

Antropologia scheletrica virtuale

Guida multimediale sulle tecniche fotogrammetriche
per la realizzazione di modelli 3D

UNICApress/didattica



Giorgio Lai, Marco Casula, Vitale Sparacello,
Andrea Lotta, Antioco Floris, Elisabetta Marini



L'Antropologia scheletrica virtuale è di interesse per la ricerca, la didattica e la comunicazione, in particolare nell'ambito museale.

Attraverso immagini, filmati e testi, questo contributo illustra le azioni e gli strumenti necessari per la realizzazione di modelli 3D di cranio con tecnica *ultra close range digital photogrammetry* (UCR-DP). La procedura viene utilizzata nel Laboratorio di Antropologia scheletrica associato al Museo Sardo di Antropologia ed Etnografia dell'Università degli Studi di Cagliari e prevede la realizzazione di alcune fasi in modalità cloud, liberamente accessibili per motivi di studio. Il protocollo è disegnato per il cranio, ma può essere modificato qualora lo si applichi ad altri reperti (es. ossa lunghe).

I filmati che descrivono integralmente la procedura sono accessibili all'indirizzo: <https://cinema.dh.unica.it/video-tutorial-3D>.

UNICApres/didattica

Antropologia scheletrica virtuale

Guida multimediale sulle tecniche fotogrammetriche
per la realizzazione di modelli 3D

Giorgio Lai, Marco Casula, Vitale Sparacello
Andrea Lotta, Antioco Floris, Elisabetta Marini



Cagliari
UNICAPress
2023

Tutti i contenuti di questo volume sono redatti con la massima diligenza e sottoposti a un accurato controllo al fine del pieno rispetto dei diritti di proprietà intellettuale di terzi. Per eventuali richieste o segnalazioni in merito all'utilizzo di tali contenuti, si invita a scrivere a unicapress@unica.it.

Antropologia scheletrica virtuale.
Guida multimediale sulle tecniche fotogrammetriche per la realizzazione di modelli 3D.
Giorgio Lai, Marco Casula, Vitale Sparacello, Andrea Lotta,
Antioco Floris, Elisabetta Marini

In copertina: L'immagine, a cura di Marco Casula, riproduce un modello 3D di cranio maschile, di epoca storica, custodito nel Museo Sardo di Antropologia ed Etnografia dell'Università degli Studi di Cagliari.

© Autori dei contributi e UNICApres
CC-BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Publicato con il supporto finanziario di UNICApres.

Cagliari, UNICApres, 2023 (<http://unicapress.unica.it>)

ISBN: 978-88-3312-096-6
e-ISBN: 978-88-3312-097-3 (PDF)

DOI: 10.13125/unicapress.978-88-3312-097-3

INDICE

- 7 Prefazione
- 11 Azioni preliminari: catalogazione e misure per la scalatura
- 13 Scelta e configurazione delle attrezzature
- 21 Riprese fotografiche
- 25 Elaborazione dei modelli 3D
- 29 Post-produzione
- 33 Riferimenti bibliografici

Prefazione

L'Antropologia scheletrica virtuale riguarda la realizzazione e l'uso di modelli tridimensionali di reperti scheletrici. Le applicazioni sono di interesse per la ricerca, la didattica e la comunicazione, in particolare nell'ambito museale, dove risultano utili per la catalogazione, la conservazione e l'esposizione dei reperti. Le possibilità di interazione e di condivisione dei modelli 3D sono infatti più varie e sicure che con i reperti originari. I modelli possono inoltre essere riprodotti attraverso diverse metodologie di stampa (Canessa et al., 2013).

Esistono diverse tecniche per la produzione di modelli 3D dei reperti scheletrici. La principale distinzione è tra le tecniche che riproducono il volume, inclusivo delle porzioni interne dell'oggetto, come ad esempio la tomografia computerizzata (TAC) o la risonanza magnetica, e le tecniche di superficie, come il laser scanning, la luce strutturata e la fotogrammetria digitale, che ne riproducono solo la forma esterna. Tra queste, la fotogrammetria è la più economica e di semplice utilizzo. Presenta inoltre il vantaggio di riprodurre realisticamente l'aspetto dell'oggetto e ha mostrato di essere precisa e accurata quanto le tecniche di riferimento, come la TAC (Lussu, 2020; Omari et al., 2021) o la micro TAC (Scaggion et al., 2022), anche se esiste variabilità nella qualità dei risultati di procedure fotogrammetriche diverse (Waltenberger et al., 2021). Di recente, sono comparsi in commercio nuovi modelli di scanner che includono la riproduzione della superficie esterna dell'oggetto, utilizzando diverse tecniche. Si tratta di soluzioni efficienti, ma il cui costo è relativamente elevato.

Le prime applicazioni della fotogrammetria risalgono al XIX secolo e hanno inizialmente riguardato oggetti di grandi dimensioni, come rilievi o edifici. Con lo sviluppo delle tecnologie informatiche, si è andata

definendo la fotogrammetria digitale; inizialmente utilizzata in campo topografico e cartografico, e diffusasi poi in diversi ambiti, tra cui l'archeologia e l'antropologia (Lussu e Marini, 2020). La tecnica permette la produzione di modelli tridimensionali a partire da fotografie digitali, elaborate per mezzo di appositi software. Le foto devono catturare ogni porzione della superficie ed essere tra loro ridondanti, ovvero parzialmente sovrapponibili: almeno il 50% circa delle porzioni riprodotte in una foto deve essere presente anche nella foto sulla porzione contigua. Ciò consente al software di individuare i punti dell'oggetto in comune tra le foto, estraendo informazioni di profondità, e di riprodurre quindi le caratteristiche in uno spazio virtuale tridimensionale.

Nel corso della ricerca di dottorato del dr. Paolo Lussu (Lussu, 2020) è stata messa a punto la procedura *ultra close range digital photogrammetry* (UCR-DP), basata su foto realizzate entro la distanza di 10 metri, come necessario per la riproduzione di reperti scheletrici. Di recente, sono stati pubblicati articoli (González-Merino et al., 2021; Lauria et al., 2022; Riga et al., 2022; Scaggion et al., 2022) che illustrano procedure analoghe per l'applicazione della fotogrammetria in antropologia scheletrica.

Attraverso immagini, filmati e testi, questo contributo illustra le azioni e gli strumenti necessari a svolgere l'intero procedimento di realizzazione di modelli 3D di cranio con tecnica UCR-DP. La procedura, schematizzata nella figura 1, viene utilizzata nel Laboratorio di Antropologia scheletrica associato al Museo Sardo di Antropologia ed Etnografia (MuSAE) dell'Università degli Studi di Cagliari e prevede la realizzazione di alcune fasi in modalità cloud, liberamente accessibili per motivi di studio, garantendo al ricercatore un risparmio di tempo e di risorse. Il protocollo è disegnato per il cranio, ma può essere modificato qualora lo si applichi ad altri reperti (es. ossa lunghe), in funzione delle relative peculiarità morfologiche.

L'audiovisivo è disponibile all'indirizzo:
<https://cinema.dh.unica.it/video-tutorial-3D>

FASI PROCEDURALI

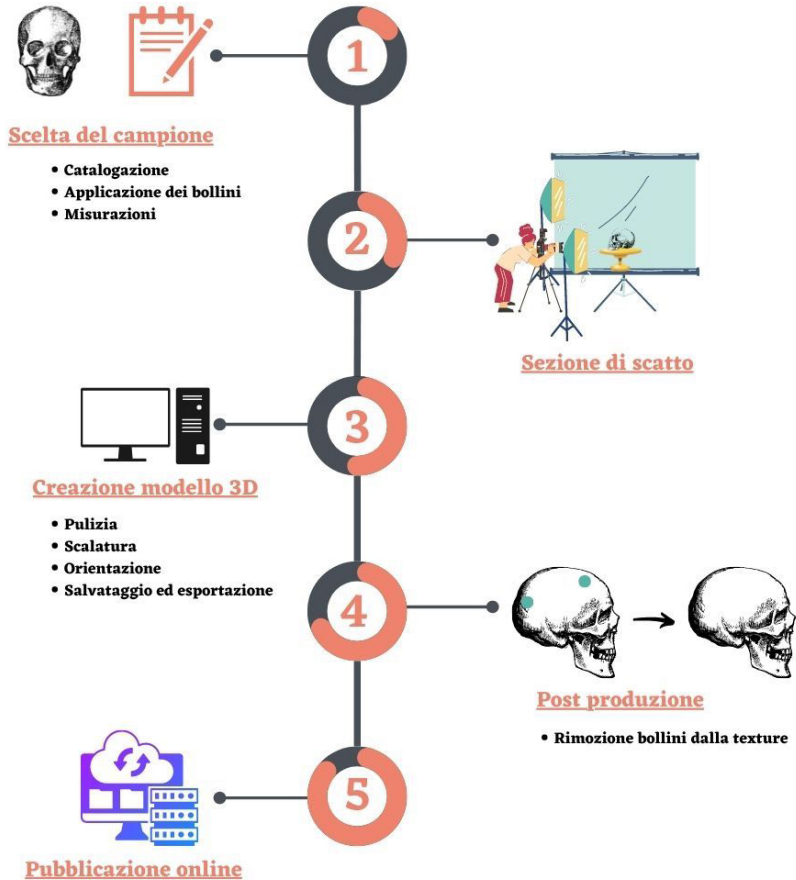


Figura 1. Rappresentazione delle fasi in cui è articolato il procedimento per la realizzazione di modelli 3D di cranio con tecnica UCR-DP.

Azioni preliminari

Catalogazione e misure per la scalatura

La catalogazione del cranio da riprodurre deve essere molto precisa. È raccomandabile trascrivere i dati di catalogazione su un'apposita tabella, nel momento in cui viene prelevato il cranio.

Nella tabella devono essere immessi il codice di inventario del cranio e le informazioni sulla sua collocazione nell'archivio (ad esempio il codice della cassa da cui è stato prelevato). È inoltre utile che vengano annotate altre informazioni, quali la diagnosi di sesso e di età, la provenienza geografica e temporale. Nella tabella dovranno inoltre essere trascritte le misure che verranno rilevate sul reperto (e la loro media), da utilizzare nella fase conclusiva di scalatura del modello 3D.

La fotogrammetria non rileva infatti autonomamente le dimensioni dell'oggetto riprodotto virtualmente, ma solo le sue proporzioni. Per assegnare al modello 3D le misure reali e rendere così realistica la successiva misura di qualunque sua parte, è necessario misurare accuratamente una porzione del reperto originale, assegnare il valore ottenuto alla parte corrispondente sul modello, indicare al software di estendere la scalatura all'intero oggetto virtuale.

Nel Laboratorio di Antropologia scheletrica del MuSAE, le misurazioni vengono effettuate con l'ausilio di due bollini da posizionare sul cranio. Si tratta di semplici adesivi circolari, al cui interno è stampata una croce che aiuta il riconoscimento del punto di misurazione. Il primo bollino può essere posizionato sull'osso frontale, in prossimità della sutura coronale, e il secondo sull'osso parietale, a circa 10 cm di distanza, in linea orizzontale con il primo. Non è necessario posizionare i bollini sempre sullo stesso lato. L'unica condizione è che risultino ben adesi alla superficie, per evitare che si stacchino tra la fase di misurazione e quella di acquisizione delle foto, quando dovranno risultare

ben riconoscibili e del tutto corrispondenti alla posizione originale. Il rischio che i bollini non aderiscano bene dipende dall'eventuale residuo di terra sul reperto e soprattutto dalla natura della superficie ossea, che potrebbe essere alterata o rugosa. Occorre quindi individuare la porzione scheletrica e il lato in cui la superficie è più pulita e liscia. Inoltre, se le porzioni di osso frontale e parietale preferibilmente utilizzate dovessero mancare o essere alterate, i bollini possono venir posizionati in un'altra zona, purché sempre a circa 10 cm di distanza l'uno dall'altro.

La distanza tra i bollini sul reperto originale viene rilevata in mm, con un calibro manuale, o digitale. Per ridurre il più possibile l'errore casuale di misura, in ciascun cranio, la distanza viene misurata per tre volte. Il calibro deve essere tarato prima di ogni misurazione e ogni misura deve essere subito annotata nella tabella. Il valore che verrà inserito nel software per la scalatura del modello 3D corrisponderà alla media tra le tre misurazioni.

Scelta e configurazione delle attrezzature

Di seguito viene descritta la strumentazione utilizzata al MuSAE, necessaria per riprodurre la procedura fotogrammetrica (tabella 1), nonché alcuni principi generali da considerare per la scelta della strumentazione più idonea.

Per ottenere foto facilmente utilizzabili è necessario che il cranio sia illuminato in maniera omogenea e che sia posto davanti a uno sfondo neutro, privo di dettagli. La corretta e omogenea illuminazione infatti facilita il riconoscimento dei punti di legame tra le foto parzialmente sovrapponibili, mentre lo sfondo neutro evita che punti non appartenenti al cranio vengano ricostruiti dal programma, restituendo così un modello 3D privo di artefatti.

A questo scopo viene utilizzata una lightbox, ovvero una struttura parzialmente chiusa, di forma pressoché cubica, che presenta pareti interne rivestite di un materiale bianco opaco, che, oltre a fungere da sfondo uniforme, fanno sì che la luce venga diffusa omogeneamente all'interno della struttura. Nel lato superiore, aperto, sono installate delle luci perpendicolari al piano d'appoggio, mentre la parte anteriore deve essere aperta a sufficienza per effettuare gli scatti.

L'apertura anteriore della lightbox causa però che la luce in questo lato non venga riflessa adeguatamente. Per compensare questo effetto e rendere l'illuminazione del cranio più uniforme, vengono posizionate anteriormente due lampade supplementari. Il loro fascio deve venire incrociato in maniera tale che il cranio risulti ben illuminato anteriormente, e che le ombre posteriori siano più divergenti possibile.

Il cranio viene posizionato al centro della lightbox, sopra un piatto rotante (figura 2), che ne consente il riposizionamento dopo ogni scatto, così da ottenere foto di tutta la superficie e da tutte le angolazioni.

Il piattello deve avere una superficie liscia e un colore uniforme in modo tale che, pur venendo ripreso nelle fotografie, non venga ricostruito dal software ReCap Photo. Infatti, in generale, i software di fotogrammetria hanno difficoltà nella ricostruzione di oggetti completamente lisci, di colore uniforme e riflettenti, o completamente trasparenti. Questa caratteristica, seppur in certi casi svantaggiosa, viene sfruttata proprio per l'utilizzo del piattello e di supporti per sostenere il cranio in particolari posizioni, in modo che non vengano ricostruiti nel modello finale. I supporti possono essere realizzati artigianalmente utilizzando materiale plastico resistente e trasparente.



Figura 2. Rappresentazione del piattello rotante con il dettaglio dei punti in cui vengono eseguite le fotografie.

La fotocamera e l'ottica utilizzata sono di estrema importanza per ottenere immagini di elevata qualità e di conseguenza modelli 3D che conservino più dettagli possibili dell'oggetto reale. Nel MuSAE sono state utilizzate due fotocamere digitali DSLR, modello Canon 1200D, con ottiche fisse da 50mm.

In generale, è consigliabile utilizzare fotocamere che rispettino tre vincoli di base: 1) sensore Full Frame; 2) elevato numero di Megapixel; 3) ottiche fisse.

1. Sensore Full Frame: questo tipo di sensori digitali riprende le medesime misure del sensore analogico (la vecchia pellicola) e risulta avere una grandezza maggiore rispetto ai sensori "crop-

ped", come APS-C o APS-H. Offre pertanto una più ampia superficie, che risulta in genere associata a un numero più alto di pixel e/o a pixel di taglia maggiore, consentendo così di catturare una maggiore quantità di luce e di fornire un dettaglio maggiore rispetto a sensori più piccoli.

2. Elevato numero di Megapixel: permette, con un sensore ampio e un'ottica di qualità, di conservare i dettagli più minuti delle foto e quindi del successivo modello 3D.
3. Ottiche fisse: non avendo parti mobili al loro interno per effettuare zoom, producono meno diffrazione della luce, garantendo una maggiore definizione e una minore distorsione dell'immagine.

L'utilizzo di camere con un sensore di misura inferiore al Full Frame (ad esempio, APS-C, APS-H, 4/3, ecc.), con un numero di megapixel non elevatissimo o con ottiche che permettono lo zoom non compromette tuttavia l'effettiva riuscita del modello 3D, ma potrebbe ridurne il livello di dettaglio.

Tabella 1. Strumentazione utilizzata nel Laboratorio di Antropologia scheletrica annesso al MuSAE

Calibro corsoio digitale
Bollini adesivi
Lightbox 60cm x 60cm
2 luci a 176 led (11W, T 5600K) 19cm x 15cm
1 luce con softbox e stativo da 85W
Piattello rotante manuale, liscio, bianco o trasparente
Supporto trasparente artigianale
2 fotocamere reflex con sensore APS-C o FF
Obiettivo reflex 50mm
1 Cavalletto per fotocamere standard
1 Cavalletto fotografico con braccio orizzontale
Telecomando wireless da presentazione o telecomando della fotocamera
Computer di fascia media con connessione ad alta velocità
Software: DigiCamControl, Autodesk ReCap Photo, Krita

Nella ripresa fotografica è inoltre necessario impostare le fotocamere come descritto di seguito, al fine di ottenere il maggior numero di dettagli possibili da ogni singola foto.

1. Impostare un ISO più basso possibile, in modo da evitare rumore di fondo nelle foto (sotto forma di una sorta di grana digitale), o la perdita di dettaglio.
2. Impostare l'apertura del diaframma (F) su valori intermedi. In generale, chiudendo il diaframma (ovvero usando F elevati) viene guadagnata profondità di campo, che permette di mettere a fuoco l'intero oggetto. Valori troppo elevati di F sono però sconsigliabili, poiché possono causare fenomeni di diffrazione che causano perdita di dettaglio. È quindi consigliabile fare alcuni test per verificare quale sia il range di valori di F in cui si riesce a ottenere una profondità di campo sufficiente senza perdere dettaglio. La soluzione migliore dipende dall'obiettivo. Generalmente, utilizzando un obiettivo fisso da 50mm, il miglior risultato si ottiene con un F compreso tra 10 e 14.
3. Impostare la fotocamera in modalità A (o Av), a priorità di apertura del diaframma. È consigliabile impostare manualmente il valore di apertura del diaframma (F) e dell'ISO, e in relazione a questi la fotocamera calcolerà in automatico il tempo di esposizione, e manterrà automatica anche la messa a fuoco, rendendo il procedimento più semplice.
4. Bilanciare manualmente i bianchi, cosicché durante gli scatti all'interno della lightbox i colori rimangano neutri e non condizionati dalla tipologia di luce in uso.

Esistono due modi per effettuare un corretto bilanciamento dei bianchi. Il primo consiste nell'inserire manualmente la temperatura (in K) delle luci che si stanno utilizzando, nel caso la si conosca esattamente. Il secondo si basa sulla creazione di un *preset custom* di bilanciamento dei bianchi: un'opzione selezionabile in diversa maniera a seconda della marca e del modello della fotocamera. La fotocamera richiederà quindi di scattare una foto, dove, al centro dell'inquadratura, ovvero dove verrà posizionato il cranio, sotto le stesse condizioni di luce, dovremo inserire un foglio bianco. A quel punto si dovrà scattare la foto e impostare quella foto come riferimento per la camera.

Per comodità, si può effettuare questa seconda procedura anche solo scattando la foto allo sfondo bianco della lightbox, con l'illuminazione attiva. I risultati saranno comunque validi.

Per rendere il procedimento fotografico più rapido, nel Laboratorio di Antropologia scheletrica del MuSAE vengono utilizzate due fotocamere identiche, in modo da catturare gli scatti dell'oggetto da due angolazioni differenti. Le fotocamere sono posizionate su due cavalletti, di cui almeno uno deve essere dotato di braccio orizzontale. La prima viene posizionata alla stessa altezza dell'oggetto, parallelamente al pavimento, tagliando il più possibile dall'inquadratura il piattello girevole; la seconda viene posta più in alto e inclinata verso il basso, in modo da riprendere i dettagli della parte superiore, raccolti solo parzialmente dalla prima fotocamera (figura 3).

La distanza delle fotocamere dal cranio deve essere superiore alla *minimum focus distance* (MFD), ovvero alla distanza minima alla quale fotocamera e obiettivo riescono a mettere a fuoco l'oggetto. Il valore in centimetri della MFD dipende dall'obiettivo ed è generalmente scritto su di esso. Da notare che la MFD corrisponde alla distanza tra il sensore posizionato nel corpo macchina (dove è indicato da un apposito simbolo) e l'oggetto e non va confusa con la *working distance*, che invece corrisponde alla distanza tra la lente frontale dell'obiettivo e l'oggetto.

Con un obiettivo da 50 mm, con valori di F maggiori di 8, la fotocamera viene solitamente posizionata a circa mezzo metro di distanza dal cranio (che ha una lunghezza di circa 20 cm).



Figura 3. Rappresentazione del posizionamento delle fotocamere.

L'acquisizione delle foto con una o più fotocamere può essere facilitata dall'uso di software dedicati. Nel Laboratorio di Antropologia scheletrica annesso al MuSAE viene utilizzato il programma DigiCam Control, che è disponibile solo per sistemi operativi Windows. Grazie ad esso è possibile comandare le fotocamere per lo scatto e il conseguente trasferimento automatico delle foto sul computer.

A questo scopo, dopo aver collegato le fotocamere al computer tramite cavo usb, devono essere impostati alcuni parametri. Come prima cosa, è necessario selezionare "File", "Settings" e quindi "Advanced". È quindi possibile:

- attivare "Use parallel file transfer" per velocizzare il trasferimento dei file dalle fotocamere;
- attivare la sincronizzazione dei dati delle fotocamere spuntando "Sync camera date time on camera connect";
- disattivare l'invio automatico delle statistiche di utilizzo eliminando la spunta da "Automatically send usage statistics".

Successivamente, è necessario:

1. impostare il nome della sessione: alla voce "Session", "Session name", dove deve essere assegnata la sigla identificativa dei campioni (ad esempio, nel nostro caso: MSAE);
2. selezionare la cartella di destinazione delle foto acquisite: alla voce "Folder", premendo sul tasto adiacente (ad esempio, nel nostro caso: "D:\Modelli 3D" e al suo interno la cartella "MSAE");
3. assegnare il nome dei file: alla voce "File name template", si deve indicare il nome della sessione "[Session Name]", il codice identificativo del campione "[Capture Name]", quindi il numero assegnato alle foto dal contatore del programma "[Counter 3 digit]" (ad esempio: "MSAE_78_001").

È anche necessario ricordare che alla chiusura del programma il counter delle foto non si azzerava autonomamente; quando utile, come ad esempio prima di fotografare un nuovo cranio, lo si dovrà quindi azzerare manualmente.

Nel caso in cui vengano utilizzate più fotocamere contemporaneamente può risultare utile associare loro un nome, selezionando nel menù in alto la voce "Camera", quindi "Camera properties" e poi "Camera name". Occorre quindi attivare la finestra di gestione contemporanea delle due fotocamere, selezionando la voce "View", poi "Windows", e infine "Multiple camera control".

In alternativa, è possibile pilotare lo scatto contemporaneo delle due fotocamere configurando un telecomando da presentazione. Occorre a questo scopo selezionare il comando "File", "Settings" e "Keyboard trigger", dove è possibile impostare un tasto del telecomando per l'opzione "Capture All". Nel caso invece si lavorasse con una sola fotocamera dovrebbe essere impostato "Capture".

Nel caso non si disponesse di un telecomando da presentazione, è infine possibile utilizzare il telecomando proprietario della fotocamera, oppure azionare lo scatto direttamente dalla schermata del software.

Per salvare le foto direttamente sul computer, dovrà essere selezionato il comando "Save to pc only", alla voce "Transfer", che si trova in basso a sinistra.

Durante il procedimento è possibile incontrare alcuni ostacoli. Può ad esempio capitare che una delle due fotocamere non risponda al comando di scatto tramite il telecomando. Per rendersene conto occorre ascoltare il suono che producono gli otturatori delle due macchine al momento dello scatto, così da rilevare se è stato emesso da entrambe le fotocamere o da una sola.

In casi dubbi si può verificare se effettivamente una delle due fotocamere non ha scattato controllando direttamente il software, ovvero:

1. Il counter di ognuna delle due fotocamere, normalmente distinguibili per avere solo foto con numeri pari o solo con numeri dispari. Se entrambe le fotocamere presentassero counter con numeri pari e dispari significherebbe che una delle due non ha scattato una volta.
2. La finestra di gestione delle due fotocamere, in particolare la barra collocata nelle colonne con i parametri di configurazione, che si colora di verde per indicare che è stata scattata la foto, o di rosso in caso si sia verificato un problema.

Per scattare la foto mancante si può quindi intervenire attraverso il comando "Multiple camera support", selezionando l'apposita icona per scattare le foto.

Un altro possibile problema è che il programma si blocchi durante lo scatto. In questo caso è necessario riavviarlo e controllare il counter delle fotocamere per capire se e quante foto sono state effettivamente scattate. È consigliabile eliminare l'ultima foto scattata (per scongiurare che il file possa essere stato danneggiato dall'improvviso blocco del programma di acquisizione), riaggiornare il counter della fotocamera, e riprendere con gli scatti.

Riprese fotografiche

Per procedere con la sessione fotografica, dopo aver acceso le camere e le luci principali della lightbox, avviato e impostato il software, è necessario porre il cranio sul piattello, calibrare il posizionamento delle luci aggiuntive e le inquadrature delle fotocamere.

Il cranio viene inizialmente poggiato sul forame occipitale, con le ossa facciali rivolte anteriormente, verso le fotocamere, assicurandosi che risulti stabile anche con lievi movimenti di rotazione del piattello.

È quindi necessario posizionare le luci anteriori aggiuntive interne, ai lati dell'apertura della lightbox in modo da illuminare al meglio il cranio, e cercando di proiettarne l'ombra più distante possibile, perché potrebbe creare dei problemi al software, o generare artefatti. A questo scopo, i due fasci di luce devono creare tra loro un angolo più ampio possibile.

Dovrà quindi essere calibrata l'inquadratura delle fotocamere, in modo che si adattino nel miglior modo alle dimensioni del cranio e che rilevinano meno dettagli possibili nello spazio circostante. È infatti una buona pratica cercare di eliminare il più possibile dall'inquadratura tutto ciò che non deve essere ricostruito. Per questo, nel caso della fotocamera inferiore, che si trova alla stessa altezza del cranio, è utile cercare di inquadrare il meno possibile il piattello rotante. Nel caso della fotocamera superiore, bisognerà semplicemente cercare di centrare il più possibile il cranio nell'inquadratura.

A questo scopo, dovrà essere usata la funzione *"Live view"* delle fotocamere, che consente di visualizzare l'anteprima dell'inquadratura.

Nell'ipotesi di scattare un massimo di 100 foto, come necessario utilizzando la versione gratuita del software Autodesk ReCap Photo descritto di seguito, ciascun cranio viene fotografato in 5 posizioni diverse e per ciascuna di esse vengono scattate, con ciascuna fotocamera, foto da 10 diverse angolazioni, ottenute grazie alla rotazione del piattello.

Le posizioni del cranio sul piattello sono (figura4):

1. Frontale: il cranio poggia sul forame occipitale, con il cranio facciale rivolto verso le fotocamere;
2. Lato destro: il cranio poggia sul lato destro (ossa zigomatiche, temporali e parietali), con le ossa facciali rivolte anteriormente;
3. Lato sinistro: il cranio poggia sul lato sinistro, con le ossa facciali rivolte anteriormente;
4. Capovolto: il cranio viene posizionato su un supporto trasparente, appoggiato sulle ossa parietali e sul frontale, rivolgendo sempre le ossa facciali anteriormente.
5. In verticale: il cranio viene posizionato sul supporto trasparente, appoggiato sull'osso occipitale, con il cranio facciale rivolto verso l'alto e il forame occipitale verso le fotocamere.

Le 10 angolazioni in cui viene fotografato il cranio in ogni posizione non sono tra loro equidistanti (figura 2).

Nella ripresa della parte anteriore e posteriore, le angolazioni sono più ravvicinate, ovvero il piattello viene fatto ruotare di un numero di gradi inferiore. Queste porzioni sono infatti più ricche di discontinuità e dettagli anatomici, che possono risultare più complessi da catturare e per i quali è necessario quindi avere una maggiore sovrapposizione tra le foto. Invece le zone laterali del cranio presentano meno dettagli su una superficie più allungata e quindi le rotazioni del piattello possono essere più ampie.

Iniziando dalla prima angolazione della prima posizione, contraddistinta nel nostro caso dal numero 0, si procede a scattare le foto attraverso il telecomando. Viene quindi fatto girare il piattello, con cautela, facendo attenzione a non far cadere il cranio, fino ad arrivare alla decima angolazione. Alla fine della rotazione, si cambia la posizione del cranio, ponendolo in ciascuna delle successive posizioni, e riprendendo per ciascuna di esse le dieci angolazioni. Ad ogni cambio di posizione è consigliabile accertarsi che le inquadrature siano corrette e che le foto vengano trasferite e salvate nella cartella specifica sul PC.

Nel caso in cui il cranio sia danneggiato, con parti mancanti o deformate, può risultare necessario l'uso del supporto trasparente anche nelle posizioni frontale, lato destro e sinistro, così da conferire maggiore stabilità al reperto.

Inoltre, nel caso sia presente solo la calotta cranica o sue porzioni può essere sufficiente utilizzare solo alcune posizioni, ad esempio



Figura 4. Rappresentazione delle posizioni del cranio sul piattello.

quella frontale e quella capovolta. Il numero finale delle foto sarà minore, ma il software sarà ugualmente in grado di creare un modello tridimensionale.

Alla fine della sessione, per prelevare le foto del campione basta collegare la pendrive al computer e copiare la cartella contenente le 100 foto del reperto, che verranno poi utilizzate per creare il modello

3D. È consigliabile salvare le foto sul computer in una cartella ad hoc (ad esempio: "D:\Modelli 3D\MSAE\"") al cui interno saranno create altre cartelle con il codice numerico di ciascun campione (ad esempio: MSAE_1).

Elaborazione dei modelli 3D

Esistono diversi software di fotogrammetria che possono essere utilizzati per le attività di antropologia scheletrica virtuale; alcuni sono gratuiti (Meshroom, Regard 3D, Virtual SFM, ecc.), altri a pagamento (Autodesk ReCap Photo, Agisoft Metashape, Reality Capture, 3DF Zephyr, ecc.), e in alcuni casi consentono di ottenere sconti, o di essere utilizzati con licenze gratuite per brevi periodi o per finalità didattiche e di ricerca accademica, come nel caso di Autodesk ReCap Photo.

Il presente protocollo si avvale di Autodesk ReCap Photo (<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>), che opera in modalità cloud e che consente anche di scalare le misure per rispecchiare le dimensioni reali, di rimuovere artefatti, di orientare i modelli.

Autodesk ReCap Photo è contenuto all'interno del pacchetto di Autodesk ReCap Pro ed è utilizzabile solo con Windows e con computer performanti con requisiti minimi non comuni nei computer "consumer". L'assenza di alcune delle componenti hardware consigliate da Autodesk per ReCap Photo rischia di rendere estremamente lenti i processi di elaborazione e quindi di aumentare l'impegno di lavoro, o addirittura impedisce completamente il funzionamento del programma.

A tal proposito è consigliabile visitare la pagina ufficiale dei requisiti hardware per questo programma (<https://knowledge.autodesk.com/support/recap/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-ReCap-Pro-and-ReCap-Photo.html>).

Il software può essere scaricato con una licenza di prova gratuita di 30 giorni e un limite di 100 foto per modello. Inoltre, studenti e docenti universitari possono usufruire della licenza senza alcun pagamento, richiedendo l'utilizzo ai fini didattici, studio, ricerca e con una durata di 1 anno, rinnovabile. Per ottenere la licenza si deve semplicemen-

te creare un account sul sito di Autodesk e seguire il tutorial video: https://videos.autodesk.com/zencoder/content/dam/autodesk/www/industries/education/video/individual-product-access-create-account-video-1920x1080_it.mp4.

Assieme a ReCap Photo è necessario scaricare Autodesk Drive, applicazione che permette di gestire lo spazio di archiviazione su cloud da Autodesk, sul quale i file prodotti da ReCap Photo vengono normalmente salvati.

Completati tutti i passaggi indicati apparirà un messaggio sull'avvenuto accesso ad Autodesk Education Community e quindi si potrà accedere alla pagina per scaricare il software. La licenza di Autodesk ReCap Pro e Autodesk ReCap Photo può essere installata su un massimo di due dispositivi. Al primo avvio del programma potrà essere richiesto di effettuare un aggiornamento.

Per la generazione del modello 3D di un cranio, utilizzando ReCap Photo, come primo passaggio è necessario caricare le foto precedentemente scattate. Quindi, nella sezione "Create 3D", occorre selezionare "Object" e selezionare nel riquadro "Add photos", o in un qualsiasi punto della finestra del programma per far apparire la schermata che permette di selezionare le foto desiderate.

Si dovrà poi selezionare "Create" e scrivere il nome del progetto: ad esempio la sigla del Museo, seguita dal codice del cranio e il nome e cognome dell'operatore (ad es. MSAE_78_Giorgio_Lai).

Per salvare il progetto in "Cloud Project Folder" è quindi necessario selezionare la cartella "Dati Personali" all'interno della cartella "ADrive" del programma Autodesk Drive.

Per avviare la creazione del modello occorre infine spuntare "Auto-crop" e poi "Start". Questa fase richiede alcune ore, ma senza impegnare l'operatore o le risorse del computer, perché tutto viene eseguito tramite cloud.

Terminata l'elaborazione, il modello viene reso disponibile al download nella sezione "My Cloud Projects" del programma.

Sarà qui possibile visualizzarlo cliccando su "Open mesh", ruotarlo su diversi piani premendo il tasto destro del mouse, muoverlo nello spazio attraverso il tasto sinistro, effettuare *zoom in* e *zoom out* usando lo *scroll*.

Il software ReCap Photo consente anche di eseguire interventi di pulizia, correzione di eventuali errori, e la scalatura.

Infatti, se il modello dovesse contenere artefatti, o elementi non utili, è possibile effettuare la loro rimozione. Cliccando sul tasto "Selection",

è possibile scegliere lo strumento di selezione delle aree da eliminare: *"Window"* è uno strumento di selezione di forma rettangolare, *"Lasso"* permette una selezione di forma libera, mentre *"Brush"* permette una selezione di area variabile attorno al cursore. Basterà quindi evidenziare la parte da rimuovere e premere *"Canc"* sulla tastiera, oppure cliccare col tasto destro del mouse e selezionare *"Delete selection"*.

È anche possibile che il modello contenga errori, come ad esempio spazi vuoti. Possono essere dovuti alla mancanza di informazioni su una zona del cranio che le foto non sono riuscite a catturare adeguatamente, oppure all'eliminazione di un artefatto. Per questo tipo di errori, la correzione consiste nel riempimento, possibile utilizzando i comandi *"Edit"* e *"Fill holes"*, selezionando la zona da riempire, e utilizzando infine i comandi *"Flat"* o *"Smooth"*. L'area su cui si opera deve essere molto piccola, perché l'intervento non riproduce esattamente le caratteristiche della superficie reale.

Una volta ripulito il cranio dalle eventuali imperfezioni, se ne dovrà effettuare la scalatura, ovvero comunicare al programma la distanza misurata tra i due bollini ancora visibili sul modello 3D, in modo che qualunque altra misurazione effettuata su di esso risulti accurata rispetto al cranio reale.

Alla voce *"Model settings"* si trova il comando *"Set scale and units"*, dove è necessario selezionare l'unità di misura in millimetri alla voce *"Set units"*, e l'opzione *"Value"* nella sezione *"Scale by"*. Sarà quindi possibile misurare la distanza tra i centri dei due bollini posizionati sul cranio nella fase di preparazione cliccando su ognuno col tasto sinistro del mouse. Apparirà una misura in *"Distance"*, il cui valore dovrà essere cancellato e sostituito con la media delle tre misurazioni effettuate sul cranio reale.

Un'ultima operazione possibile con ReCap Photo consente di orientare il modello 3D secondo gli assi cartesiani. A questo scopo, alla voce *"Model settings"*, occorre selezionare *"Transform model"* e quindi *"Snap to origin"*. Da qui è possibile orientare a piacimento il modello. Selezionando *"Options"* e *"Environmental toggle"*, è necessario assicurarsi che sia visibile il *"bounding box"*, in cui sono indicati gli assi cartesiani X, Y, e Z; è inoltre possibile far comparire una griglia sul piano orizzontale, che può risultare utile. Il programma ReCap Photo definisce l'asse longitudinale come Z, l'asse sagittale come Y, e l'asse trasverso come X. Quindi, il piano orizzontale sarà quello definito dagli assi X e Y, mentre il frontale da X e Z. Selezionando *"Transform model"* e *"Orientation tool"*, appariranno tre frecce colorate collegate agli assi cartesiani,

che permetteranno di ruotare il cranio nello spazio. Cliccando con il tasto sinistro sulle frecce, è possibile traslare il modello lungo l'asse corrispondente. È inoltre possibile far ruotare il cranio sul piano orizzontale, frontale e sagittale selezionando con il tasto sinistro i cerchi che compaiono con il movimento del mouse sui diversi piani.

Nel MuSAE, il modello viene generalmente salvato in norma frontale e allineato orizzontalmente secondo il piano di Francoforte, ovvero il piano che passa per la porzione superiore del meato acustico esterno (*porion*), con il punto inferiore dell'orbita (*orbitale*), su entrambi i lati.

Una volta conclusa l'operazione, si può tornare su "*Transform model*" e selezionare "*snap to origin*". In questo modo, il cranio risulterà visualizzato come è stato salvato quando verrà aperto su qualunque programma prodotto da Autodesk. Per ottenere questo risultato anche usando programmi che definiscono l'asse longitudinale come Y, occorre spuntare il tasto "*Y up*" al momento del salvataggio.

Al file ottenuto con ReCap Photo, per distinguerlo da quello originale, è consigliabile aggiungere: *_pp*. Per il salvataggio, ReCap photo è in grado di fornire i formati più utilizzati, quali: *.obj*, *.ply*, *.stl*, ecc. Nel Laboratorio di Antropologia scheletrica del MuSAE, il formato standard utilizzato è *l.obj*, perché permette di contenere un gran numero di informazioni (texture, colori, misure, materiali, ecc.), di lavorare separatamente sulle texture, ed è un formato ampiamente utilizzato e open source. Quindi, alla voce "*Export*", "*Export model*" si dovrà selezionare *obj* in "*Export as*".

È consigliabile fare una copia della texture, salvandola in una nuova cartella, poiché nelle fasi successive potrà venire modificata, se ad esempio si riterrà necessaria l'eliminazione dei bollini. Per salvare la texture in un solo file *jpg*, è necessario selezionare la voce "*8192x8192*" in "*Size*" e successivamente "*Original*" alla voce "*Textures*".

Attenzione! Con l'esportazione dei modelli 3D si ottengono due tipologie di texture: una con i dettagli della superficie esterna del cranio e l'altra con quelli della parte interna; in caso di incertezze si possono aprire entrambi per visualizzarne il contenuto (come delle semplici immagini, in quanto sono in formato *.jpg*).

Post-produzione

Le texture potrebbero richiedere interventi correttivi, come ad esempio la rimozione dei bollini adesivi usati per la scalatura dalla texture del cranio. Il software Krita (<https://krita.org/en/>; disponibile per Windows, macOS e Linux) consente di coprirli applicandovi porzioni di colore rilevati dalle zone circostanti.

A questo scopo, occorre aprire il file .jpg della texture del modello 3D e selezionare lo strumento "*clone_tool*", che può essere richiamato dalla barra di ricerca in basso a destra scrivendo "*clone*". Per selezionare la zona di texture da copiare andrà premuto il tasto "*Ctrl*" assieme al tasto sinistro del mouse, mentre per incollarla si dovrà premere solo il tasto sinistro.

Per evitare che questo lavoro risulti visibile e artificioso è consigliabile utilizzare più zone di texture relativamente adiacenti all'area del bollino in maniera tale che i colori siano simili alla zona del cranio da correggere e si evitino possibili ripetizioni di dettagli nelle zone adiacenti o la rappresentazione di dettagli di zone evidentemente troppo lontane.

Una volta ottenuto un buon risultato, la texture può essere salvata con il nome originale, o con uno diverso, se si vuole mantenere memoria del modello con i bollini.

Pubblicazione online dei modelli 3D

Per sviluppare al meglio il potenziale utilizzo e beneficio scientifico, didattico e museale dei modelli 3D, è utile condividerli online e distribuirli ad accesso aperto. Per la pubblicazione possono essere utilizzate diverse piattaforme, tra cui alcune ad accesso aperto, come ad esempio Zenodo (<https://zenodo.org>), MorphoSource (<https://www.morpho->

[source.org/](https://morphomuseum.com/)), o Morphomuseum (<https://morphomuseum.com/>), o che includono alcuni modelli ad accesso aperto, come Sketchfab (<https://sketchfab.com/>).

Tuttavia, la condivisione dei modelli di reperti scheletrici è risultata nel tempo piuttosto limitata. Le motivazioni sono di varia natura e diversamente influenti: giuridico-politiche, per le implicazioni sui diritti di proprietà intellettuale; etiche, per il necessario rispetto della volontà - spesso contraria - di popolazioni native; economiche, per la tutela dei possibili profitti derivanti dall'utilizzo dei modelli e delle risorse investite nella loro realizzazione (Lewis, 2019; Lussu e Marini, 2020). Tuttavia, negli anni recenti è osservabile un'inversione di tendenza e molti ricercatori e musei hanno modificato le loro politiche, orientandosi verso una maggiore predisposizione alla condivisione dei modelli e delle relative conoscenze. Esempi di rilievo sono "*The African Fossils Project*" (<https://africanfossils.org>) (Leakey e Dzambazova, 2013), che fornisce modelli dei reperti conservati nel National Museums of Kenya e nel Turkana Basin Institute, o il progetto di digitalizzazione e condivisione online delle collezioni anatomiche del National Museum of Health and Medicine, realizzato in collaborazione con la Virginia Commonwealth University e la Laboratory Division del Federal Bureau of Investigation (https://www.morphosource.org/Detail/ProjectDetail/Show/project_id/571; https://www.morphosource.org/Detail/ProjectDetail/Show/project_id/617; https://www.morphosource.org/Detail/ProjectDetail/Show/project_id/749; <https://sketchfab.com/virtualcurationlab/collections/national-museum-of-health-and-medicine>) (Pearlstein et al., 2021). Un esempio italiano è rappresentato dalla collezione di modelli 3D creata su MorphoSource da uno degli autori di questo volume (VS) in collaborazione con la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio di competenza territoriale in Liguria. I modelli riproducono materiali scheletrici provenienti dalla necropoli epigravettiana della Caverna delle Arene Candide, uno dei siti più importanti d'Europa per la comprensione della paleobiologia del tardo Paleolitico, e sono stati già utilizzati in diverse ricerche internazionali e numerose tesi di laurea e dottorato (Sparacello et al., 2018; Sparacello et al., 2021).

Nel MuSAE, alcuni modelli 3D dei crani della collezione osteologica moderna sono stati pubblicati sul sito Morphomuseum (<https://morphomuseum.com/specimens/collection/72>). Una pagina del sito del museo è inoltre dedicata a tali modelli e suggerisce alcuni loro possibili utilizzi didattici (https://www.unica.it/unica/it/musae_didat-

[tica.page](#)). Sono inoltre in corso progetti per un più estensivo utilizzo dei modelli, inclusa la loro pubblicazione online, e per la materializzazione di alcuni di essi a scopo comunicativo o didattico.

In conclusione, attraverso il presente contributo si è voluto rendere facilmente ripetibile il protocollo utilizzato nel MuSAE per la produzione di modelli tridimensionali di crani.

I principi di base sono tuttavia estendibili alla riproduzione di altri oggetti, e possono essere utilizzati altri software, diversi da ReCap Photo. Infatti, i suggerimenti sulla strumentazione e sul metodo di esecuzione si fondano su principi ampiamente condivisi in ambito fotogrammetrico. Tuttavia, nonostante questi principi siano pressoché invariati da anni, la fotogrammetria non è affatto una tecnica statica. Al contrario, di pari passo con lo sviluppo tecnologico, relativo sia alla funzionalità delle fotocamere, sia agli algoritmi di elaborazione dei modelli 3D, sta progressivamente migliorando. Tra le nuove tecniche che contribuiscono alla maggiore qualità del prodotto finale, è degna di nota la *Cross Polarization*. Grazie all'utilizzo di un'unica fonte di luce (un ring flash), è in grado di eliminare ogni riflesso sulla superficie del reperto; un dettaglio operativo particolarmente efficace e utile nel caso di denti, o di reperti trattati con colle e consolidanti. Inoltre, quando la profondità di campo delle foto rischia di essere insufficiente per il reperto (particolarmente quando si lavora con le ossa lunghe, oppure se si vuole portare al limite della MFD il proprio obiettivo), può risultare utile il *Focus stacking*: una tecnica che consente di scattare diverse foto all'oggetto (nella medesima posizione) spostando il piano di messa a fuoco (dal punto più vicino a quello più lontano dall'operatore) e poi fondere queste fotografie in un'immagine finale dove l'oggetto risulterà completamente a fuoco.

Si tratta solo di esempi... La ricerca è in corso e la condivisione del contributo di ciascuno consentirà il progresso delle conoscenze.

Riferimenti bibliografici

- Canessa E, Fonda C, Zennaro M, editors. Low-Cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (2013). Available from: <http://sdu.ictp.it/3d/book.html>
- González-Merino R, Sánchez-López E, Romero PE, Rodero J, Hidalgo-Fernández RE. Low-Cost Prototype to Automate the 3D Digitization of Pieces: An Application Example and Comparison. *Sensors*, 21: 2580 (2021). <https://doi.org/10.3390/s21082580>
- Lauria G, Sineo L, Ficarra S. A detailed method for creating digital 3D models of human crania: an example of close-range photogrammetry based on the use of Structure-from-Motion (SfM) in virtual anthropology. *Archaeol Anthropol Sci*, 14: 42 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01502-9>
- Leakey L, Dzambazova T. Prehistoric collections and 3D printing for education. In: Canessa E, Fonda C, Zennaro M, editors. Low-Cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development. ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (2013). Available from: http://web.archive.org/web/20150407185109/http://sdu.ictp.it/3d/book/Low-cost_3D_printing_screen.pdf
- Lewis D. The fight for control over virtual fossils. *Nature*, 567:20–3 (2019). <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00739-0>
- Lussu P, Marini E. Ultra close-range digital photogrammetry in skeletal anthropology: A systematic review. *PLoS ONE*, 15: e0230948 (2020). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230948>
- Lussu P. Ultra close-range digital photogrammetry as a tool to preserve, study, and share skeletal remains. PhD Thesis, Università degli Studi di Cagliari (2020). <https://hdl.handle.net/11584/294813>
- Omari R, Hunt C, Coumbaros J, Chapman B. Virtual anthropology? Reliability of three-dimensional photogrammetry as a forensic anthropology measurement and documentation technique. *International Journal of Legal Medicine*, 135: 939-950 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02473-z>

- Pearlstein KE, Simmons-Ehrhardt T, Spatola BF, Means BK, Mani MR. Modernizing Medical Museums Through the 3D Digitization of Pathological Specimens. In: Rea PM (eds) Biomedical Visualisation. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol 1334. Springer, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-76951-2_9
- Riga, A., Mori, T., Di Vincenzo, F., Pasquinelli, F., Carpi, R., Moggi-Cecchi, J. (2022). 3D Methods for the Anthropological Cultural Heritage. In: Fureri, R., Governi, L., Volpe, Y., Seymour, K., Pelagotti, A., Gherardini, F. (eds) The Future of Heritage Science and Technologies: ICT and Digital Heritage. Florence Heri-Tech 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1645. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20302-2_2
- Scaggion C, Castelli S, Usai D, Artioli G. 3D digital dental models' accuracy for anthropological study: Comparing close-range photogrammetry to μ -CT scanning. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 27: e00245 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00245>
- Sparacello VS, Dori I, Rossi S, Varalli A, Riel-Salvatore J, Gravel-Miguel C, Riga A, Seghi F, Goude G, Palstra SWL, Starnini E, Formicola V, Moggi-Cecchi J. New human remains from the Late Epigravettian necropolis of Arene Candide (Liguria, northwestern Italy): direct radiocarbon evidence and inferences on the funerary use of the cave during the Younger Dryas. Quat Sci Rev 268:107131 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107131>
- Sparacello VS, Rossi S, Pettitt P, Roberts CA, Riel-Salvatore J, Formicola V. New insights on Final Epigravettian funerary behavior at Arene Candide Cave (Western Liguria, Italy). J Anthropol Sci 96: 96:161-184 (2018). <https://doi.org/10.4436/jass.96003>
- Waltenberger L, Rebay-Salisbury K, Mitteroecker P. Three-dimensional surface scanning methods in osteology: A topographical and geometric morphometric comparison. American Journal of Physical Anthropology, 174 (4): 846-858 (2021). <https://doi.org/10.1002/ajpa.24204>

Questo volume è stato realizzato grazie alla collaborazione tra diverse figure e diversi ambiti disciplinari. La parte antropologica è stata curata da Marco Casula, Giorgio Lai, Vitale Sparacello e Elisabetta Marini (Laboratori di Antropologia del Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente e Museo Sardo di Antropologia ed Etnografia dell'Università degli Studi di Cagliari). Le riprese audiovisive e la postproduzione sono state realizzate da Andrea Lotta, con il coordinamento di Antioco Floris nel Laboratorio di cinema e multimedialità del Dipartimento di Lettere, lingue e beni culturali dell'Università degli Studi di Cagliari.

ISBN 978-88-3312-097-3 (PDF)
978-88-3312-096-6 (versione cartacea)

DOI: [10.13125/unicapress.978-88-3312-097-3](https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-097-3)