

AS ARCHEOLOGIE SPERIMENTALI

TEMI · METODI · RICERCHE

Numero 2 - Anno 2021



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

Archeologie Sperimentali.
Temi, Metodi, Ricerche.

II

2021

Direttore Scientifico

Vincent Serneels

Direttore Editoriale

Chiara Lebole

Comitato Editoriale

Chiara Lebole, Luca Bartoni, Valeria Cobianchi, Lara Comis, Giorgio Di Gangi, Yuri Godino, Marco Romeo Pitone.

Comitato Scientifico

Silvia Amicone, Lorenzo Appolonia, Andrea Augenti, Federico Barello, Riccardo Belcari, Rosa Boano, Enrico Borgogno Mondino, Mauro Paolo Buonincontri, Aurora Cagnana, Federico Cantini, Claudio Capelli, Maurizio Cattani, Fabio Cavulli, Lara Comis, Mauro Cortelazzo, Adele Coscarella, Annalisa Costa, Paola Croveri, Gianluca Cuniberti, Giorgio Di Gangi, Fulvio Fantino, Alessandro Fichera, Vanessa Forte, Francesca Garanzini, Enrico Giannichedda, Yuri Godino, Silvia Guideri, Chiara Lebole, Cristina Lemorini, Laura Longo, Nicolò Masturzo, Valeria Meirano, Alessandra Pecci, Marco Romeo Pitone, Francesco Rubat Borel, Marco Sannazzaro, Vincent Serneels, Fabrizio Sudano, Florian Téreygeol, Nicoletta Volante.

Archeologie Sperimentali. Temi, Metodi, Ricerche

Dipartimento di Studi Storici

Via S.Ottavio 20 – 10124 Torino

www.archeologiesperimentali.it

www.ojs.unito.it/index.php/archeologiesperimentali

redazione@archeologiesperimentali.it

Volume II, anno 2021

Tutti i contributi sono sottoposti a *peer review*

© Diritti riservati agli Autori e agli Editori (informazioni sul sito)
Torino, dicembre 2021
ISSN 2724-2501

In copertina: preparazione dei blocchi di arenaria impiegati nel cantiere di Guedelon, Francia - © Guédelon.
Elaborazione grafica *Studio Okapi*

Archeologie Sperimentali è una rivista scientifica digitale edita dall'Università di Torino e pubblicata con cadenza annuale. Nasce con l'intento di colmare il vuoto editoriale che caratterizza l'Archeologia Sperimentale italiana che, pur essendo riconosciuta come un valido strumento di conoscenza, non ha un luogo dedicato al dialogo tra l'archeologia, le scienze e la sperimentazione.

La rivista si rivolge alla comunità scientifica internazionale per accogliere contributi innovativi ed originali che approfondiscono la conoscenza delle culture antiche attraverso l'utilizzo dei metodi sperimentali. In particolare, l'attenzione è rivolta alle esperienze che operano nel campo dell'Archeologia Sperimentale, dell'Archeologia della Produzione, della Storia delle Tecnologie, dell'Artigianato Storico e dell'Esperienzialità.

L'obiettivo è quello di diffondere l'adozione di approcci pratici, sperimentali e multidisciplinari allo studio del dato archeologico, promuovendo la ripresa del dibattito sui significati e sui metodi dell'Archeologia Sperimentale e creando un luogo di incontro tra ricercatori che operano all'interno di questo ambito. *Archeologie Sperimentali* aderisce alla "Dichiarazione di Berlino" promuovendo la diffusione *online* gratuita dei dati e favorendo la comunicazione ed il dibattito scientifico; il progetto riconosce al lettore il diritto di accedere liberamente e gratuitamente ai risultati della ricerca scientifica.

È possibile pubblicare sia in inglese sia in italiano con l'obbligo di inserire un riassunto nella lingua non utilizzata nel contributo. La rivista *Archeologie Sperimentali* è connessa ai principali *repository* e *open libraries* internazionali. I contributi inviati al comitato redazionale sono valutati secondo il metodo della doppia *blind peer review*, avvalendosi di una rete internazionale di referenti specializzati.

Il dialogo tra studiosi è garantito, inoltre, dalle possibilità offerte dalla piattaforma informatica, grazie alla quale è possibile inserire *contenuti multimediali* allegati ai contributi; questa opportunità permette di integrare le informazioni con video e fotografie delle ricerche, consentendo, ad esempio, di presentare attività di scavo e di un laboratorio, fasi di protocollo sperimentale ed esperienze di artigianato e di etnoarcheologia.

Nota per gli Autori

Gli Autori possono proporre i loro contributi inviando il materiale a redazione@archeologiesperimentali.it

Indice dei contenuti

Editoriale

- L'Archeologia Sperimentale e il contributo delle Scienze Sociali. Una proposta filosofica per l'integrazione dei metodi e la disseminazione.....1**
L. Comis

Saggi

- Osservazioni preliminari sulla realizzazione sperimentale di un bulino di Ripabianca.....11**
A. Tomaselli, J. Conforti, M. Parisi
- Più di un semplice ciottolo: Un protocollo sperimentale per la comprensione del ruolo di strumenti macrolitici nella trasformazione delle risorse vegetali nel Paleolitico Superiore in Eurasia.....24**
G. Sorrentino, A. Lo Giudice, A. Re, A. Borghi, L. Longo
- Analisi multidisciplinari per la ricostruzione del processo produttivo delle ceramiche del castelliere di Guardamonte: proposte di metodo e risultati preliminari.....41**
G. Baratti, M. Sciortino
- Contributo allo studio dell'antica saldatura a colata di bronzo.....84**
M. Galeotti, A. Pacini
- Archeologia della produzione architettonica. Le regole dell'arte, il sisma e la prova sperimentale del tempo109**
I. Zamboni
- Guédelon: un chantier ouvert à l'archéologie expérimentale.....134**
N. Reveyron

Più di un semplice ciottolo: Un protocollo sperimentale per la comprensione del ruolo di strumenti macrolitici nella trasformazione delle risorse vegetali nel Paleolitico Superiore in Eurasia

Autori: Giusi Sorrentino*, Alessandro Lo Giudice*, Alessandro Re*, Alessandro Borghi, Laura Longo*****

*Dipartimento di Fisica, Università di Torino; INFN sezione di Torino; NIS Inter-departmental research Centre for Nanostructured Interfaces and Surfaces, Università di Torino
giusi.sorrentino@unito.it; alessandro.logiudice@unito.it; alessandro.re@unito.it

** Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino
alessandro.borghi@unito.it

*** DAIS, Università Ca' Foscari di Venezia
laura.longo@unive.it

Abstract

Si presenta la procedura metodologica individuata per la creazione di una collezione sperimentale di pietre non scheggiate usate per lavorare gli organi vegetali ricchi di amido. La sperimentazione tiene conto delle principali variabili che possono influenzare il grado di sviluppo e le caratteristiche morfologiche delle tracce d'uso, quali l'impiego di litologie compatibili con quelle rinvenute nel sito archeologico, il tipo di vegetali lavorati e i tempi di lavorazione, prevede inoltre la documentazione controllata dell'esperimento a tempi determinati e in condizioni stabilite.

Lo scopo è il confronto tra le modificazioni riprodotte sperimentalmente e le morfologie identificate sui ciottoli rinvenuti nel livello III della grotta di Brînzei I (Moldavia). Il fine dell'analisi è verificare se alcuni di questi siano stati impiegati nella trasformazione di piante disponibili nella Steppa Pontica durante lo Stadio Isotopico Marino 3 (MIS 3: 60-25 ka). Brînzei I è un sito rappresentativo della cultura del Prutt e attribuito all'Aurignaziano, una fase cruciale per la diffusione di *Homo sapiens* alle latitudini boreali.

The article presents the procedure designed to create an experimental collection of ground stone tools used to process plants starch rich storage organs. The experiments consider several variables that can occur and influence the development of the use-wear traces and their morphological characteristics, among which the petrography of the used rocks, the transformed vegetables, the duration and quantity of the processed resources, and the documentation of the controlled phases of the experiment. The collection is intended to be compared with the pebble tools retrieved in cultural layer III of the Brînzei I cave (Moldova). The research question is to verify whether they were used to process starchy plants available in the Pontic Steppe during the Marine Isotopic Stage 3 (MIS 3: 60-25 ka). The site of Brînzei I belongs to the Prutt river Culture, and attributed to the Aurignacian, a crucial phase for Homo sapiens spreading into the continent.

Parole chiave: macine e pestelli, caratterizzazione petrografica, paleolitico superiore, tracce d'uso, repliche sperimentali

1. Introduzione

Questo contributo presenta la riproduzione sperimentale dedicata allo studio di strumenti in pietra non scheggiata analoghi a quelli rinvenuti nel livello culturale III (Aurignaziano) della grotta di Brînzești I (Moldavia) (fig. 1). L'ipotesi di lavoro consiste nel verificare o smentire il coinvolgimento di questi macroliti nella lavorazione di risorse vegetali disponibili nel bioma della Steppa Pontica durante lo Stadio Isotopico Marino 3 (MIS 3: 60-25 ka). Il periodo cronologico di riferimento - le fasi iniziali del Paleolitico Superiore - rappresenta un momento cruciale per la diffusione di *Homo sapiens* (*H. sapiens*, uomo moderno) nel continente Euroasiatico. L'evoluzione della specie *H. sapiens* avviene in Africa a partire da circa 300 mila anni fa (HUBLIN *et alii* 2017) a seguito di adattamenti di gruppi ancestrali locali a condizioni ambientali variabili (TIMMERMANN, FRIEDRICH 2016, SCERRI *et alii* 2018). Gli eventi migratori che hanno portato alla colonizzazione dell'Eurasia vengono riportati come Out of Africa 2 (HERSHKOVITZ *et alii* 2018). In Eurasia le più antiche forme umane compaiono durante il MIS 3 e sono rappresentate dal fossile siberiano di Ust-Ishim (FU *et alii* 2014), dalle evidenze provenienti dalla grotta di Bacho Kiro in Bulgaria (HUBLIN *et alii*. 2020) e dalla grotta Zlatý kůň in Repubblica Ceca (PRÜFER *et alii* 2021).

Evidenze di trasformazione di risorse caloriche come i carboidrati, che sono state registrate a partire da 170-60 ka sia nell'area del Capo, in Sudafrica - Klais River e Border cave, tra le altre - sia in Mozambico (MERCADER 2009, LARBEY *et alii* 2019, WADLEY *et alii* 2020), dimostrano la familiarità dell'uomo moderno con la conoscenza delle piante e della tecnologia dedicata alla loro lavorazione, ma anche l'adattamento fisiologico di questa specie a digerire e metabolizzare i carboidrati (PERRY *et alii* 2015, INCHLEY *et alii* 2016). Durante la colonizzazione delle latitudini boreali la necessità di mantenere l'omeostasi - autoregolazione dei parametri interni al fine di mantenerli stabili al variare dell'ambiente esterno - diventa cruciale nel rigido clima della Steppa Eurasiatica e può aver spinto *H. sapiens* alla ricerca di cibi calorici estraendoli non solo dalle risorse animali, ma anche da quelle vegetali (BIRARDA *et alii* 2020, LONGO *et alii* 2021a). Le piante hanno riserve di carboidrati in forma di amidi immagazzinati negli organi ipogei (radici, bulbi e rizomi) e aerei (frutti e semi) che possono essere estratti con operazioni dedicate. In particolare, strumenti litici quali pestelli,

macinelli e macine di pietra (ma è molto probabile l'impiego anche di materiali deperibili) sono stati utilizzati per ammorbidire queste parti delle piante al fine di ottenere sfarinati più facili da masticare e da cucinare, ma anche da conservare e da trasportare per il loro uso differito (ZINK *et alii* 2014). Trattandosi di gruppi mobili di cacciatori-raccoglitori, che dovevano prevedere la reperibilità di una quantità minima di risorse, risulta chiaro il vantaggio assicurato dalle piante che sono una risorsa prevedibile e sicura grazie al ciclo di accumulo dei carboidrati fisso nell'arco dell'anno. Questa prevedibilità si contrappone all'alto rischio legato alla caccia, conferendo alla trasformazione dei vegetali un valore dietetico significativo sia in termini di calorie che di apporto nutrizionale.

La trasformazione delle parti ricche di amido in sfarinati prevede principalmente l'impiego di strumenti litici non scheggiati, noti anche come strumenti macrolitici. Tra questi, le macine sono lo strumento passivo, ovvero la pietra di base su cui viene appoggiata la materia prima da lavorare. Macinelli e pestelli invece sono gli strumenti attivi, che nel caso del Paleolitico Superiore venivano tenuti in una mano e usati per rompere, schiacciare, macinare le materie prime da trasformare (vegetali, ma anche ossa, pigmenti, *etc.*). Su base cinematica si dividono in macinelli, quelle pietre che con movimenti orizzontali, ad andamento circolare o lineare, riducono la materia prima in frammenti e polvere e la cui superficie attiva è sempre in contatto con la materia da elaborare e con la pietra passiva; pestelli, quelle pietre il cui movimento è verticale e prevede rapidi e ripetuti contatti con la materia da elaborare e la pietra passiva. Tuttavia, risulta difficile distinguere tra i due strumenti attivi: spesso, durante la lavorazione dei vegetali entrambi i movimenti sono richiesti usando la stessa pietra o parti diverse di questa (DUBREUIL *et alii* 2014, LONGO, LUNARDI 2008, HAMON 2007, WRIGHT 1992).



Figura 1: In alto a sinistra: la posizione della grotta di Brînzani I in Moldavia. In alto a destra: la pianta della grotta da CHIRICA et al. 1996. In basso: un campione dei reperti litici dal sito di Brînzani I: 2 frammenti della macina BZ #442; la macina BZ #6707; 2 frammenti di un pestello (BZ #2965 e BZ #833); il pestello/macinello BZ #6742; il frammento di pestello BZ #5160.

Queste operazioni sono state riprodotte e documentate durante una serie di esperimenti dedicati alla riproduzione delle tracce osservate su macine, macinelli e pestelli dal sito di Brînzani I, in Moldavia. Il sito è risultato particolarmente interessante grazie alla ricchezza del suo deposito archeologico, che ha restituito più di 100 potenziali strumenti macrolitici rinvenuti durante lo scavo del livello culturale più antico (Aurignaziano, NOIRET 2009, ALLSWORTH-JONES et alii 2018A).

2. Materiale archeologico e studio funzionale

La grotta di Brînzani I, situata nel nord-ovest della Moldavia, distretto di Edineț, si apre sulla sommità di una dolina carsica di età miocenica, prospiciente la riva est del fiume Racovăț. Venne scoperta nel 1960 dagli archeologi V.N. Verina e N.A. Chetaru il quale nello stesso anno condusse due sondaggi stratigrafici, seguiti da numerose campagne di scavo (1963, 1964-1965, 1968 e 1975). Nel 1987 I.A. Borziac estese ulteriormente l'area di scavo sul terrazzo antistante la grotta. Nel 1993, venne eseguita la pulizia della sezione stratigrafica stabilita da

I.A. Borziac con lo scopo di prelevare campioni per le datazioni al radiocarbonio, per le analisi palinologiche e per lo studio morfologico della stratigrafia. Il deposito archeologico venne suddiviso in 4 unità stratigrafiche raggruppabili in 3 fasi culturali di cui la più antica, *cultural layer III*, è datata ca. 32-30 ka (cal) dal presente (ALLSWORTH-JONES *et alii* 2018a, NOIRET 2009). Durante gli scavi sono stati raccolti e mappati 114 ciottoli, fin d'allora conservati in scatole di legno inserite in contenitori di metallo e non ulteriormente analizzati. La ricostruzione della recente biografia di questi oggetti si è rivelata utile durante il nostro studio in quanto gli strumenti macrolitici sono stati presumibilmente poco maneggiati e di conseguenza i risultati delle nostre analisi possono essere considerati affidabili e non influenzati da contaminazioni contemporanee.

Tra questi reperti, attualmente conservati presso il Museo Nazionale di Storia della Moldavia (Chisinau, Moldavia), abbiamo selezionato - su base morfologica, posizione di rinvenimento (es. vicino alle tracce di un focolare) e presenza di macro-tracce - un campione di 36 oggetti che sono stati sottoposti ad un'analisi preliminare per confermare il loro utilizzo intenzionale. Una prima identificazione di tracce d'uso è avvenuta attraverso l'osservazione diretta dei reperti, prima a occhio nudo e poi con un microscopio metallografico (campionamento del novembre 2017), operazioni che hanno consentito una suddivisione iniziale dei reperti in macine, macinelli e pestelli (LONGO *et alii* 2021a, LONGO *et alii* 2022b). Le aree identificate come funzionalmente attive, sono state immerse in un bagno a ultrasuoni per l'estrazione di residui legati alle attività di trasformazione. Le analisi morfologiche di questi ultimi, condotte in microscopia ottica ed elettronica (SEM), hanno evidenziato la presenza di amidi e altri residui vegetali (BIRARDA *et alii* 2020). Le superfici attive delle pietre sono state calcate con un bicomponente polivinilico (Kulzer - Provil® novo) in modo da poter effettuare l'analisi delle micro-tracce in un secondo momento, in laboratori esterni al museo. L'analisi funzionale di una selezione di 5 strumenti (di cui 2 composti da 4 frammenti che rimontano a coppie; *fig. 1*) è all'origine della sperimentazione qui presentata. Abbiamo sviluppato un protocollo d'analisi (da scala macro a submicroscopica) che considera tecnologie con crescente capacità di risoluzione ed ingrandimento al fine di analizzare: (i) la geometria degli oggetti litici (fotogrammetria e riproduzione di modelli 3D) e la rugosità delle superfici, mentre (ii) a livello

microscopico sono state osservate le tracce d'uso. La produzione di modelli 3D ci ha permesso di ispezionare la loro intera geometria, identificando anomalie nella forma della pietra che potrebbero essere state causate dal loro uso. Inoltre, il modello tridimensionale degli oggetti si è rivelato utile per non perdere il contesto di provenienza delle zone di cui è stata presa l'impronta e di conseguenza mantenere le relazioni che intercorrono tra le tracce e il loro orientamento/organizzazione/distribuzione spaziale sulla superficie attiva e i residui aderenti (LONGO *et alii*. 2021b: p.10 *fig. 6*). Le presunte aree funzionali sono quindi state analizzate prima su scala microscopica e poi submicroscopica con differenti microscopi: stereomicroscopio, microscopio ottico in luce riflessa e polarizzata, microscopio digitale e in alcuni casi anche microscopio 3D e SEM. L'impiego di quest'ultimo ci ha permesso inoltre di confermare l'associazione tra tracce d'uso e residui che, rimasti intrappolati nelle asperità della pietra, hanno poi aderito al Provil® usato per i calchi/impronte (LONGO *et alii* 2022b). Infine, per classificare correttamente le tracce identificate e proporre ipotesi sulla funzione degli strumenti litici, i dati provenienti dai reperti archeologici vengono confrontati con la collezione di repliche sperimentali.

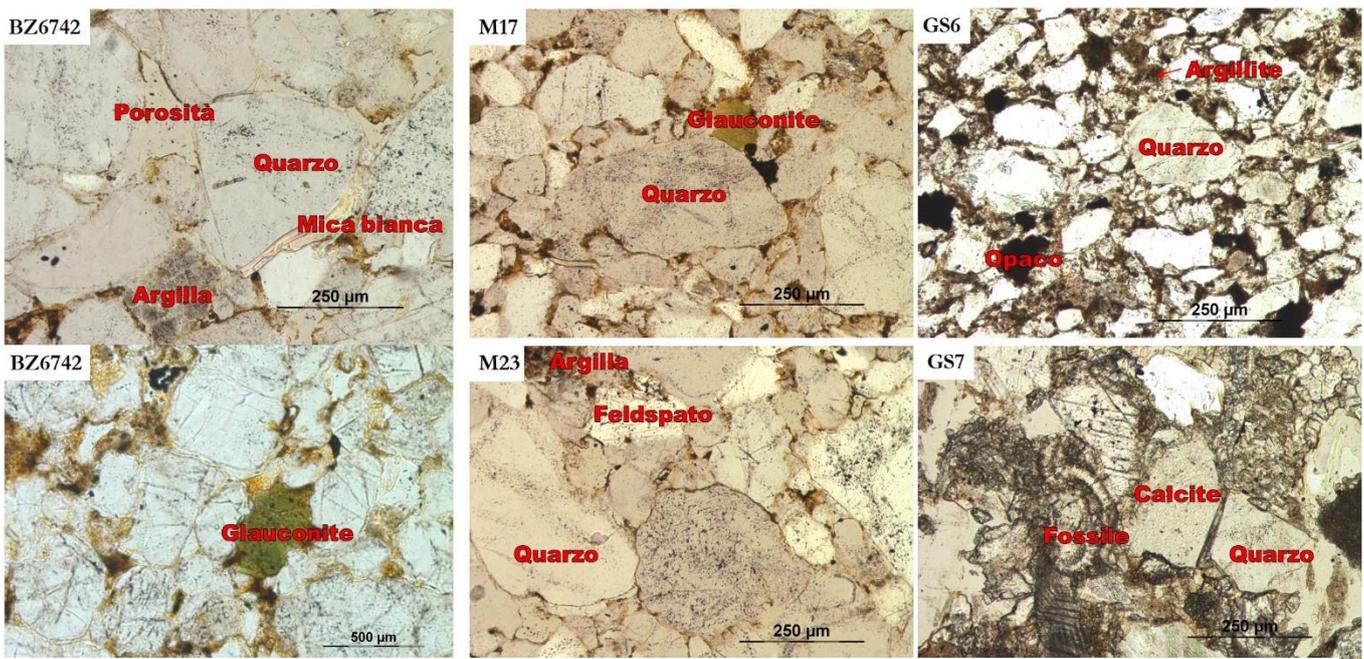


Figura 2: A sinistra: Sezione sottile del reperto BZ #6742. Al centro: Sezioni sottili di 2 ciottoli raccolti nel greto del Racovăț. A destra: sezioni sottili di 2 ciottoli dal grossetano. Immagini al microscopio ottico a luce polarizzata.

3. La collezione sperimentale

Comprendere la funzione di un manufatto per il quale non ci sono altre fonti che ne attestano le sue modalità d'uso se non il manufatto stesso, richiede la sua riproduzione e il suo utilizzo sperimentale. Riprodurre i gesti dei nostri antenati, ci aiuta a ricostruire le strategie d'impiego e soprattutto i meccanismi tribologici, i tempi e le modalità che hanno prodotto sulle superfici dell'oggetto in analisi le modificazioni caratteristiche che possiamo osservare. Lo studio delle tracce d'uso, il cui pioniere è stato S.A. Semenov (LONGO 2003, LONGO 2010, STEMP *et alii* 2016), è basato sui principi della tribologia, ovvero quella scienza che studia l'interazione tra due superfici rigide in moto relativo e che comprende anche l'analisi della frizione e dell'usura (ADAMS 1993 e la letteratura citata). L'attrito tra la superficie dei due strumenti litici e il materiale da trasformare, causa deformazioni, fessurazioni/fratture e perdita di cristalli a livello della zona di contatto (KAPSA 2004). Le caratteristiche morfologiche di queste modificazioni della superficie possono variare in base a vari fattori, tra cui un ruolo chiave è quello del tempo d'impiego, le caratteristiche delle rocce usate e la materia trasformata. La nostra collezione sperimentale è mirata alla riproduzione delle tracce caratteristiche della lavorazione degli organi delle piante aerei e ipogei particolarmente ricchi di amidi. Gli esperimenti sono stati impostati con il fine di validare o confutare l'ipotesi

della lavorazione di diversi tipi di risorse e la conseguente modifica delle superfici degli strumenti mettendo in essere tracce d'uso con caratteristiche tribologiche distinguibili (ADAMS 2014). La selezione delle diverse piante e parti di esse (semi, radici, frutti, *etc.*) è stata effettuata (a) per verificare la loro trasformazione in sfarinati, (b) per osservare le diverse alterazioni (*damage patterns*) lasciati sulla superficie del manufatto (fisso e mobile), (c) per definire la distribuzione spaziale dei residui che risulta influenzata dalla loro natura e dalla cinematica del gesto, (d) per verificare l'effettivo intrappolamento di micro-residui nelle rugosità delle pietre.

L'approccio ragionato alla riproduzione dell'utilizzo di strumenti litici ha tenuto conto di una serie di variabili che possono essere monitorate ma il cui controllo non è facilmente standardizzabile. Quindi, si è svolta una valutazione e selezione predittiva delle componenti che possono essere controllate o solo monitorate. Inoltre, si è valutato come limitare l'introduzione di altri elementi non controllabili; infine, quale può essere l'impatto sull'esperimento di una variabile non monitorata. Abbiamo tenuto quindi conto di quanto segue:

- pietre con caratteristiche petrografiche differenti reagiscono diversamente agli stress meccanici,
- la materia prima trasformata influenza la morfologia delle tracce d'uso,

- l'operatore, le sue caratteristiche fisiche e i suoi gesti influenzano l'alterazione delle superfici utilizzate,
- la durata dell'esperimento e la quantità di materiale lavorato determinano variazioni nello sviluppo, distribuzione e quantità delle tracce,
- le tracce non si sviluppano solo sulla parte attiva della macina ma anche su quella passiva a contatto con il terreno (o con la pelle o qualsiasi materiale si usi per isolare la macina dal terreno).

In questa fase della riproduzione sperimentale ancora non sono stati presi in considerazione i processi tafonomici innescati durante il seppellimento e quelli post-deposizionali, inclusi scavo, trattamenti di pulizia, modalità di conservazione/esposizione, *etc.*, che hanno anch'essi un impatto sulla leggibilità delle tracce d'uso e soprattutto sulla conservazione dei residui connessi alla trasformazione. Questi saranno considerati in una fase più avanzata del progetto, per i quali sono previsti test di invecchiamento in camera climatica.

3.1 Reperimento delle materie prime

Considerato che le caratteristiche petrografiche delle rocce determinano la loro risposta agli stress meccanici, si è prestata particolare attenzione alla selezione dei ciottoli da utilizzare. Sulla base della carta geologica¹, sono state studiate le caratteristiche del distretto di Edineț, considerando un'area nel raggio di circa 50 km dal sito e tenendo conto delle zone attraversate dai corsi d'acqua in prossimità della grotta (Racovăț e il suo affluente Dragiste). L'area in esame risulta piuttosto omogenea da un punto di vista geologico essendo costituita da calcari e arenarie di età Miocenica e Pliocenica inferiore. Con il supporto di T. Obada, paleontologo del Museo di Etnografia e Storia Naturale della Moldavia, sono stati raccolti 27 ciottoli dal fiume Racovăț, in prossimità della grotta di Brînzei I. In Italia una formazione simile a quella individuata in Moldavia, caratterizzata da arenarie di età miocenica, si trova nella zona del medio corso del fiume Fiora (area di Manciano, Grosseto). Una ricognizione dell'area ha permesso di raccogliere 65 ciottoli di forma e dimensioni comparabili con quelli rinvenuti a Brînzei I. Quattro dei ciottoli dalla Moldavia e sette dal fiume Fiora sono stati selezionati per effettuare l'analisi petrografica. Per



Figura 3: Le risorse vegetali lavorate e le coppie di pietre (attiva e passiva) selezionate: a sinistra acheni essiccati di *Rumex crispus* con la macina GS7 e macinello GS8 (provenienza: raccolta fiume Fiora, Italia); al centro ghiande di *Quercus sp.* con la macina M23 e il pestello M2 (provenienza: raccolta fiume Racovăț, Moldavia); a destra radice di *Cichorium intybus* con la macina M25 e il pestello M3 (provenienza: raccolta fiume Racovăț, Moldavia).

confermare la coerenza delle materie prime (fig. 2) è stato prelevato anche un frammento dal macinello BZ #6742 e ne è stata ricavata una sezione sottile osservata con microscopio in luce trasmessa, equipaggiato di polarizzatore e contrasto di fase (Olympus BX41). Il campione archeologico è classificabile come quarzoarenite, una roccia sedimentaria di natura terrigena. Il campione è costituito principalmente da clasti di quarzo sub-sferici e arrotondati con dimensioni piuttosto omogenee. La porosità è intorno al 10% con pori di piccole dimensioni (ca. 200 μm) non comunicanti. Nella roccia è presente una matrice fine costituita da materiale argilloso, che avvolge i clasti di quarzo, mentre non è presente cemento. È da segnalare la presenza in quantità accessorie di feldspato, carbonato, ossidi di ferro, rarissima mica bianca e soprattutto di rara glauconite, un minerale autigeno. I ciottoli moldavi, selezionati per le repliche sperimentali, presentano le stesse caratteristiche del campione archeologico, con poche variazioni nella porosità o/e nella percentuale di matrice. I ciottoli raccolti nel grossetano mostrano invece una maggiore variabilità: simili dal punto di vista mineralogico, differiscono nella forma e dimensione dei clasti, in una maggiore porosità, nella presenza di cemento carbonatico o una maggior quantità di matrice, nell'assenza di glauconite e nella presenza in alcuni casi di bioclasti.

I ciottoli da utilizzare (*blanks*) per la sperimentazione sono stati selezionati tra quelli morfologicamente più

¹ Dalla CARTA GEOLOGICA DELLA MOLDAVIA 1:200000, 1985

simili al materiale archeologico (nell'aspetto, forma, dimensione e peso) e per le loro caratteristiche petrografiche (fig. 3). Anche la materia prima da elaborare influenza la morfologia delle tracce d'uso. Abbiamo quindi concentrato la nostra attenzione sulla lavorazione di materiali di origine vegetale e in particolare sugli organi di accumulo degli amidi, considerando quindi radici, semi e frutti (ZUPANCICH *et alii* 2019). Le risorse vegetali da utilizzare per la sperimentazione sono state selezionate sulla base del bioma che caratterizza la steppa boscosa periglaciale (HARDY 2010) e dei dati pollinici disponibili per Brinzeni I (ALLSWORTH-JONES *et alii* 2018a). Abbiamo quindi selezionato un taxon per ogni tipologia di organo di immagazzinamento di amido: radici di *Cichorium intybus* (Asteraceae), acheni di *Rumex crispus* (Polygonaceae), e frutti a guscio (ghiande) di *Quercus* sp. (fig. 3).

Il trattamento delle parti dei vegetali può essere effettuato 'a fresco' oppure dopo essiccazione, condizioni che possono avere un'influenza sui meccanismi tribologici.

Gli acheni di *Rumex crispus* sono stati essiccati all'aria per diverse settimane, mentre le radici di *Cichorium intybus* sono state tagliate e essiccate all'aria per alcune settimane. Per quanto riguarda le ghiande di *Quercus* sp. sono state scelte strategie differenti: una parte è stata essiccata in forno a 40°C per cicli di due ore (tempo totale 24 ore, in 7 giorni) mentre di un'altra porzione è stato rimosso il pericarpo (utilizzando le stesse pietre per la sperimentazione, sono stati dati dei piccoli colpi alle ghiande per danneggiare il pericarpo e rimuoverlo) e il frutto surgelato per mantenerlo fresco e non perdere la porzione d'acqua al suo interno. La loro elaborazione è avvenuta previo scongelamento.

3.2 Documentazione dei blanks (T_0)

I ciottoli raccolti dalle rive dei fiumi sono ricchi di residui organici (muschi, licheni, funghi, *etc.*) e inorganici (sedimento) che introducono nell'esperimento una contaminazione che può influenzare lo sviluppo delle tracce e soprattutto la distribuzione dei residui biogenici (ovvero di sostanze che hanno origine da materiale organico anche in decomposizione). Inoltre, la presenza di microrganismi può interferire con la conservazione sia delle superfici della pietra sia dei residui vegetali lavorati con questi strumenti ed essere causa di falsi-positivi, cioè della

deposizione di particolato di origine biogenica che però non è riconducibile alla trasformazione intenzionale dei vegetali. In un esperimento che mira a controllare quanti più parametri possibile, la presenza di questi contaminanti va azzerata o comunque monitorata. Pertanto, una particolare attenzione è stata posta nella preparazione dei *blanks* (Tempo zero - T_0). I ciottoli selezionati sono stati lavati in un primo momento con acqua corrente e spazzolati energeticamente per rimuovere il sedimento. Per eliminare altri eventuali residui rimasti intrappolati nelle rugosità della superficie e per ridurre la presenza di organismi biologici e residui biogenici, i *blanks* sono stati lavati una seconda volta: ogni pietra è stata chiusa in una busta a zip, ricoperta d'acqua deionizzata e posta per 30 minuti in un bagno a ultrasuoni in *sweep mode*. Durante tutte le fasi dell'esperimento gli operatori hanno sempre indossato guanti al nitrile privi di polveri, per ridurre la contaminazione biologica sia dovuta alla manipolazione sia dall'amido di mais (CROWTHER *et alii* 2014, MERCADER *et alii* 2018). Per questa fase della sperimentazione è stato deciso di non usare composti chimici come l'ipoclorito di sodio o il perossido di idrogeno, che avrebbero azzerato la carica biologica ma con il rischio di indebolire la coesione della superficie della pietra. Pertanto, è stato scelto di monitorare le possibili contaminazioni: (i) un campione dell'acqua del lavaggio è stato prelevato con una siringa, (ii) posto in una provetta da 50 ml e stabilizzato con alcune gocce di etanolo 96%, e (iii) conservato in frigorifero in attesa di essere analizzato in cerca di inquinanti che potrebbero essere ancora presenti sulla pietra. I ciottoli sono stati risciacquati un'ultima volta con acqua deionizzata e posti ad asciugare in una stufa di essiccazione a 40°C (Binder FD23). Una volta asciutti sono stati pesati con una bilancia da laboratorio con lettura in g e a 1 cifra decimale dopo la virgola. Sulla superficie è stata disegnata una griglia 2x2 cm con inchiostro di china e infine conservati in nuovi sacchetti zip e posti in frigorifero per rallentare la possibile insorgenza di nuove bio-contaminazioni.



Figura 4: Da sinistra a destra: La faccia d'uso della pietra viene suddivisa in una griglia di 2x2 cm. Impronte, ottenute con il PVS, rappresentative di vari stati di modificazione della superficie della pietra vengono presi ai tempi T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , e copiando, dove possibile, 4 quadrati in ogni calco (16 cm²) per le macine mentre per pestelli e macinelli la superficie calcata è variabile a seconda della dimensione e della morfologia del ciottolo. Le impronte vengono riposte in un sacchetto zip e conservate in frigorifero.

Al fine di confrontare la rugosità della pietra prima e dopo l'uso, sono stati effettuati rilievi delle superfici a diverse scale di ingrandimento e con differenti tecniche:

- calchi con polivinilsilossano (Provil® novo);
- osservazione diretta della superficie dei *blanks* al microscopio;
- rilievi fotogrammetrici.

Il polivinilsilossano (PVS), un silicone da impronta usato in odontoiatria, è in grado di riprodurre la superficie con precisione sufficiente agli scopi di questo studio (MACDONALD *et alii* 2018, LONGO *et alii* 2021a). Questo ci ha permesso di avere una copia in negativo dell'area attiva della pietra sia prima che dopo l'uso, monitorando l'evoluzione della formazione delle tracce a tempi definiti (T_0 , T_1 , T_2 , *etc.*). Le impronte sono state prese seguendo le linee della griglia (fig. 4). Ogni impronta è stata poi messa in un sacchetto con zip e conservata in frigorifero per ridurre la possibile insorgenza di attività biogenici legata alla digestione enzimatica dei residui organici ancora presenti sulla pietra e intrappolati nel PVS. I calchi sono poi stati osservati prima con uno stereomicroscopio (Leica S9i, presso i laboratori del Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino) a ingrandimenti da 12x a 60x e poi integrando all'osservazione generale dell'area, un'analisi più in dettaglio al microscopio ottico (Olympus BX51, presso i laboratori scientifici della Fondazione Centro Conservazione e Restauro *La Venaria Reale*, Torino) a 40x, 100x e 200x. L'osservazione diretta della superficie dei *blanks* invece è avvenuta presso i laboratori del Dipartimento di Fisica dell'Università di

Torino con l'uso di un microscopio digitale Dino-Lite Pro AM413ZTA con e senza luce polarizzata. Sono state acquisite immagini a ingrandimenti stabiliti (30x, 50x, 220x) per ogni quadrato.

Infine, la geometria dell'oggetto è stata rilevata con la tecnica della fotogrammetria. Per questa fase sono in corso test con differenti setup, tipo di illuminazione e diverse macchine fotografiche (a diversa sensitività) con i relativi obiettivi (con lunghezze focali differenti). Anche per la ricostruzione 3D sono stati fatti test con diversi software, tra cui diverse versioni di AliceVision-Meshroom (open-source) e Agisoft Metashape.

3.3 Fase sperimentale

L'operatore, le sue caratteristiche fisiche e i suoi gesti influenzano in modo sostanziale lo sviluppo e la morfologia delle tracce d'uso. Per questo motivo in un primo momento è stato scelto di limitare la sperimentazione a un solo operatore, in modo che per ogni tipo di risorsa vegetale trattata i gesti, i movimenti e la pressione esercitata siano comparabili. Considerando però la necessità di confrontare poi la collezione sperimentale con il materiale archeologico, in un secondo momento saranno coinvolte più persone per ogni coppia di pietre (macina e pestello/macinello e stesso tipo di risorsa lavorata) al fine di verificare quanto e come il cambio di operatore influisca sui processi tribologici. Anche la durata dell'esperimento e la quantità di materiale da macinare - per ottenere degli sfarinati - influenzano l'usura degli strumenti litici. È

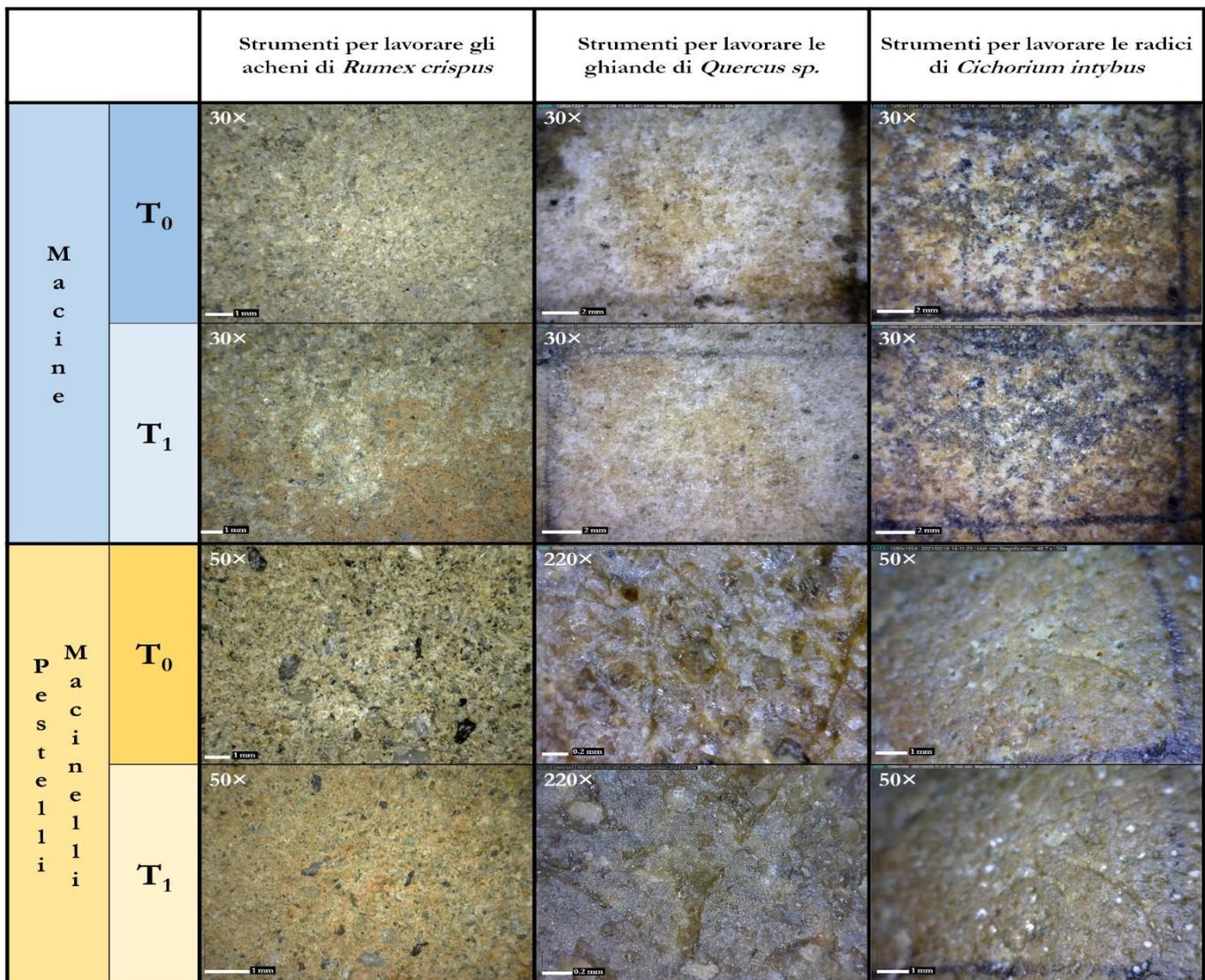


Figura 5: Confronto tra la superficie dei vari strumenti coinvolti nella sperimentazione ai tempi T₀ e T₁ (immagini al microscopio digitale Dino-lite Pro AM413ZTA a 30x, 50x, e 220x): lo stesso quadrato è riportato al T₀ e T₁ mostrando come già dopo 30 minuti di utilizzo si osserva la comparsa delle prime tracce d'uso, che si presentano lievi negli strumenti attivi e più marcate in quelli passivi. Inoltre, si nota come la differenza della materia prima e della risorsa lavorata abbiano un impatto fondamentale nello sviluppo delle tracce.

stato scelto quindi di lavorare 15 g di materiale vegetale per 4 intervalli (T₁, T₂, T₃, T₄) di 30 minuti l'uno, per un totale di 2 h per ogni 60 g di risorsa vegetale: semi, radici e frutti. I meccanismi tribologici non avvengono solo sulle facce funzionalmente attive degli strumenti, ma anche su quelle passive: nel caso delle macine (basi passive) le facce che sono a contatto con il suolo (o con la pelle/stuoia o qualsiasi cosa si usi per isolare la macina dal terreno dove si appoggia) e subiscono colpo e contraccolpo. Quest'ultimo può lasciare tracce sulle asperità della faccia inferiore. Al fine di evitare l'intrusione di particelle di terreno nello sfarinato, le macine sono state adagiate in un lieve avvallamento del terreno e isolate da questo con della pellicola di plastica

per alimenti. È stato inoltre effettuato un test in laboratorio usando una vaschetta di plastica riempita da polistirolo espanso per evitare le tracce poste in essere dal contatto con il terreno e la contaminazione dello sfarinato.

I vegetali sono stati posti in piccole quantità sullo strumento passivo (macina) e lavorate con lo strumento attivo (pestello/macinetto) con movimenti orizzontali bidirezionali o circolari, e/o movimenti verticali e applicando diversi gradi di pressione (HAMON 2007, ADAMS 2010, DUBREUIL, SAVAGE 2014). A seconda della risorsa usata la cinematica varia. Per i semi è prevalente il movimento orizzontale bidirezionale e talvolta circolare, con un contatto costante tra strumento attivo e

passivo, solo in parte mediato dalla presenza dei semi. Per le ghiande e soprattutto per le radici prevalgono colpi verticali con contatti rapidi e ripetuti tra le pietre e il materiale lavorato. Inoltre, per macinare il frutto fresco della ghianda (surgelato e poi scongelato) è necessario un movimento di pressione del pestello/macinello sulla macina, con moto verticale, dove il contatto tra le superfici attive degli strumenti è intermediato dalla pasta che si forma durante la lavorazione. Quindi va sottolineato che l'attrito tra le due pietre (passiva e attiva) è importante a causa della loro durezza intrinseca e questo contatto è più frequente durante la macinazione dei semi rispetto alla pestatura di frutti e radici. È da notare che la variazione nella cinematica determina anche una variazione nella forma dello strumento selezionato: per il movimento orizzontale risulta più funzionale una superficie d'uso piatta e ampia (macinello), mentre per il movimento verticale è preferibile una superficie convessa e più stretta (pestello) che permetta un maggior controllo nella zona di contatto tra la pietra e la risorsa lavorata.

Dopo ogni tempo della lavorazione sperimentale le pietre vengono sciacquate con acqua deionizzata che in parte asporta i residui vegetali: la soluzione viene raccolta in una ciotola di vetro sterilizzata, campionata con una siringa, posta in provette da 50 ml, stabilizzata con alcune gocce di etanolo 96% e conservata in frigorifero. I residui saranno poi analizzati per verificare come la lavorazione danneggia i tessuti vegetali e i granuli di amido.

3.4 Documentazione e analisi degli strumenti sperimentali

Dopo ogni ciclo di sperimentazione, la superficie della pietra viene documentata con la stessa strategia usata per i *blanks* (T₀) (SORRENTINO *et alii* 2021):

- risciacquo con acqua deionizzata per la raccolta della farina ottenuta; asciugatura sotto cappa;
- osservazioni al microscopio digitale a ingrandimenti fissi (30×, 50×, 220×) e seguendo lo schema dato dalla griglia;
- calchi con PVS;
- fotogrammetria;
- osservazione dei calchi allo stereomicroscopio e al microscopio ottico. Inoltre, alcune aree identificate e registrate grazie alle osservazioni allo stereomicroscopio, sono anche indagate al SEM;

- prima del successivo T di macinazione, le pietre vengono risciacquate nuovamente con acqua deionizzata.

Dopo 2 ore di lavorazione le pietre vengono pesate per verificare e quantificare la perdita di materiale dalle superfici. Questa strategia di documentazione permette il confronto tra i diversi strumenti in un dato momento (fig. 5) e una valutazione diacronica delle tracce su ogni coppia di strumenti (fig. 6). Confrontando come l'usura modifichi la superficie al T₁ rispetto al T₀ per tutte le coppie di strumenti è possibile notare quanto segue (fig. 5):

- Macina GS7 (dal Fiora, Italia) usata per lavorare gli acheni di *Rumex crispus*: al T₁ si formano sulla superficie tracce di usura in forma di strie non molto marcate e appaiono clasti spaccati. Residui di *Rumex crispus* rimangono intrappolati nella rugosità della pietra.
- Macinello GS8 (dal Fiora, Italia) usato per lavorare gli acheni di *Rumex crispus*: la porzione centrale dell'area d'uso inizia ad appiattirsi. Piccoli granuli di *Rumex crispus* rimangono intrappolati nella rugosità della pietra, ma in minor quantità rispetto alla macina.
- Macina M23 (dal Racovăț, Moldavia) usata per lavorare le ghiande di *Quercus* sp. (T₁: estrazione del frutto della ghianda con la rottura del pericarpo; al T₂ il frutto viene macinato). Il T₀ viene qui confrontato con il T₂: al T₀ i clasti e la matrice sono ben visibili, mentre al T₂ i clasti sono *smashed* (frantumati) e i bordi non sono più così nettamente distinti dalla matrice. Da sottolineare che l'uso aumenta la naturale lustratura della superficie della pietra.
- Pestello/macinello M2 (dal Racovăț, Moldavia) usato per lavorare le ghiande di *Quercus* sp. (T₁: estrazione del frutto della ghianda con la rottura del pericarpo; al T₂ il frutto viene macinato). Il T₀ viene qui confrontato con il T₂: al T₀ la pietra è già caratterizzata da un naturale lustro, che si intensifica con l'uso assieme a un lievissimo appiattimento dei clasti. I crateri sulla superficie sono riempiti con la pasta che si crea a seguito del trattamento della ghianda fresca.
- Macina M25 (dal Racovăț, Moldavia) usato per lavorare le radici di *Cichorium intybus*: al T₁ sulla superficie non sono apprezzabili grandi cambiamenti, se non un lievissimo aumento del naturale lustro della pietra in poche e

circoscritte aree. Rari residui della radice macinata si trovano intrappolati nelle asperità della superficie.

- Pestello M3 (dal Racovăț, Moldavia) usato per lavorare le radici di *Cichorium intybus*: al T₁ nell'area d'uso si ha un aumento del naturale lustro della pietra. Residui di *Cichorium intybus* rimangono intrappolati nella rugosità della pietra, visibili anche a occhio nudo.

4. Discussione

Le più antiche evidenze della trasformazione intenzionale delle risorse vegetali ricche di amido sono riportate a partire da circa 170 ka dal presente, in Africa nei siti occupati da forme antiche di uomo moderno. Nelle ceneri dei focolari rinvenuti in molte grotte dell'area del Capo (Sudafrica), tra le quali vanno ricordate Klasies River e Border cave, sono stati riconosciuti resti di rizomi di *Hypoxis* sp., nota come patata africana (LARBÉY *et alii* 2019, WADLEY *et alii* 2020). Nella grotta di Ngalaue, che si apre sopra il lago Niassa (Mozambico), pestelli in riolite e altre rocce quarzose

sono stati usati per trasformare radici e semi di sorgo e di altre piante ricche di amido come il frutto della pseudo banana (*Ensete ventricosum*); sono inoltre stati riconosciuti fitoliti e amidi riferibili alla palma da rafia (*Hyphaene spp.*), di cui è nota la pratica etnografica della raccolta della linfa che scorre nel floema da fermentare in una sorta di birra, o la trasformazione delle parti fibrose in corde, contenitori e tessuti (105-42 ka dal presente, MERCADER 2009). Anche nel riparo di Madjedbebe, nel NE dell'Australia - che testimonia la presenza dell'uomo moderno in quell'area fin da 65 ka dal presente - sono stati rinvenuti rizomi arrostiti di monocotiledoni (FLORIN *et alii* 2020).

In area mediterranea, la trasformazione di piante erbacee quali *Aegilops* sp. e *Ammotragus* sp. è testimoniata da granuli di amido riconosciuti su una macina rinvenuta nella grotta di Haua Fteah in Libia, datata intorno a 30 ka dal presente, (BARTON *et alii* 2018). Anche in Italia nel sito del Bilancino II (Firenze, 28,298 ± 301 a.C. cal) l'analisi di una macina in arenaria, spaccata in due frammenti, ha permesso di identificare alcuni granuli di amido molto deteriorati (REVEDIN *et alii* 2010, ARANGUREN *et alii* 2011). Dall'area funzionalmente

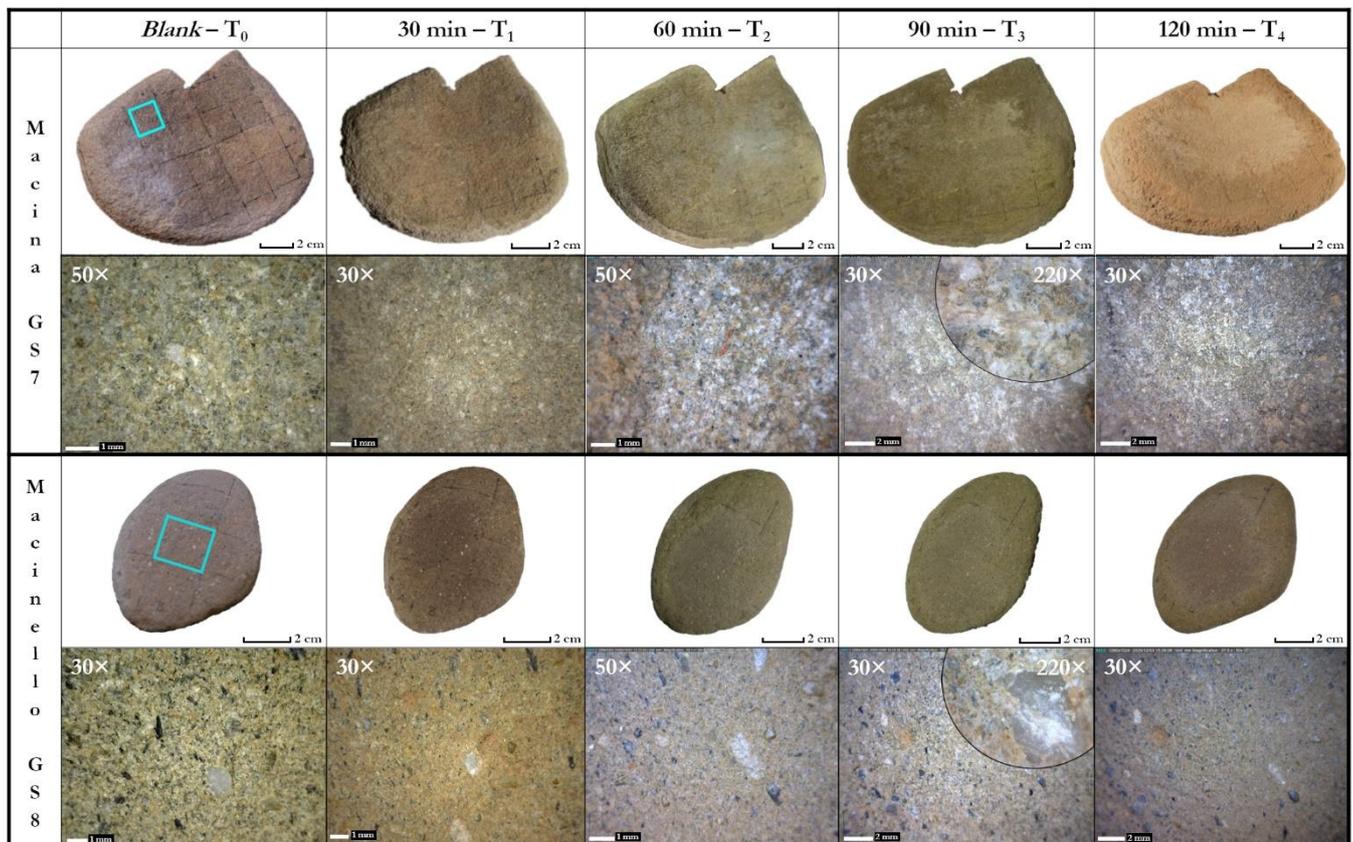


Figura 6: Lo sviluppo delle tracce d'uso – ai vari tempi della sperimentazione – osservato sui ciottoli del fiume Fiora usati come macina (GS7) e macinello (GS8) per la lavorazione degli acheni di *Rumex crispus*. Ingrandimenti: 30x, 50x e 220x (Dino-lite Pro AM413ZTA).

attiva di un pestello in calcarenite rinvenuto a grotta Paglicci (Foggia), datata $32,614 \pm 429$ anni fa calibrati, sono stati estratti più di 150 granuli tra i quali è stata identificata anche la quercia (*Quercus* sp.) (REVEDIN *et alii* 2015). Da un macinello/pestello e da 4 frammenti di macina rinvenuti nel sito di Pavlov VI (Repubblica Ceca), datato $29,482 \pm 288$ a.C. cal, sono stati estratti ben 118 granuli di amido, tra cui è stato riconosciuto il *Rumex acetosa* (ARANGUREN *et alii* 2011). Nella nostra sperimentazione abbiamo lavorato il *Rumex crispus* come anche riportato per siti Mesolitici da Zupancich (ZUPANCICH *et alii* 2019) in quanto più facilmente rinvenibile in contesti ruderali domestici. Anche la macina rinvenuta durante i recenti scavi condotti a Kammenya Balka II (Russia) ha restituito evidenze di lavorazione di parti ricche di amido e riferibili a radici di *Nelumbo* sp., *Limium* sp., *Iris* sp. e *Typha* sp. accompagnate da Fabaceae, Fagaceae e Poaceae (LONGO *et alii* 2022b). Questo dato è particolarmente rilevante perché la macina del sito russo e il pestello di Pavlov VI (Moravia) sono stati analizzati subito dopo il loro scavo e senza aver subito l'aggressivo lavaggio e rimozione meccanica del sedimento a cui generalmente vanno incontro questo tipo di reperti dopo il ritrovamento (REVEDIN *et alii* 2010, ARANGUREN *et alii* 2011, LONGO *et alii* 2022b: Tab. 1). La pratica di lavorare semi e frutti si afferma a partire da circa 20 ka dal presente, come supportato dai ritrovamenti del sito epipaleolitico di Ohalo II nel Levante, dove sono stati identificati più di 90.000 resti di piante (WEISS *et alii* 2004, DUBREUIL, NADEL 2015). Infine, in una grotta del nord Africa - Grotte des Pigeons (Taforalt, Marocco) - è documentata la trasformazione di frutti a guscio e anche la più antica evidenza di carie in individui umani, databile a 15 ka dal presente (HUMPHREY *et alii* 2012).

Questo breve riepilogo delle principali segnalazioni della trasformazione di piante ricche di amido in siti del Paleolitico Superiore testimonia come l'uomo moderno ben conoscesse l'estrema utilità delle risorse alimentari di origine vegetale e come fosse esperto nel padroneggiare la loro trasformazione grazie all'uso di diversi strumenti in pietra non scheggiata. Inoltre, le piante assicuravano anche l'accesso ad altri nutrienti quali le vitamine, vitali per una serie di funzioni metaboliche. Ad esempio, la vitamina C - di cui è ricca la linfa grezza che scorre nel floema di molte arboree disponibili alle latitudini boreali - contribuisce alla mitigazione degli effetti dell'intossicazione da proteine - *rabbit starvation* o scorbuto. È noto etnograficamente che

lo scorbuto mieteva vittime tra gli individui costretti a cibarsi per lungo tempo di animali molto magri o di carne secca (SPETH 2018), come accadeva tra gli indiani d'America, ai cacciatori di pelli europei che cercavano fortuna nel nuovo mondo e tra i marinai durante le lunghe circumnavigazioni dopo la scoperta delle Americhe. Il contributo delle risorse vegetali ricche di amido alla complessità delle strategie alimentari di *H. sapiens* è cresciuto durante le varie fasi della sua progressiva affermazione, a partire da circa 300 ka fa in Africa (TIMMERMANN, FRIEDRICH 2016, HUBLIN *et alii* 2017, SCERRI *et alii* 2018) e questo utilissimo bagaglio di conoscenze deve essersi rivelato cruciale durante la lunga fase di colonizzazione delle latitudini boreali. Nella Steppa Eurasiatica, dove già vivevano altre due forme umane - Neandertaliani e Denisoviani - perfettamente adattati a climi più rigidi e ad un'alimentazione a base di grassi e proteine (WISSING *et alii* 2019, JAOUEN *et alii* 2019), l'uomo moderno si poté avvalere di una dieta variata e l'accesso alle calorie fornite dagli amidi che gli garantiva inoltre il mantenimento dell'omeostasi durante fasi climatiche particolarmente rigide.

Ad oggi, la sperimentazione si è concentrata su piante rilevate dalle analisi polliniche del *cultural layer* III di Brînzei I, quali Polygonaceae (*Rumex crispus*) e Asteraceae (*Cichorium intybus*). Invece i frutti di *Quercus* sp. sono registrati nel livello culturale 4 della vicina grotta di Buzdujeni (Moldavia) (ALLSWORTH-JONES *et alii* 2018b), come anche sul pestello rinvenuto nel livello 23a di grotta Paglicci (Italia), dove sono stati riconosciuti granuli di *Quercus cerris* (MARIOTTI-LIPPI *et alii* 2015). Amidi attribuiti a ghiande di *Quercus robur* sono inoltre stati estratti dagli strumenti litici dal sito di Pavlov VI (REVEDIN *et alii* 2010, ARANGUREN *et alii* 2011).

Una volta effettuata la selezione ragionata delle risorse vegetali da trasformare, l'esperimento è proseguito con l'identificazione delle litologie presenti tra i ciottoli di Brînzei I attraverso la sezione sottile di un piccolo frammento proveniente dal macinello BZ #6742 che ha permesso di attribuire la materia prima come quarzo-arenite. Lo studio della carta geologica della zona attorno alla grotta permette di ricostruire una notevole uniformità delle formazioni rocciose - calcari e arenarie di età Miocenica e Pliocenica inferiore - incise dai vari affluenti del Prutt (che scorre 8 km a sud della grotta) e che quindi hanno fornito un'ampia prevalenza di ciottoli di quarzo-areniti e grovacche. Lo studio di macine e pestelli ci indica che gli abitanti di Brînzei I

selezionavano opportunamente i ciottoli per le loro caratteristiche morfologiche più adatte a svolgere funzioni attive o passive.

Per le attività sperimentali sono stati raccolti anche dei ciottoli dalla coeva formazione Miocenica di Santa Fiora (Manciano, Grosseto). Questi, pur mantenendo analoghe caratteristiche petrografiche (risultano composte per ca. l'80% da clasti di quarzo di dimensioni tra 0,5-1 mm ma presentano una significativa componente di cemento e/o matrice), hanno dimostrato un comportamento tribologico differente rispetto alle quarzo-areniti raccolte lungo il Racovăț. Sui ciottoli del Fiora le tracce hanno uno sviluppo molto più rapido a causa della maggiore presenza di cemento, che ha anche una minore resistenza alla frizione (figg. 5 e 6).

Anche la resistenza del materiale da trasformare ha un effetto sull'alterazione della geometria della faccia d'uso alla macroscale e sullo sviluppo delle tracce d'uso alla microscale. Gli acheni di *Rumex crispus* presentano una durezza e una resistenza differente rispetto alle radici essiccate e alle ghiande fresche.

Un ulteriore elemento da considerare è il grado di finezza dello sfarinato, che interferisce con l'attacco dell'enzima amilasi, una volta che il composto amidaceo viene introdotto nella bocca. Questo influisce sulla sperimentazione, infatti maggiore è la riduzione della materia lavorata, maggiore è il tempo di trasformazione e di conseguenza il grado di sviluppo delle tracce. Tuttavia, le dimensioni e l'omogeneità dello sfarinato si sono rivelate difficili da monitorare, di conseguenza si è stabilita la quantità di materia prima da lavorare (15 g) e il tempo di ogni fase di macinazione (T=30 min). Per ciascuna risorsa si sono macinati 60 g in 2 ore di lavorazione.

La sperimentazione qui presentata è stata condotta da un'unica operatrice. Per verificare l'impatto dell'operatore sullo sviluppo delle tracce d'uso è stato recentemente organizzato un workshop presso il "Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino" che ha coinvolto 12 persone di sesso, età e caratteristiche fisiche differenti. Inoltre, sono state usate un numero maggiore di tipologie litiche, non solo quarzo-areniti, ma anche grovacche e arenarie. L'esperimento, i cui dati sono in fase di analisi, ha coinvolto anche diverse risorse vegetali selezionate tra radici, semi e frutti, ma anche il floema di arboree quali *Betula*, *Conifere*, etc. compatibili con il bioma Eurasiatico durante il MIS 3. Inoltre, si è proceduto alla lavorazione dell'ocra, sia gialla che rossa e gialla scaldata in muffola intorno ai 200°C per circa 40

minuti. Le modificazioni che interessano l'area passiva delle macine (la faccia inferiore a contatto con il terreno) sono state documentate con la stessa strategia usate per le aree attive. La durata complessiva delle varie fasi di elaborazione delle risorse è durata più di 2 ore per verificare lo sviluppo delle tracce su tempi di lavorazione più lunghi.

Test per l'acquisizione fotogrammetrica della geometria degli strumenti litici secondo la letteratura disponibile (PORTER *et alii* 2016, ZUPANCICH *et alii* 2019) e i relativi aggiustamenti sono tuttora in corso. Differenti setup, che considerano diversi tipi di illuminazione, numero di prese e l'impiego di fotocamere e obiettivi differenti sono stati testati, ma questi dati sono ancora in fase di elaborazione.

Lo studio delle superfici non vuole limitarsi ad un'analisi morfologico-qualitativo, ma anche parametrica, usando strumenti statistici che caratterizzino numericamente i *damage patterns* che si formano durante l'uso. Questo permetterà di valutare la similarità delle tracce presenti sull'oggetto archeologico e quelle della collezione sperimentale di riferimento non solo basandosi su parametri qualitativi, ma anche quantitativi (MYSHKIN, GRIGORIEV 2013).

Lo studio delle tracce si è finora concentrato sull'osservazione del loro sviluppo alla microscale, utilizzando microscopi con diversa risoluzione: stereoscopico, digitale, metallografico ed elettronico (SEM). A parte l'osservazione diretta dei ciottoli sperimentali al microscopio digitale, le analisi allo stereomicroscopio, microscopio metallografico e al SEM sono state condotte sui calchi. Questa scelta è stata dettata da limiti intrinseci della strumentazione (es. la distanza tra il piattello del microscopio metallografico e la lente non è tale da poter inserire uno strumento macrolitico e lo stesso limite spaziale è applicabile per la camera del SEM) e dalla necessità di avere dati sperimentali confrontabili con i dati archeologici (le analisi dei reperti vengono fatte sui calchi in PVC).

Osservando l'evoluzione dell'usura sugli strumenti impiegati nella lavorazione degli acheni di *Rumex crispus* (fig. 6), si nota come al T₀ sia i clasti sia la matrice siano ben visibili, mentre già a T₁ i clasti perdono di definizione e non sono sempre distinguibili dalla matrice, inoltre compaiono le prime, leggere strie sulla macina e i clasti appiattiti sul macinello. Al T₂ e al T₃, sulla macina GS7 sono visibili clasti spaccati, strie e micro-strie sempre più fitte, sviluppate e profonde; a T₃ compaiono anche piccole zone caratterizzate da

lustrature e politure. Al T₄ la superficie si livella e le aree soggette a stress aumentano mostrando interconnessioni mentre le strie appaiono meno profonde ed estese. Alla macroscale, da T₃ aumenta la concavità della faccia d'uso che risulta molto evidente al T₄. Invece sul macinello GS8 a T₂, T₃ e T₄ l'appiattimento dell'area d'uso diventa sempre più profondo e esteso, con un sensibile abbassamento della matrice associato al livellamento dei clasti. Al T₃ e T₄ abbiamo anche la comparsa di striature lunghe ma non molto profonde.

Già in questa fase preliminare della ricerca, il nostro esperimento è quindi in grado di dimostrare come il variare delle caratteristiche petrografiche dei ciottoli, della consistenza del materiale trasformato in sfarinati e il tempo di lavorazione determinino uno sviluppo differente delle tracce d'uso fin dai primi 30 minuti. Ricostruire le fasi di sviluppo delle alterazioni della superficie utilizzata e monitorare la loro evoluzione nel tempo può darci suggerimenti per il riconoscimento di ciottoli impiegati come macine, pestelli e macinelli per la trasformazione di piante ricche di carboidrati altamente calorici a partire almeno dall'Aurignaziano, una complessa strategia alimentare che l'uomo ha messo in pratica molto prima del Neolitico, quando i primi cereali diventano disponibili.

5. Ringraziamenti

Gli autori vogliono ringraziare in primo luogo il National Museum of the History of Moldova, Chisinau, Repubblica di Moldavia (Dir. Eugen N. Sava) per aver permesso lo studio dei materiali archeologici provenienti dal sito di Brînzeni I. Un ringraziamento speciale va a Theodor Obada, Alina Larion e Victoria Nistoreanu per il loro preziosissimo supporto anche durante i duri mesi della pandemia e senza il quale questo studio non avrebbe avuto inizio. Inoltre, la nostra gratitudine va alla Fondazione Centro Conservazione e Restauro *La Venaria Reale* di Torino e in particolare ad Anna Piccirillo per averci garantito l'accesso e il supporto a strumentazioni come il microscopio ottico e il SEM. Ringraziamo Sabrina Grassini, Marco Parvis e Leila Es Sebar del Politecnico di Torino per i vari test di acquisizione fotogrammetriche effettuati sotto la loro supervisione. Infine, la nostra gratitudine va a Federico Picollo e ai dottorandi del gruppo di Fisica dello Stato Solido (Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino) per aver fornito al primo autore gli iniziali strumenti per la sua ricerca, garantito uno spazio in laboratorio e

l'accesso alla strumentazione, in particolar modo allo stereomicroscopio.

Questo progetto ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea e nell'ambito dell'accordo Marie Skłodowska-Curie n. 754511 (PhD Technologies Driven Sciences: Technologies for Cultural Heritage - T4C).

Bibliografia

- ADAMS J.L. 1993, *Mechanisms of wear on ground stone surfaces*, in PROCOPIOU H., TREUIL R. (a cura di), *Moudre et Broyer*, pp. 57-68.
- ADAMS J.L. 2010, *Understanding grinding technology through experimentation*, in FERGUSON J.R. (a cura di), *Designing Experimental Research in Archaeology: Examining Technology through Production and Use*, Colorado, pp. 129-151.
- ADAMS J.L. 2014, *Ground stone use-wear analysis: a review of terminology and experimental methods*, in "Journal of Archaeological Science", 48, pp. 129-138.
- ALLSWORTH-JONES P., BORZIAC I.A., CHETRARU N.A., FRENCH C.A.I., MEDYANIK S.I. 2018a, *Brînzeni: A Multidisciplinary Study of an Upper Palaeolithic site in Moldova*, in "Proceedings of the Prehistoric Society", 84, pp. 41-76.
- ALLSWORTH-JONES P., BORZIAC I.A., CHETRARU N.A., FRENCH C.A.I., MIHAILESCU C.D., MEDYANIK S.I. 2018b, *The Middle Palaeolithic Site of Buzdujeni in Moldova: Establishing the Archaeological and Environmental Record*, in "Journal of Paleolithic Archaeology", 1, pp. 139-177.
- ARANGUREN B.M., LONGO L., MARIOTTI LIPPI M., REVEDIN A. 2011, *Evidence of edible plant exploitation*, in SVOBODA J. (a cura di), *Pavlov-excavations 2007 e 2011, The Dolní Vestonice Studies*, 18, pp. 170-179
- BARTON H., MUTRI G., HILL E., FARR L., BARKER G. 2018, *Uses of grass seeds c.31 ka by modern humans at Haua Fteah cave, Northern Libya*, in "Journal of Archaeological Science", 99, pp. 99-111.
- BIRARDA G., CAGNATO C., CEFARIN N., STANI C., PANTYUKHINA I., BADETTI E., COVALENCO S., MARCOMINI A., OBADA T., SAVA E., SORRENTINO G., SKAKUN N., VACCARI L., LONGO L. 2020, *Direct morpho-chemical characterization of elusive plant residues from Aurignacian Pontic Steppe ground stones: supper's ready for Homo sapiens*, in "BioRxiv".
- CHIRICA V., BORZIAC I., CHETRARU N. 1996, *Gisements du Paleolithique Superieur Ancien entre le Dniestr et la Tissa*, Ed. Helios, Iași.
- CROWTHER A., HASLAM M., OAKDEN M., WALDE D., MERCADER J. 2014, *Documenting contamination in ancient 930 starch laboratories*, in "Journal of Archaeological Science", 49, pp. 90-104.
- DUBREUIL L., SAVAGE D. 2014., *Ground stones: a synthesis of the use-wear approach*, in "Journal of Archaeological Science", 48, pp. 139-153.
- DUBREUIL L., NADEL D. 2015, *The development of plant food processing in the Levant: insights from use-wear analysis of Early Epipalaeolithic ground stone tools*, in "Philosophical Transactions B", 370.
- DUBREUIL L., SAVAGE D., DELGADO-RAACK S., PLISSON H., STEPHENSON B., DE LA TORRE I. 2014, *Use-wear analysis of ground stone tools: Discussing our current framework*, in MARREIROS, J.M. et alii. (a cura di), *Use-Wear and Residue Analysis in Archaeology*, pp.105-158.
- FLORIN S.A., FAIRBAIRN A.S., NANGO M., DJANDJOMERR D., MARWICK B., FULLAGAR R., SMITH M., WALLIS L.A., CLARKSON C. 2020, *The first Australian plant foods at Madjedbebe, 65,000-53,000 years ago*, in "Nature Communications", 11.
- FU Q., LI H., MOORJANI P. et alii. 2014, *Genome sequence of a 45,000-year-old modern human from western Siberia*, in "Nature", 514, pp. 445-449.
- HAMON C. 2007, *Functional analysis of stone grinding and polishing tools from the earliest Neolithic of north-western Europe*, in "Journal of Archaeological Science", 36, p. 1502.
- HARDY B.L. 2010, *Climatic variability and plant food distribution in Pleistocene Europe: implications for Neanderthals diet and subsistence*, in "Quaternary Science Reviews", 29, pp. 662-679.
- HERSHKOVITZ I. et alii. 2018, *The earliest modern humans outside Africa*, in "Science", 359, pp. 456-459.
- HUBLIN J.J., BEN-NCER A., BAILEY S.E., FREIDLINE S.E., NEUBAUER S., SKINNER M.M, BERGMANN I., LE CABEC A., BENAZZI S., HARVATI K., GUNZ P. 2017, *New fossils from Jebel Irhoud, Morocco and the pan-African origin of Homo sapiens*, in "Nature", 546, pp. 289-292.

- HUBLIN J.J., SIRAKOV N., ALDEIAS V. *et alii.* 2020, *Initial Upper Palaeolithic Homo sapiens from Bacho Kiro Cave, Bulgaria*, in "Nature", 581, pp.299-302.
- HUMPHREY L., BELLO S.M., TURNER E., BOUZOUGGAR A., BARTON N. 2012, *Iberomaurusian funerary behaviour: Evidence from Grotte des Pigeons, Taforalt, Morocco*, in "Journal of Human Evolution", 62, pp. 261-273.
- INCHLEY C., LARBAY C., SHWAN N. *et alii.* 2016, *Selective sweep on human amylase genes postdates the split with Neanderthals*, in "Scientific Reports", 6, 37198.
- JAOUEN K., RICHARDS M.P., LE CABEC A., WELKER F., RENDU W., HUBLIN J.J., SORRESSI M., TALAMO S. 2019, *Exceptionally high $\delta^{15}N$ values in collagen single amino acids confirm Neanderthals as high-trophic level carnivores*, in "PNAS", 116, pp. 4928-4933.
- KAPSA P. 2004, *Généralités sur l'usure*, in "La Tribologie", 290, pp. 8-9.
- LARBAY C., MENTZER S.M., BERTRAND LIGOUIS B., WURZ S., JONES M.K. 2019, *Cooked starchy food in hearths ca. 120 kya and 65 kya (MIS 5e and MIS 4) from Klasies River Cave, South Africa*, in "Journal of Human Evolution", 131, pp. 210-227.
- LONGO L. 2003, *Archeologia sperimentale, esperimenti in archeologia, divulgazione. Osservazioni su significato e ruolo dell'Archeologia Sperimentale*, in "Rivista di Scienze Preistoriche", 53, pp.549-568.
- LONGO L. 2010, *Integrated methodological approaches to the study of lithic tools*, in LONGO L. (a cura di), *Integrated Methodological Approaches to the study of Lithic Technology*, in "Human Evolution Special Issue", 25, pp. 9-20.
- LONGO L., LUNARDI A. 2008, *La macina e il pestello-macinello: Le tracce d'uso. Un accampamento di 30.000 anni fa a Bilancino (Mugello, Firenze)*, in "Origines" - Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, pp. 159-162.
- LONGO L., ALTIERI S., BIRARDA G., CAGNATO C., CEFARIN, N., GRAZIANI V., OBADA T., PANTYUKHINA I., RICCI P., SKAKUN N., SORRENTINO G., TEREKHINA V., TORTORA L., VACCARI L., LUBRITTO C. 2021a, *A Multi-Dimensional Approach to Investigate Use-Related Biogenic Residues on Palaeolithic Ground Stone Tools*, in "Environmental Archaeology".
- LONGO L., BIRARDA G., CAGNATO C., COVALENCO S., PANTYUKHINA I., SKAKUN N., VACCARI L., SORRENTINO G. 2021b, *Coupling the beams: how controlled extraction methods and FTIR-spectroscopy, OM and SEM reveal the grinding of starchy plants in the Pontic steppe 36,000 years ago*, in "Journal of Archaeological Science: Reports", 41, pp.103333.
- LONGO L., SKAKUN N.N., PANTYUKHINA I.E., TEREKHINA V.V., SORRENTINO G. 2021b, *Aurignacian grinding stone from Surein I (Crimea): "trace-ing" the roots of starch-based diet*, in "Journal of Archaeological Science: Reports", 38, 102999.
- MACDONALD D., HARMAN R., EVANS A.A. 2018, *Replicating surface texture: preliminary testing of molding compound accuracy for surface measurements*, in "Journal of Archaeological Science: Reports", 18, pp. 839-846.
- MARIOTTI LIPPI M., FOGGI B., ARANGUREN B., RONCHITELLI A., REVEDIN A. 2015, *Multistep food plant processing at Grotta Paglicci (Southern Italy) around 32,600 cal B.P.*, in "PNAS", 112, pp. 12075-12080.
- MERCADER J. 2009, *Mozambican grass seed consumption during the Middle Stone Age*, in "Science", 326, pp. 1680-1683.
- MERCADER J., BUNDAIA M., COLLINS J.M., COPELAND L., CROWTHER A., HENRY A., ITAMBU M., LARTER S., LONGO L., PATALANO R., SAMMYNAIKEN R., TYLER R., XHAUFLAIR H. 2018, *Exaggerated expectations in ancient starch research and the need for best practices and authenticity criteria*, in "Facets", 3, pp. 777-798.
- MYSHKIN N.K., GRIGORIEV A.Y. 2013, *Roughness and texture concept in tribology*, in "Tribology in industry", 35, pp. 97-103.
- NOIRET P. 2009, *Brynzeni I*, in NOIRET P. (a cura di), *Le Paléolithique supérieur de la Moldavie*, Liège, pp. 425-470.
- PERRY G.H., KISTLER L., KALEITA M.A., SAMS A.J. 2015, *Insights into hominin phenotypic and dietary evolution from ancient DNA sequence data*, in "Journal of Human Evolution", 79, pp. 55-63.

- PORTER S.T., ROUSSEL M., SORESI M. 2016, *A simple photogrammetry rig for the reliable creation of 3D artifact models in the field*, in "Advances in Archaeological Practice", 4, pp. 71-86.
- PRÜFER K., POSTH C., YU H., Stoessel A., SPYROU M.A., DEVIESE T., MATTONAI M., RIBECHINI E., HIGHAM T., VELEMÍNSKÝ P., BRŮŽEK J., KRAUSE J. 2021, *A genome sequence from a modern human skull over 45,000 years old from Zlatý kůň in Czechia*, in "Nature Ecology & Evolution", 5, pp. 820-825.
- REVEDIN A., ARANGUREN B., BECATTINI R., LONGO L., MARIOTTI LIPPI M., SKAKUN N., SINITSYN A., SPIRIDONOVA E., SVOBODA J. 2010, *Thirty-thousand-year-old evidence of plant food processing*, in "PNAS", 107, pp. 18815-18819.
- REVEDIN A., LONGO L., MARIOTTI LIPPI M., MARCONI E., RONCHITELLI A., SVOBODA J., ANICHINI E., GENNAI M., ARANGUREN B. 2015, *New technologies for plant food processing in the Gravettian*, in "Quaternary International", 359-360, pp. 77-88.
- SCERRI EML, THOMAS MG, MANICA A, GUNZ P, STOCK JT, STRINGER C, GROVE M, GROUCUTT HS, TIMMERMANN A, RIGHTMIRE GP, D'ERRICO F, TRYON CA, DRAKE NA, BROOKS AS, DENNELL RW, DURBIN R, HENN BM, LEE-THORP J, DEMENOCAL P, PETRAGLIA MD, THOMPSON JC, SCALLY A, CHIKHI L. 2018, *Did Our Species Evolve in Subdivided Populations across Africa, and Why Does It Matter?*, in "Trends in Ecology & Evolution", 33(8), pp. 582-594.
- SORRENTINO G., LO GIUDICE A., RE A., BORGI A., LONGO L. 2021, *Replicate Plant Processing REVEALS Ground Stones complex Biography*, in "EXARC: EAC12", <https://youtu.be/vvJLDTX13Fo>
- SPETH J.D. 2018, *Neanderthals, vitamin C, and scurvy*, in "Quaternary International", 500, pp. 172-184.
- STEMP W.J., WATSON A.S., EVANS A.A. 2016, *Surface analysis of stone and bone tools*, in "Surface Topography: Metrology and Properties", 4.
- TIMMERMANN A., FRIEDRICH T. 2016, *Late Pleistocene climate drivers of early human migration*, in "Nature", 538, pp. 92-95.
- WADLEY L., BLACKWELL L., D'ERRICO F., SIEVER C. 2020, *Cooked starchy rhizomes in Africa 170 thousand years ago*, in "Science", 367, pp. 87-91.
- WEISS E., KISLEV M.E., SIMCHONI O., NADEL D. 2004, *Small-grained wild grasses as staple food at the 23,000-year-old site of Ohalo II, Israel*, in "Economic Botany", 58, pp. S125-S134.
- WISSING C., ROUGIER H., BAUMANN C., COMEYNE A., CREVECOEUR I., DRUCKER D.G., GAUDZINSKI-WINDHEUSE S., GERMONPRÉ M., GÓMEZ-OLIVENCIA A., KRAUSE J., MATTHIES T., NAITO Y.I., POSTH C., SEMAL P., STREET M., BOCHERENS H. 2019, *Stable isotopes reveal patterns of diet and mobility in the last Neandertals and rst modern humans in Europe*, in "Scientific Reports", 9.
- WRIGHT K. 1992, *A classification system for ground stone tools from the Prehistoric Levant*, in "Paléorient", 18, pp. 53-81.
- ZINK K.D., LIEBERMAN D.E., LUCAS P.W. 2014, *Food material properties and early hominin processing techniques*, in "Journal of Human Evolution", 77, pp. 155-66.
- ZUPANCICH A., MUTRI G., CARICOLA I., CARRA M.L., RADINI A., CRISTIANI C. 2019, *The application of 3D modeling and spatial analysis in the study of groundstones used in wild plants processing*, in "Archaeological and Anthropological Sciences", 11, pp. 4801-4827.