

In silico biology: l'antropologia di Emiliano Bruner

A cura di MORENO TIZIANI

Emiliano Bruner è ricercatore presso l'Università "La Sapienza" di Roma. Moreno Tiziani lo ha incontrato per Antrocom, per raccontarvi delle sue ricerche che sembravano avviate, dopo la laurea in Scienze Biologiche con una tesi intitolata "Analisi bioculturale di una popolazione di longevi nel Cilento" (1998), a percorrere il cammino della zoologia, passione che non lo ha mai lasciato. Ma già dal 1995 collaborava con il Museo di Antropologia "Giuseppe Sergi" dell'Università "La Sapienza" alla gestione e conservazione delle collezioni osteologiche, e in particolare della sezione primatologica. Dal 1997 al 1999 si è occupato alla sistemazione delle collezioni osteologiche del Museo Civico di Zoologia di Roma e della collezione primatologica del Museo di Anatomia Comparata "G. B. Grassi" di Roma. E' del 2002 la svolta, quando termina il dottorato di ricerca in Biologia Animale presso la stessa Università con la tesi "Computed tomography and paleoneurology: the Saccopastore Neandertals and brain evolution in the European Middle Pleistocene". Si apre così la strada verso le sue attuali ricerche.

* * *

D. Una frequentazione nel campo museale e della divulgazione notevole, distribuita in diversi settori: qual è la sua idea di museo e di divulgazione scientifica, in base alla sua esperienza?

R. È abbastanza condivisa l'opinione che un museo scientifico debba rappresentare l'interazione tra conservazione, divulgazione e ricerca. Questi tre aspetti sono strettamente interdipendenti, e non è possibile promuovere il corretto sviluppo di uno di loro senza uno scambio con gli altri due. Un processo scientifico che non promuova lo sviluppo e l'interazione tra queste tre facce della cultura sarà probabilmente disarmonico, e i risultati danneggeranno sensibilmente la percezione stessa della conoscenza. Attualmente, una buona parte delle istituzioni scientifiche nazionali non assolve sufficientemente a questa necessità, per ragioni che includono difficoltà oggettive (risorse) ma anche e troppo spesso per incompetenza e superficialità delle gestioni.

D. Considerando l'apporto delle nuove tecnologie, ha ancora senso allestire un museo organizzato secondo i canoni tradizionali di esposizione?

R. Non esistono canoni "tradizionali". Esiste la necessità di trasferire conoscenza, e l'unico fattore limitante in questo ambito è la competenza di chi opera nel settore. L'approccio multimediale offre delle opportunità strepi-

tose per chi fa divulgazione, ma un'esposizione scientifica non può omettere la rappresentazione della variabilità e della plasticità di una disciplina, che spesso richiede strumenti di divulgazione più semplici tecnologicamente ma più complessi dal punto di vista concettuale. Molti musei "tradizionali" hanno subito una gestione indegna del loro patrimonio in passato. Questo non deve condurci a fare l'errore di confrontare un'esposizione "tradizionale" gestita male con una esposizione moderna gestita bene! Per quanto riguarda i contenuti, in entrambi i casi l'informazione deve comunque essere trasversale, cioè non pensata specificatamente per un certo target di utenza ma "stratificata" in modo che ognuno vi possa attingere secondo le proprie necessità e le proprie possibilità. È ovviamente un compito molto difficile, ma necessario: i danni culturali di una divulgazione anomala possono essere estremamente devastanti a lungo termine.

D. Attualmente si occupa della morfologia del cranio e dello sviluppo encefalico nel genere Homo, nonché della struttura endocraniale delle popolazioni umane moderne, tra le altre cose. Un settore dell'antropologia ben definito. Come vi è approdato? Come ha iniziato i suoi studi di paleoneurologia e di morfometria geometrica? In cosa consistono?

R. Ho cominciato ad occuparmi di anatomia e morfologia del cranio lavorando sulle collezioni primatologiche. Il passaggio al genere umano è stato una conseguenza del fatto che in Italia la Primatologia non è attualmente rappresentata né sul fronte della ricerca né della divulgazione, se si fa eccezione per alcuni suoi aspetti comportamentali. La mancanza di una cultura primatologica nel nostro paese ha come conseguenza la difficoltà nel trovare i mezzi economici e amministrativi per promuovere una rinascita di questa disciplina. L'Antropologia è una disciplina con un substrato nazionale - per quanto incerto e spesso degradato - comunque più presente.

La morfometria geometrica è una tecnica di analisi multivariata delle coordinate cartesiane delle strutture anatomiche. Attualmente è lo strumento più completo per lo studio della morfologia. E anche gli studi di paleoneurologia sono cominciati grazie a una tecnica di analisi anatomica che attualmente presenta delle potenzialità analitiche estremamente interessanti, e cioè la tomografia computerizzata.

D. Che emozioni le suscita lo studio dei nostri progenitori? Si è mai chiesto quando siamo diventati "umani"?

R. Ovviamente questo è un argomento che - purtroppo e per fortuna - facilmente conduce a riflessioni piuttosto delicate, e a volte anche sufficientemente struggenti! Per fortuna, perché la carica emotiva dello studiare se stessi e la propria storia rappresenta una sorgente di energia e motivazione non indifferente. Purtroppo, perché troppo spesso la valenza romantica e poetica della storia umana viene strumentalizzata dai mass media o dagli stessi cattedratici per piazzare un prodotto a fini economici o di prestigio personale. Questa svendita, per poter usufruire dei circuiti convenzionali (televisione, giornali) deve operare uno svilimento concettuale e una linearizzazione forzata di fenomeni e modelli che lineari non sono. La semplificazione, per venire incontro alle aspettative della gente, arriva frequentemente anche alla menzogna. La conoscenza della nostra storia e della nostra biologia ci permette un inquadramento della nostra specie in una cornice ben più ampia di quella che riusciamo a percepire nella nostra vita. Questo processo è fondamentale per una piena consapevolezza di possibilità, limiti, e doveri del genere umano, senza i quali non può esistere un equilibrio tra la nostra specie e gli altri elementi di questo pianeta. Alterare questa percezione vuol dire precludere (troppo spesso, con dolo) la possibilità di proseguire in un cammino di conoscenza fondamentale. Chissà, forse siamo diventati "umani" proprio quando abbiamo sentito il bisogno di conoscere il nostro passato.

D. *Cosa si intende per biologia "in silico"?*

R. Con il termine "*in silico*" vengono definiti quei contesti sperimentali che si fondano sulla produzione, gestione, e analisi di modelli computerizzati (e generati quindi nel "silicio" dei componenti elettronici e informatici). Nella sperimentazione "*in vitro*" un modello biologico viene riprodotto in provetta, biochimicamente, tentando di rappresentare e semplificare specifici processi e funzioni dei sistemi viventi. Allo stesso modo nella sperimentazione *in silico* alcune qualità dei sistemi biologici vengono modellate tramite rappresentazioni digitali, che ne permettono lo studio delle risposte a perturbazioni e (soprattutto) delle relazioni tra le parti. La biofisica è attualmente la disciplina che più di altre ha utilizzato questo tipo di approccio, soprattutto nel settore delle biomolecole. In antropologia, i sistemi computerizzati hanno invece trovato applicazione diretta nello studio dell'anatomia e della morfologia, e il termine "*antropologia virtuale*" è stato coniato per indicare la riproduzione computerizzata di strutture anatomiche. In effetti, considerando la valenza piuttosto eterogenea e abusata del termine "virtuale", credo sia più opportuno parlare di "*antropologia digitale*".

D. *Quali sono le attuali potenzialità di queste applicazioni negli studi antropologici?*

R. Le strutture anatomiche, tramite tomografia computerizzata e risonanza magnetica, possono essere riprodotte nel dettaglio in funzione di parametri quali la densità, la concentrazione acquosa dei tessuti, o la presenza di componenti idrofobe (grasso). La risoluzione di queste scan-

sioni è in genere dell'ordine dei decimi di millimetro utilizzando macchine per applicazioni biomediche, ma può raggiungere i micron utilizzando macchine industriali. Per le superfici esposte si può utilizzare anche la scansione laser. Una volta digitalizzate, le strutture di interesse (sistema scheletrico o vascolare, specifici organi e tessuti, etc.) sono integralmente disponibili per analisi morfologiche e strutturali, nonché per una serie di trasformazioni e scomposizioni (simili a quelle utilizzate in ingegneria o architettura) finalizzate alla comprensione delle interazioni interne al sistema di studio. La paleontologia umana è stata particolarmente avvantaggiata da queste tecnologie. È infatti possibile separare la matrice fossile dalle matrici rocciose che spesso impediscono un'analisi completa della morfologia del reperto. Inoltre, diventano accessibili tutte le strutture interne, come per esempio nel cranio i seni paranasali, le radici dentarie, o i canali semicircolari dell'orecchio interno. In paleoneurologia le tecniche digitali vengono utilizzate per ricostruire la forma dell'encefalo nei fossili, "riempiendo" la cavità endocranica e riproducendo la morfologia cerebrale con un calco "virtuale". Un discorso a parte meritano le possibilità di studio del reperto per fini di restauro e conservazione, e le tecniche di "interpretazione" dei fossili che vanno dalla composizione di chimere (reperti derivati dalla fusione di individui differenti, o con parti mancanti ricostruite) alla ricostruzione con metodi di antropologia forense dei tessuti molli (soprattutto applicato alla ricostruzione del volto).

D. *In diversi suoi saggi ha accennato proprio a questo fatto: che le tecniche di antropologia digitale possono avere una ricaduta nel campo della museologia e della didattica in generale, nonché dell'antropologia forense. Può dirci qualcosa di più?*

R. La museologia può utilizzare le tecniche digitali soprattutto per rappresentazioni di realtà difficilmente spiegabili a parole, come le ricostruzioni computerizzate di scenari naturali, di contesti archeologici, o di reperti incompleti. Le ricostruzioni digitali vengono spesso anche riprodotte fisicamente con modelli in resina direttamente ricavabili dalle forme ricostruite al computer. Un utilizzo piuttosto propagandato dai media e apprezzato dagli utenti è la ricostruzione di volti a partire dai resti scheletrici, appartenenti ad una mummia piuttosto che a un neanderthaliano o ad un personaggio storico. Questo tipo di ricostruzioni digitali utilizzano protocolli di antropologia forense, in genere applicati al riconoscimento di resti umani in contesti giudiziari. Bisogna sottolineare però che queste ricostruzioni facciali (soprattutto quando applicate a contesti paleontologici e archeologici) hanno una valenza prettamente iconografica, e non aggiungono nessun tipo di conoscenza ulteriore in termini di contributo scientifico.

D. *Quali sono le competenze necessarie a queste nuove discipline?*

R. Chiaramente, laboratori specializzati in questo tipo di analisi devono poter includere nel loro staff competenze

molto eterogenee e specialistiche. Le conoscenze anatomiche, morfologiche, ed evuzionistiche devono essere integrate da esperti di informatica, matematica, programmazione, ingegneria, e statistica. Anche se la multidisciplinarietà è ovviamente indispensabile, va da sé che in Italia i mezzi della ricerca spesso scadenti e la collaborazione tra istituzioni in genere difficoltosa richiedono una buona dose di versatilità in alcuni di questi settori (nonché una certa quota di usuale autodidattismo) per chiunque voglia tentarne una applicazione.

D. *Non a caso lei utilizza tecnologie che di per sé sono state sviluppate per altre applicazioni, così come software implementati per scopi diversi dalla ricerca antropologica. La sua è una formazione eclettica, come abbiamo visto, che spazia in diversi ambiti della biologia. L'antropologo fisico deve avere un approccio olistico verso un reperto o uno studio in generale? È una visione che si acquisisce comunque con la pratica o che va coltivata da subito?*

R. Questo periodo storico da una parte ci offre una molteplicità di spunti e di possibilità interdisciplinari, dall'altra ci richiede una sempre crescente specializzazione settoriale. Trovare un punto di equilibrio tra conoscenze specifiche e competenze generiche è piuttosto complicato, e non sempre si hanno buoni esempi di umiltà e polivalenza. La multidisciplinarietà è sempre più indispensabile. Purtroppo bisogna ricordare che in Italia troppo spesso multidisciplinarietà è intesa come arroganza di uno di conoscere (e controllare) tutto. Uno dei mali della nostra ricerca è la scarsa predisposizione alla condivisione delle informazioni e delle responsabilità, e spesso "olistico" è un termine che serve solo a infiocchettare le richieste di finanziamento.

D. *In effetti gli esempi in tal senso si sprecano e si sfrutta spesso il concetto di interdisciplinarietà per attirare fondi, concetto che poi rimane solo un buon proposito. Esiste realmente la possibilità di creare una sinergia tra diverse discipline? Come organizzare un eventuale studio interdisciplinare?*

R. La multidisciplinarietà sarà reale solo quando il sistema della ricerca non sarà più fondato sulla sottrazione delle informazioni, ma piuttosto sulla loro condivisione. La sinergia esiste quando più persone, con competenze complementari ma differenti, condividono un problema e la ricerca delle sue possibili soluzioni. Questo prevede che il risultato sia prodotto di tutti, proprietà emergente, "inconoscibile" dal singolo, che quindi si deve limitare a fare la sua parte senza tentativi grotteschi e presuntuosi di improvvisarsi genio novello. Una cosa è la sacrosanta curiosità, e la feconda necessità di conoscere oltre, un'altra cosa è la professionalità con cui ognuno di noi assolve al proprio mandato, e al proprio ruolo.

D. *Per le sue ricerche utilizza spesso strumenti di diagnostica medica. Stupisce come le nuove tecnologie aiutino a comprendere il nostro passato. Come viene sentita la collaborazione tra paleoantropologi e medici?*

Questi studi apportano nuovi contributi anche alla medicina?

R. L'Antropologia nasce storicamente come connubio casuale tra discipline piuttosto distanti tra loro. La medicina è stata sempre una delle fonti primarie dell'Antropologia fisica prima, dell'Antropologia Biologia poi, sia in termini di tecniche che di problematiche. Chiaramente, la formazione medica e quella biologica (soprattutto se consideriamo la ricerca) hanno approcci ad oggi molto diversi, e l'interazione non è sempre automatica. Ciò non toglie che le competenze scientifiche (in genere molto più raffinate e robuste nei biologi) e quelle pragmatiche e diagnostiche (in genere molto più sviluppate ed efficaci nei medici) possano trovare la vera espressione delle loro potenzialità solamente tramite la più completa e paritaria collaborazione.

D. *Qual è la situazione all'estero per quel che riguarda le tecniche di antropologia digitale?*

R. Queste tecniche si sono rese sufficientemente disponibili (in termini di hardware e software) dalla fine degli anni '90. In antropologia i pionieri sono stati paesi quali la Svizzera, l'Austria, l'Olanda, e gli Stati Uniti. Dall'inizio del XXI secolo gli utenti si sono moltiplicati in virtù della diffusione dei software e dello sviluppo di reti di ricerca internazionali. Considerate le difficoltà nel riunire in un solo centro tante e differenti specializzazioni, la comunità scientifica si è organizzata distribuendo le competenze tra le diverse istituzioni e creando appunto dei network tra dipartimenti universitari complementari. La ricerca *in silico* si presta molto bene a questo tipo di interazioni, che richiedono spesso solo lo spostamento di *bits* piuttosto che di persone. Nella maggior parte dei casi lo sviluppo dell'antropologia digitale è andato di pari passo all'utilizzo di tecniche di analisi multivariata della forma quali la morfometria geometrica o l'analisi della matrice delle distanze euclidee.

D. *Che implicazioni sociali ci possono essere a seguito di queste trasformazioni del paradigma scientifico?*

R. Queste tecnologie richiedono investimenti piuttosto robusti, dal punto di vista economico, gestionale e culturale. Di conseguenza, paesi occidentali e paesi non industrializzati sono diversamente implicati in questo processo, e una certa attenzione deve esser posta nell'interfaccia tra queste due differenti realtà. Basti pensare appunto alla paleontologia: una gran parte dei fossili fanno parte del patrimonio culturale e scientifico di paesi africani o asiatici, che non hanno accesso integrale alla "tecnosfera" delle società occidentali. Un fossile è spesso risorsa culturale, fonte di finanziamenti, moneta di scambio per poter interagire nel panorama scientifico internazionale. La natura "digitale" dei reperti computerizzati ne definisce spesso la loro indipendenza (almeno parziale) dal contesto geografico e politico originario. Questo ovviamente non vuol negare l'accessibilità a questo tipo di risorse, ma solo proporre una regolamentazione che tenga conto del contesto sociale, etico e deontologico.

D. *Infatti in “Modelli virtuali per l’Antropologia”, a proposito dei reperti paleontologici e archeologici che rappresentano “una risorsa economica e culturale per i Paesi e le istituzioni che li custodiscono”, scrive che le “nuove potenzialità (dell’antropologia digitale) se non vengono utilizzate unitariamente a una nuova richiesta etica (e probabilmente legislativa) si possono facilmente trasformare in un ennesimo strumento di depredazione delle risorse e centralizzazione delle conoscenze da parte di quei paesi e di quelle istituzioni che li custodiscono”. Quali strumenti andrebbero utilizzati per evitare un simile comportamento? Che tipo di approccio legislativo si dovrebbe adottare?*

R. Purtroppo l’unico strumento valido è l’etica e la deontologia professionale. Una normativa (ufficiale tramite leggi nazionali e internazionali, o convenzionale tra i membri di una comunità scientifica) sarà forse necessaria per controllare gli abusi, ma non è detto che risolva il problema. Ovviamente quando in gioco ci sono fondi, prestigio, rapporti internazionali, e controllo dell’informazione, il problema esce fisicamente dal laboratorio di ricerca per perdersi in una rete di interessi economici e sociali impossibile da ottimizzare in termini etici e professionali.

D. *Quali sono, secondo lei, le nuove frontiere dell’antropologia?*

R. In quanto “storia naturale dell’uomo”, l’Antropologia deve necessariamente stare dietro ai cambiamenti del genere umano. “Necessariamente” in quanto, se si astrae dalle necessità e dalle possibilità umane, non può trovare terreno fertile per sostenersi da un punto di vista tanto teorico quanto strutturale. In termini pratici gli esempi sono tanti, più o meno significativi, e vanno dall’importanza della globalizzazione e dell’interazione tra gruppi umani ai risvolti semi-fantascientifici dei viaggi nello spazio. In termini teorici è importante invece capire che i nomi che noi diamo alle discipline sono solo etichette convenzionali, applicate a insiemi di domande e di risposte formulate in contesti sociali in continua variazione. Questo vale a maggior ragione per la “scienza dell’uomo”, che per identità tra osservatore (il genere umano) e oggetto di studio (il genere umano) non presenterà mai dei confini definiti.

D. *Come vede lo sviluppo delle discipline antropologiche in Italia? La figura dell’antropologo può essere riconosciuta al di fuori degli ambienti accademici?*

R. Il nostro paese senza dubbio sta passando una fase di forte degrado culturale generalizzato, con conseguenze imprevedibili. La deriva è tanto più forte quanto meno controllo e riscontro c’è in termini di influenza diretta sulla società. Vale a dire, più una scienza è teorica più l’effetto di degrado è sommerso, veloce e devastante. E Antropologia è una delle scienze teoriche per eccellenza! Una preparazione in antropologia biologica fornisce una estrema plasticità professionale, se si considerano (oltre alla sfera della ricerca di settore) le applicazioni nei contesti biomedici, forensi, e archeologici. Certo tutto questo rimane piuttosto elusivo e poco investibile in un

paese dove la cultura e la conoscenza non rappresentano un valore aggiunto ma solo una curiosità da salotto.

D. *Quali effetti si possono avere da un mancato investimento economico nella ricerca da parte dello Stato?*

R. Con più soldi si fa più ricerca, non mi sembra che ci sia tanto da considerare. L’investimento italiano attuale alla ricerca (sia in termini di fondi che di organizzazione) è ridicolo e offensivo. Purtroppo, questo potrebbe non essere il “fattore limitante”. Di fatto, con meno soldi si fa meno ricerca, il che non ci dice nulla sulla qualità della ricerca stessa. Il problema è che l’efficienza degli istituti di ricerca (il rapporto tra quello che consumano e quello che producono) potrebbe ad oggi essere piuttosto bassa, quando non addirittura insufficiente. Se questa ipotesi fosse vera, è ovvio che prima di aumentare la “quantità di energia” alla macchina bisognerebbe “aggiustarne il motore”, per evitare sprechi o addirittura per evitare di danneggiarlo permanentemente (spero che l’analogia ingegneristica risulti chiara ed efficace). L’Università è sempre pronta a ribadire le carenze (effettive e sinceramente drammatiche) di investimento economico, ma mai a sottolineare l’inefficienza dei controlli su come e perché i (in genere miseri) fondi vengono spesi. E tutti denunciano la quasi totale mancanza di posti di lavoro nel settore, ma quando qualche possibilità c’è, nessuno scende in piazza per sottolineare le troppe volte che quelle possibilità vengono devolute alle varie parentopoli, o ai vari interessi di cattedra ben distanti dalle ragioni della scienza. Insomma, pochi soldi, e non sempre spesi bene. Pochi posti, e troppo spesso spesi male. Nel confronto Università-Governo, chi è senza peccato ... se ne va all’estero!

D. *Dopo la cosiddetta “caduta del Muro” si sono aperti nuovi scenari di ricerca in paesi prima praticamente inaccessibili anche agli scienziati. Sempre più spesso appaiono notizie di scoperte e studi in questi paesi, come Russia e Cina. Secondo lei potrebbero rappresentare, in futuro, il “nuovo mondo” dell’antropologia?*

R. La storia ci insegna che i baricentri culturali oscillano, si spostano, si dividono. A volte le trasformazioni avvengono in anni, a volte in secoli, ma è chiaro che l’egocentrismo della cultura occidentale dovrà prima o poi fare i conti con un sapere ben più vasto ed eterogeneo. Certo, il gap concettuale e tecnologico tra le regioni del pianeta non lascia per ora intendere una competizione a breve termine sul piano scientifico, almeno nel senso in cui noi intendiamo la parola “scienza”. Un aumento della cooperazione e della collaborazione internazionale è senz’altro probabile ma, considerate le prospettive sempre piuttosto “coloniali” dei paesi occidentali, le difficoltà attuali dei paesi in via di sviluppo, e la mancata esperienza (almeno nei recenti passati storici) di molte altre nazioni, un rinnovo del panorama globale è piuttosto difficile da prevedere. Al contrario, è plausibile ipotizzare un irrobustimento della realtà scientifica europea parallelo alla sua (si spera) progressiva affermazione come realtà politica e amministrativa.

D. *Da parte di molti colleghi c'è la volontà di lasciare l'Italia ed emigrare all'estero. Diventerà anche lei un "cervello in fuga"?*

R. Non parlerei proprio di "volontà"! E neanche di cervelli in fuga. Un cervello "fugge" quando non accetta una situazione ed è per contro attirato verso un polo alternativo. Questa forse era la condizione di qualche anno fa. Adesso alla "fuga" di cervelli sembra sostituirsi una "cacciata" di cervelli! Non c'è un polo che attrae, c'è un polo che respinge! Un cervello pensante è scomodo in un contesto (istituzionale, amministrativo, culturale) che cerca di guadagnare direttamente dal processo di degrado. Il degrado culturale in Italia sembra essere un business, dal quale qualcuno ricava denaro, qualcuno prestigio, qualcuno una posizione sicura. Ed ecco che chi non supporta questa politica viene mandato al confine, come s'è sempre usato più o meno esplicitamente! Credo sia irrispettoso parlare di "fuga" a chi ha dovuto abbandonare famiglia, amici, luoghi, e ricordi, perché non inserito negli ingranaggi dello sfruttamento.

Credo che sia storicamente poco perseguibile l'intento di spingere in maniera attiva questo sistema verso un'alternativa più degna. Allo stesso tempo bisogna in qualche modo continuare a rappresentare questa alternativa, restando sempre disponibili a dare il proprio contributo nell'attesa dinamica e propositiva di quel momento in cui sarà il sistema stesso a sentirne esplicitamente il bisogno, e richiedere univocamente un cambiamento.

Bibliografia consigliata:

- CONROY G., VANNIER M. 1984. Noninvasive three-dimensional computer imaging of matrix-filled fossil skulls by high-resolution computed tomography. *Science* 226. 456-226.
- HJALGRIM H., LYNNERUP N., LIVERSAGE M., ROSENKLINT A. 1995. Stereolithography: potential applications in anthropological studies. *Am. Journ. Phys. Anthrop.* 97. 329-333.
- RECHEIS W., WEBER G.W., SCHAFFER K., PROSSINGER H., KNAPP R., SEIDLER H. & ZUR NEDDEN D. 1999. New methods and techniques in anthropology. *Coll. Antropol.*, 23. 495-509.
- SPOOR F., JEFFERY N. & ZONNEVELD F. 2000. Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. *Journ. Anat.*, 197. 61-76.
- TOBIAS P.V. 2001. Re-creating ancient hominid virtual endocasts by CT-scanning. *Clin. Anat.* 14. 134-141.
- WEBER, G.W. 2001. Virtual anthropology (VA): a call for glasnost in paleoanthropology. *Anat. Rec.* 265. 193-201.
- ZOLLIKOEFER C.P.E., PONCE DE LEÓN M.S. & MARTIN R.D. 1998. Computer assisted paleoanthropology. *Evol. Anthropol.*, 6. 41-54.
- ZUR NEDDEN D., KNAPP R., WICKE K., JUDMAIER W., MURPHY W., SEIDLER H., PLATZER W. 1994. Skull of a 5,300-year-old mummy: reproduction and investigation with CT-guided stereolithography. *Radiology* 193. 269-72.

Risorse in rete scaricabili dal sito di Emiliano Bruner

<http://www.emilianobruner.it>:

- BRUNER E. 2004. Models for Natural History. *Journ. Anthropol. Sci.* 82; 11-18.
- BRUNER E. 2004 - Tomografia computerizzata e elaborazione di immagini: modelli virtuali per l'Antropologia. *Atti del Convegno "Lo Studio delle ossa: Metodologie della medicina e dell'antropologia"*. Angera (VA). 27 marzo 2004.
- BRUNER E. 2003 - Modelli per l'Evoluzione. *Sapere*, 69/5 (1028). 49-56