

# Digitalizzazione 3D delle collezioni paleontologiche del Museo di Geologia e Paleontologia di Firenze

## Luca Bellucci

Museo di Geologia e Paleontologia, Sistema Museale di Ateneo, Università degli Studi di Firenze, Via Giorgio La Pira, 4. I-50121 Firenze. E-mail: luca.bellucci@unifi.it

## Saverio Bartolini-Lucenti

Dipartimento di Scienze della Terra, Paleo[Fab]Lab, Università degli Studi di Firenze, Via Giorgio La Pira, 4. I-50121 Firenze. E-mail: saverio.bartolinilucenti@unifi.it

## Stefano Dominici

Museo di Geologia e Paleontologia, Sistema Museale di Ateneo, Università degli Studi di Firenze, Via Giorgio La Pira, 4. I-50121 Firenze. E-mail: stefano.dominici@unifi.it

## Lorenzo Rook

Dipartimento di Scienze della Terra, Paleo[Fab]Lab, Università degli Studi di Firenze, Via Giorgio La Pira, 4. I-50121 Firenze. E-mail: lorenzo.rook@unifi.it

## Elisabetta Cioppi

Museo di Geologia e Paleontologia, Sistema Museale di Ateneo, Università degli Studi di Firenze, Via Giorgio La Pira, 4. I-50121 Firenze. E-mail: elisabetta.cioppi@unifi.it

## RIASSUNTO

In questo lavoro viene presentato il progetto "PalVirt", condotto presso il Museo di Geologia e Paleontologia dell'Università di Firenze, quale primo esempio in Italia della digitalizzazione 3D sistematica e massiva di esemplari tipo paleontologici. Il progetto segue le indicazioni promosse dall'Expert Group dell'Unione Europea sul "Digital Cultural Heritage and Europeana" e persegue per l'Ateneo fiorentino alcuni obiettivi dell'Agenda 2030 (Obiettivo 4: Istruzione di qualità; Obiettivo 10: Ridurre le disuguaglianze).

Parole chiave: digitalizzazione, 3D, beni paleontologici, Agenda 2030, archivi.

## ABSTRACT

*3D digitisation of the palaeontological collections of the Museum of Geology and Palaeontology of Florence*

*In this contribution the project "PalVirt" at the Museum of Geology and Paleontology of the University of Florence is presented as the first example in Italy of the systematic and massive 3D digitization of paleontological type-specimens. This project follows the indications promoted by the Expert Group of the European Union on the "Digital Cultural Heritage and Europeana" and pursues for the Florence university some of the Goals of the Agenda 2030 of the Florentine University (Goal 4: Quality Education; Goal 10: Reduced inequalities).*

*Key words: digitization, 3D, paleontological heritage, Agenda 2030, archives.*

## INTRODUZIONE

Il Museo di Geologia e Paleontologia dell'Università di Firenze trae origine dalle collezioni dell'Imperial Regio Museo di Fisica e Storia Naturale di Firenze, istituito nel 1775 dal granduca Pietro Leopoldo di Lorena e allora ospitato nel Palazzo Torrigiani di Via Romana. Esso è oggi un punto di riferimento nazionale e internazionale per le sue estese e diversificate collezioni, note per la loro rilevanza scientifica fin dall'inizio dell'Ottocento,

soprattutto, ma non solo, per i reperti del Neogene e Quaternario (Barsanti & Chelazzi, 2009; Monechi & Rook, 2010). Conserva, infatti, circa: I) 26.000 reperti della collezione dei vertebrati fossili, di cui più della metà sono mammiferi continentali plio-pleistocenici della Toscana; II) 440.000 reperti della collezione di invertebrati fossili che rappresentano la più importante collezione paleontologica italiana e una delle massime d'Europa; III) 8000 reperti della collezione paleobotanica che documentano l'evoluzione del mondo



Fig. 1. Il cranio tipo del bovide *Leptobos vallisarni* (IGF 622) viene preparato per la digitalizzazione da due curatori del Museo.

vegetale; IV) 10.000 reperti della collezione di rocce provenienti da tutto il pianeta; V) 6500 reperti della collezione Strozzi costituita da vertebrati, invertebrati e campioni di foglie provenienti per la maggior parte da località toscane.

Negli ultimi anni si è assistito a un rapido sviluppo della "paleontologia virtuale" grazie a nuovi strumenti sempre più performanti e accessibili che permettono differenti acquisizioni e riproduzioni tridimensionali come, per esempio, la tomografia computerizzata, la fotogrammetria, il 3D imaging e la prototipazione rapida (Falkingham, 2012; Cunningham et al., 2014; Tapanila & Rahman, 2016; Das et al., 2017; Bartolini-Lucenti et al., 2020; Pandolfi et al., 2020). I musei hanno progressivamente iniziato a utilizzare in maniera sistematica queste tecnologie per monitorare lo stato di conservazione dei beni culturali che custodiscono grazie ad analisi non invasive e per valorizzare tale patrimonio da un punto di vista sia scientifico che didattico-divulgativo dato che spesso i fossili sono danneggiati e incompleti per cause tafonomiche o per effetto delle modalità di recupero. Grazie alla paleontologia virtuale è inoltre possibile attuare, nello stesso tempo, nuove modalità per il raggiungimento di alcuni degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (OSS) dell'Agenda 2030. In Italia, purtroppo, sono ancora poche le esperienze di musei scientifici che adottano queste pratiche in maniera sistematica e nessuna in campo paleontologico. Nel 2020, grazie all'acquisizione di un set di strumenti per la scansione 3D ed elaborazione digitale (finanziamento "Progetti di Eccellenza" del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze) e di uno specifico contributo erogato dalla Regione Toscana (progetto POR FSE 2014-2020 Asse A, denominato "Assegni di ricerca in ambito culturale" - Bando per progetti congiunti di alta formazione attraverso l'attivazione di assegni di ricerca), si è avviato un progetto di digitalizzazione e valorizzazione del materiale tipo delle specie fossili conservato nel Museo di Geologia e Paleontologia. Tale materiale riveste un particolare significato scientifico come materiale di ri-

ferimento per lo studio tassonomico ed è pertanto soggetto a richieste di studio e a frequente manipolazione, con conseguente maggior rischio di deterioramento. Nella prima parte del presente lavoro sono descritti le metodologie e gli avanzamenti del progetto di digitalizzazione e disseminazione delle collezioni del Museo, primo caso in Italia di digitalizzazione sistematica di collezioni paleontologiche. Nella seconda parte vengono analizzati i possibili contributi del progetto agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Ateneo di Firenze, in particolare agli obiettivi 4 (Istruzione di qualità) e 10 (Ridurre le disuguaglianze).

## PROGETTO PaVirt: METODI E APPLICAZIONI

Nell'ambito dei progetti promossi dalla Regione Toscana POR FSE 2014-2020 Asse A è stato avviato nel 2020 un assegno di ricerca mirato alla valorizzazione e alla conservazione del patrimonio paleontologico conservato presso il Museo di Geologia e Paleontologia di Firenze. L'attività principale e fase iniziale del progetto, intitolato "Paleontologia virtuale, un approccio non invasivo e per la fruizione, diffusione e condivisione del patrimonio paleontologico" (PaVirt), è consistita nella digitalizzazione dei reperti grazie a scanner 3D di superficie ad alta risoluzione in dotazione al Dipartimento di Scienze della Terra di Firenze (fig. 1). La campagna di scansione ha permesso di digitalizzare la quasi totalità dei tipi di vertebrati (138 campioni) e 69 tipi di invertebrati e flore fossili (fig. 2). In particolare, i reperti di vertebrati rappresentano i due terzi degli oggetti digitalizzati (fig. 2a), di essi i mammiferi rappresentano più dei tre quarti dei tipi delle collezioni del Museo, con uccelli, rettili e condroitti a seguire (fig. 2b). Invertebrati e piante (fig. 2c) rappresentano il 33% delle scansioni e la loro composizione è costituita per più della metà da molluschi (55%), per un quarto da cnidari e, in misure minore, da piante, artropodi, echinodermi e brachiopodi.

Le scansioni di superficie sono state realizzate attraverso l'uso di tre scanner ad alta risoluzione, ovvero Artec Eva, Artec Spider e Artec Micro, diversi per modalità di acquisizione e per caratteristiche tecniche (v. sito web 1). Artec Eva è stato usato per reperti con dimensioni superiori a 50 cm, fino a quelle del cranio tipo di *Mammuthus meridionalis* o dello scheletro di *Hippopotamus antiquus*, raggiungendo una risoluzione dell'oggetto digitale finale di 1 mm. Artec Spider è stato impiegato per la scansione di reperti di dimensioni inferiori a 30 cm, o dei quali era necessario un maggiore dettaglio, come crani e mandibole di piccoli carnivori e superfici dentali particolarmente strutturate e dettagliate, digitalizzate con risoluzione intorno a 0,1 mm. Per campioni ancor più minuti si è proceduto con lo scanner da tavolo Artec Micro che consente di digitalizzare oggetti più piccoli di 10 cm di lunghezza, raggiungendo una risoluzione finale di 10 µm (Fig. 3).

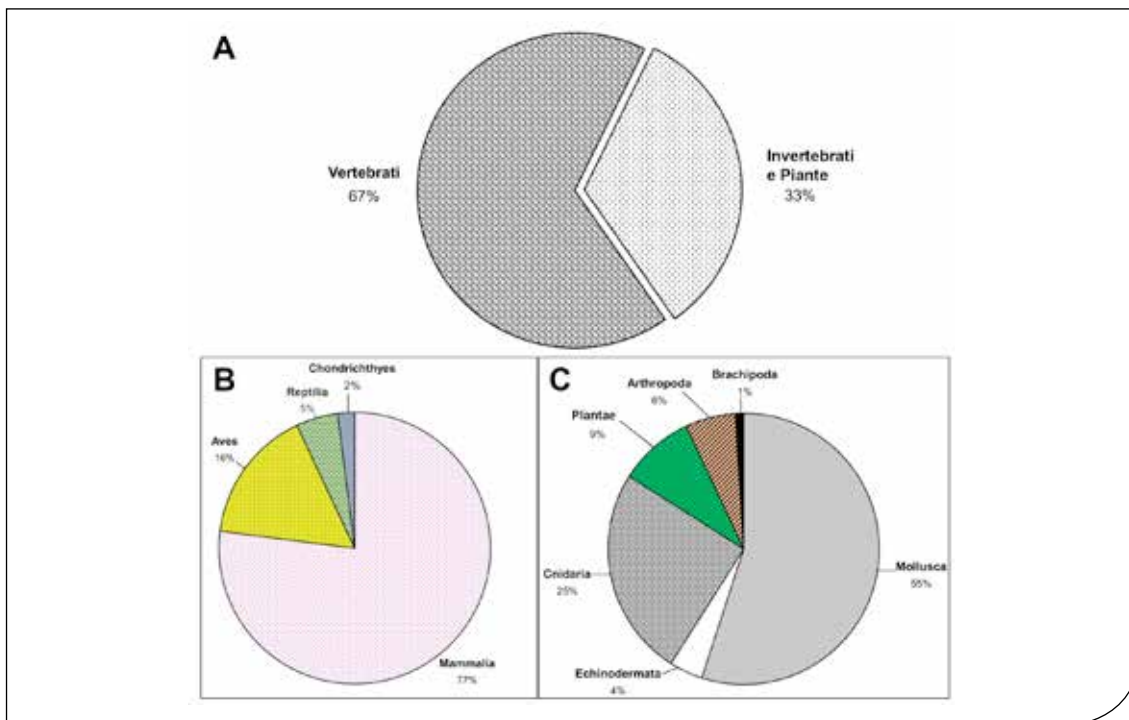


Fig. 2. Percentuale di rappresentatività dei campioni digitalizzati (N totale = 207): a) suddivisione percentuale tra vertebrati (circa i due terzi dei campioni) e invertebrati e piante; b) suddivisione tra mammiferi, uccelli, rettili e condroitti; c) suddivisione tra piante, artropodi, brachiopodi, echinodermi, cnidari e molluschi, oggetto questi ultimi di oltre la metà (55%) delle scansioni del gruppo.

Le scansioni sono state acquisite, elaborate e processate grazie al software nativo Artec Studio 15 Professional che mette a disposizione dell'operatore tutti gli strumenti che consentono di passare dalla scansione al modello tridimensionale o mesh (rappresentazione di un oggetto tridimensionale attraverso una maglia di celle poligonali) finale.

Lo stesso programma permette anche di esportare il risultato dell'acquisizione in file 3D con estensioni .obj, .stl, .ply, più frequentemente usate, o in alternativa .aop, .ptx, .wrl, di uso in applicazioni grafiche e digitali. Gli scanner di superficie utilizzati hanno catturato la texture dei campioni, ovvero i colori originali dell'oggetto fisico, restituendo oggetti digitali particolarmente fedeli ai corrispettivi fisici. I modelli 3D sono quindi copie digitali fedeli e possono essere utilizzati per molteplici scopi, limitando – e in questo modo preservando – il contatto diretto con i reperti originali. I file digitali di ciascun modello 3D così ottenuti sono stati archiviati, fornendo un dato storico dello stato di conservazione dei reperti al momento delle scansioni. Questi oggetti virtuali possono essere visualizzati, manipolati ed elaborati attraverso una varietà di programmi, ottenibili attraverso licenza o freeware, open- o closed-source, per diversi sistemi operativi, la cui scelta dipende da finalità e competenze dell'operatore. Due programmi multiplatforma frequentemente utilizzati, open-source e freeware, sono MeshLab (v. sito web 2; Cignoni et al., 2008), nato e sviluppato in

Italia, e Blender (v. sito web 3). Entrambi permettono elaborazioni base quali operazioni di scala, taglio, azioni sulla mesh, correzione colori, texture, preparazione alla stampa 3D ecc. Blender, più sofisticato e complesso, fornisce strumenti correttivi aggiuntivi e di modifica avanzata, quali scultura 3D e animazione.

Uno degli altri aspetti che è stato affrontato nella fase iniziale del progetto è dove allocare i modelli 3D per garantire la loro conservazione digitale nel lungo periodo. La "massa" digitale di questi modelli è di circa 250 GB e, a oggi, sono archiviati nel cloud storage di Google in uso presso l'Università di Firenze. È importante considerare servizi che offrano sicurezza, integrità, affidabilità e reperibilità dei dati e siano anche sostenibili da un punto di vista ambientale ovvero che acquistino per esempio energia proveniente da fonti rinnovabili.

## UTILIZZO DEI MODELLI 3D

È importante sottolineare, in primis, come il progetto PalVirt sia pienamente in linea con gli obiettivi promossi dalla Commissione Europea nel 2019 con la sottoscrizione da parte di 27 Stati della "Declaration of Cooperation on advancing the digitisation of cultural heritage" per promuovere la digitalizzazione 3D del patrimonio culturale europeo. Come è riportato dal documento infatti: "Emerging technologies such as big data, artificial intelligence and extended reality offer numerous possibilities to further process and use

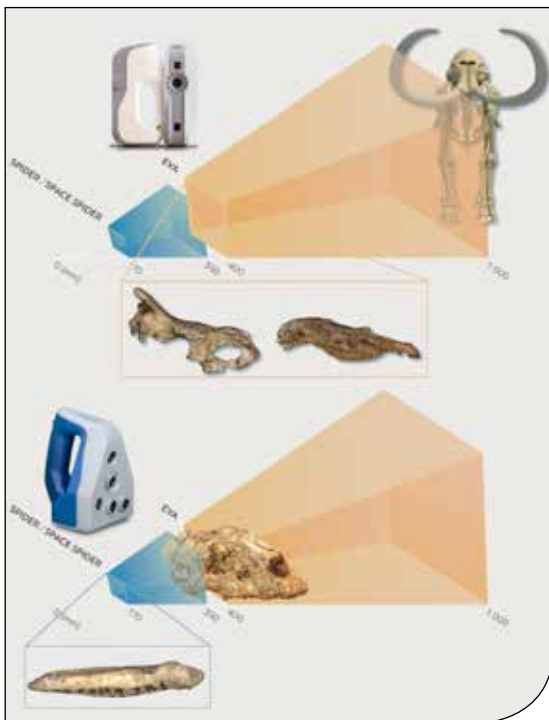


Fig. 3. Diversa distanza di fuoco (in mm) tra Artec Eva (in alto) e Artec Spider (in basso). Immagini 3D a scopo illustrativo, non in scala.

Artec Eva: risoluzione mesh = 0,2 mm, accuratezza = 0,1 mm.  
Artec Spider: risoluzione mesh = 0,1 mm, accuratezza = 0,05 mm.

digital cultural heritage. 3D technologies are especially promising, providing new ways of advancing scientific understanding, handling and restoring damaged or fragile heritage and ensuring digital preservation that reflects the uniqueness and multidimensionality of our heritage. 3D is also one of the foundations for interactive technologies such as virtual and augmented reality for cultural applications". La digitalizzazione 3D è preziosa e fondamentale per la conservazione, la riproduzione, la ricerca, l'istruzione, l'esplorazione e il riutilizzo creativo o legato al turismo del patrimonio culturale. In particolare, gli Stati membri dell'UE hanno aderito per cooperare in modo intersettoriale e transnazionale per: I) la digitalizzazione 3D di manufatti, monumenti e siti; II) il riutilizzo delle risorse culturali digitalizzate; III) il coinvolgimento dei cittadini; IV) l'uso innovativo e ricadute in altri settori; V) la capacity building nel settore del patrimonio culturale digitalizzato.

I principi di base per la digitalizzazione 3D stilati dall'Expert Group sul "Digital Cultural Heritage and Europeana" sono: I) considerare il valore e la necessità della digitalizzazione 3D; II) selezionare che cosa digitalizzare e per quali casi d'uso o gruppi di utenti; III) decidere se digitalizzare con forze interne alla struttura o esternalizzare; IV) chiarire gli aspetti del copyright e pianificare un accesso aperto e ampio; V) determinare la qualità minima necessaria, ma puntando a quella più

accessibile; VI) identificare le diverse versioni e formati necessari per i diversi casi d'uso; VII) pianificare la conservazione a lungo termine di tutti i dati acquisiti; VIII) usare le attrezzature, i metodi e i flussi di lavoro adeguati; IX) proteggere i beni sia durante che dopo la digitalizzazione; e, infine, X) investire nella conoscenza delle tecnologie, dei processi e dei contenuti 3D.

Seguendo questo "decalogo" e in ottemperanza al Codice dei beni culturali e del paesaggio attualmente vigente sono stati in primo luogo verificati gli eventuali aspetti legislativi legati alla scansione e riproduzione 3D. Lo stesso Codice indica che "I canoni di concessione ed i corrispettivi connessi alle riproduzioni di beni culturali sono determinati dall'autorità che ha in consegna i beni" (art. 108, co. 1), che "Nessun canone è dovuto per le riproduzioni richieste (o eseguite) da privati per uso personale o per motivi di studio, ovvero da soggetti pubblici o privati per finalità di valorizzazione, purché attuate senza scopo di lucro" (art. 108, co. 3), e che "Sono in ogni caso libere le seguenti attività, svolte senza scopo di lucro, per finalità di studio, ricerca, libera manifestazione del pensiero o espressione creativa, promozione della conoscenza del patrimonio culturale: la divulgazione con qualsiasi mezzo delle immagini di beni culturali, legittimamente acquisite, in modo da non poter essere ulteriormente riprodotte a scopo di lucro [...]" (art. 108, co. 3bis). L'oggetto del presente studio si riferisce alla "concessione in uso/riproduzione", ovvero alle attività che i soggetti esterni possono effettuare per riprodurre il bene, aspetti che concernono per estensione l'acquisizione di modelli tridimensionali, in attesa di eventuali nuove norme più specifiche da parte del legislatore. Il Sistema Museale di Ateneo (SMA) dell'Università di Firenze, in qualità di autorità che ha in consegna i beni, si è dotato dunque di un modulo che deve essere compilato dai richiedenti e nel quale devono essere ben chiare le finalità di acquisizione e uso di un modello 3D solo per scopi puramente scientifici e/o didattici.

I modelli 3D realizzati con PalVirt sono ora disponibili per i ricercatori che ne facciano richiesta e previo accordo con i referenti delle collezioni, e, in modo particolare, per quanti abbiano limitate risorse finanziarie per missioni di ricerca, dando così la possibilità di analizzare in dettaglio reperti di straordinaria importanza scientifica. Come esempio dell'uso, e dopo alcune esperienze italiane (Petti et al., 2015; Profico et al., 2019), a Firenze si sono potuti studiare modelli di fossili 3D di reperti del Museo di Storia Naturale attraverso processi di retrodeformazione digitale, con un metodo matematico computerizzato applicato al cranio di *Equus stenonis* (ICF 560 olotipo della specie dedicata a Niccolò Stenone), equide connesso da un punto di vista evolutivo con le zebre attuali (Cirilli et al., 2020; vedi anche Bartolini-Lucenti et al., 2021b; Bartolini-Lucenti et al., 2021c). Il progetto PalVirt risulta funzionale ad alcuni obiettivi dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193

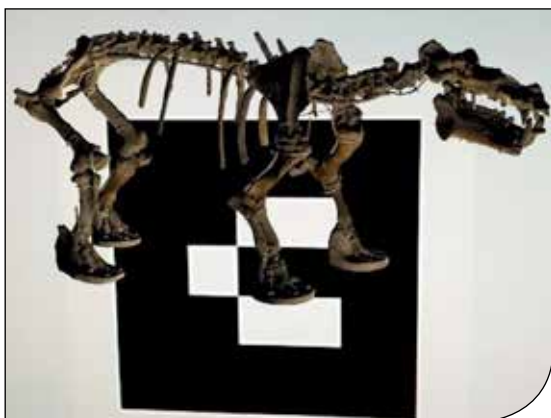


Fig. 4. Visualizzazione in realtà aumentata (AR)

del modello 3D del tipo di *Hippopotamus antiquus*.

Lo scheletro completo IGF 1043 è visibile su un qualsiasi dispositivo mobile (smartphone o tablet) grazie a un QR Code (contenente il link alla web-app con le istruzioni per il rendering AR) e a un marker (quadrato nero e bianco sotto al modello tridimensionale). L'utente può interagire con i file 3D fino a che rimane nel campo visivo della fotocamera (si veda Bartolini-Lucenti et al., 2020).

Paesi membri dell'ONU. L'Agenda ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals - SDGs) in un grande programma d'azione per un totale di 169 target o traguardi. L'avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile ha coinciso con l'inizio del 2016, guidando il mondo sulla strada da percorrere nell'arco dei successivi 15 anni. I Paesi che hanno sottoscritto l'Agenda si sono impegnati a raggiungere tali obiettivi entro il 2030.

Gli esemplari tipo, particolarmente pregevoli per completezza, rivestono anche un'importanza estetica ed educativa, risultando uno strumento utile a perseguire l'obiettivo 4 dell'Agenda, dedicato all'"istruzione di qualità per fornire un'educazione di qualità, equa e inclusiva" e a "promuovere opportunità di apprendimento permanente per tutti", come pure l'obiettivo 10, per "ridurre le disuguaglianze all'interno di e fra le Nazioni". I modelli 3D dei fossili hanno infatti una innegabile attrattiva e sono di facile integrazione all'interno di percorsi espositivi, anche attraverso l'ausilio di dispositivi digitali e di applicazioni di realtà aumentata, virtuale o mista (Bartolini-Lucenti et al., 2020), per implementare, migliorare ed espandere le proposte educative, all'interno del Museo o nelle scuole (fig. 4). È possibile, infine, grazie alla prototipazione rapida o stampa 3D con filamenti per esempio biodegradabili, rendere "fisici" i modelli 3D per attività didattico-divulgative evitando il contatto con i reperti originali, spesso fragili (fig. 5). Oggetti molto piccoli e difficilmente intelligibili possono essere stampati a dimensioni maggiori o, viceversa, oggetti molto grandi possono essere ridotti, e possono essere stampate porzioni o cavità interne di fossili (modelli endocranici). Grazie alle stampe 3D è possibile quindi proporre esperienze tattili a diversi

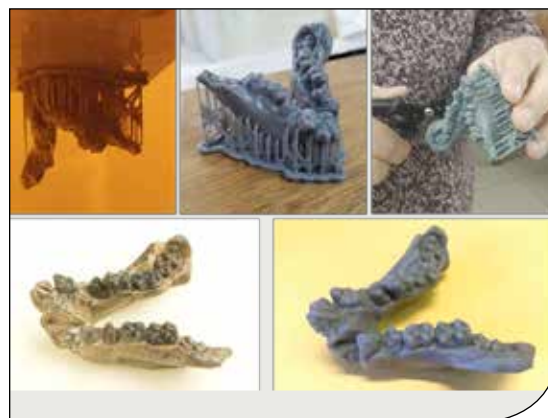


Fig. 5. Replica (in basso a destra) dell'esemplare

tipo di *Oreopithecus bambolii* (IGF 4335) (in basso a sinistra) realizzata con la stampante Form 3. In alto, alcune fasi di lavorazione.

tipi di pubblico, tra cui anche ipovedenti o non vedenti, consentendo loro una soddisfacente percezione aptica. Anche queste applicazioni concorrono alla realizzazione dell'obiettivo 4 sopra descritto.

Molti musei espongono scheletri compilati, costituiti da ossa di diversi individui. Attraverso i modelli digitali si possono creare "chimere fossili tridimensionali" unendo più esemplari di fossili per ricostruire un ipotetico ma rigorosamente scientifico e completo cranio di una specie vissuta nel passato. Ne è un esempio il cranio di *Homo heidelbergensis* (Profico et al., 2019). Questa procedura è di estrema utilità per progettare interventi mirati di restauro e consolidamento, per la ricerca scientifica (analisi degli elementi finiti o FEA) e per la progettazione di allestimenti espositivi innovativi. È in corso di costruzione, infine, grazie alla collaborazione con l'Unità Funzionale "Prodotti e Strumenti per la Comunicazione Istituzionale e per gli Studenti" dell'Ateneo fiorentino, una "Sala Virtuale" del Museo incentrata sull'ecosistema della Toscana nel Pleistocene Inferiore dove sarà possibile vedere modelli 3D di fossili particolarmente significativi e unici di circa 1,8 milioni di anni fa. Questa Sala Virtuale sarà ospitata nei prossimi mesi nel nuovo sito web del Sistema Museale di Ateneo e avrà come obiettivo principale quello di attrarre nuovi flussi turistici nazionali e non, e quello di far preparare al meglio il percorso di visita a operatori del settore, a docenti, e a un più ampio pubblico di appassionati e famiglie.

L'esperienza fiorentina, come altre nel mondo (Bastir et al., 2019; Morena et al., 2019), conferma come l'utilizzo delle tecnologie 3D sia diventato uno strumento prezioso per documentare il patrimonio culturale tangibile. Nei musei si rende così necessario conoscere le tecnologie e i processi con cui si incrementano le possibilità di digitalizzazione dei beni. La digitalizzazione 3D non sostituisce in alcun modo la conservazione fisica e non implica di per sé la conservazione digitale a lungo termine. Questa deve essere programmata a priori e coinvolgere esperti in differenti settori come gli archivisti digitali per assicurare una durata nel tempo dei modelli 3D.

L'esperienza di PalVirt è un importante precedente italiano col quale la comunità museologica può confrontarsi.

## RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento a Diego Brugnoli dell'Unità Funzionale "Prodotti e Strumenti per la Comunicazione Istituzionale e per gli Studenti" dell'Università di Firenze per il supporto tecnico alla realizzazione della Sala Virtuale del Museo e a Valeria Acconcia dell'Istituto Centrale per l'Archeologia per i suggerimenti sugli aspetti relativi al Codice dei beni culturali. L'iniziativa della Regione Toscana "Assegni di ricerca in ambito culturale - anno 2018" (POR FSE 2014-2020) è cofinanziata dal Sistema Museale dell'Università degli Studi di Firenze e dalla Fondazione Ente Cassa di Risparmio di Firenze. I membri del Paleo[Fab]Lab ringraziano TBNET SOLUZIONI 3D (Arezzo) per la cortese disponibilità alla collaborazione e per il prezioso supporto tecnico.

## BIBLIOGRAFIA

BARSANTI G., CHELAZZI G. (a cura di), 2009. *Il Museo di storia naturale dell'Università di Firenze. Volume 1: Le collezioni della Specola: zoologia e cere anatomiche*. Firenze University Press, Firenze, 312 pp.

BARTOLINI-LUCENTI S., BUKHSIANIDZE M., MARTÍNEZ-NAVARRO B., LORDKIPANIDZE D., 2020. The Wolf from Dmanisi and Augmented Reality: Review, Implications, and Opportunities. *Frontiers in Earth Science*, 8: 131 (doi: 10.3389/feart.2020.00131).

BARTOLINI-LUCENTI S., CIRILLI O., PANDOLFI L., SAMI M., DEDOLA G.L., ROOK L., 2021a. Applicazioni di paleontologia virtuale su resti fossili e blocchi ossiferi di Cava Monticino (Brisighella, RA). In: Rook L. (a cura di). *La fauna messiniana di Cava Monticino (Brisighella, RA). Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, 37: 37-48*.

BARTOLINI-LUCENTI S., DIONISIO G., BIGONI F., ROOK L., 2021b. Of bears and boats: first digitalization of Ainu artifacts of the Anthropology and Ethnology Museum of Florence. *Archivio per l'Antropologia e la Etnologia*, CL (2020): 159-169.

BARTOLINI-LUCENTI S., DIONISIO G., ROOK L., BIGONI F., 2021c. 3D Digitalization of selected specimens of the Anthropology and Ethnology Museum of Florence with Artec Spider. In: Barbagli F., Cioppi E., Falchetti F., Miglietta A.M. (a cura di), *Atti del Congresso ANMS 2020, I musei scientifici italiani nel 2020. 18-20 novembre 2020. Museologia Scientifica Memorie, numero speciale online: 123-127*.

BASTIR M., GARCÍA-MARTÍNEZ D., TORRES-TAMAYO N., PALANCA C., FERNÁNDEZ-PÉREZ F.J., RIESCO-LÓPEZ A., OSBORNE-MÁRQUEZ P., ÁVILA M., LÓPEZ-GALLO P., 2019. Workflows in a Virtual Morphology Lab: 3D scanning, measuring, and printing. *Journal of Anthropological Sciences*, 97: 107-134.

CIGNONI P., CALLIERI M., CORSINI M., DELLEPIANE M., GANOVELLI F., RANZUGLIA G., 2008. MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. In: Scarano V., De Chiara R., Erra U. (a cura di), *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, Salerno, Italy, July 2nd-4th, 2008*. The Eurographics Association, pp. 129-136.

CIRILLI O., MELCHIONNA M., SERIO C., BERNOR R.L., BUKHSIANIDZE M., LORDKIPANIDZE D., ROOK L., PROFICO A., RAIA P., 2020. Target Deformation of the *Equus stenonis* Holotype Skull: A Virtual Reconstruction. *Frontiers in Earth Science*, 8: 247 (doi: 10.3389/feart.2020.00247).

CUNNINGHAM J.A., RAHMAN I.A., LAUTENSCHLAGER S., RAYFIELD E.J., DONOGHUE P.C.J., 2014. A virtual world of paleontology. *Trends in Ecology and Evolution*, 29: 347-357.

DAS A. J., MURMANN D.C., COHRN K., RASKAR R., 2017. A method for rapid 3D scanning and replication of large paleontological specimens. *PLoS ONE*, 12(7): e0179264 (doi:10.1371/journal.pone.0179264).

FALKINGHAM P., 2012. Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontographia Electronica*, 15(1): 1T:15p (<https://doi.org/10.26879/264>).

MONECCHI S., ROOK L. (a cura di), 2010. *Il Museo di Storia Naturale dell'Università degli Studi di Firenze. Volume 3: Le collezioni geologiche e paleontologiche*. Firenze University Press, Firenze, 312 pp.

MORENA S., BARBA S., ÁLVARO-TORDESILLAS A., 2019. Shining 3D EinScan-Pro, Application and Validation in the Field of Cultural Heritage, from the Chillida-Leku Museum to the Archaeological Museum of Sarno. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2-W18: 135-142*.

PANDOLFI L., RAIA P., FORTUNY J., ROOK L. (eds.), 2020. Editorial: Evolving Virtual and Computational Palaeontology. *Frontiers in Earth Science*, 8: 591813 (doi: 10.3389/feart.2020.591813).

PETTI F. M., BELLUCCI L., BERNARDI M., FREZZA V., IURINO D. A., TINELLI C., 2015. Le nuove frontiere per lo studio, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio paleontologico italiano. *Gazzetta ambiente*, 5: 33-42.

PROFICO A., BELLUCCI L., BUZI C., DI VINCENZO F., MICARELLI I., STRANI F., TAFURI M.A., MANZI, G., 2019. Virtual anthropology and its application in cultural heritage studies. *Studies in Conservation*, 64(6): 323-336. Tapanila L., Rahman I.A. (eds.), 2016. *Virtual Paleontology*. The Paleontological Society Papers, 22, pp. VIII + 209.

### Siti web (ultimo accesso 01.02.2022)

- 1) Artec3D: [www.artec3d.com](http://www.artec3d.com)
- 2) MeshLab: [www.meshlab.net](http://www.meshlab.net)
- 3) Blender: [www.blender.org](http://www.blender.org)