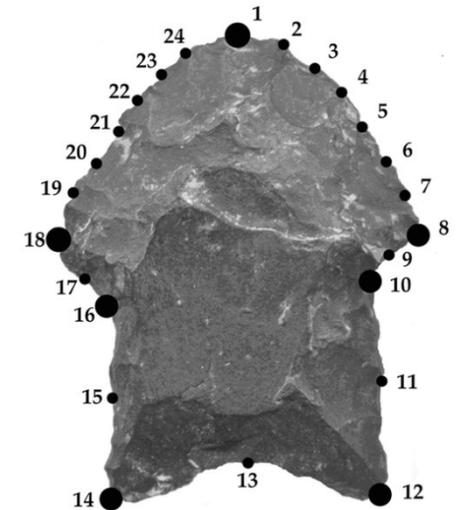
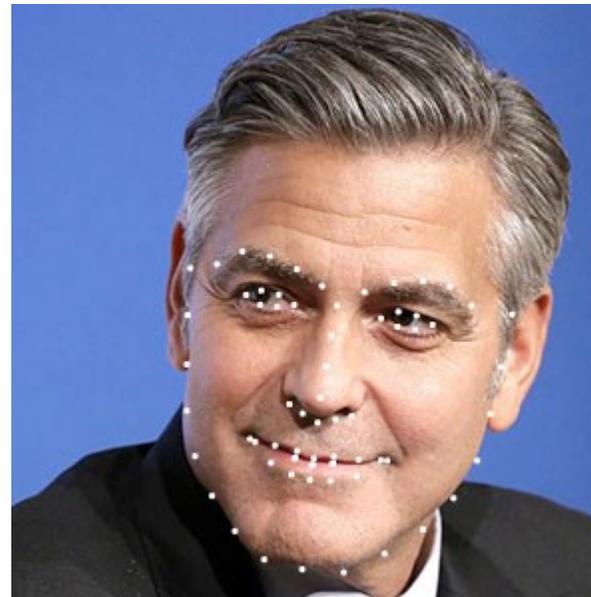
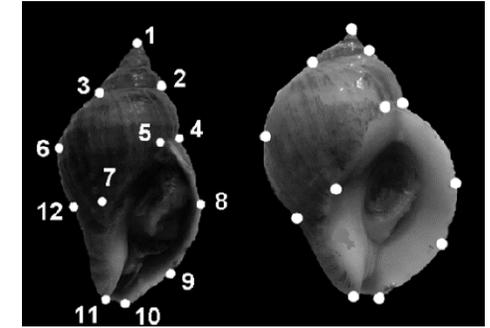


Morphometric Tools for Landmark Data Geometry and Biology

Fred L. Bookstein



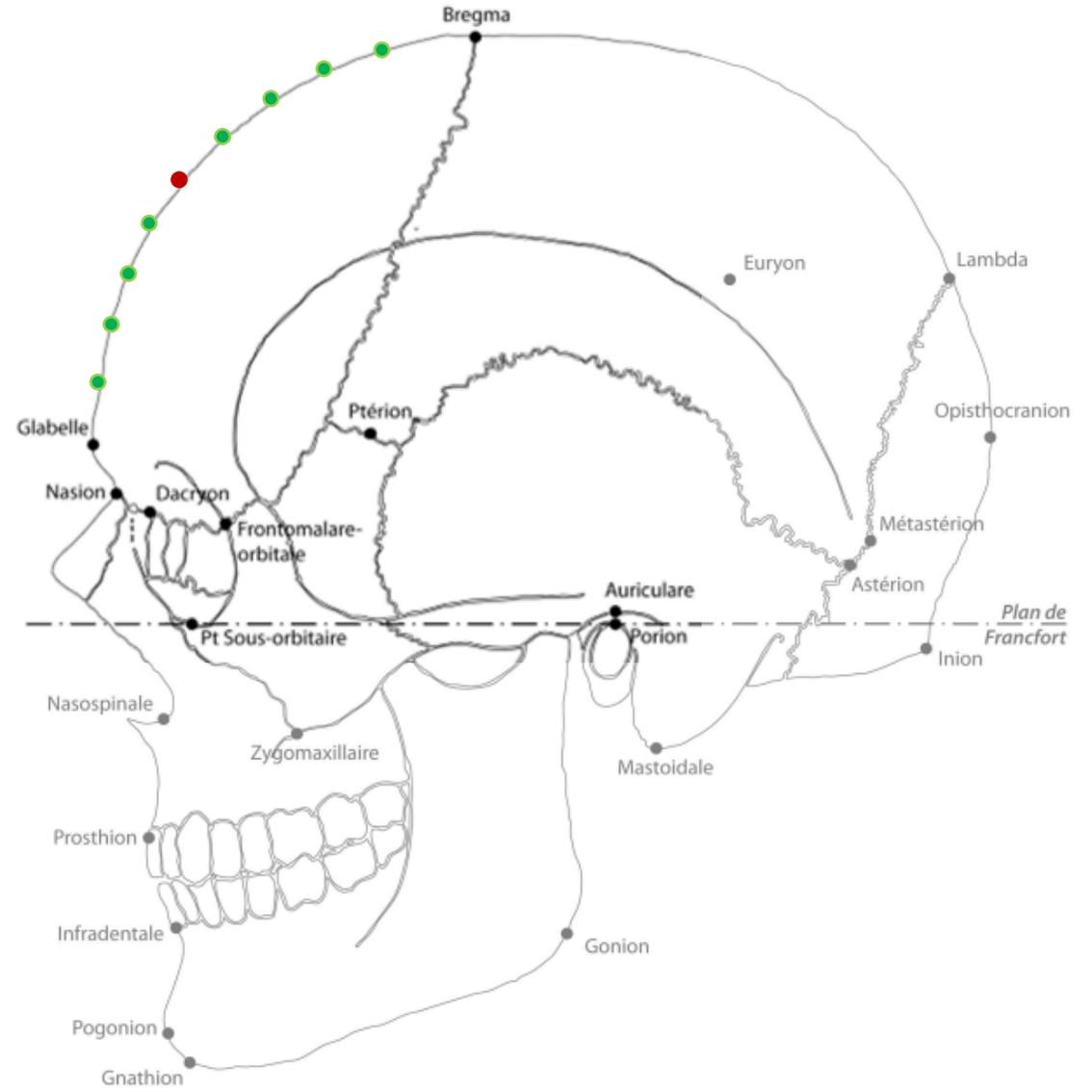
(Cooke and Trehune, 2015)



(González-José and Charlin, 2012)

Definizione dei landmark (Bookstein, 1997)

- Landmark di tipo 1: sono punti facilmente identificabili (e.g. i giunti delle suture craniche) che non richiedono nessuna definizione geometrica in relazione ad altri aspetti del campione; l'omologia tra i campioni è in questo caso evidente.
- Landmark di tipo 2: sono punti morfologicamente isolati o estremità, la cui omologia da individuo a individuo è supportata da evidenze geometriche (e.g. il punto di massima curvatura dell'osso frontale).
- Landmark di tipo 3 o *semilandmark*: punti definiti geometricamente sul campione secondo un protocollo strumentale.
Concettualmente possono essere considerati come punti omologhi nel senso di essere geometricamente corrispondenti tra le forme. L'omologia non è dunque, in questo caso, inerente a delle proprietà identificabili, ma è qualcosa che può emergere da una definizione chiara e operativamente specificata (O'Higgins, 2000).

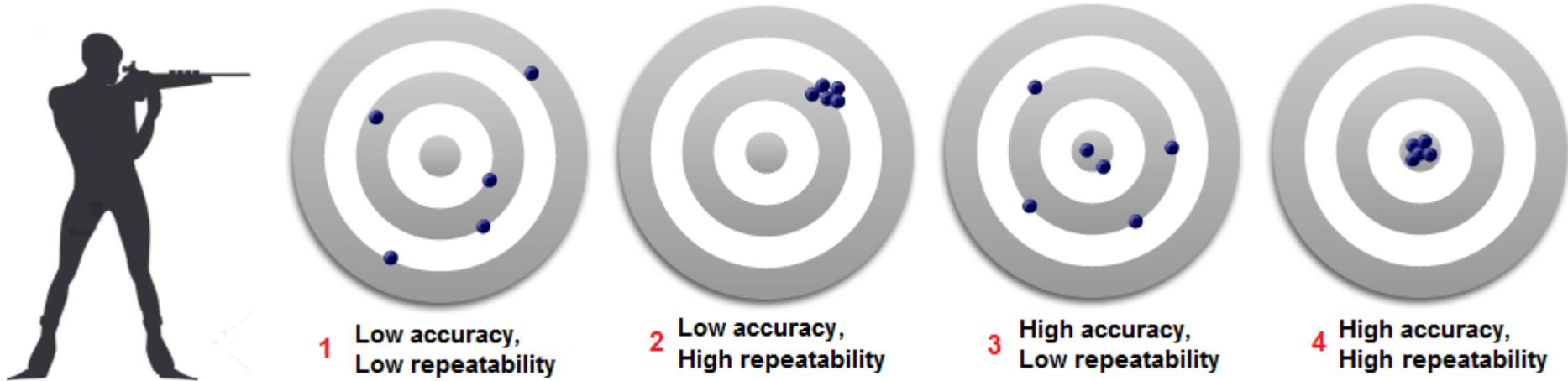


Morfometria: Principi di base

Risoluzione: il più piccolo intervallo che può essere misurato

Affidabilità: La differenza/deviazione tra il «vero» valore e le misure

Ripetibilità (precisione): è il grado di concordanza tra una serie di misure di uno stesso misurando (la grandezza oggetto di misurazione), quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura.



Accuracy is how close your shot is to the center.

Repeatability is how close to each other your shots are when you shoot multiple times.

Morfometria: Principi di base

Forma = Taglia + conformazione
Form = Size + shape



A



B



C



D

	Stessa Taglia / <i>Same size</i>	Taglia diversa / <i>Different size</i>
Stessa conformazione <i>Same conformation</i>	Stessa forma <i>Same shape</i>	Forma diversa <i>Different shape</i>
Conformazione diversa <i>Different conformation</i>	Forma diversa <i>Different shape</i>	Forma diversa <i>Different shape</i>

Morfometria: Principi di base

Caso teorico



Conformazione identiche
Taglie diverse



Conformazione diverse
Taglie identiche

Morfometrics: Principi di base

Theoretical case



Same shape
Different size



Different shape
Same size

Morfometria: Principi di base

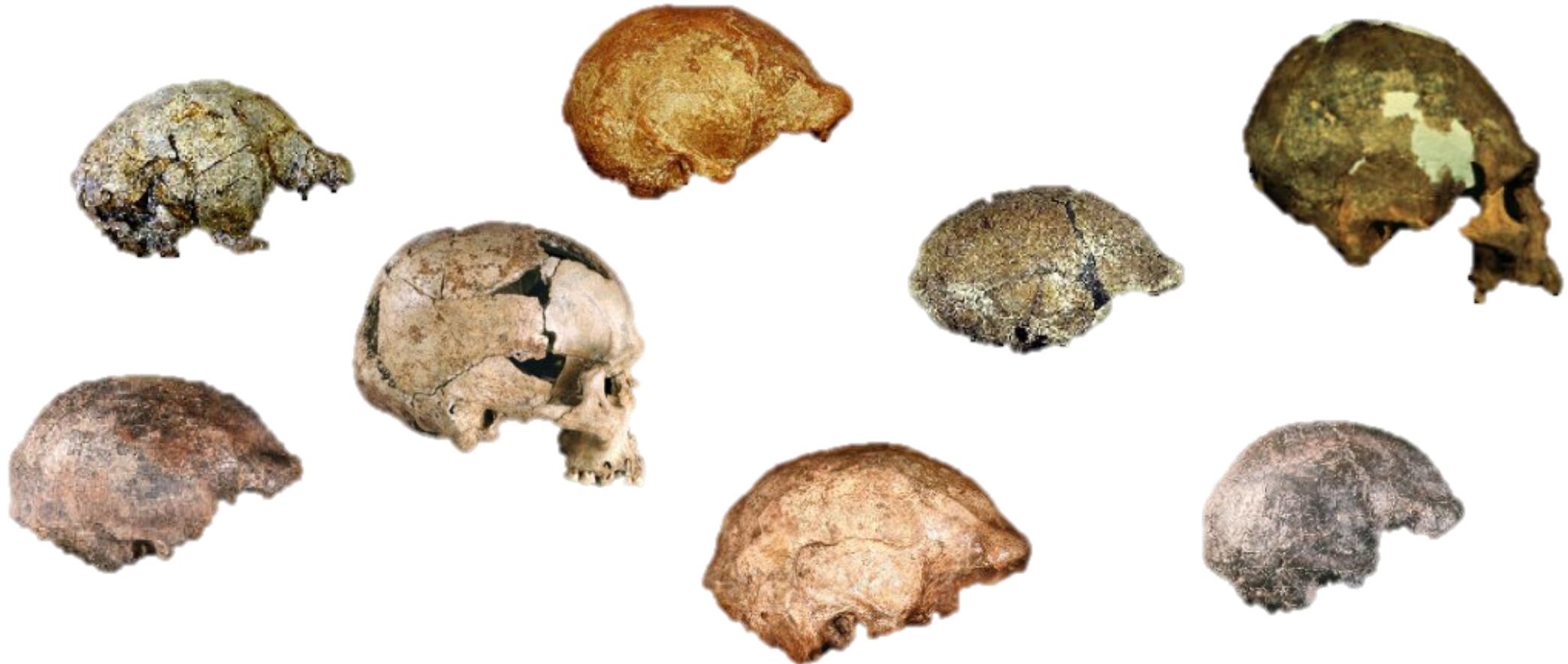
Caso reale



Conformazione diverse
Taglie diverse

Morfometria: Principi di base

Homo erectus e Homo sapiens in Indonesia - Australia

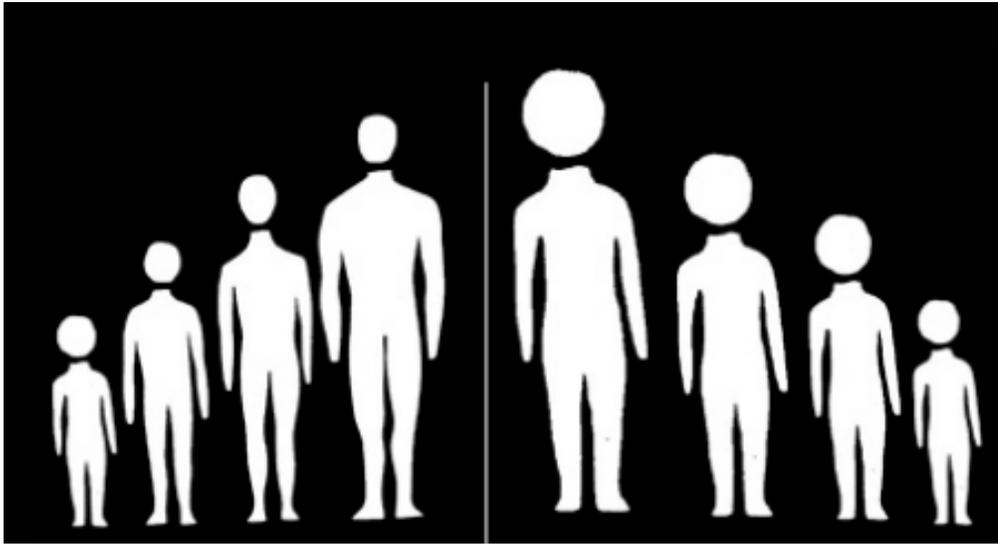


Conformazioni diverse e taglie diverse

Però le differenze sono sottili e analizzare le strutture anatomiche può essere complesso.
⇒ Bisogna manipolare un gran numero di parametri

Morfometria geometrica vs tradizionale

Forma = conformazione + taglia

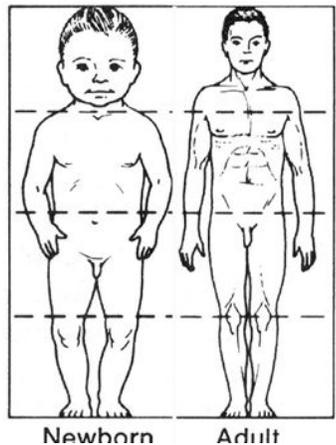


In ogni caso la forma cambia

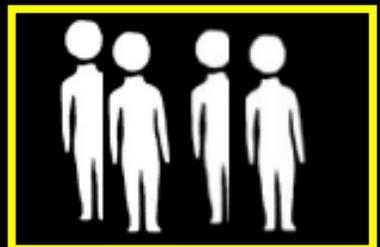
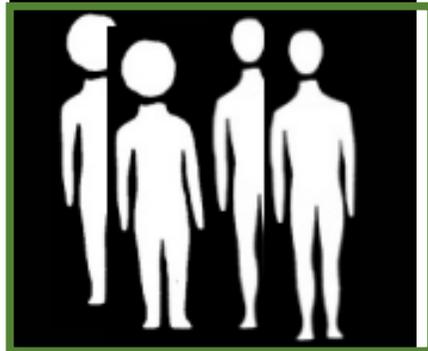
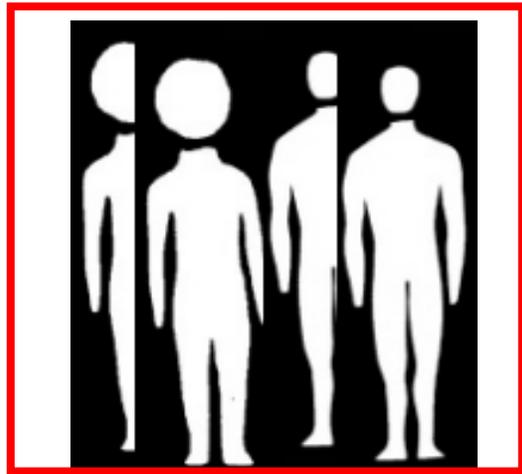
Come distinguere i cambiamenti di taglia dai cambiamenti di conformazione?

Allometrie
Taglia cambia
conformazione cambia

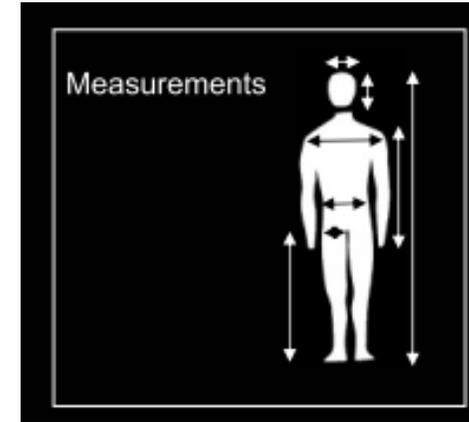
Isometrie
Taglia cambia
Conformazione =



Morfometria tradizionale



Campione

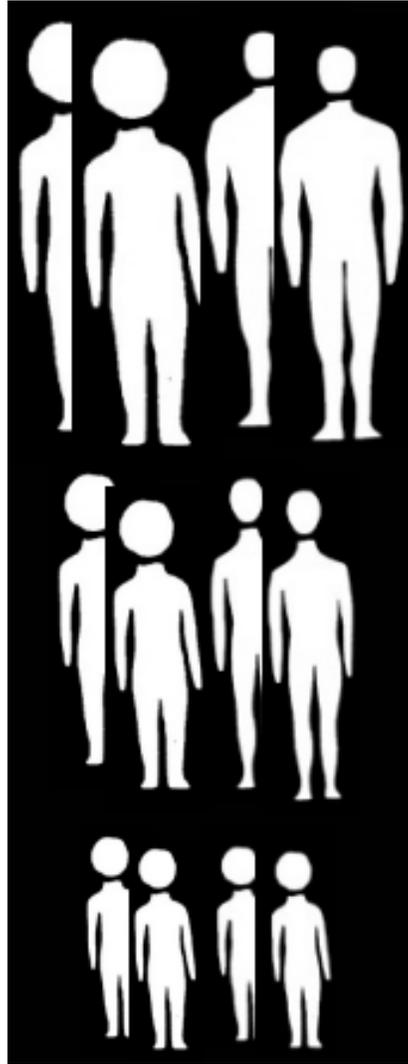


Analisi delle variabili
lineari in 2D

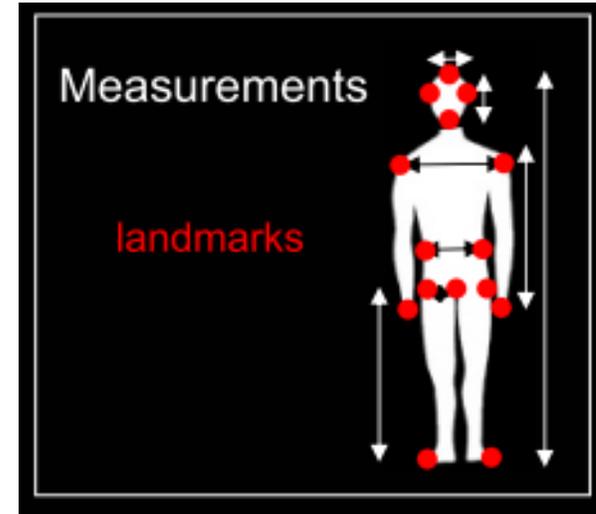


Effetto della taglia : I cambiamenti di conformazione della testa e del corpo sono nascosti

Morfometria geometrica



Campione

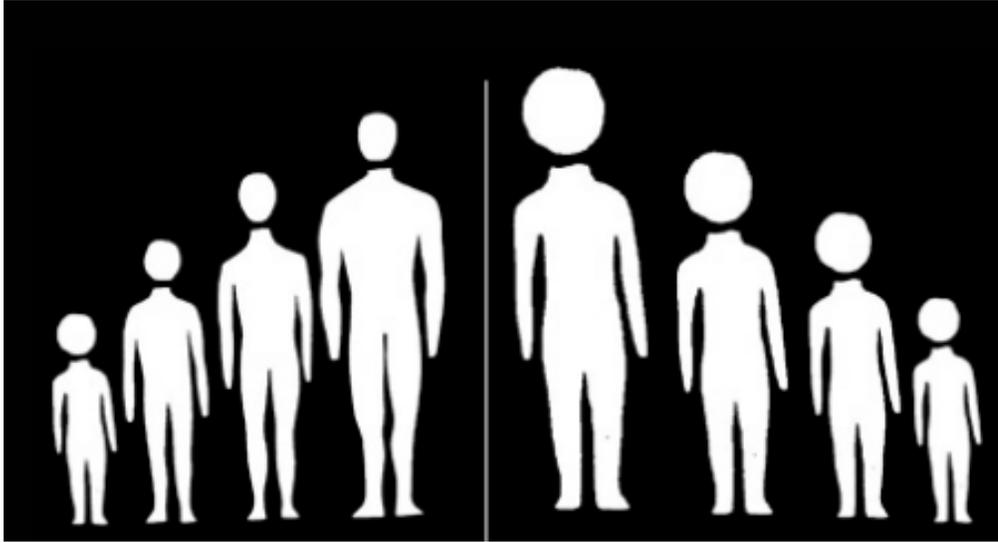


Tutte le informazioni morfometriche (geometriche) disponibili dai landmarks sono prese in considerazione per ulteriori analisi

⇒ Il fattore taglia è comunque presente

Geometric morphometrics vs traditional

$$\text{Form} = \text{shape} + \text{size}$$

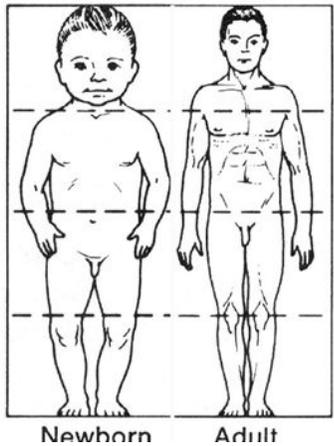


In all the cases the form changes

How to distinguish the changes in size from the changes in shape?

Allometry
Size change
Shape change

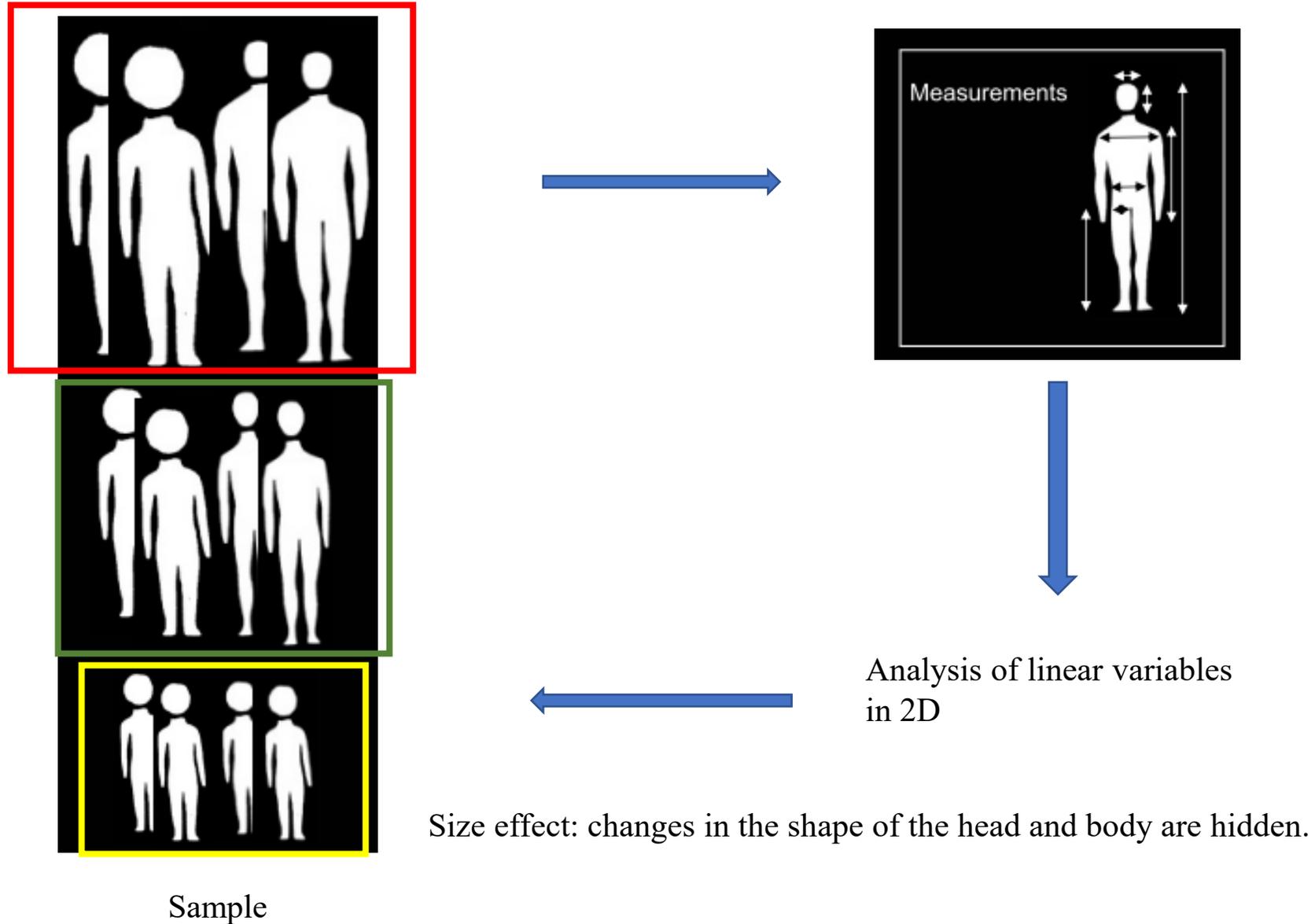
Isometry
Size change
Shape =



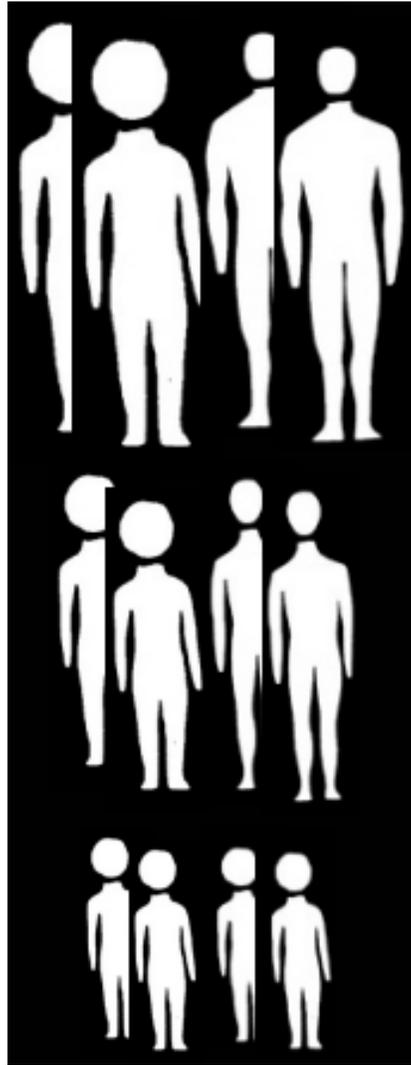
Newborn

Adult

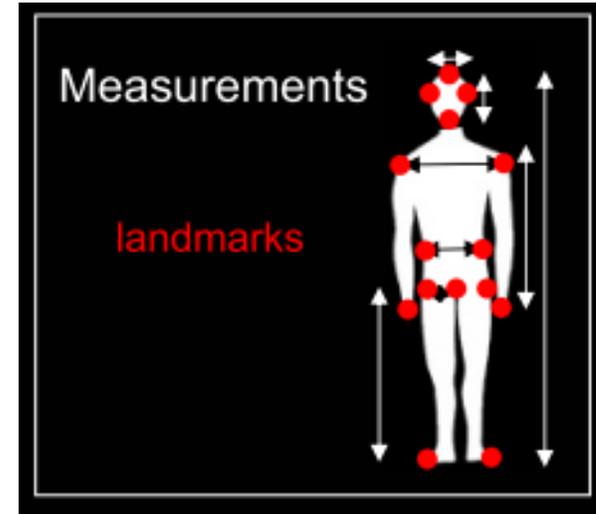
Traditionnal morphometrics



Geometric morphometrics

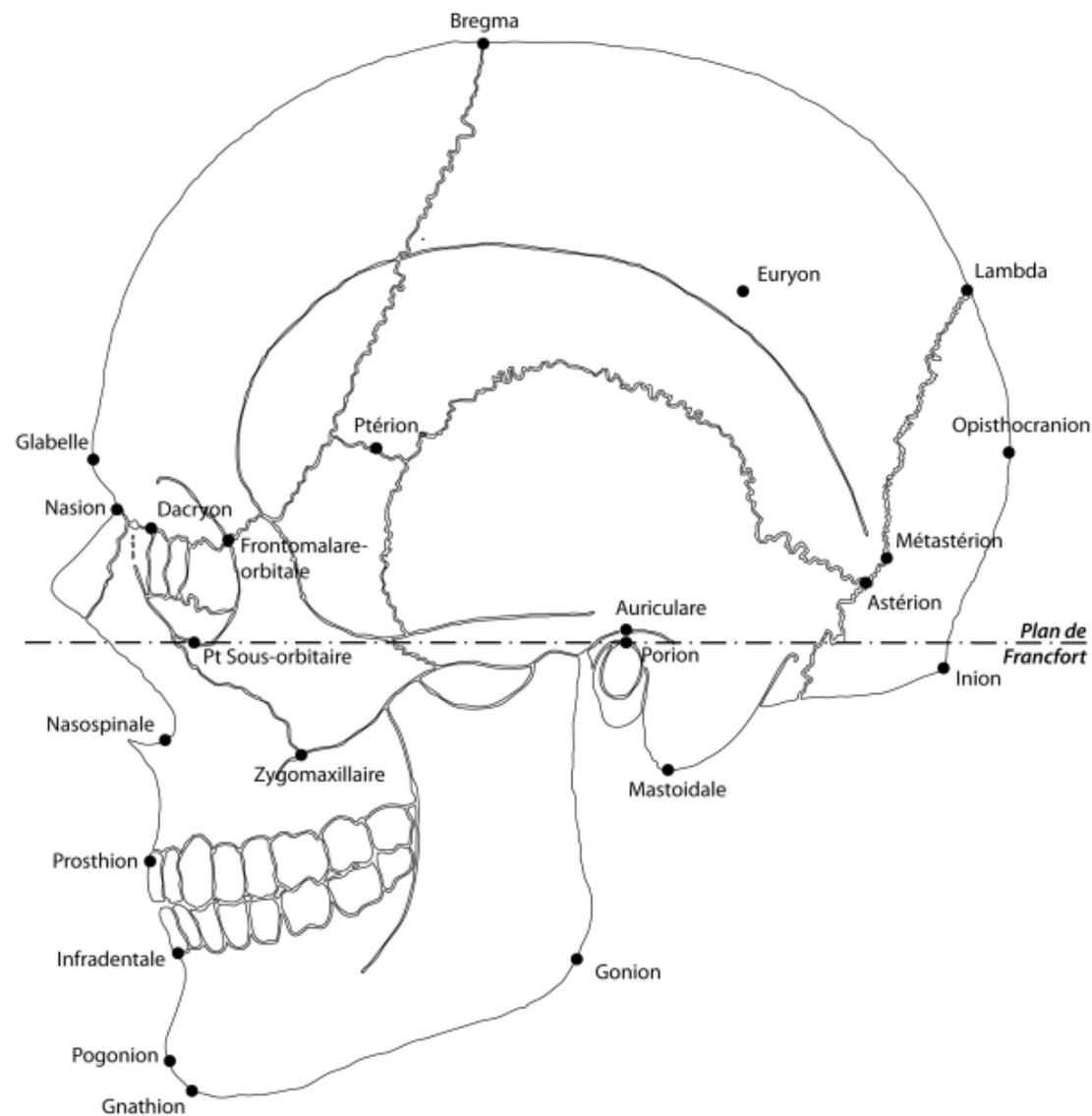
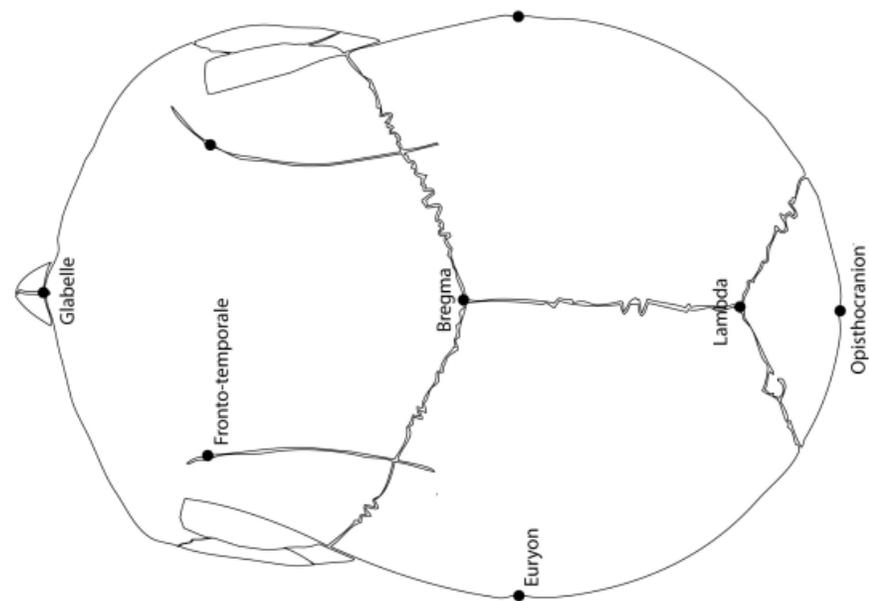
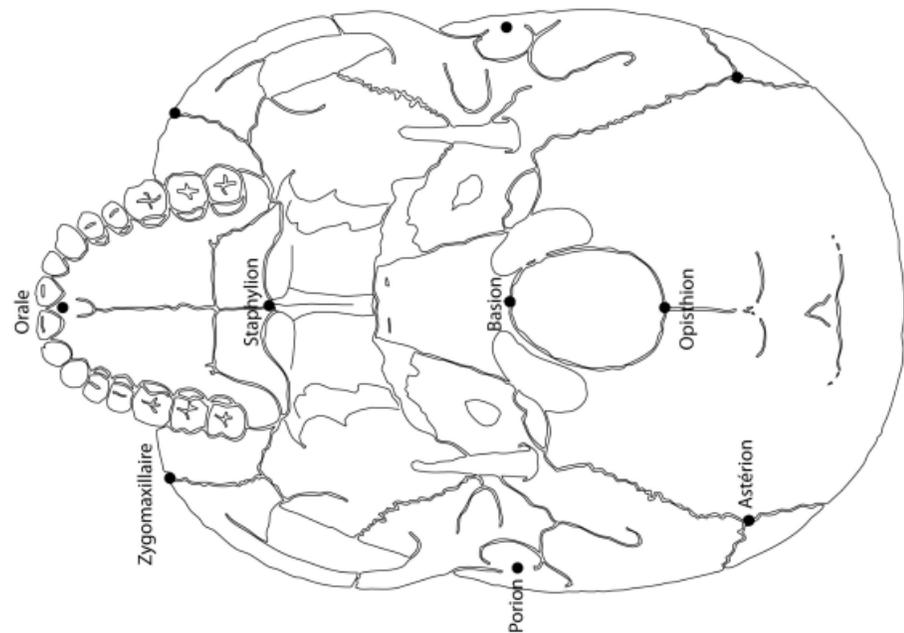


Sample



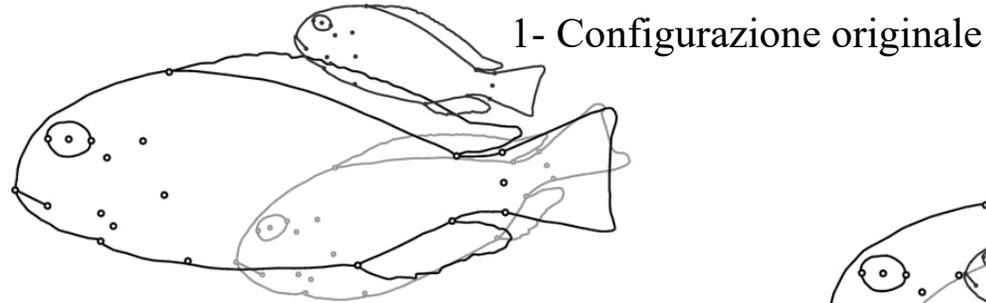
All the morphological information (geometrical) available from the landmarks are taken in consideration for further analysis.

⇒ Size effect are still present

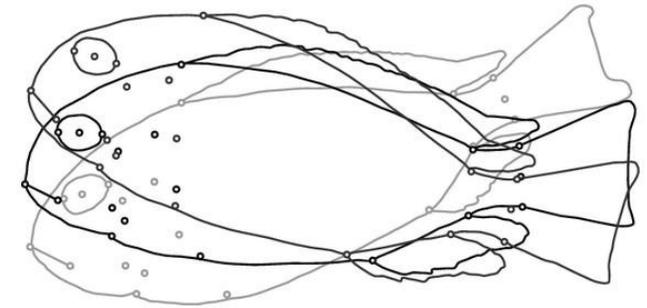


General Procrustes Analysis

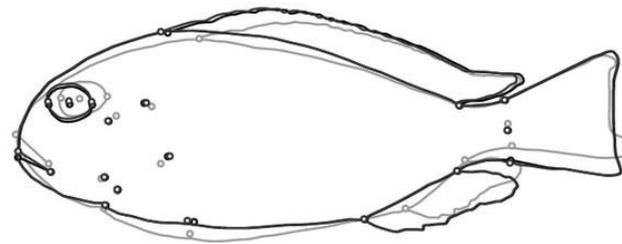
Questo metodo permette di togliere il fattore taglia



2- Il centroide di ogni configurazione è traslato all'origine

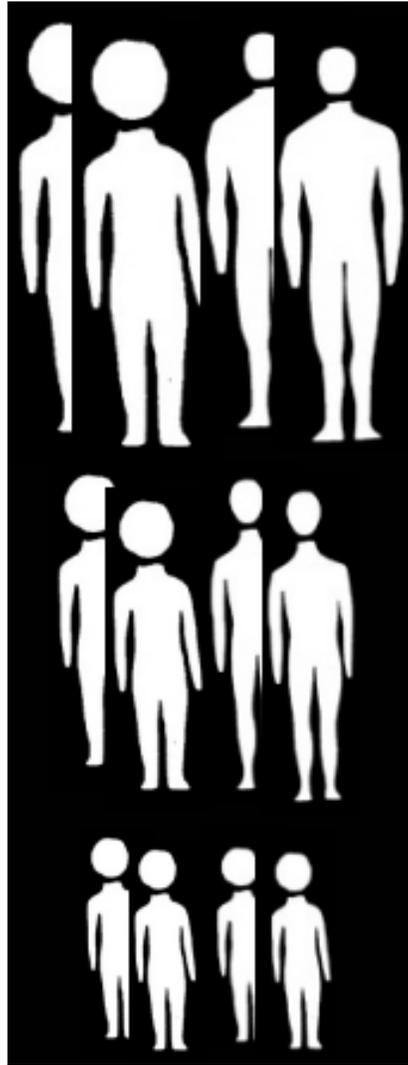


4- Le configurazioni sono rotate ottimamente per minimizzare la distanza tra i landmarks corrispondente (seguendo una procedura di minimi quadrati)

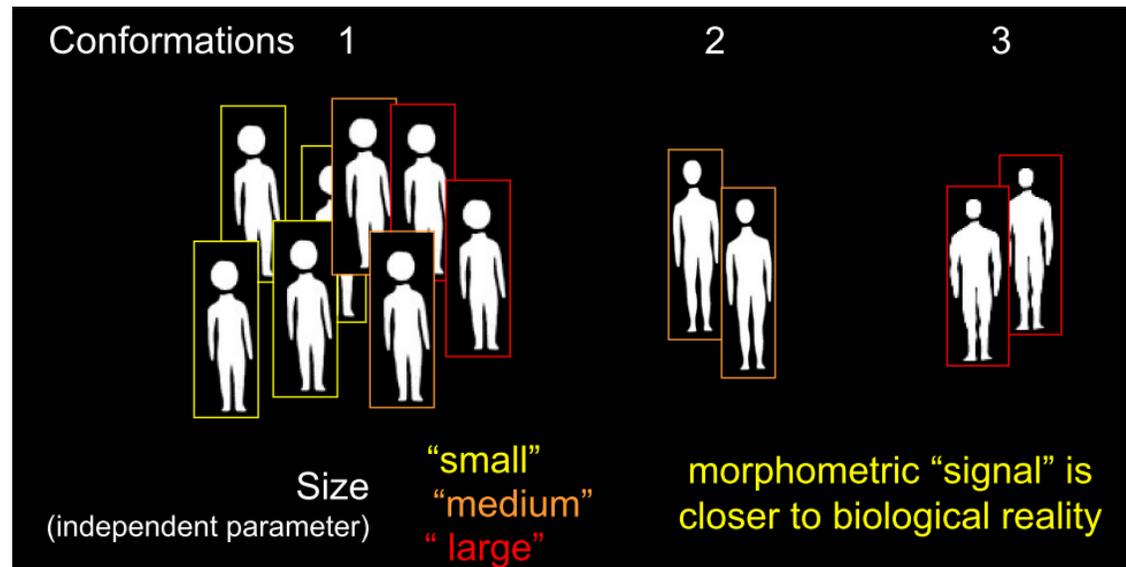
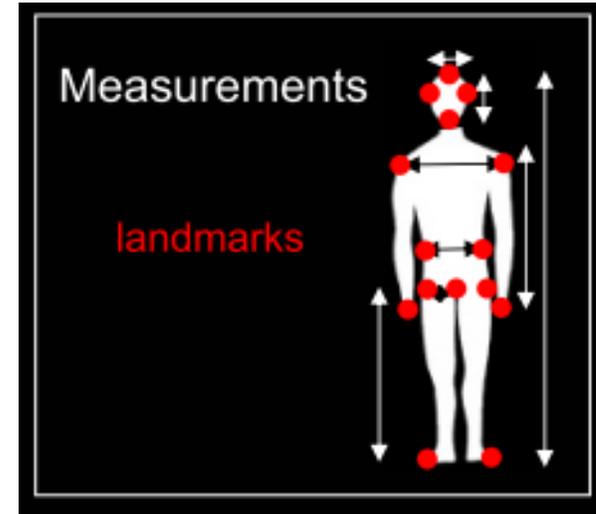


Gli scarti presentati tra i vari individui rappresentano la variabilità e le caratteristiche geometriche di ogni individuo

Morfometria geometrica



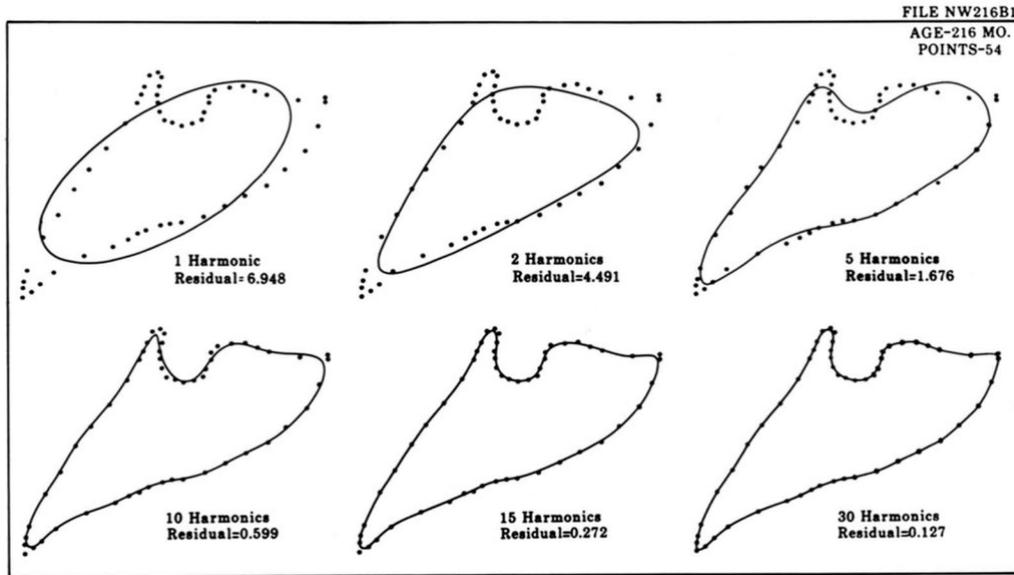
Campione



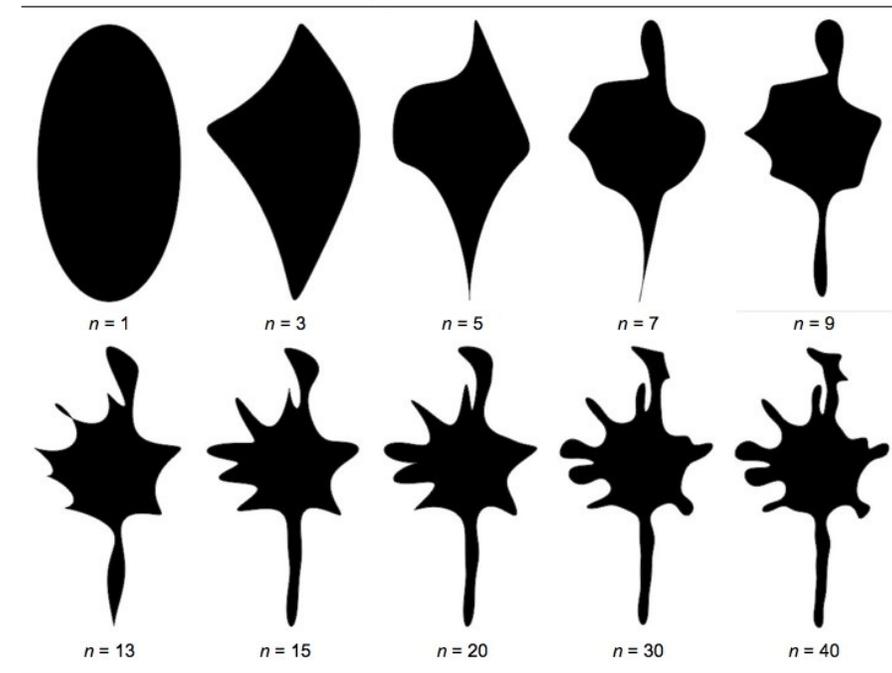
Analisi morfometriche geometriche – Applicazione dell'Elliptical Fourier Analysis

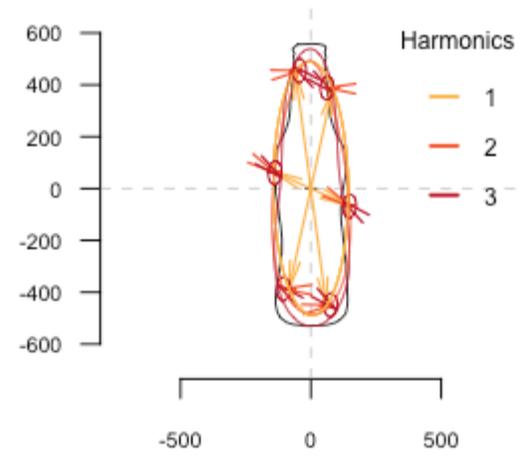
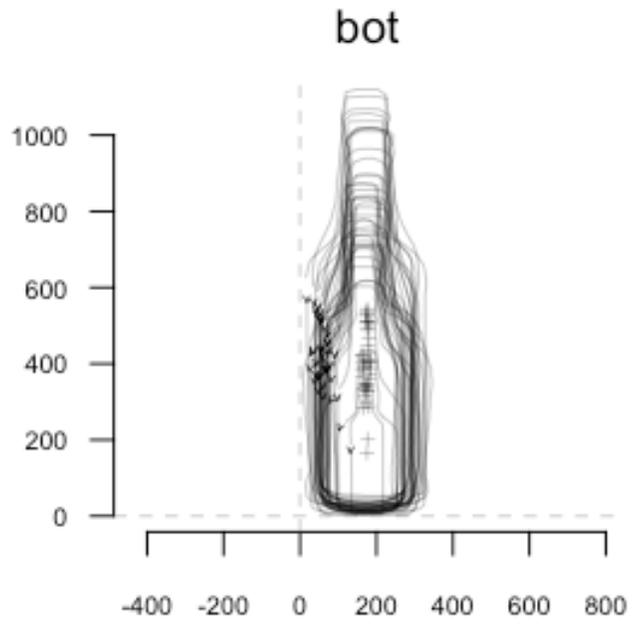
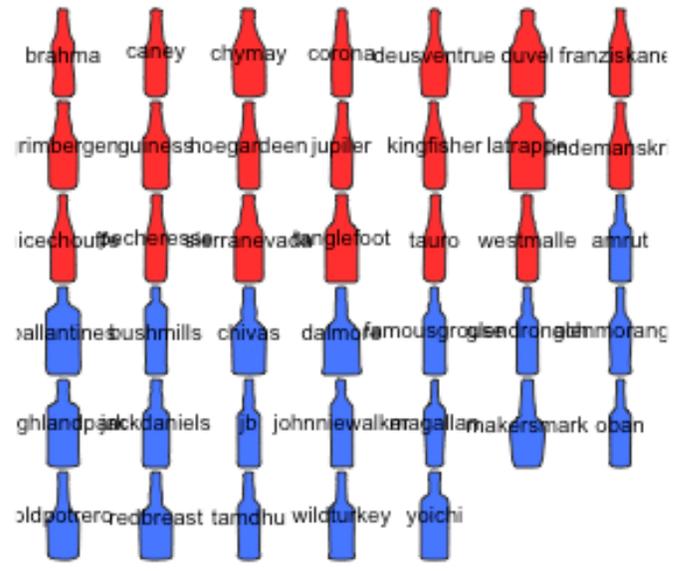
L'EFA è basato sul teorema di Fourier e presuppone che «tutte le funzioni periodiche possano essere decomposte in una serie di sinusoidi o armonici, ciascuno caratterizzato da una frequenza, un'ampiezza e una fase».

→ Quantificazione dei contorni calcolando una serie di curve teoriche che si avvicinano via via alla curva reale calcolando dei coefficienti chiamati armonici (Kuhl & Giardina, 1982).

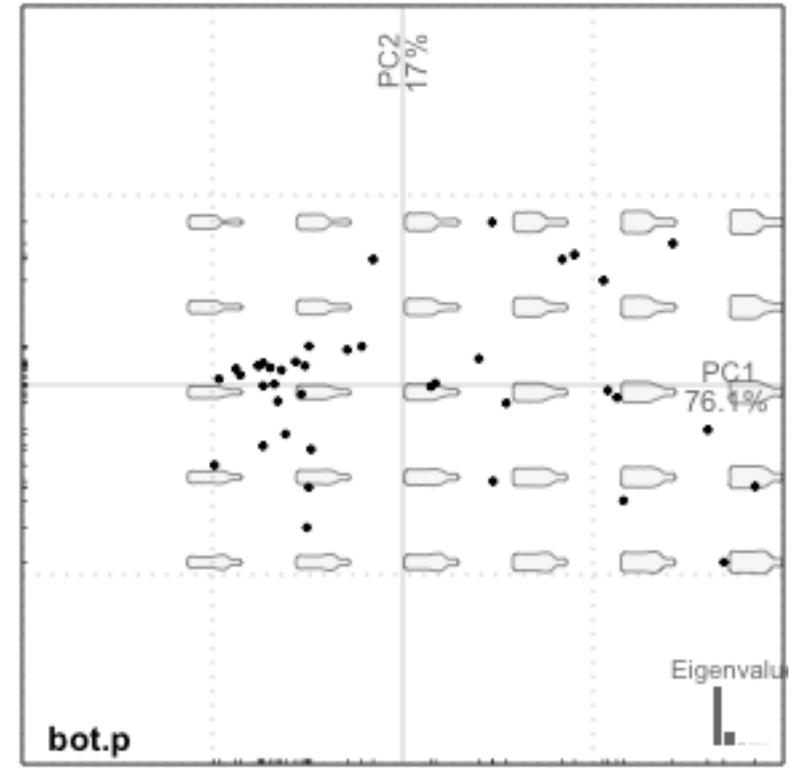


Applicazione dell'Elliptical Fourier Analysis su un contorno di un basi-cranio umano. L'analisi è illustrata come un processo graduale per mostrare le convergenze delle serie della forma presa in considerazione (Lestrel, 1989).

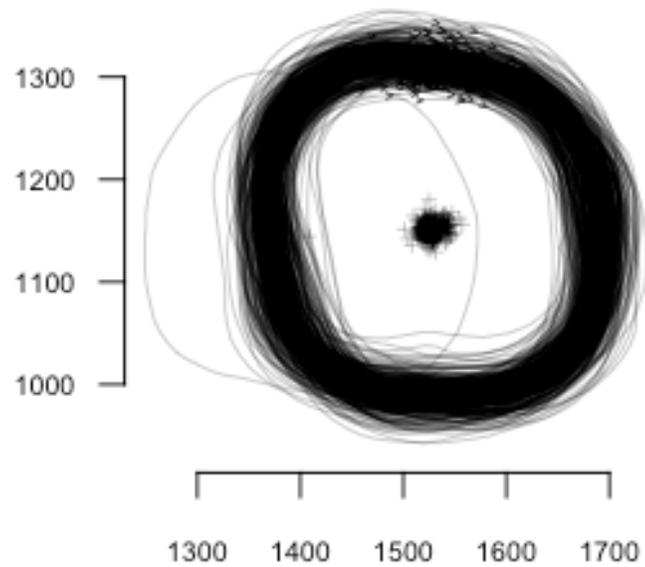




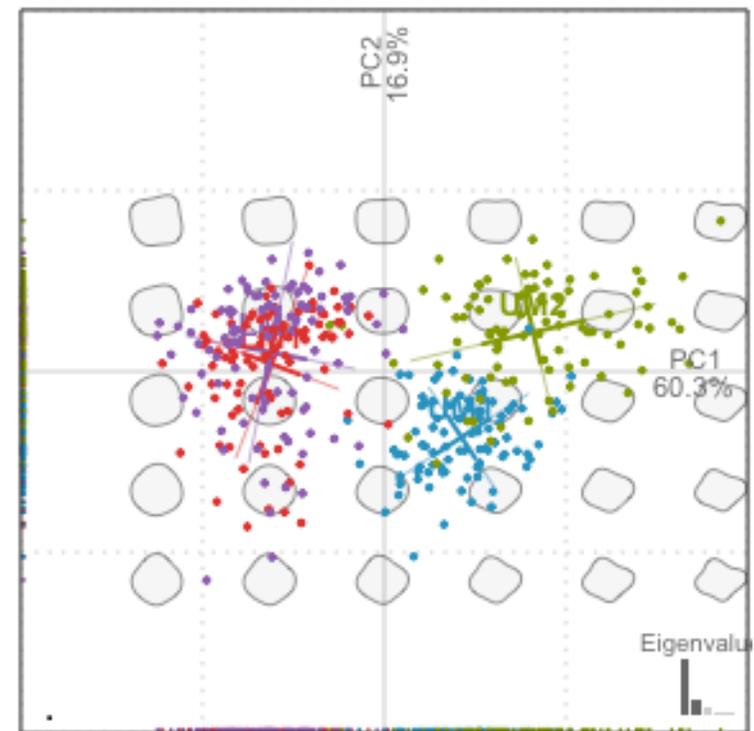
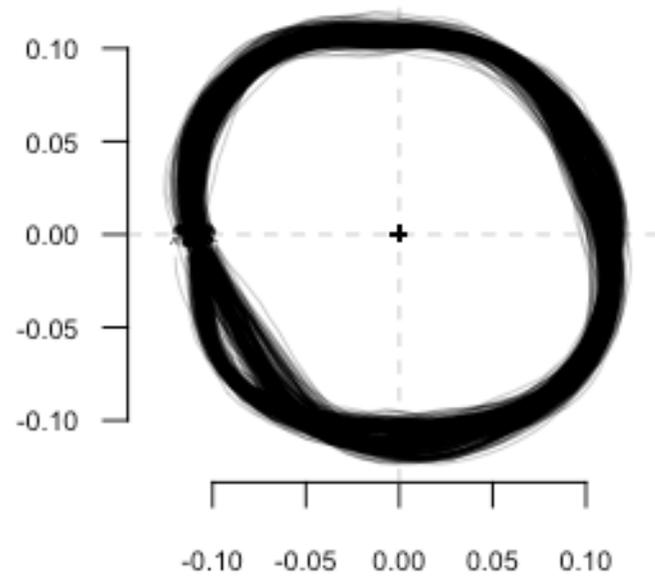
amrut



Non-aligned molars



Aligned molars

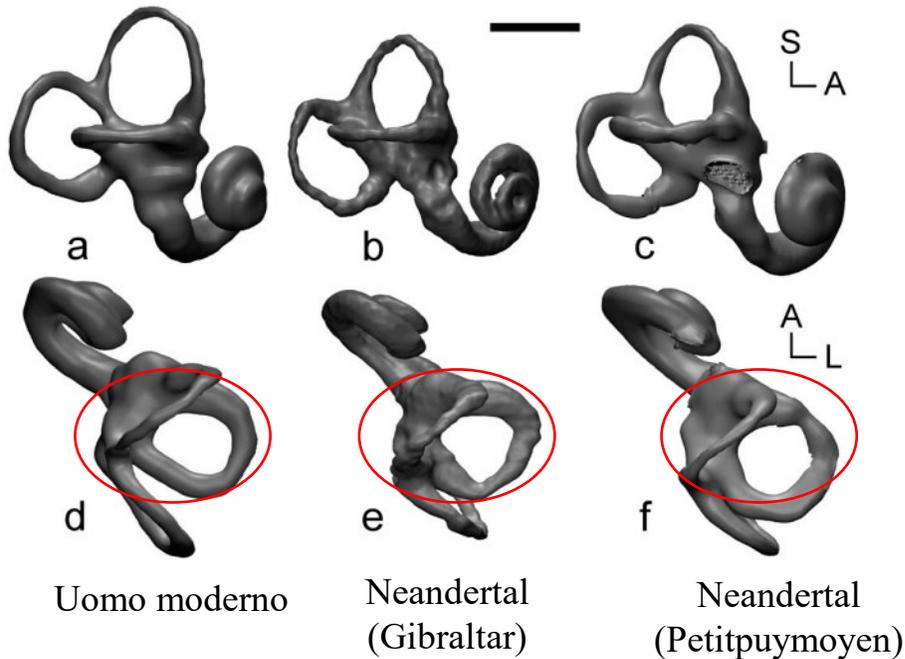


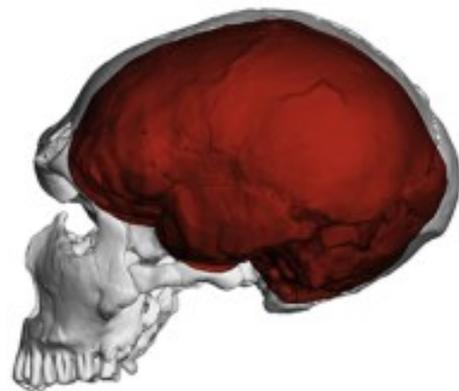
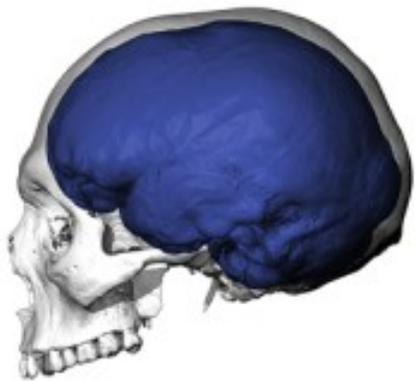
Applicazioni e casi studi



The bony labyrinth of Neandertal (Spoor, 2003)

- I risultati dimostrano che l'orecchio interno dei Neandertal si distingue nella morfologia dei uomini dell'Olocene e del Pleistocene superiore.
- Rispetto all'uomo moderno l'orecchio interno del Neandertal è caratterizzato da un arco del canale semicircolare anteriore più piccolo nel valore assoluto e relativo, abbastanza appuntito e con più torsioni





A uniquely modern human pattern of endocranial development. Insights from a new cranial reconstruction of the Neandertal newborn from Mezmaiskaya

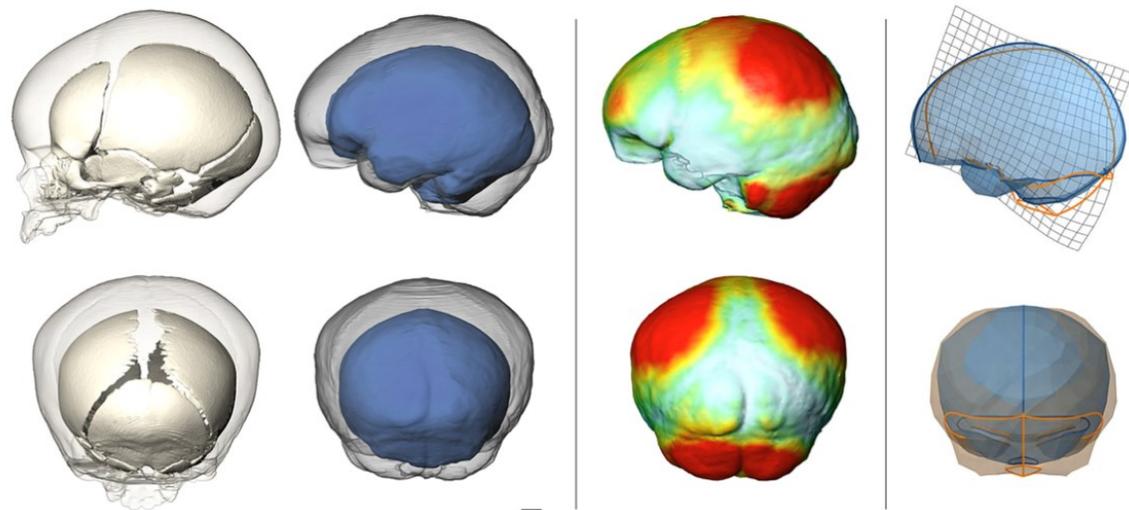
Philipp Gunz^{a,*}, Simon Neubauer^a, Lubov Golovanova^b, Vladimir Doronichev^b, Bruno Maureille^c, Jean-Jacques Hublin^a

^aDepartment of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Leipzig, Deutscher Platz 6, D-04103 Leipzig, Germany

^bLaboratory of Prehistory, St. Petersburg 199034, Russia

^cUniversité de Bordeaux, UMR5199 PACEA – Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, CNRS Université Bordeaux 1, MCC F-33405 Talence cedex, France

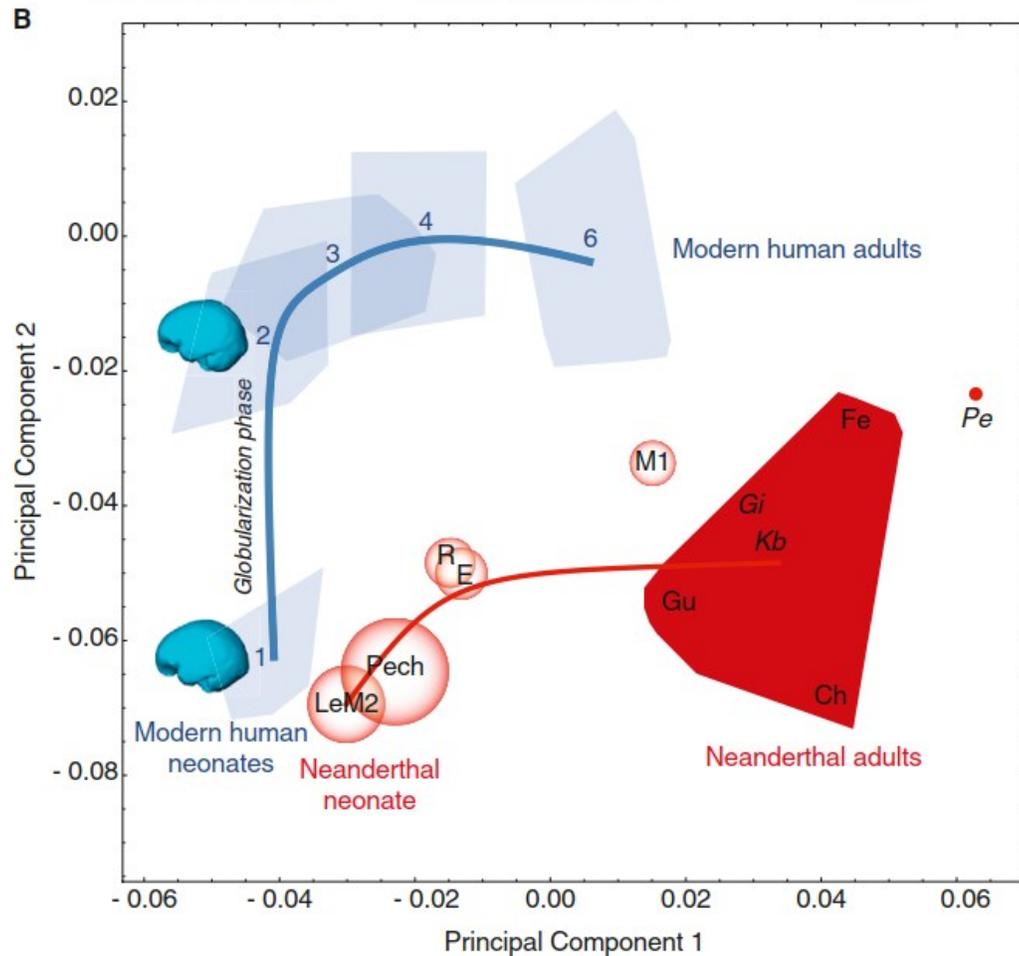
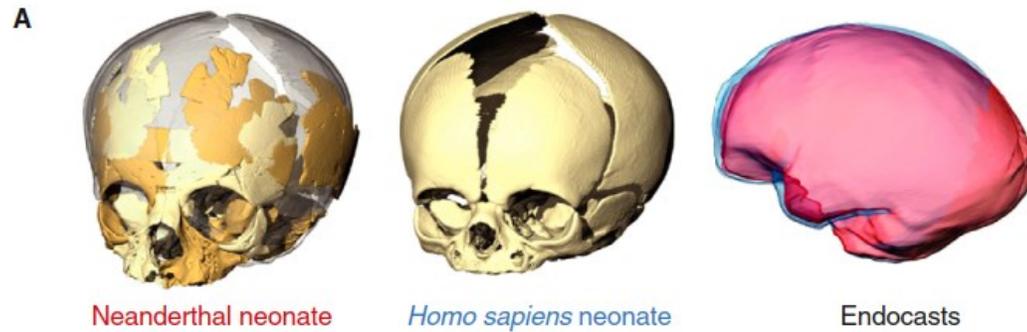
CT scans of a modern human and a Neandertal adult (La Ferrassie 1). Neandertals have elongated braincases and endocasts when compared with modern human adults. Neandertal faces are larger and more projecting than in *Homo sapiens*.



Modern human ‘globularization-phase’. Left: A modern human neonate (white: bone; blue: virtual endocast) and a one-year old *Homo sapiens* infant (semitransparent surfaces) in lateral and posterior view.

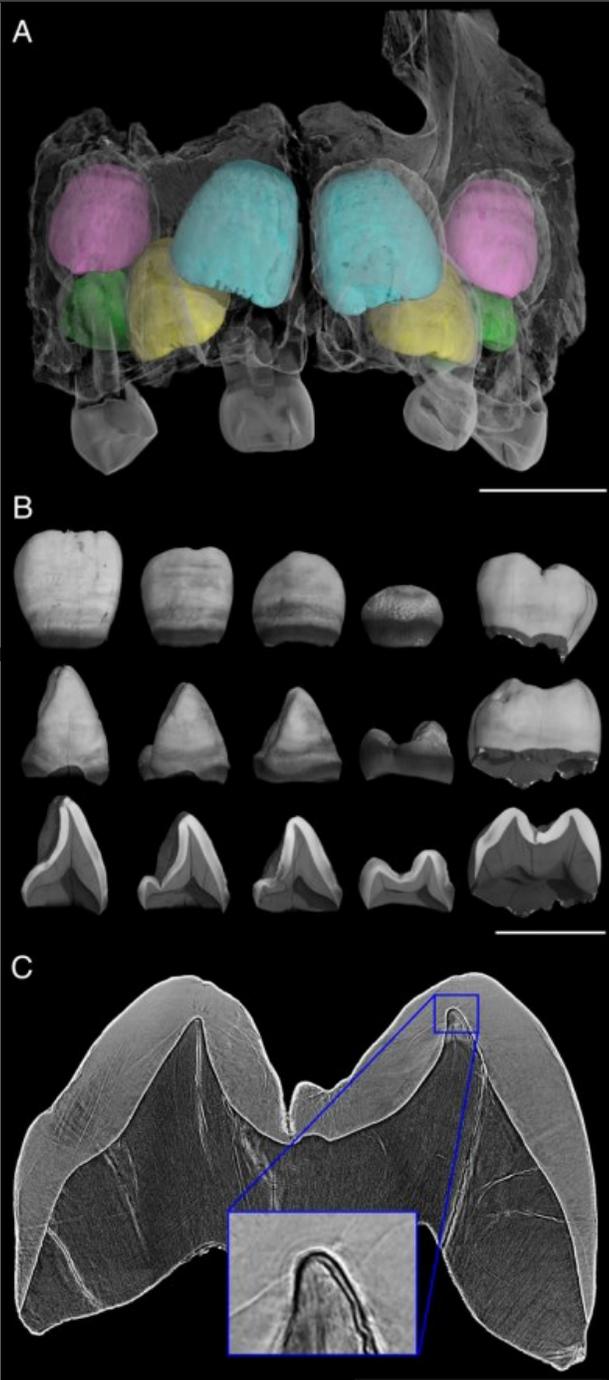
Brain development after birth differs between Neanderthals and modern humans

Philipp Gunz^{1,§,*}, Simon Neubauer^{1,§}, Bruno Maureille², and Jean-Jacques Hublin¹



At birth, Neanderthals and modern humans have very similar endocranial volumes and shapes

(red: Le Moustier 2; blue: modern human). (B) A principal component analysis of endocranial shape changes from birth (age group 1) to adulthood (age group 6). The convex hulls for modern humans (blue) are based on dental age groups. The fossil convex hull (red) is based on the Neanderthal adults only. The average developmental trajectory is plotted as a solid line. Endocranial mean shapes visualize the shape change during the modern human globularization phase between age groups 1 and 2. All fossils were reconstructed multiple times; each distribution of reconstructions falls within the respective semitransparent disks (Neanderthal specimens: LeM2 — Le Moustier 2; Pech — Pech de l'Azé; R — Roc de Marsal; E — Engis 2; M1 — Le Moustier 1; Gu — Guattari; Fe — La Ferrassie 1; Gi — Gibraltar; Ch — La Chapelle-aux-Saints. Archaic Homo: Kb — Kabwe; Pe — Petralona).

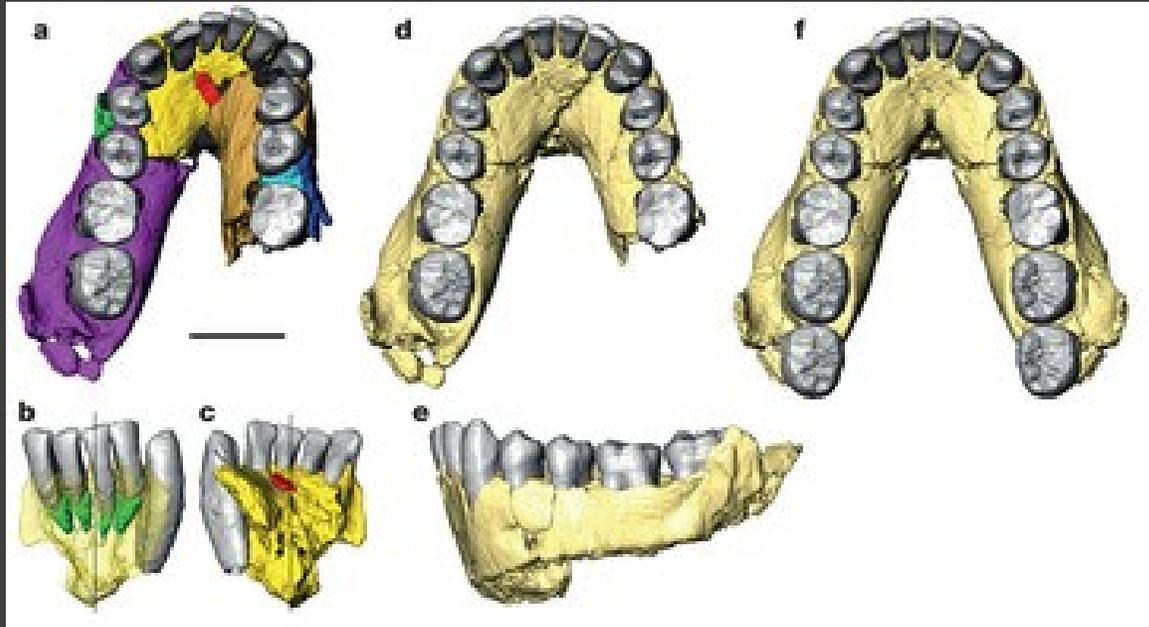
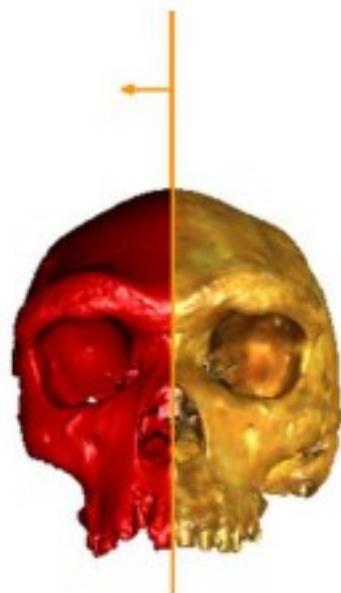


Dental evidence for ontogenetic differences between modern humans and Neanderthals

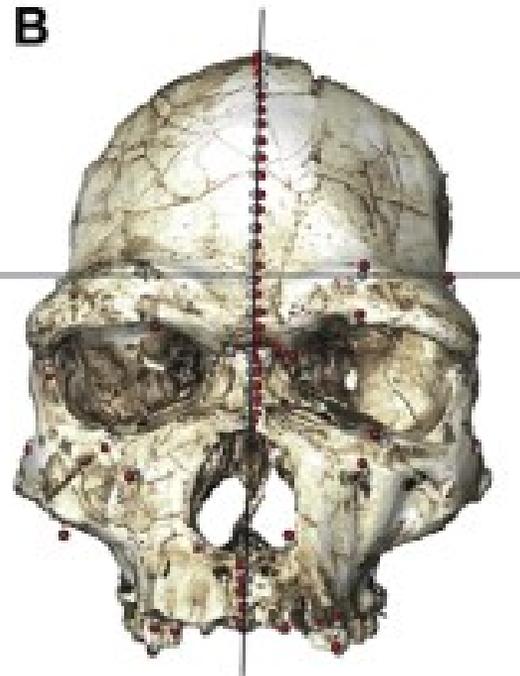
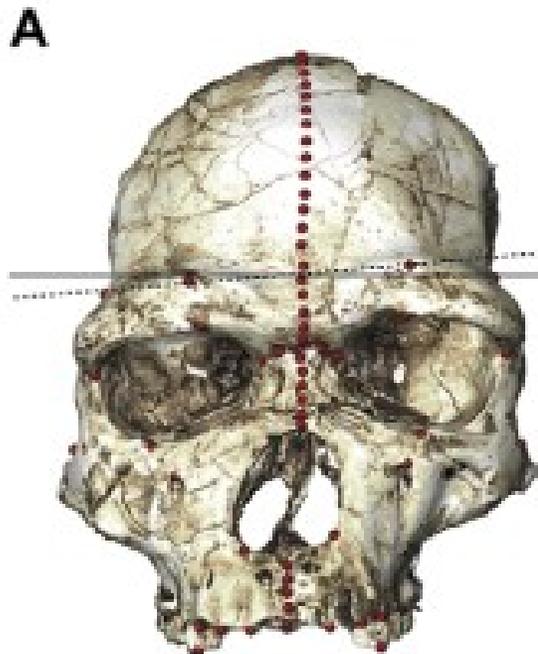
Tanya M. Smith^{a,b,1}, Paul Tafforeau^{c,1}, Donald J. Reid^d, Joane Pouech^{b,c}, Vincent Lazzari^{b,c,e}, John P. Zermeno^a, Debbie Guatelli-Steinberg^f, Anthony J. Olejniczak^g, Almut Hoffman^g, Jakov Radović^h, Masrouh Makaremiⁱ, Michel Toussaint^l, Chris Stringer^k, and Jean-Jacques Hublin^b

^aDepartment of Human Evolutionary Biology, Harvard University, Cambridge, MA 02138; ^bDepartment of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, 04103 Leipzig, Germany; ^cEuropean Synchrotron Radiation Facility, BP 220, 38046 Grenoble Cedex, France; ^dDepartment of Oral Biology, School of Dental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne NE2 4BW, United Kingdom; ^eInternational Institute of Paleoprimatology and Human Paleontology: Evolution and Paleoenvironments, Unité Mixte de Recherche Centre National de la Recherche Scientifique 6046, Université de Poitiers, 86022 Poitiers cedex, France; ^fDepartment of Anthropology, Ohio State University, Columbus, OH 43210; ^gMuseum für Vor- und Frühgeschichte, Schloss Charlottenburg-Langhansbau, D-14059 Berlin, Germany; ^hCroatian Natural History Museum, 10000 Zagreb, Croatia; ⁱDepartment of Orthodontics, University of Bordeaux II, 33000 Bordeaux, France; ^jDirection de l'Archéologie, Service Public de Wallonie, 5100 Namur, Belgium; and ^kDepartment of Palaeontology, Natural History Museum, London SW7 5BD, United Kingdom

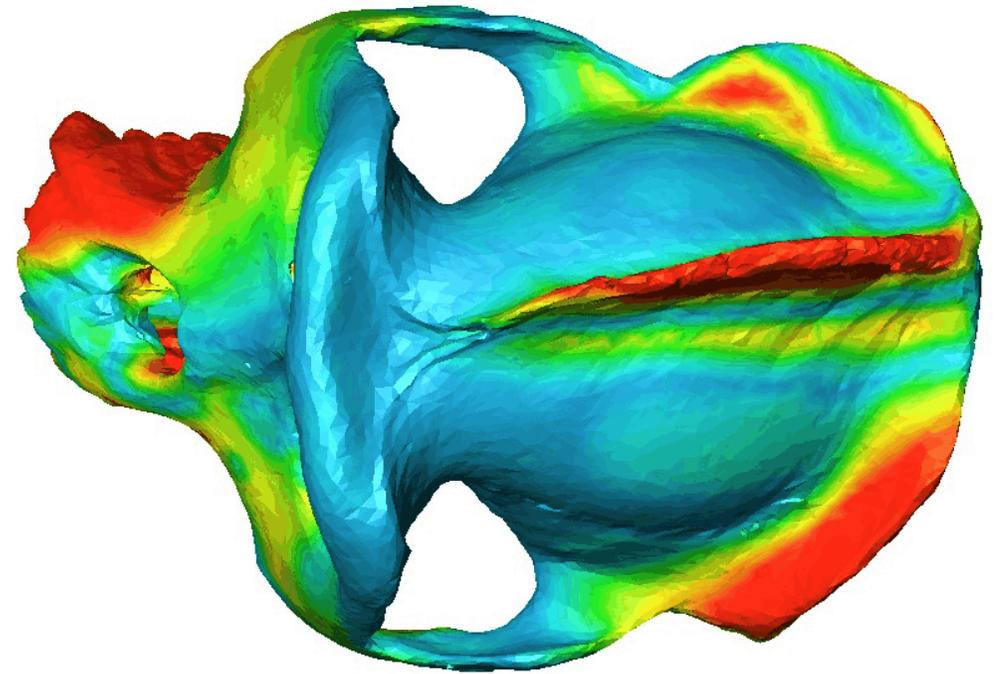
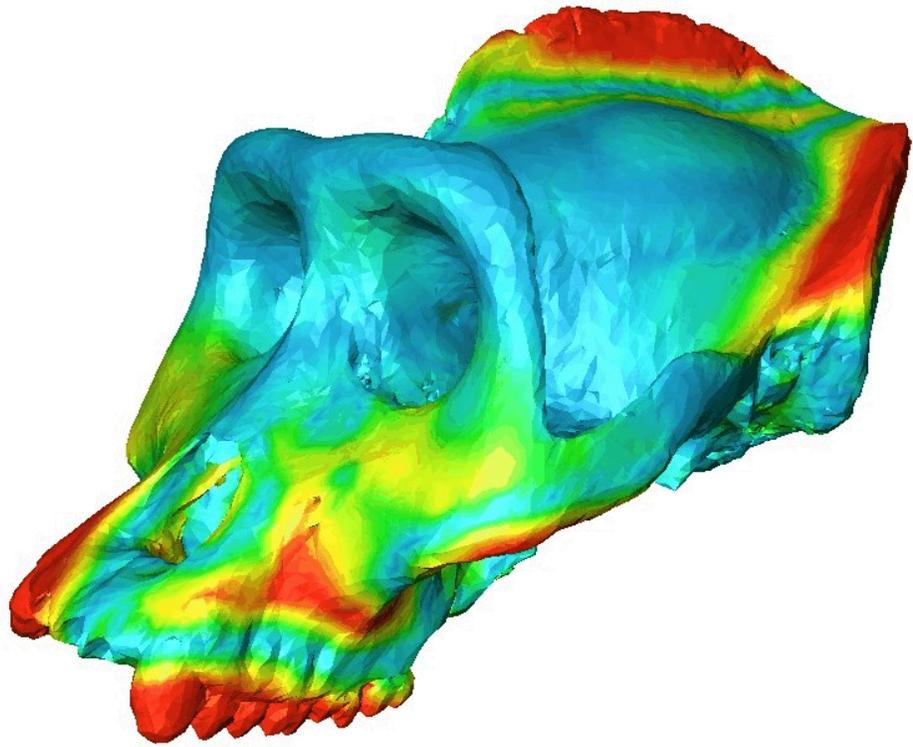
Virtual histology of the maxillary dentition from the 3-y-old Engis 2 Neanderthal.

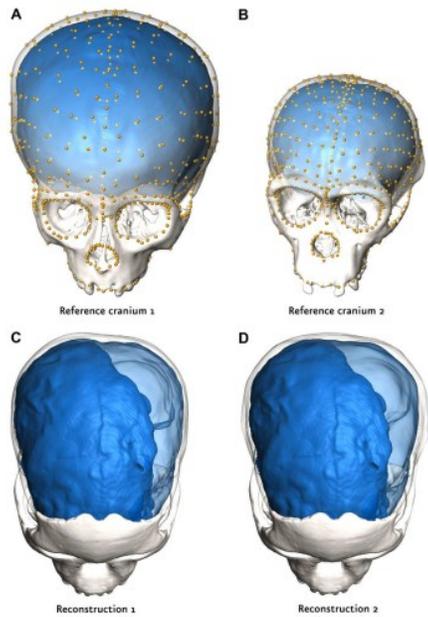


CT-based visualization of the OH 7 (*Homo habilis*) mandible (Spoor et al., 2015)

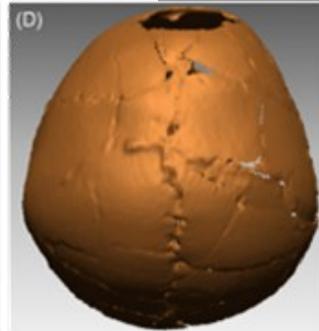
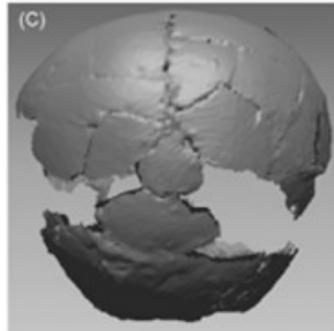
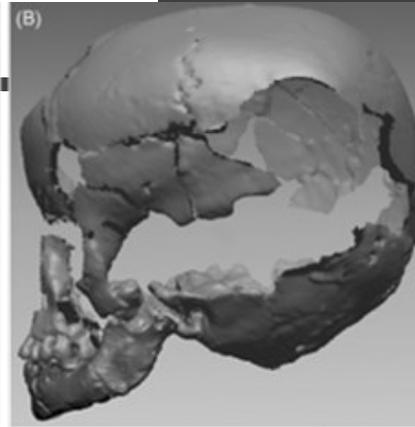
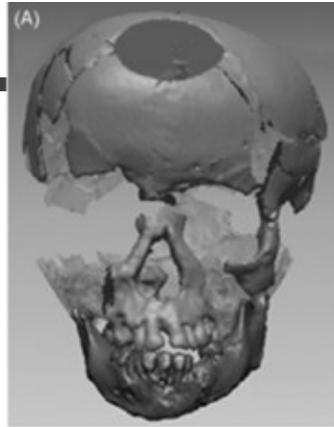
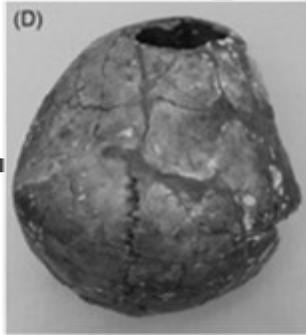
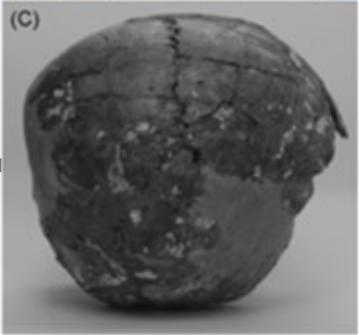
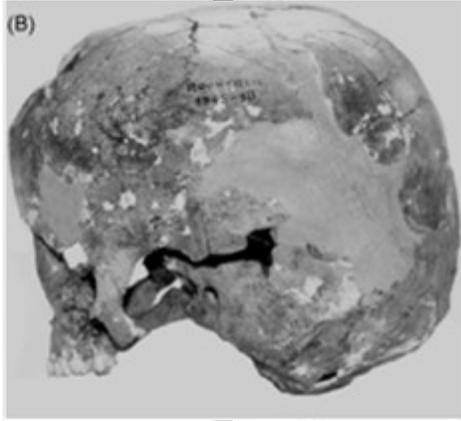


Restauro virtuale: la retrodeformazione





Ricostruzione del cranio di Taung. I frammenti facciali e endocraniali sono stati trasferiti e ruotati in modo che le superfici delle due parti si allineino perfettamente. Poi il lato sinistro meno completo è stato rimpiazzato dal riflesso della parte destra (Gunz *et al.*, 2009)



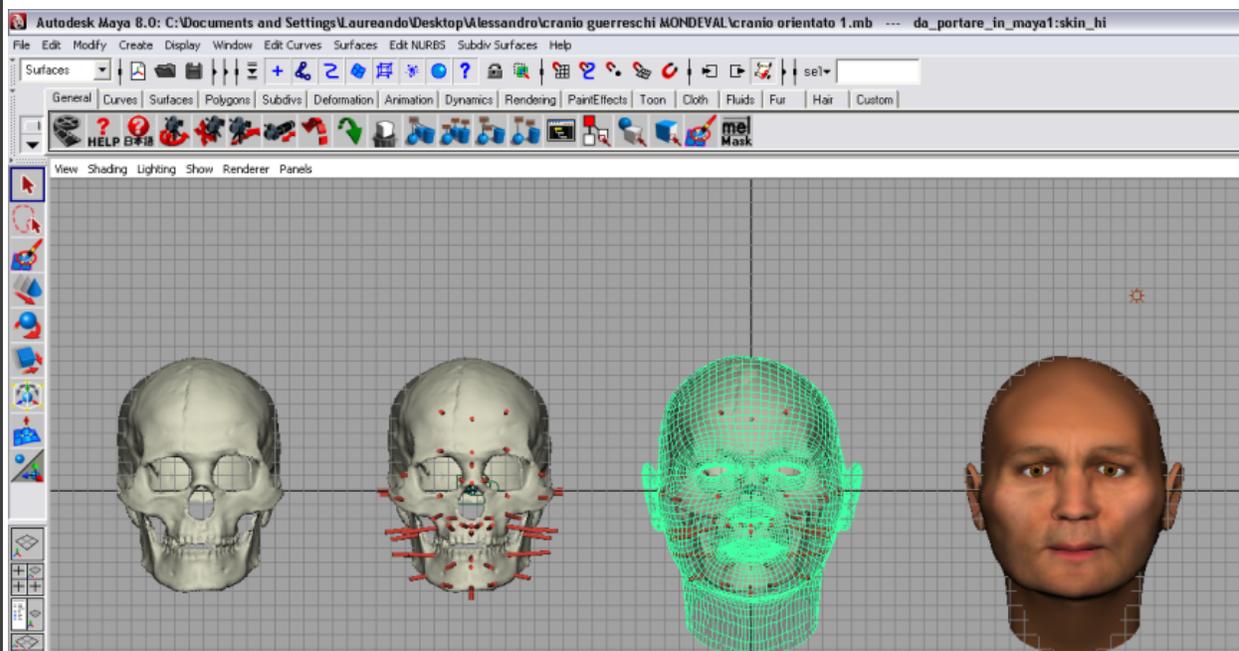
Bambino Rochereil ricostruito con materiale sintetico

Ricostruzione tri-dimensionale del cranio di Rochereil con la mandibola dopo rimozione virtuale del materiale sintetico

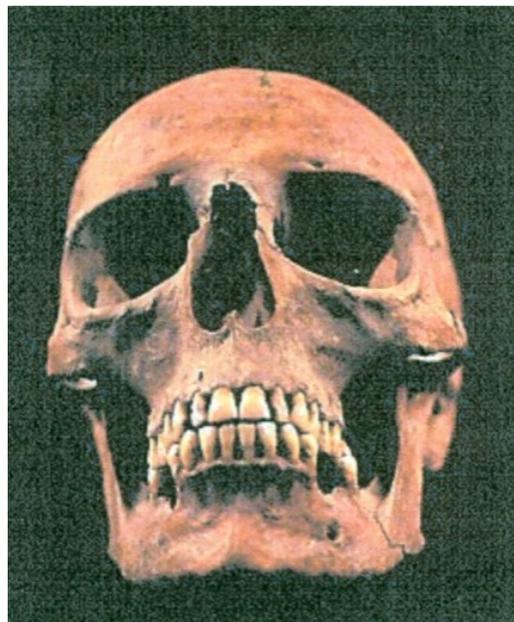


Ricostruzione facciale a partire da resti scheletrici

Uomo di Mondeval

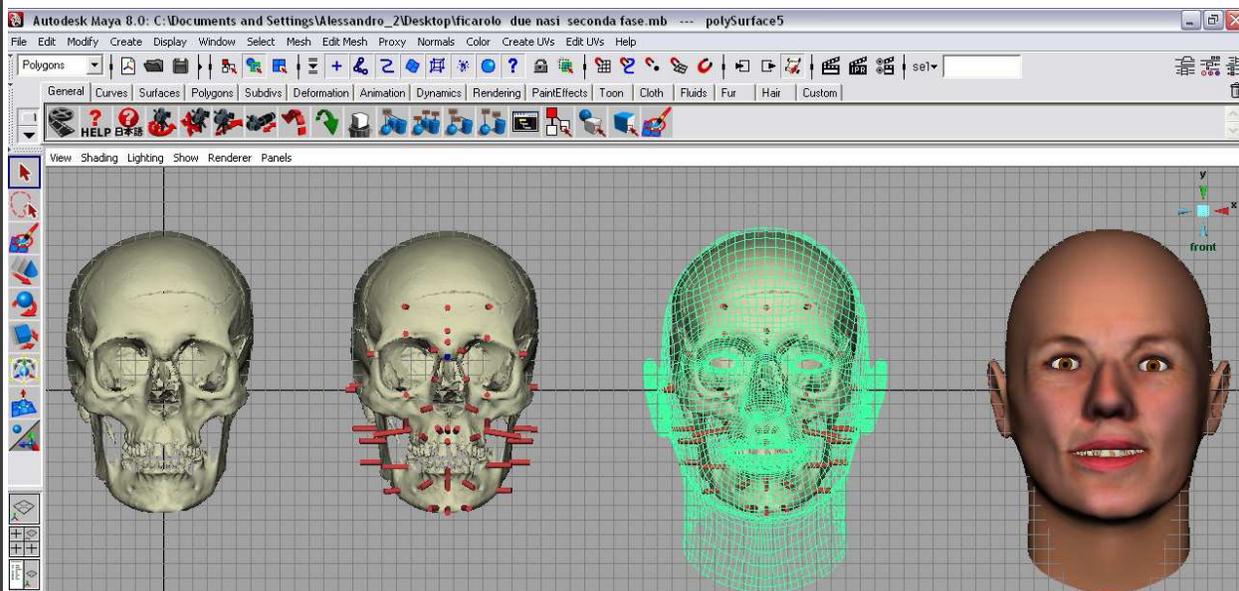


Si applica sulla scansione 3D dei landmark più o meno lunghi, nei punti craniometrici precisi. La lunghezza rappresenta lo spessore dei tessuti molli, stimati a partire dai dati di confronto della popolazione, del sesso, dell'età e della corpulenza.



Ricostruzione facciale a partire da resti scheletrici

Dama di Ficarolo



Si applica sulla scansione 3D dei landmark più o meno lunghi, nei punti craniometrici precisi. La lunghezza rappresenta lo spessore dei tessuti molli, stimati a partire dai dati di confronto della popolazione, del sesso, dell'età e della corpulenza.

Restauro virtuale nella grotta di Marsoulas (Fritz *et al.*,2010)

