

LA MATRICE IN TERRACOTTA E IL PUGNALE IN BRONZO DELLA GROTTA DEI BAFFONI (GENGA-AN). ANALISI, RIPRODUZIONE E INTERPRETAZIONE

Gaia Pignocchi¹, Marcello Cabibbo², Mauro Fiorentini³, Alessandro Montanari⁴

PAROLE CHIAVE

Grotta dei Baffoni; matrice in terracotta; metallurgia del rame; Eneolitico; Bronzo antico.

KEYWORDS

Grotta dei Baffoni; terracotta mould; copper metallurgy; Copper Age; Early Bronze Age.

RIASSUNTO

La recente revisione della sequenza stratigrafica e dei materiali degli scavi Radmilli 1952-1954 alla Grotta dei Baffoni di Genga ha interessato anche un particolare reperto, un blocco di terracotta con un incavo di forma subtrapezoidale già identificato da Radmilli come una forma di terracotta per fondere, che ha la particolarità di contenere sulla superficie alcune gocce metalliche. Si tratta di un *unicum*, sia per quanto riguarda la tipologia sia per quanto riguarda i dati da esso ottenuti, che consente di far luce su alcuni aspetti legati alla prima metallurgia del rame in Italia.

La forma di terracotta fu rinvenuta nella campagna di scavo del 1954, allargando la trincea B aperta nel 1952, in un taglio non specificato del deposito antropico inferiore, da -2,30 a -2,80 m (livello E), che, stando alla stratigrafia pubblicata da Radmilli, comprende i tagli dal XV al XVII, in parte databili, sulla base delle recenti analisi radiocarboniche dei reperti osteologici, all'Eneolitico antico, tra 3640 e 3430 cal BC.

In questa sede si esporranno i risultati ottenuti dalla replica della forma di terracotta che ha consentito di verificarne la funzione come stampo per ricavare piccoli lingotti di metallo. Le analisi sistematiche quantometriche effettuate su una delle gocce presenti sulla superficie hanno inoltre portato a determinare che il composto metallico è formato fino a un massimo del 92% di rame (Cu) e per una quantità di zinco (Zn) tra 8 e 12%. Sono state rilevate, inoltre, anche sporadiche tracce di argento (Ag). Un composto di rame e zinco, ma non una lega, dunque non frutto di alligazione intenzionale, che sembra essere derivato dal processo di fusione di un minerale a solfuri misti (Fahlerz) come tetraedrite-(Zn) e tennantite-(Zn), avvenuto ad opera di un metallurgo che ha utilizzato la Grotta dei Baffoni come officina in un periodo che possiamo circoscrivere tra l'antica età del Rame e la prima età del Bronzo. L'interpretazione delle analisi e le considerazioni sulla prima metallurgia del rame in Italia sembrano confermare tale attribuzione cronologica. La sperimentazione ha inoltre riguardato anche il pugnale di bronzo per verificare un'eventuale relazione con la matrice di fusione, sebbene provenienti da quote molto differenti.

ABSTRACT

A recent revision of the stratigraphic sequence and the finds from the excavations by Anton Mario Radmilli in 1952 and 1954 in the Grotta dei Baffoni Cave near Genga, included also a particular object consisting of a ceramic block with a sub-trapezoidal concave gouge readily identified by Radmilli as a clay mould used for metal melting, which, in fact, contained metallic droplets attached to its surface. It represents an *unicum* for both its typology and the results of our preliminary archeometric analyses, which sheds some light on the early copper metallurgy in Italy. The terracotta mould was found during the excavation campaign of 1954, in which Radmilli enlarged Trench B already excavated in 1952, in a not-better specified lower anthropic level, from 2.30 to 2.80 m depth (cultural level E), which, according to Radmilli's stratigraphy, includes horizontal cuts n. XV, XVI, and XVII. Osteological finds from this level were recently radiocarbon-AMS dated to 3,640-3,430 yr cal BCE. Here we present the results we obtained from the analysis of replicas of the clay mould, which allowed us to identify the function of it as a cast for manufacturing small metal ingots. Geochemical SEM-EDS analyses on one metallic droplet detached from the surface of the mould, yielded

¹ Archeologa libera ricercatrice. E-mail: gaia.pignocchi@libero.it

² Professore associato Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche. E-mail: m.cabibbo@staff.univpm.it

³ Antropologo, archeologo sperimentale, promotore del gruppo "MF Riproduzioni Storiche - 2007". E-mail: mauro-fiorentini@tiscali.it

⁴ Geologo, direttore dell'Osservatorio Geologico di Coldigioco (Apiro-MC) E-mail: sandro.coldigioco@gmail.com

a maximum composition of 92 wt.% copper (Cu), and 8-12 wt.% zinc (Zn), along with traces of silver (Ag). Thus, the metal appears to be a compound of copper and zinc but not an intentional alloy of the two metals, which can be obtained by smelting sulfide minerals (i.e., Fahlerz) such as tetraedrite-(Zn) or tennantite-(Zn). We interpret this Cu-Zn compound as the result of the work by a metallurgist who utilized the Grotta dei Baffoni Cave as his workshop during a period between the latest Copper Age (Eneolithic), and the earliest Bronze Age. The interpretation of the results from our metallurgic analyses in the light of what it is known about the early copper metallurgy in Italy, are consistent with this chronological assessment. The experimentation also concerned the bronze dagger to verify a possible relationship with the clay mould, although coming from very different depth.

INTRODUZIONE

La Grotta dei Baffoni (Genga-AN) si apre a 265 m, sulle pareti calcaree della Gola di Frasassi, un canyon profondo circa 600 m inciso dal fiume Sentino, rispetto al quale la cavità è attualmente a una quota superiore di circa 60 metri, raggiungibile attraverso un percorso che sale alla sinistra idrografica tra bosco e gradoni rocciosi. La cavità, con un ampio ingresso rivolto a mezzogiorno, è costituita da un unico ambiente profondo poco meno di 50 m e largo dai 10 ai 13 m, e presenta attualmente una moderata pendenza verso il fondo, caratterizzato da una formazione stalattitica-stalagmitica che forma uno scenografico colonnato.

Agli inizi degli anni '50 del secolo scorso, Antonio Mario Radmilli fu chiamato dall'allora soprintendente Giovanni Annibaldi a condurre due brevi campagne di scavo nella Grotta dei Baffoni (RADMILLI 1953). Nel 1952 e nel 1954, in prossimità della parete sinistra della grotta, egli aprì due saggi di scavo (contrassegnati dalle lettere A e B) rispettivamente di 2,5 e 2,8 x 3,4 m, che hanno raggiunto la profondità massima di 4 metri nel saggio A, dei quali il più interessante dal punto di vista archeologico e stratigrafico è risultato il saggio B, a circa 11 metri dall'ingresso, dove fu raggiunta la profondità di 3,40 m (Fig. 1).

Recentemente è stata condotta una revisione della stratigrafia originale (RADMILLI 1953, fig. 1) integrata con nuovi dati radiocarbonici ottenuti dai reperti ossei della collezione Angelo Pasa, al quale Radmilli li aveva affidati per la determinazione, e che ancora sono conservati nel Museo di Storia Naturale di Verona (MONTANARI *et alii* 2021; PIGNOCCHI *et alii* cds).

I reperti ossei, che comprendono anche alcuni resti osteologici umani, a differenza di quelli ceramici, conservano per la maggior parte l'indicazione dei tagli, quindi è stato possibile selezionare 12 campioni da tagli diversi, sui quali sono state eseguite datazioni C14 con spettrometria di massa con acceleratore AMS presso il laboratorio Beta Analytic di Miami (MONTANARI *et alii* 2021) (Fig. 2). Le datazioni hanno fornito una sequenza cronologica particolarmente significativa, dal Pleistocene (MIS 3 e MIS 2) all'Olocene, fino ad arrivare al VI sec. d.C., supportata dalla tipologia dei resti faunistici (frammenti di *Ursus spelaeus* e *Capra ibex* per il Pleistocene superiore) e, per l'Olocene, dei manufatti archeologici, in corso di revisione e studio, a partire forse già dal Neolitico finale, con tipi ceramici attribuibili sicuramente all'Eneolitico, alle varie fasi dell'età del Bronzo, all'età romana tardo repubblicana e imperiale fino a oggetti di età alto medievale. Al momento non risulta documentato il Bronzo finale e l'età del Ferro.

In questa sede vogliamo prendere in considerazione un reperto in particolare, dato che si tratta di un *unicum* sia per quanto concerne la tipologia sia per quanto riguarda i dati da esso ottenuti e che consente di far luce su alcuni aspetti legati alla prima metallurgia del rame in Italia.

Nello specifico si tratta di un blocco di terracotta già identificato da Radmilli come "*una forma di terracotta per fondere... contenente un frammento di rame*" (RADMILLI 1956, p. 528, fig. 3.7) (Fig. 3).

La forma di terracotta fu rinvenuta nella campagna di scavo del 1954 allargando la trincea B aperta nel 1952, in un taglio non specificato del deposito antropico inferiore, da -2,30 a -2,80 m (livello E), che, stando alla stratigrafia pubblicata da Radmilli (1953, fig. 1) comprende i tagli dal XV al XVII. Dal taglio XV proviene un campione osseo umano datato 3640-3550 cal BC. Un secondo campione osteologico umano dal taglio XVIII ha fornito la datazione 3510-3430 cal BC (MONTANARI *et alii* 2021) (Tab. 1).

Dalla Grotta dei Baffoni provengono altri reperti legati all'ambito metallurgico, un pugnaletto di bronzo (RADMILLI 1956, fig. 3.5) (Fig. 4) e un affilatoio in arenaria a grana medio fine (Lucentini 1997, p. 47, n. 11) (Fig. 5), mentre non è certa l'attribuzione dell'elemento tubolare cilindrico del diametro di 6 cm (RADMILLI 1953, tav. V.2) a un ugello di mantice o a un bollitoio (LUCENTINI 1997, p. 47, n. 9; COCCHI GENICK 2005, p. 588, fig. 3B.7).

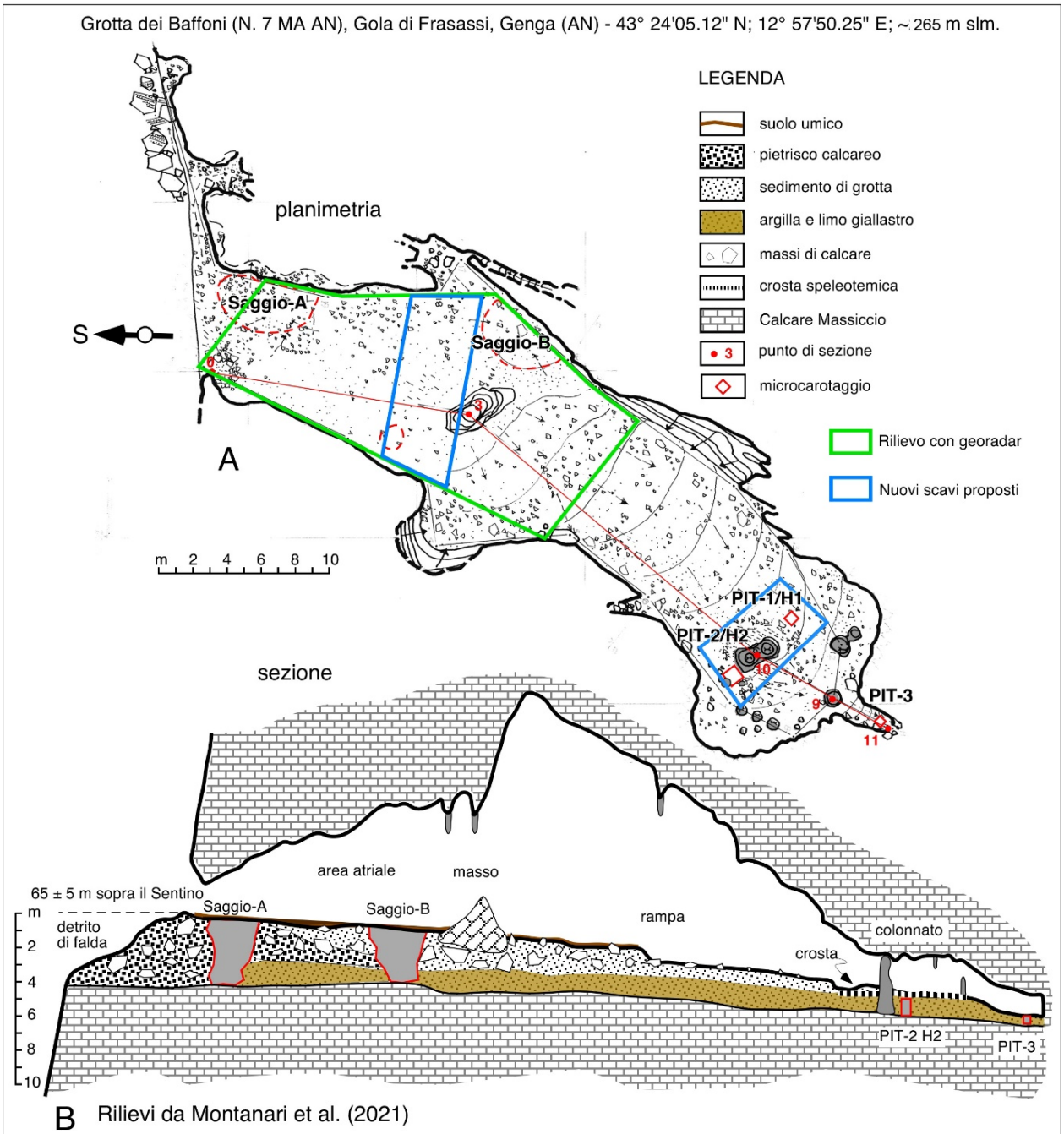
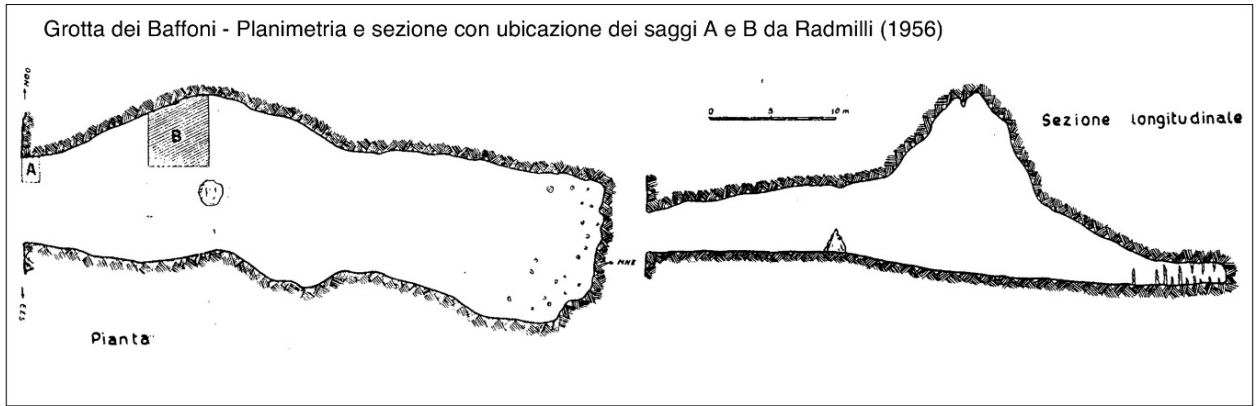


Fig. 1. Grotta dei Baffoni. Planimetria e sezione: in alto da RADMILLI 1956; in basso rilievi 2021.
Plan and section: top from RADMILLI 1956; bottom from 2021 topographical survey.

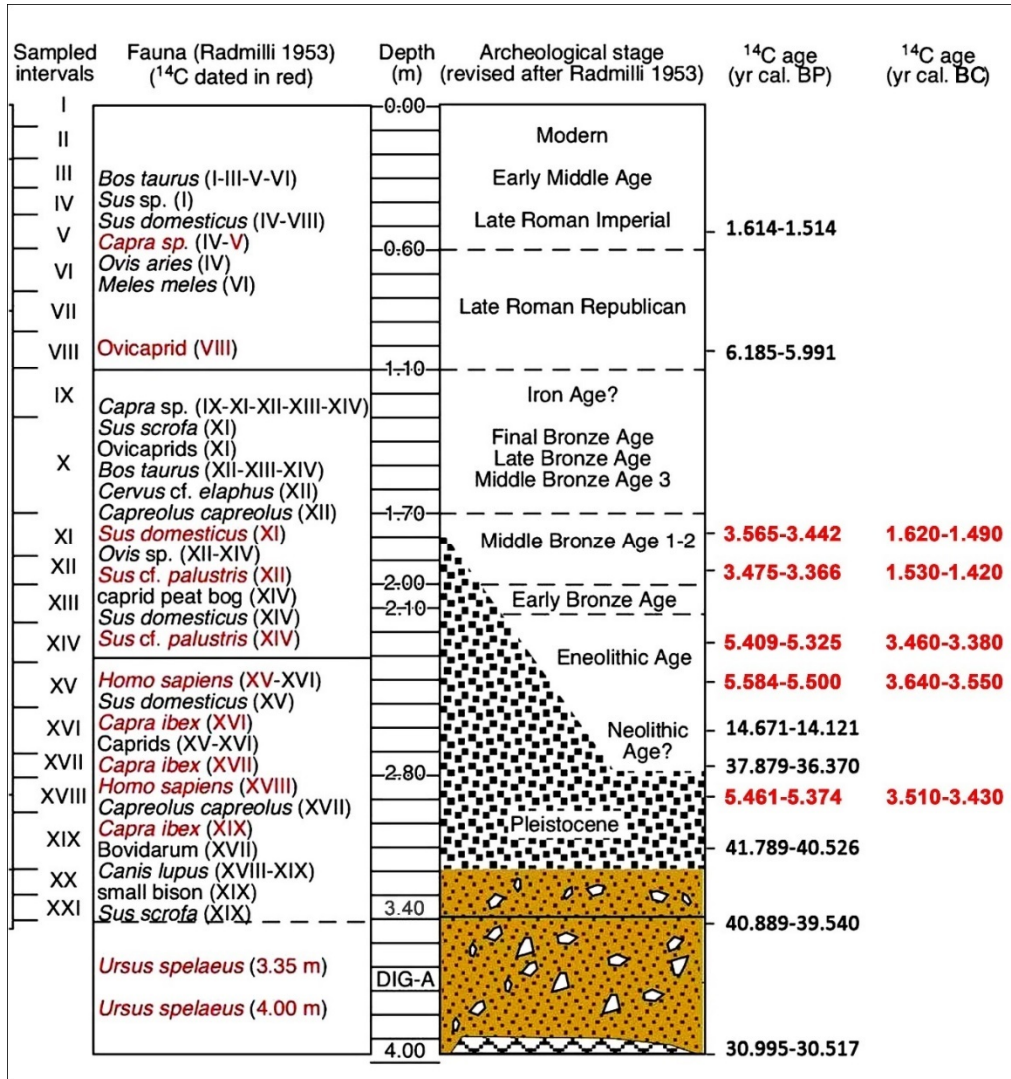


Fig. 2. Grotta dei Baffoni. Sezione stratigrafica rivista e integrata con le datazioni radiocarboniche. In rosso le datazioni C14 riferite all'Eneolitico e al Bronzo medio 1-2. *Stratigraphic section reviewed and updated with radiometric datings. In red, C14 datings related to Eneolithic and Middle Bronze Age 1-2.*

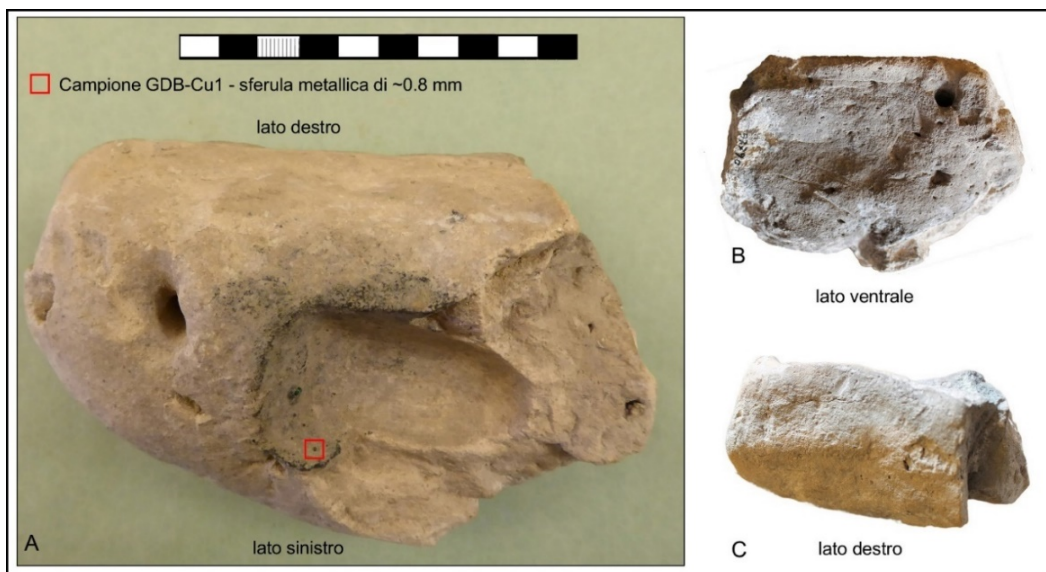


Fig. 3. Grotta dei Baffoni. La matrice in terracotta. *Terracotta mould.*

campione	tg./ prof.	saggio	n. inv.	specie	sigla	$\delta^{13}C$ (‰)	CRA BP	cal BP	cal BC	%
bone	XV	B	v.8128	<i>Homo sapiens</i>	Beta - 577164	-20	4730 +/- 30	5584 - 5500	3640 - 3550	44.6
bone	XVIII	B	v.8129	<i>Homo sapiens</i>	Beta - 577168	-20,2	4620 +/- 30	5461 - 5374	3510 - 3430	66.7
bone	XIV	B	v.8091	<i>Sus cf. palustris</i>	Beta - 577166	-20,4	4720 +/- 30	5409 - 5325	3460 - 3380	40.2
bone	XI	B	v.8103	<i>Sus cf. domesticus</i>	Beta - 577170	-21,1	3260 +/- 30	3565 - 3442	1620 - 1490	87.7
bone	XII	B	v.8092	<i>Sus cf. palustris</i>	Beta - 577169	-20,5	3200 +/- 30	3475 - 3366	1530 - 1420	95.4

Tab. 1. Datazioni radiocarboniche dei reperti osteologici dal taglio XVIII al taglio XI.
Radiocarbon datings of osteological finds from cut XVIII to cut XI



Fig. 4. Grotta dei Baffoni. Pugnale di bronzo del Bronzo recente.
Bronze dagger dating to RBA



Fig. 5. Grotta dei Baffoni. Affilatoio in arenaria.
Sandstone sharpener.

Il pugnaletto a codolo ogivale del tipo Torre Castelluccia var. A con spalla angolare, a prevalente diffusione meridionale adriatica e ionica (BIANCO PERONI 1994, p. 123 n. 1162, tav. 65.1162), nelle Marche è presente anche a Moscosi di Cingoli (SABBATINI, SILVESTRINI 2005, fig. 4.3).

Il pugnaletto della Grotta dei Baffoni è stato rinvenuto nella campagna di scavo del 1954, in un taglio non specificato dello strato D, compreso tra le quote -1,70 e -2,30 m, che include i tagli XI-XIV, che, sulla base delle datazioni disponibili e delle caratteristiche dei materiali ceramici, possono essere ascritti a una fase compresa tra Eneolitico (il campione faunistico dal taglio XIV ha fornito la datazione 3460-3380 cal BC) e Bronzo Medio 1-2 (i campioni faunistici dai tagli XI-XII hanno fornito le seguenti datazioni: 1620-1490 e 1530-1420 cal BC) (MONTANARI *et alii* 2021, tab. 3 e fig. 5).

Nello specifico il pugnaletto, del quale non conosciamo il livello preciso di rinvenimento, rientra sicuramente nel BR ed è associabile con un'ansa a corna di lumaca rinvenuta nel medesimo anno e nel medesimo strato D (RADMILLI 1956, fig. 3.5 e 8), ma date le modalità di scavo è probabile che vi siano stati rimescolamenti dei livelli di frequentazione e quindi dei materiali. Dei frammenti fittili solamente alcuni conservano la siglatura dei tagli, limitatamente ai tagli XII e XIII, e sulla base delle caratteristiche tipologiche la loro datazione va dal BA al BM 1-2. A questo si aggiungono le

datazioni radiocarboniche dei reperti faunistici dai tagli XI e XII che rientrano nel BM1-2, a partire dalla quota negativa di 1,70 m indicata da Radmilli (RADMILLI 1953, fig. 1), e quelle dei reperti osteologici eneolitici dai tagli XVIII, XV e XIV nei quali sono inclusi anche frammenti di stambecco che hanno fornito datazioni molto più antiche (Fig. 2), per farci comprendere la non perfetta attendibilità della stratigrafia pubblicata e delle metodologie di scavo.

Occorre infatti precisare che nel saggio B è presente una serie di accumuli di pietrisco frutto della disgregazione della falesia calcarea esterna alla grotta formatosi tra l'Ultimo Massimo Glaciale e la prima parte del Tardoglaciale. Il talus detritico, particolarmente consistente saggio A più esterno, dove raggiunge uno spessore di oltre 3 metri a partire dalla quota negativa di 20-30 cm, nel saggio B risulta in notevole pendenza a iniziare da -1,80 m per poi livellarsi a -2,80 m. Su di esso si sono depositati i livelli di frequentazione antropica di epoca olocenica che sicuramente avranno in parte seguito l'inclinazione del deposito pleistocenico.

Lo stesso Radmilli fa notare come lo strato a pietrisco, che nella trincea A compare a 30 cm dalla superficie, nella trincea B, distante solamente 4 m dal saggio A, compaia molto più in basso, comportando "la forte inclinazione della sua superficie e un andamento molto irregolare degli strati" come egli scrive (RADMILLI 1956, pp. 324-325), del quale però non sembra sia stato tenuto conto, ad osservare la stratigrafia allora pubblicata nella quale gli strati sono disegnati con andamento orizzontale, cosa che risulta poco probabile. La progressione dello scavo per tagli orizzontali artificiali ha sicuramente comportato l'asportazione in simultanea di livelli diversi di frequentazione con conseguente rimescolamento dei materiali, portando alle improbabili associazioni tra reperti di epoche diverse come si evince già dalla pubblicazione dei materiali stessi. Come già segnalato dalla revisione dei materiali ceramici è risultato che solo alcuni sono siglati con i numeri dei tagli (tagli XII e XIII) e questi tipologicamente rientrano tra BA e BM1-2. Particolarmente scarsi i frammenti di ceramica eneolitici e del BM3, mentre poco più consistenti quelli del BR, che logicamente dovrebbero provenire da un livello superiore all'incirca corrispondente al taglio X.

L'affilatoio, privo dei riferimenti stratigrafici e proveniente da scavi clandestini, sappiamo che era conservato in una busta assieme a frammenti di un'olletta con bugnetta e orlo a tacche identificata con quella esposta al Museo Speleopaleontologico e Archeologico di San Vittore di Genga (LUCENTINI 1997, p. 38), presumibilmente databile all'Eneolitico, e che dunque potrebbe essere correlabile cronologicamente e stratigraficamente alla matrice di fusione piuttosto che al pugnale. Non sappiamo in questo caso se l'associazione tra affilatoio e frammento ceramico sia contestuale al rinvenimento, oppure sia avvenuta successivamente ad esso, in sede museale, e dunque sia del tutto casuale.

Questi tre oggetti, dei quali non conosciamo l'esatto riferimento stratigrafico e la relazione reciproca, sono evidentemente prodotti metallurgici (pugnale) o legati all'attività metallurgica (matrice e affilatoio) e potrebbe essere plausibile ipotizzare un loro stretto collegamento, che però non sembra sussistere, in particolare tra la matrice e il pugnale, che risultano provenire da quote diverse e quindi sembrano appartenere a contesti stratigrafici e quindi cronologici e culturali non affini.

In realtà non conoscendo l'effettiva relazione stratigrafica tra i due oggetti, non possiamo essere certi del preciso livello deposizionale del pugnale e della matrice e dunque se esiste un nesso tra di loro. Comunque tra lo strato compreso tra le quote -2,30/-2,80 m della sequenza indicata da Radmilli, che include i tagli dal XV al XVII/XVIII, corrispondenti al livello E, l'inferiore del deposito antropico riferibile all'Eneolitico, e il livello del Bronzo recente contestuale cronologicamente al tipo di pugnale, presumibilmente corrispondente al tetto del taglio XI o al taglio X della sequenza (MONTANARI *et alii* 2021, fig. 5) (Fig. 2), sussiste un intervallo di quota di troppi cm, e dunque di troppi secoli, nel quale sono inclusi anche i livelli di frequentazione dal Bronzo antico al Bronzo medio, e che farebbe escludere qualsiasi associazione cronologica tra i due oggetti. Ma, come già indicato, l'inclinazione degli strati e le modalità non corrette di scavo possono aver alterato la relazione effettiva tra i vari piani deposizionali e le associazioni tra i reperti.

Sulla base di queste considerazioni sono stati analizzati singolarmente la matrice e gli altri due reperti, il pugnale in bronzo e l'affilatoio, nell'eventualità di riscontrare un nesso tra loro oppure di escluderlo.

G.P.

RIPRODUZIONE DELLA MATRICE E DEL PUGNALE

Sul finire del 2020 la dott.ssa Gaia Pignocchi mi coinvolse in un progetto di studio riguardante alcuni reperti preistorici rinvenuti durante gli scavi archeologici condotti all'interno della Grotta dei Baffoni, presso Genga (AN), il cui deposito era in corso di revisione (MONTANARI *et alii* 2021).

Nello specifico, l'obiettivo era di approfondire la comprensione del blocco di terracotta identificato da Radmilli come "una forma di terracotta per fondere... contenente un frammento di rame" (RADMILLI 1956, p. 528, fig. 3.7).

Per approfondire l'analisi della forma di terracotta è stato concordato uno studio analitico autoptico preliminare del reperto, fondamentale per la formulazione di eventuali ipotesi circa la sua corretta identificazione e funzione, cui avrebbero fatto seguito la ricostruzione e l'utilizzo sperimentali, atti a verificare tali ipotesi o aggiungerne altre.

Questa sperimentazione, di cui mi sarei fatto carico, sarebbe dovuta consistere nella creazione di un oggetto quanto più possibile simile all'originale, da utilizzare poi nella maniera ritenuta più opportuna a verificare la probabile funzione.

Naturalmente il lavoro di analisi del blocco di terracotta doveva comprendere anche quello degli altri due manufatti legati alla sfera metallurgica (pugnale e affilatoio) per verificare la possibilità di una loro relazione al di là dell'incerto quadro deposizionale che prendesse in considerazione tutte le varie ipotesi, dedotte dai dati oggettivi scaturiti dalle analisi di vari fattori (tipologia, cronologia, funzione, aspetti tecnici, composizione mineralogica...).

In questo resoconto verranno illustrate le analisi condotte, le ipotesi formulate, gli esperimenti compiuti, i risultati raggiunti e l'interpretazione degli stessi.

Sarà inoltre disponibile un elenco dei materiali e degli strumenti utilizzati, riportandone dove possibile le caratteristiche tecniche, i modelli e le aziende produttrici.

ANALISI DEI REPERTI: MATRICE, AFFILATOIO, PUGNALE

Il 10 Febbraio 2020, con il permesso del direttore del Polo Museale e della direttrice del Museo Archeologico Nazionale delle Marche di Ancona, dott.ssa Nicoletta Frappiccini, assieme alla dott.ssa Gaia Pignocchi abbiamo esaminato i tre reperti da metallurgo della Grotta dei Baffoni, il blocco di terracotta (inv.57790), l'affilatoio (inv. 57789) e il pugnale di bronzo (inv. 57787).

Il primo reperto si presenta come un blocco di terracotta d'impasto beige alquanto depurato, frammentario, dalla forma grossolanamente parallelepipedica con due lati maggiori, uno pressoché rettilineo e l'altro convesso, e due lati minori, dei quali uno solo conservato, a profilo irregolarmente convesso. La sezione è piano convessa. Il blocco presenta un incavo centrale di forma subtrapezoidale sulla superficie dorsale convessa e un foro passante al centro dell'estremità del lato minore conservato, obliquo rispetto all'asse maggiore.

Sulla superficie superiore questo foro presenta evidenti abrasioni unidirezionali dovute al continuo sfregamento forse di una cordicella che fanno presumere che il manufatto di argilla fosse solitamente tenuto appeso con orientamento longitudinale secondo l'asse maggiore e che all'estremità opposta vi fosse un secondo foro speculare al primo.

Il manufatto è spezzato irregolarmente a metà della lunghezza, dai margini dell'incavo, fortunatamente conservatosi, del quale però manca parte del bordo che delimitava il perimetro della concavità. I margini della frattura del blocco di argilla risultano abrasivi e la frattura evidenzia una colorazione più scura dell'argilla all'interno del manufatto, segno del diverso grado di cottura dello stesso.

Molto importante, come vedremo in seguito, è segnalare che parte della superficie interna dell'incavo, i bordi superstiti e le superfici esterne a ridosso di esse presentano un'evidente colorazione nero/verdastra, che spicca sul colore chiaro della terracotta circostante.

Sulla superficie interna dell'incavo spicca, inoltre, una piccola sfera metallica di colore verde di circa 3 mm, identificabile quindi come un frammento di rame o di lega di rame, oltre a quattro piccolissime sferule metalliche minori di un millimetro ciascuna.

Le dimensioni del manufatto identificato come forma di fusione sono le seguenti: Lungh. max. 12,2 cm; Largh. max. 8,5 cm; Alt. max. 7 cm; Lungh. max. dell'incavo centrale 4,6 cm; Largh. max. dell'incavo centrale 3,2 cm; Largh. max. della parete superstite dell'incavo centrale 3,1 cm; Largh. max. della porzione superstite centrale dell'incavo 2,1 cm; Prof. max. dell'incavo 1,65 cm; Diam. superiore del foro passante 0,5 cm; Diam. inferiore del foro passante 0,5 cm

Terminata l'analisi autoptica del manufatto, è stata presa in considerazione la sua funzione, stante le caratteristiche e le evidenti tracce di combustione all'interno e lungo i margini dell'incavo.

Considerando molto plausibile la funzione ipotizzata fin da subito da Radmilli, cioè quella di "forma da fusione", appariva chiaro che avrebbe dovuto trattarsi di una matrice singola, data la convessità della superficie superiore, che avrebbe impedito qualsiasi allineamento con una matrice speculare. A questo punto avrebbero trovato spiegazione sia le tracce di annerimento all'interno dell'incavo sia la presenza della sfera metallica, ma non il foro passante, che, trattandosi di una matrice singola, non sarebbe servito a fissarne una seconda sulla prima, né la forma particolare dell'incavo, dal quale non si sarebbe prodotto un oggetto subito identificabile e funzionale all'uso (arma, attrezzo, ornamento).

Anche i dubbi riguardo la sua datazione, presumibilmente più antica rispetto al pugnale di bronzo stando alla quota inferiore di rinvenimento, contribuivano a generare ipotesi e congetture.

Matrici in terracotta risultano essere state utilizzate nell'Eneolitico per la fabbricazione di asce. L'ascia da Rapolano, di foggia piuttosto arcaica (CARANCINI cds, n. 7)⁵, ad esempio, ha tracce evidenti dell'utilizzo di una matrice in argilla (GIARDINO 2009-2012, p. 20.). Considerate però le dimensioni dell'incavo della matrice dei Baffoni, si poteva solamente pensare a una forma per asce tozze molto piccole, come quelle di Pila o Patrica (CARANCINI cds, nn. 61-62 e 221-223), versioni miniaturistiche di asce sub trapezoidali della fase iniziale dell'Eneolitico antico e che ben si raccordano

⁵ Si tratta di un'ascia piatta subtriangolare tipo Sgurgola datata al Neolitico avanzato/fineale passante all'Eneolitico (4250-3800/3700).

cronologicamente con le datazioni ottenute per i livelli inferiori del deposito della Grotta dei Baffoni che hanno restituito la matrice. Considerata però la profondità dell'incavo della matrice dei Baffoni (1,65 cm), si potrebbe solamente pensare a una forma per ottenere blocchetti spessi di metallo anziché un oggetto finito.

Perdurando i dubbi sul reale utilizzo di quest'oggetto, ho ritenuto prioritario passare alla fase sperimentale e procedere alla sua replica, iniziando ad esaminarlo con la tecnica che chiamo "vedere con le mani". In pratica ho richiamato alla mente le mie esperienze nella fusione dei metalli, in particolar modo di bronzo, rame e piombo, e, dando per scontato che il reperto in questione fosse una matrice da fusione, ho cominciato a manipolarla per rendermi conto del modo in cui fosse stata foggata, tenendo presente le necessità di un fonditore, nella speranza che questo potesse fornire ulteriori indizi.

Stringendo le mani a coppa attorno all'oggetto tenuto in piano, mi sono immediatamente accorto che tutto il lato integro si adagia perfettamente al palmo della mano; anzi, le falangi delle dita accolgono il lato breve superiore (Fig. 6a), e quasi altrettanto avviene con la mano sinistra. Questo significa che, nel foggare il blocco d'argilla, esso fu modellato e compattato tra le mani, per dargli con precisione quella particolare forma parallelepipedica smussata.

Allo stesso modo inserendo il pollice nell'incavo (Fig. 6b) ho subito verificato che questo aderiva perfettamente alla concavità e ciò, oltre a mostrarmi come l'incavo fosse stato realizzato, ha dato il via a un rapido processo mentale che posso riassumere come segue: che cos'è un pollice? Non solo un semplice e disponibile surrogato di uno stampo, ma anche una probabile unità di misura. E perché ad un fonditore dovrebbe servire una matrice nella quale fondere oggetti a forma di pollice? Per ottenere blocchetti di metallo, dunque lingottini, grossomodo sempre delle stesse dimensioni e peso, dunque della stessa quantità di metallo.



Fig. 6 a-b. La manipolazione del reperto originale è stata fondamentale per "vedere con le mani": per capire come l'oggetto fosse stato realizzato e a quali compiti potesse assolvere una matrice di questa forma e di queste dimensioni.

The manipulation of the original find was essential to "see with your hands": to understand how the object was made and what tasks a mould of this shape and size could perform.

In pratica risultava subito convincente l'idea che il blocco di terracotta potesse essere una matrice per ricavarne piccoli lingotti come suggeriva anche la profondità stessa dell'incavo.

Restava aperta la questione riguardante il foro passante, ma le tracce di sfregamento della cordicella hanno suggerito che esso potesse servire, evidentemente assieme ad un secondo foro perduto all'estremità opposta, per appendere la matrice all'interno di una capanna o in altro luogo, oppure durante il trasporto. Questa chiave di lettura ha suggerito l'ipotesi che potesse trattarsi dello strumento di un metallurgo itinerante, stante anche il particolare luogo di rinvenimento.

Questa possibilità è stata subito confortata da alcune considerazioni. Se, in effetti, si fosse trattato di un fonditore itinerante, sarebbe stato assai vantaggioso per lui utilizzare una matrice per ottenere dei lingotti di rame in modo da avere una riserva di metallo più facilmente trasportabile e soprattutto "vendibile" oppure ottenere delle quantità ben precise di rame, pronte per essere rifuse nelle fogge desiderate.

Le evidenti tracce di abrasione all'estremità del foro passante residuo suggeriscono che il peso del blocco d'argilla ha gravato per molto tempo su una corda passante per i due fori, indicando che la matrice potrebbe aver trascorso periodi piuttosto lunghi in posizione appesa a una parete o trasportata da un luogo all'altro, causando lo sfregamento prolungato della corda sui fori praticati nel blocco di argilla, azione meccanica che ha prodotto l'abrasione osservata sul foro residuo.

Un'ulteriore funzione dei fori poteva anche essere quella di sostegno e fissaggio a terra attraverso piccoli supporti in legno della matrice in posizione orizzontale mentre avveniva la colatura del metallo fuso.

A questo punto risultava molto stimolante e necessaria l'idea di riprodurre copie della matrice e fonderci dentro del rame per verificare realmente la forma e il peso dei lingottini che si sarebbero potuti realizzare, in modo da ottenere, non soltanto una semplice riproduzione del modello originario, ma soprattutto uno studio sperimentale sulle fasi di lavorazione e di utilizzo dell'oggetto e sui prodotti che ne derivano, oltre all'acquisizione di una molteplicità di dati utili a verificare una serie di ipotesi e interpretazioni che non possono venire solamente dall'osservazione diretta del manufatto, ma necessitano di prove e di elementi desunti dalla ricostruzione sperimentale di un processo dinamico. Nel caso specifico della matrice in terracotta della Grotta dei Baffoni, trattandosi di un *unicum* per cronologia e funzione, oltretutto privo dei dati di giacitura originaria e di relazioni con altri indicatori archeologici, le varie fasi della sperimentazione erano finalizzate a verificare non solo il procedimento tecnico per la realizzazione dell'oggetto e dei prodotti da esso derivati (lingottini), ma anche la validità o meno di ipotesi formulate a priori. Molti procedimenti simili sono stati sperimentati in passato (COLES 2008, pp. 132-135). Recentemente A. Burlot (2021) ha pubblicato un articolo incentrato sugli esperimenti che ha condotto nel tentativo di riprodurre alcuni lingotti di rame a forma di ascia. Dato che per i suoi esperimenti ha utilizzato matrici in sabbia, può essere interessante comparare i risultati così ottenuti con quelli esposti in seguito.

RICOSTRUZIONE DELLE MATRICI: FOGGIATURA

Come primo esperimento optai per foggiare le copie della matrice interamente in argilla, così come, ad un esame oculare, sembra sia stato fatto per l'originale, apparentemente privo di inclusi e di altri elementi che pure gli avrebbero garantito una maggiore refrattarietà al calore.

È stata utilizzata argilla Toscana di marca Cheramix, nelle qualità rossa e bianca, con la quale si è proceduto alla foggatura di tre matrici (MF2, MF3, MF4).

Una prima matrice (MF1), come prototipo e per verificare le differenze rispetto alle altre in argilla, è stata ottenuta con della terra prelevata in campagna, ricca di inclusi. Questa, pur presentando un incavo di dimensioni alquanto simili a quanto resta dell'originale, alla fine risultò molto più massiccia nelle forme esterne. Ciò dipese dalla bassissima temperatura atmosferica di quei giorni di febbraio 2020, scesa anche a -5°C , che non consentì un'omogenea evaporazione dell'acqua presente nell'impasto. Anzi, in fase di essiccazione si formarono numerose crepe superficiali e una molto marcata in corrispondenza di uno dei due fori di sospensione, che non mi fu possibile stuccare nonostante i ripetuti sforzi in questo senso. A causa di questo inconveniente decisi di procedere a produrre matrici utilizzando la sola argilla, come d'altronde risultava l'originale.

Foggiai le matrici modellandole con le mani e stringendole tra i palmi così come avevo intuito essere stato fatto, fino a dar loro la forma dell'originale e utilizzando il pollice per imprimere l'incavo, il cui interno è stato poi lisciato utilizzando un piccolo sasso di forma allungata.

Il foro passante è stato realizzato forando le matrici di argilla ancora crude con un semplice bastoncino scortecciato e affilato, imprimendogli un moto rotatorio (Fig. 7). L'unica concessione all'arbitrarietà venne fatta decidendo di praticare un secondo foro all'estremità opposta dove plausibilmente avrebbe potuto trovarsi, specularmente al primo.



Fig. 7. Realizzazione del foro passante su una delle matrici di argilla cruda.

Making the through hole on one of the raw clay mould.

Per quanto riguarda le dimensioni dei singoli incavi riprodotti sulle diverse copie di matrici, dimensioni sulle quali avrebbe fatto perno la validità di tutto l'esperimento, ci si è limitati a replicare il più fedelmente possibile le misure residue e leggibili dell'incavo nel manufatto originario frammentario, limitandosi a ripristinare i bordi mancanti per avvicinare il più possibile le copie alla forma originaria dell'incasso che doveva garantire sicurezza in fase di colata del metallo fuso, oltre che contenerne una precisa quantità.

L'incavo originario risulta leggermente asimmetrico, di forma subtrapezoidale, con i lati corti convessi non perfettamente identici per dimensioni, uno più largo e l'altro poco più stretto, come si evidenzia dalla superficie concava che ne costituiva la base il cui margine non integro, privo del bordo, è comunque leggibile e sembra essere stato più stretto rispetto al margine opposto conservatosi.

Di seguito il codice identificativo di ciascuna matrice (Fig. 8) e le dimensioni di ciascun incavo:

MF-1 (matrice in terra di campo): Lungh. max. incavo 4,8 cm; Largh. max. incavo 3,2 cm; Prof. max. incavo 1,6 cm

MF-2 (matrice in argilla rossa): Lungh. max. incavo 5,1 cm; Largh. max. incavo 3,1 cm; Prof. max. incavo 1,7 cm

MF-3 (matrice in argilla bianca): Lungh. max. incavo 4,8 cm; Largh. max. incavo 3,2 cm; Prof. max. incavo 2,1 cm

MF-4 (matrice in argilla bianca): Lungh. max. incavo 4,7 cm; Largh. max. incavo 3,2 cm; Prof. max. incavo 1,6 cm



Fig. 8. Le quattro forme di fusione riprodotte: in terra di campo, in argilla rossa e due in argilla bianca.

Le quattro repliche così ottenute sono poi state lasciate seccare.

The four moulds replicas: soil clay, red clay and two in white clay. The four moulds were then left to dry.

Dai dati sopra riportati consegue che l'incavo più affine a quanto resta dell'originale (lungh. max. 4,6 cm, largh. max. 3,2 cm, prof. max. 1,65 cm), per dimensioni, è quello di MF-4. Seguono MF-1, MF-2 e MF-3.

La diversità nelle dimensioni degli incavi ottenuti deriva dal fatto che i vari panetti di argilla contenevano percentuali di acqua differenti; quindi, anche la pressione del pollice esercitava una forza più o meno maggiore sugli impasti con diversi gradi di morbidezza. In ogni caso si tratta di uno scarto di pochi millimetri, che a sua volta si traduce in pochi g nei lingotti metallici finiti.

COTTURA DELLE MATRICI RIPRODOTTE

Al momento della sperimentazione, inizio aprile 2020, perdurando la situazione di emergenza sanitaria Covid e le restrizioni che impedivano di raggiungere il luogo fuori città preposto alla realizzazione di una fossa entro cui accendere un fuoco di legna col quale cuocere le matrici, è stato allestito un impianto alternativo per raggiungere lo stesso scopo.

Tale impianto consisteva in una forgia a manovella autoprodotta, alimentata da una ventola manuale modello Superior-A, la quale avrebbe sviluppato il calore necessario utilizzando carbone di legna, del quale, al termine delle prime cinque ore di cottura, risultavano usati 14 kg. A fianco di questa fonte di calore sono state posizionate le matrici,

avvicinate poi gradatamente al fuoco, che trasmettendo il calore ai manufatti realizzati in terra e in argilla, contribuiva a cuocerli in maniera omogenea (Fig. 9 a-e).



Fig. 9 a-e. Le varie fasi del processo di cottura delle forme di fusione.
The various stages of the firing process of the moulds.

La cottura a fuoco vivo è durata per cinque ore, durante le quali la temperatura è stata costantemente tenuta sotto controllo con l'ausilio di un termoscopio laser marca AXIOMET, modello AX-7540, con temperatura massima registrabile di 1150°C.

In questo periodo sono state eseguite un totale di quarantaquattro misurazioni, per ciascuna delle quali si è proceduto a registrare la temperatura della brace, quella del punto della matrice più vicina alla brace, e quella più lontana della matrice più distante, che è sempre stata la MF-1. Questa situazione, tuttavia, è stata mutevole e ci si è dovuti adattare all'evolversi delle condizioni dei pezzi in cottura: si è dovuta registrare la disintegrazione della matrice MF-4, e poco dopo si è scelto di uniformare il valore della matrice più vicina alla brace, poiché a quel punto tutti i pezzi si trovavano ormai alla stessa distanza, essendo stati via via avvicinati al fuoco.

Dopo circa mezz'ora tutte e tre le matrici superstiti sono state poste all'interno della forgia, grossomodo equidistanti dalla brace. A questo punto si è scelto di continuare a monitorare la temperatura di ciascuna matrice.

Inizialmente la distanza più breve tra le matrici e la brace era di 40 cm. Essa si è andata riducendo man mano che le stesse venivano avvicinate al fuoco, fino al punto che sono state spostate direttamente nella forgia, a pieno contatto con la brace, il che è avvenuto dopo circa due ore dall'avvio della cottura.

Dopo cinque ore dall'inizio della fase di cottura a fuoco vivo, il fuoco non è più stato alimentato e si è lasciato che i carboni, che a quel punto ricoprivano quasi interamente le matrici superstiti, si raffreddassero lentamente, coprendoli, onde evitare una dispersione troppo repentina del calore e per cercare di simulare quanto avviene nelle cotture filologiche a fossa, al termine delle quali la brace viene interrata e i manufatti vengono lasciati raffreddarsi sottoterra tra le braci, come documentato altrove in altri tipi di cotture preistoriche (COLES 2008, p. 148).

Le matrici cotte sono state recuperate circa ventiquattro ore dopo, estraendole dalle braci ancora calde e lasciandole raffreddare all'aria.

Com'è evidente si è trattato in ogni caso di una cottura dai tempi molto veloci, ben differenti dalle tempistiche lunghe che caratterizzano una normale cottura a fossa. Tuttavia, è stato inevitabile fare di necessità virtù, e nonostante alcuni imprevisti, si può considerare un successo.

Per quanto riguarda i valori raggiunti, partendo da una temperatura ambientale di 18,7°C la brace ha fatto registrare un picco massimo di 1114°C, con una media nelle cinque ore di cottura di 892,33°C.

Nel momento in cui le tre forme superstiti si trovavano tutte alla stessa distanza dalla brace, la temperatura media sulla loro superficie era di 784,6°C, mentre dal momento in cui esse sono state spostate all'interno della forgia, a diretto contatto con la brace, le temperature registrate hanno fatto segnare un minimo di 393°C, un massimo di 1048°C e una media compresa tra i 755,5°C e i 797,7°C.

I dati sopra esposti restituiscono un quadro abbastanza chiaro di come sia andata la cottura. Innanzitutto, le potenzialità della forgia risultano indubbie: con una media di quasi 900°C, l'impianto è riuscito a mantenere costantemente una temperatura piuttosto elevata durante tutte le cinque ore di funzionamento, ed in linea con le temperature registrate durante precedenti esperimenti (COLES 2008, pp. 148-149).

Verso la metà della cottura si sono verificate due rotture: MF-4 dapprima si spacca in due pezzi (Fig. 9c) per disintegrarsi poco dopo con un forte scoppio. Quasi nello stesso istante una grossa frattura si apre presso il lato inferiore di una delle due estremità di MF-2, causando il distacco di una consistente porzione del margine della matrice (Fig. 10 a-b). Questa frattura è molto interessante, poiché si è aperta pressappoco dove anche l'originale presenta un distacco; potrebbe quindi essere possibile condurre dei confronti. Le altre due matrici, a questo punto della cottura, hanno retto bene al calore, con MF-1 che, a dispetto di tutte le crepe createsi in fase di essiccamento, alla fine sarà l'unica matrice a non essere affatto danneggiata durante questo processo (Fig. 11 a destra).



Fig. 10 a-b. La frattura prodottasi nella matrice MF2 in fase di cottura. *The fracture produced in the MF2 mould during firing.*



Fig. 11. Le matrici in argilla bianca (MF3), argilla rossa (MF2) e in terra di campo (MF1) a fine cottura.
Moulds in white clay (MF3), red clay (MF2) and soil clay (MF1) at the final stage of firing.

La temperatura media registrata su ognuna delle tre matrici superstiti è stata molto omogenea, con uno scarto massimo di circa 40° C, indice di una cottura piuttosto lineare una volta che la brace è ben avviata.

La cottura si è conclusa con un lento raffreddamento della brace e delle matrici da essa ricoperte. Durante questo raffreddamento e nonostante tutte le precauzioni prese, però, MF-3 si ricopriva di sottilissime crepe trasversali e, cosa ancor più grave, un'estesa porzione della superficie superiore ivi compresa anche parte dell'incavo si vetrificava a causa delle alte temperature, di fatto sconsigliando il futuro utilizzo della matrice per la produzione dei lingotti, come vedremo.

Anche MF-2 vedeva aprirsi una singola, sottilissima crepa che la attraversava proprio al centro, quasi dividendola a metà. Ciononostante, una volta estratta dalla brace, le sue condizioni non sembravano tanto gravi da pregiudicarne l'impiego, giacché l'incavo appariva intatto e funzionale. Sarebbe anzi stata l'occasione per valutare la resistenza dell'argilla cotta agli shock termici dovuti alle ripetute colate del metallo fuso, e per confrontare la tenuta di questa matrice con quella di MF-1. Ai fini dell'esperimento, infatti, era molto importante poter condurre quante più fusioni possibili e su quante più matrici possibili, in modo da poter disporre di una più vasta gamma di dati da esaminare e confrontare.

UTILIZZO E LOGORIO DELLE MATRICI MF-1 E MF-2

Preventivamente alle fusioni di rame è stato deciso di testare MF-1, MF-2 e MF-3 colando del piombo fuso all'interno degli incavi. Usando un metallo che fonde a una temperatura relativamente bassa (327,5 °C), infatti, si sarebbero potute fare delle valutazioni pratiche in maggior sicurezza che non maneggiando un metallo come il rame con punto di fusione di 1083,4°C.

Innanzitutto, era necessario valutare con attenzione le mosse da fare per estrarre il crogiolo dalla fornace e colare il metallo fuso nella matrice con un unico movimento, preciso e senza intralci. Secondariamente la colata del piombo negli incavi delle matrici avrebbe stabilito fin dove si sarebbe potuto riempirli, evitando una fuoriuscita del metallo. I piccoli lingottini di piombo ottenuti da queste fusioni preliminari, infine, hanno fornito un'idea della quantità di altro metallo da inserire nel crogiolo.

Ecco di seguito i dati su questi blocchi di piombo, identificati ciascuno con il nome della matrice entro cui sono stati colati seguito dalla lettera "P".

MF-1P: Peso 110 g; Lungh. max. 4,3 cm; Largh. max. 2,9 cm; Spess. max. 1,8 cm

MF-2P: Peso 117 g; Lungh. max. 4,3 cm; Largh. max. 2,6 cm; Spess. max. 1,6 cm

MF-3P: Peso 78 g; Lungh. max. 4,3 cm; Largh. max. 2,6 cm; Spess. max. 1,2 cm

Per i test di colata si è reputato più coerente procedere con il rame puro, proprio nell'ottica di un utilizzo delle matrici superstiti (MF-1 e MF-2) per produrre lingotti di peso e dimensioni determinati grazie ai quali, come ipotizzato in apertura, un fonditore avrebbe potuto disporre di una quantità di metallo puro da utilizzare singolarmente o per creare una lega metallica dalle percentuali piuttosto precise semplicemente aggiungendo una quantità di un secondo metallo definita in base al peso del lingotto di rame.

Interessanti osservazioni si sono potute fare circa il logorio delle matrici stesse durante i successivi utilizzi. La prima, e forse la più importante, riguarda il cambiamento di colore della superficie dell'incavo dopo le prime colate. Esse, infatti, si sono scurite, diventando di un colore nero-verdastro assolutamente comparabile con quello che si può osservare sull'originale.

La prima colata entro MF-2 ha inoltre prodotto un risultato non previsto ma di grande interesse: per un breve istante il rame ha bollito, il che ha causato il getto verso l'alto e fuori dall'incavo di minuscoli lapilli di metallo fuso (Fig. 12). Uno di questi è ricaduto sulla superficie della matrice e lì si è solidificato. Non è stato rimosso per poterlo eventualmente confrontare, in futuro, con le sferule metalliche che si osservano nell'incavo del reperto originale.

Altre osservazioni sono state fatte via via che le colate venivano replicate e gli incavi si deformavano per effetto dei continui shock termici, avvenuti nonostante i preriscaldamenti delle forme, messi in atto per arginarne gli effetti. Ogni volta che venivano estratti i lingotti di rame solidificato, dei minuscoli frammenti della matrice restavano incastrati nel metallo. È stato interessante notare che questo processo è stato più accentuato in MF-2, nel quale la superficie dell'incavo tendeva a staccarsi a scaglie, che in MF-1, sul quale invece si sono registrati distacchi di terracotta sotto forma di grumi.

I frammenti di entrambe le matrici sono stati recuperati e conservati nel caso in cui possano servire per ulteriori analisi in futuro.

Al termine delle colate, l'incavo di MF-2 si presentava decisamente malridotto e scarsamente ancora utilizzabile, sebbene è da rilevare come la crepa creatasi in fase di cottura non abbia compromesso né la fruibilità o la tenuta della matrice né la riuscita delle colate (Figg. 13 a-b). L'incavo di MF-1, invece, sebbene anch'esso visibilmente segnato

dalle colate di metallo fuso, appare in condizioni migliori e sicuramente riutilizzabile per un numero imprecisato di future fusioni (Fig. 14 a-b).



Fig. 12. Sferule di rame presenti sulla matrice MF2 a fine fusione. *Copper droplets on the MF2 mould at the end of the casting.*



Fig. 13 a-b. Alterazione della matrice MF2 dopo la prima e la seconda fusione di lingottini. *Alteration of the MF2 mould after the first and second ingot casting.*



Fig. 14 a-b. Alterazione della matrice MF1 dopo la prima e la quinta fusione di lingottini. *Alteration of the MF2 mould after the first and fifth ingot casting.*

ANALISI E MISURE DEI LINGOTTI OTTENUTI

L'attività di fusione è durata per circa due ore, durante le quali sono stati prodotti un totale di dieci lingotti, cinque per ciascuna matrice (MF-1 e MF-2) (Fig. 15 a-e; Fig. 16 a-e). Per velocizzare il processo si è scelto di procedere alternando le matrici, in modo da averne sempre una al cui interno il lingotto si raffreddava mentre l'altra, estratto il lingotto raffreddatosi, era posta a scaldarsi, in modo da diminuire la differenza di temperatura tra la matrice e il metallo fuso e, di conseguenza, ridurre anche i rischi di rottura relativi allo shock termico.

I dieci lingotti ottenuti sono identificati con la lettera "R" (rame) seguita da un numero crescente, abbinato al codice della matrice utilizzata nella fusione (abbiamo così i lingotti MF-1/R1, MF-2/R1, MF-1/R2 e così via fino ai lingotti MF-1/R5 e MF-2/R5, che sono rispettivamente il nono e il decimo creati).



Fig. 15 a-e. La forma di fusione MF1 e i cinque lingottini ottenuti. *MF1 mould with respective ingots.*



Fig. 16 a-e. La forma di fusione MF2 e i cinque lingottini ottenuti. *MF2 mould with respective ingots.*

Di seguito sono riportati i pesi e le misure di ciascun lingotto:

MF-1/R1: Peso 91 g; Lungh. max. 4,4 cm; Largh. max. 3 cm; Spess. max. 1,5 cm
 MF-2/R1: Peso 110 g; Lungh. max. 4,6 cm; Largh. max. 3,2 cm; Spess. max. 1,8 cm
 MF-1/R2: Peso 85 g; Lungh. max. 4,3 cm; Largh. max. 2,9 cm; Spess. max. 1,4 cm
 MF-2/R2: Peso 92 g; Lungh. max. 4,4 cm; Largh. max. 3 cm; Spess. max. 1,8 cm
 MF-1/R3: Peso 114 g; Lungh. max. 5 cm; Largh. max. 3 cm; Spess. max. 1,8 cm
 MF-2/R3: Peso 92 g; Lungh. max. 4,3 cm; Largh. max. 3,2 cm; Spess. max. 1,6 cm
 MF-1/R4: Peso 105 g; Lungh. max. 4,7 cm; Largh. max. 3 cm; Spess. max. 1,8 cm
 MF-2/R4: Peso 97 g; Lungh. max. 4,4 cm; Largh. max. 3,2 cm; Spess. max. 1,6 cm
 MF-1/R5: Peso 93 g; Lungh. max. 4,6 cm; Largh. max. 3 cm; Spess. max. 1,6 cm
 MF-2/R5: Peso 105 g; Lungh. max. 4,4 cm; Largh. max. 3,3 cm; Spess. max. 1,6 cm

Da questi rilevamenti si può ottenere il seguente peso medio, espresso in g:

	R1	R2	R3	R4	R5	Peso medio
MF-1	91	85	114	105	93	97,6
MF-2	110	92	92	97	105	99,2

Il peso minimo registrato è stato di 85 g, quello massimo di 114 g. Cinque lingotti superano i 90 g, quattro i cento e solo uno ha un peso inferiore a 90 g.

Pur tenendo conto di alcune variabili, tra cui il fatto che le matrici sono repliche di un originale frammentario, il progressivo logorio degli incavi delle due matrici e la colata non sempre uniforme, dovuta al fatto che a volte è stato versato troppo metallo, altre volte troppo poco, questo esperimento ha comunque consentito di ottenere dieci lingotti del peso medio molto vicino ai 99 g di rame.

RICOSTRUZIONE DEL PUGNALE: MATRICI, FUSIONI, LAVORAZIONI E RIFINITURA, DATI DI PESO DEI GREZZI DI FUSIONE

Parallelamente è stato deciso di replicare anche il pugnale rinvenuto nella medesima grotta in modo da poterne verificare il peso al "grezzo di fusione", cioè appena estratto dalle matrici, e confrontarlo con il peso dei lingotti ottenibili dalla replica della matrice di fusione. Replicare il pugnale avrebbe anche dato modo di testare l'effettiva utilità dell'affilatoio, da una parte verificando se le tracce visibili su di esso possano appartenere alla lama di un pugnale, dall'altra analizzando possibilmente le eventuali tracce di questo lasciate sulla superficie dell'arma, usando una pietra arenaria.

Per quanto riguarda il pugnale in bronzo le misure dell'originale, inv. 57787, sono le seguenti: Lungh. 14,7 cm; Largh. 2,1 cm; Spess. del codolo 0,3 cm; Spess. della costolatura (lunga fino a metà lama) 0,25 cm; Spess. della lama senza costolatura 0,2 cm.

È stato deciso di ricostruire tre copie del pugnale in bronzo, in modo da poter avere una mole maggiore di dati da confrontare. Il primo pugnale, denominato B-1, è stato lasciato al grezzo di fusione (Fig. 17), così da avere un riscontro preciso sulla quantità totale di metallo necessaria per fonderne uno. Il secondo e il terzo esemplare, rispettivamente B-2 e B-3, sono stati portati a livelli diversi di lavorazione.

In B-2 sono stati asportati il cono di colata e le bave di fusione, mentre la superficie è stata lisciata con una cote in arenaria fino a ottenere un semilavorato del quale è stato misurato il peso (Fig. 18).



Fig. 17. Repliche in bronzo del pugnaleto rinvenuto nella Grotta dei Baffoni. Il primo pugnale, denominato B-1, è stato lasciato al grezzo di fusione. *Bronze replicas of the dagger found at Grotta dei Baffoni. The first dagger, called B-1, was left in the rough casting.*



Fig. 18. Replica B2 del pugnaleto in bronzo della Grotta dei Baffoni. *Bronze replicas B2 of the dagger found at Grotta dei Baffoni.*

Nel pugnale B-3 è stato raggiunto lo stesso stato di lavorazione e poi portato oltre, forando il codolo, immanicandolo e affilandolo, in modo da poter fare un confronto con i dati raccolti dagli altri due pugnali e ottenere un esemplare finito sul quale studiare nel tempo i segni lasciati dall'utilizzo, in modo da poterli confrontare con il reperto originale, e utilizzabile anche per eventuali future esposizioni o lezioni didattiche (Fig. 19).



Fig. 19. Replica B3 del pugnaleto in bronzo della Grotta dei Baffoni che è stato immanicato e affilato.

B3 replica of the bronze dagger from the Grotta dei Baffoni which has been handled and sharpened.

Stanti queste premesse, si è proceduto con la realizzazione della matrice bivalve, ottenuta incidendo con due scalpelli in acciaio (a punta rettangolare e curva) la superficie di due mattoni refrattari marca Alfa, numerati 1 e 2.

Praticata l'incisione, sono state serrate usando una corda e sono stati impiegati per una colata preliminare in piombo che aveva lo scopo di verificare eventuali asimmetrie e disallineamenti tra le matrici. Il pugnale plumbeo così ottenuto, denominato P-1, non evidenziava però difetti di sorta; si è quindi proceduto con la fusione dei tre pugnali grazie all'utilizzo della fornace elettrica Melting Furnace MF modello 3000, settata per lavorare ad una temperatura di 1150°C.

Per quanto riguarda la lega di rame utilizzata nella produzione dei pugnali in bronzo, essa è stata composta aggiungendo il 10% di stagno al peso iniziale del rame, che rappresenta una media tra i valori in percentuale dedotti dall'analisi dei coevi pugnali di Moscosi di Cingoli.

Di seguito le misurazioni e i dati registrati:

- B-1 (pugnale in bronzo, lasciato al grezzo di fusione): Peso 99 g; Lungh. max. 16 cm (di cui 3 di codolo); Largh. max. alla spalla 2,1 cm; Spess. del codolo 0,3 cm; Lungh. della costolatura a partire dalla spalla 8,5 cm; Spess. della costolatura alla spalla 0,3 cm; Spess. della costolatura al centro della lama (8 cm) 0,3 cm; Spess. della costolatura sul punto finale 0,2 cm; Spess. della lama senza costolatura 0,2 cm
- B-2 (pugnale in bronzo, al grezzo di fusione); Peso 99 g; Lungh. max. 16 cm (di cui 3 di codolo); Largh. max. alla spalla 2,1 cm; Spess. del codolo 0,35 cm; Lungh. della costolatura a partire dalla spalla 8,5 cm; Spess. della costolatura alla spalla 0,4 cm; Spess. della costolatura al centro della lama (8 cm) 0,4 cm; Spess. della costolatura sul punto finale 0,25 cm; Spess. della lama senza costolatura 0,2 cm
- B-2 (pugnale in bronzo, senza cono di colata): Peso 56 g
- B-2 (pugnale in bronzo, dopo rifinitura): Peso 52 g; Lungh. max. 15,7 cm (di cui 3 di codolo); Largh. max. alla spalla 2,1 cm; Spess. del codolo 0,3 cm; Lungh. della costolatura a partire dalla spalla 8,5 cm; Spess. della costolatura alla spalla 0,35 cm; Spess. della costolatura al centro della lama (8 cm) 0,3 cm; Spess. della costolatura sul punto finale 0,2 cm; Spess. della lama senza costolatura 0,2 cm
- B-3 (pugnale in bronzo, al grezzo di fusione): Peso 99 g; Lungh. max. 16,1 cm (di cui 3 di codolo); Largh. max. alla spalla 2,1 cm; Spess. del codolo 0,4 cm; Lungh. della costolatura dalla spalla 8,5 cm; Spess. della costolatura alla spalla 0,4 cm; Spess. della costolatura al centro della lama (8 cm) 0,4 cm; Spess. della costolatura sul punto finale 0,3 cm; Spess. della lama senza costolatura 0,2 cm.

Dal confronto tra queste misurazioni emerge un dato davvero molto importante: il peso di tre pugnali grezzi, fusi nella stessa matrice, ma in tre momenti diversi, è sempre di 99 g, dei quali il 90% di rame (circa 90 g) e il 10% di stagno (circa 9 g).

Alcune importanti informazioni sono state ottenute anche nella lavorazione dei pugnali B-2 e B-3. Innanzitutto, si è osservato che utilizzando un seghetto per metalli per asportarne i coni di colata, in entrambi i casi, il seghetto scivola verso l'esterno all'incirca alla fine del taglio, il che conferisce ai codoli, visti di fronte, un profilo lineare da un lato e più appuntito dall'altro, profilo che si può apprezzare anche nell'originale e che spinge a domandarsi se anche per recidere il cono di colata di quello si sia usato un seghetto a mano.

Secondariamente, si è notato come l'utilizzo continuo della cote sulle superfici metalliche di entrambi i pugnali vi abbia lasciato delle striature irregolari che sono assolutamente compatibili con quelle che si possono apprezzare sul reperto originale, inducendo a ipotizzare che anche per rifinire e lucidare quello, sia stata usata una pietra simile, se non proprio l'affilatoio rinvenuto nella Grotta dei Baffoni.

A proposito dell'affilatoio, e tenuto conto della probabile differenza petrografica e granulometrica tra questo e la cote utilizzata nell'esperimento, entrambi di arenaria⁶, è da segnalare come quest'ultima non abbia riportato segni di utilizzo confrontabili con quelli che caratterizzano il reperto archeologico quando è stata usata per affilare piuttosto che per lucidare.

L'affilatoio trovato nella Grotta dei Baffoni presenta un solco che è il risultato di uno sfregamento continuo contro una lama metallica. Un utilizzo pressoché costante e ripetuto nel tempo che, alla lunga, ha inciso la pietra sempre nel medesimo punto. Per affilare la lama della replica del pugnaleto è stata usata una cote in arenaria, ma si è trattato di un utilizzo breve, che non ha consentito alla lama di incidere la pietra.

Invece, usando la cote per lucidare il pugnale (cioè mettendola parallela alla lama e sfregandola contro), sulla superficie della lama si sono create delle striature e righe che sono assolutamente coerenti con quelle presenti sulla superficie del pugnaleto originale.

⁶ L'affilatoio della Grotta dei Baffoni è di arenaria a grana medio-fine ($\phi=2$) ben classata. Su una faccia presenta una concavità dovuta al lungo utilizzo come affilatoio, mentre le incisioni subparallele superficiali che si notano in corrispondenza del solco sembrano essere di formazione recente, non sappiamo quando e come ottenute.

Ne è stato dedotto che l'affilatoio, o comunque una pietra simile, sia stato usato per lucidare il pugnale, mentre per quanto riguarda l'affilatura non è stato possibile affermare lo stesso, dato che l'utilizzo a questo scopo della cote impiegata nell'esperimento è stato molto limitato nel tempo, tale da non incidere la pietra affilando la lama del pugnale.

Tuttavia, lo sfregamento causato dall'azione del lucidare ha causato il deposito sulla cote di minutissimi frammenti metallici, quasi una polvere, che ha ricoperto alcune porzioni. Potrebbe quindi essere interessante, in futuro, analizzare l'affilatoio originale per individuare eventuali simili residui.

Per quanto riguarda, infine, la registrazione di tracce d'uso e di logorio dovute all'utilizzo del pugnale B-3, essa è ancora in pieno svolgimento poiché questo pugnale è ancora nuovo e che queste tracce arriveranno soltanto con un utilizzo assiduo e continuato nel tempo. Il proposito è dunque di produrre un resoconto dettagliato una volta che sarà stato possibile raccogliere più dati.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Questo esperimento ha fornito una mole importante di dati. Di seguito un riassunto essenziale di quelli relativi all'ipotesi che il blocco in terracotta possa essere una matrice per lingotti:

- MF-1 e MF-2, rispettivamente in terra di campo e argilla, sono state cotte ad una temperatura media di 465,31°C e 755,5°C
- B-1, B-2 e B-3, le repliche del pugnale della grotta dei Baffoni, realizzate in lega di rame al 10% di stagno, al grezzo di fusione hanno fatto registrare tutte e tre lo stesso peso di 99 g
- Il peso medio dei lingotti di rame puro ottenuti con MF-1 è stato di 97,6 g
- Il peso medio dei lingotti di rame puro ottenuti con MF-2 è stato di 99,2 g
- Le continue colate di rame fuso negli incavi di MF-1 e MF-2 hanno lasciato tracce e causato logorio compatibili con quelli osservabili sul reperto originale (colorazioni nero-verdastra, scorie di metallo fuso, fratture, fessurazioni e distacco di porzioni di materiale dalle matrici)

Altre conclusioni accessorie all'esperimento hanno riguardato altri dettagli, e sono le seguenti:

- Di quattro matrici cotte, MF-4 (argilla bianca) si è disintegrata, MF-3 (argilla bianca) è risultata inutilizzabile e MF-1 (terra di campo) e MF-2 (argilla rossa) si sono potute usare con successo
- La lavorazione di B-2 e B-3 con strumenti simili a quelli ipotizzabili in antico (seghetto, pietra abrasiva) ha lasciato sui pugnali delle tracce di lavoro confrontabili con quelle sull'originale (profilo del codolo, striature sulla superficie)
- La lavorazione dei pugnali con la cote A ha lasciato sulla stessa alcune tracce che potrebbero essere ricercate anche sul reperto originale.

Interpretando i dati riportati in questo secondo gruppo, si possono trarre alcune conclusioni.

Innanzitutto, sembra che la terra di campo sia di gran lunga il materiale migliore per realizzare una matrice, mentre tra le argille solo la tipologia rossa ha consentito di raggiungere qualche risultato.

È poi confermata la validità della metodologia sperimentale quale ausilio allo studio dei reperti: le tracce di lavoro e logorio registrate sugli strumenti utilizzati sono pienamente confrontabili con quelle osservabili sugli originali, al punto da poter prendere in considerazione delle analisi condotte in senso inverso, ovvero cercare sulle originali tracce di lavoro osservabili sulle ricostruzioni utilizzate.

Questo ci porta all'esame dei dati riportati nel primo gruppo, cui seguiranno le conclusioni in base alle ipotesi formulate al principio dell'esperimento.

Una delle osservazioni più interessanti da fare è sul mutamento di colore avvenuto negli incavi di MF-1 e MF-2 (Figg. 13 a-b e 14 a-b), i quali hanno raggiunto la stessa tonalità riscontrabile nel reperto originale. Dato che in entrambe le repliche ciò è avvenuto come conseguenza delle colate di metallo fuso, a questo punto si può ipotizzare che lo stesso sia capitato nell'originale, confermandone l'identificazione come forma di fusione.

A questa conferma concorre anche la presenza in MF-2 di goccioline di metallo fuso sulla superficie (Fig. 12), similmente a quelle del reperto archeologico, ma in quel caso presenti all'interno dell'incavo e dunque non contestuali con l'utilizzo della matrice in fase colatura del metallo fuso.

Meno definibile, perché soggetta a un numero più ampio di variabili (qualità della materia prima, tempo, temperatura e modalità di essiccazione e cottura di repliche e originale, ecc...) è un'eventuale relazione tra le modalità di realizzazione di MF-1 e MF-2 e l'originale: al di là di certe analogie riscontrabili soprattutto per quanto riguarda le fratture subite da MF-2 in fase di cottura e il logorio delle matrici in fase di colata, non si dispongono ancora di dati sufficienti per stabilire quale delle due repliche sia stata realizzata in maniera più simile al reperto. MF-1 e MF-2 possono comunque costituire delle buone basi di partenza per indagare il reperto alla ricerca di tracce riguardanti la modalità d'impiego.

Fatte salve tutte le riserve del caso, e pur considerando un certo margine d'errore nelle misurazioni appare comunque chiaro che il blocco di argilla fosse una matrice di fusione, che si può identificare come singola e che, a parere dello scrivente, trova la sua unica destinazione d'uso nella realizzazione di lingottini metallici di peso abbastanza regolare e ben definito.

A partire da questo presupposto, che conferma l'ipotesi formulata al principio dell'esperimento, si può solo supporre chi, in che tempo e per quale motivo abbia utilizzato l'originaria forma da fusione.

Il fatto di averla ritrovata nel medesimo ambiente, seppur non nello stesso contesto stratigrafico, di un affilatoio e di un pugnale di bronzo può non essere casuale: si trattava forse di uno o due fonditori itineranti stabilitisi nella grotta con gli strumenti del loro mestiere nello stesso o in due momenti cronologici differenti? Oppure matrice e pugnale hanno avuto utilizzo e finalità diversi, l'uno connesso all'attività di un metallurgo e l'altro accessorio oppure offerta di un personaggio di rango?

Il fatto che il pugnale di bronzo pesasse 99 g al grezzo e il fatto che la matrice di terracotta potesse generare lingotti di rame puro di un peso simile, da arricchire poi di un 10% di stagno, e che il totale risultante sarebbe bastato a fondere un pugnale come quello della Grotta dei Baffoni, rende suggestivo ipotizzare un loro collegamento.

Anche il fatto che sulla superficie del pugnale di bronzo si riscontrino tracce di lisciatura dovute allo strofinio di una pietra, come poteva essere l'affilatoio in arenaria, avvalorerebbe l'ipotesi che il manufatto metallico possa essere stato prodotto nella Grotta dei Baffoni utilizzata come un laboratorio dove nel corso del Bronzo recente fu prodotto il pugnale di bronzo.

Sembra comunque essere più plausibile la provenienza dei due manufatti (matrice e pugnale) da due fasi di frequentazione diverse, mentre non si hanno sicuri dati stratigrafici per collegare a uno o all'altro l'affilatoio, la cui associazione con il frammento di olla databile all'età del Rame potrebbe anche non essere quella di deposizione originaria.

Sembrerebbe comunque essersi trattato di un metallurgo che utilizzava la sua matrice di fusione per ottenere lingottini tutti uguali, più facili da usare, più comodi da trasportare e, soprattutto, ai quali era più facile dare un valore preciso. Queste letture sono però frutto di supposizioni e interpretazioni sulle quali lavorare in futuro e solo con l'auspicata acquisizione di nuovi e attendibili dati di scavo.

M.F.

ANALISI QUANTOMETRICA DELLA GOCCIA METALLICA PRELEVATA DALLA MATRICE IN TERRACOTTA

Dalla matrice in terracotta è stata prelevata una delle quattro goccioline di metallo più piccole, del diametro di 0,8 mm (Fig. 20).



Fig. 20. Particolare dell'incavo della matrice con le cinque sferule metalliche: in rosso quella prelevata per le analisi metallotecniche. *Detail of the mould with the five metal droplets: in red the sampled one for metallotechnical analyzes.*

Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche dal prof. Marcello Cabibbo mediante un SEM Vega® ambientale della Tescan™, equipaggiato da EDS EDAX con correzione ZAF del segnale acquisito.

Sono state analizzate le diverse zone di cui era costituita la goccia di metallo solidificato ed estratta da una zona periferica dello stampo in terracotta.

Come riportato dalla documentazione di figura 17, la goccia di metallo solido è costituita da due zone, una esterna a diretto contatto con agenti atmosferici, e una interna ben adesa alla matrice di terracotta che presenta una superficie molto liscia con scanalature di ricalco della morfologia superficiale della matrice stessa sulla quale era depositata la goccia.

La superficie di contatto metallo-matrice può essere stimata in ca. 1/3 dell'intera superficie non visibile della goccia solida (Fig. 21). Ovvero, la morfologia della goccia si può pensare essere costituita da due calotte, una superiore, e quindi direttamente esposta agli agenti atmosferici, e una inferiore, dove solo ca. 1/3 della superficie era effettivamente adesa e a stretto contatto con la matrice di terracotta. A tale riguardo, giova qui specificare che le analisi quantometriche eseguite al SEM hanno coinvolto la sola superficie di contatto goccia metallica-matrice di terracotta. Questo è essenzialmente dovuto alla più facile e immediata valutazione degli elementi costitutivi la goccia metallica che su questa porzione di superficie inferiore non ha avuto modo di essere alterata e contaminata nel tempo da agenti presenti in atmosfera. Al contrario, le zone granulari visibili chiaramente nella micrografia SEM di sinistra in figura 1, sono il risultato di alterazioni ambientali e formazione di composti di tipo ossidativo e solforoso generati nel lungo tempo di esposizione diretta con agenti ambientali. Di fatto, come chiaramente documentato dalla figura 1, la porzione di superficie adesa alla matrice presenta piccoli solchi lineari e scanalature entrambi originati dal calco che la goccia metallica, prima liquida e poi solidificatasi per raffreddamento ambientale, ha prodotto a contatto con la matrice di terracotta.

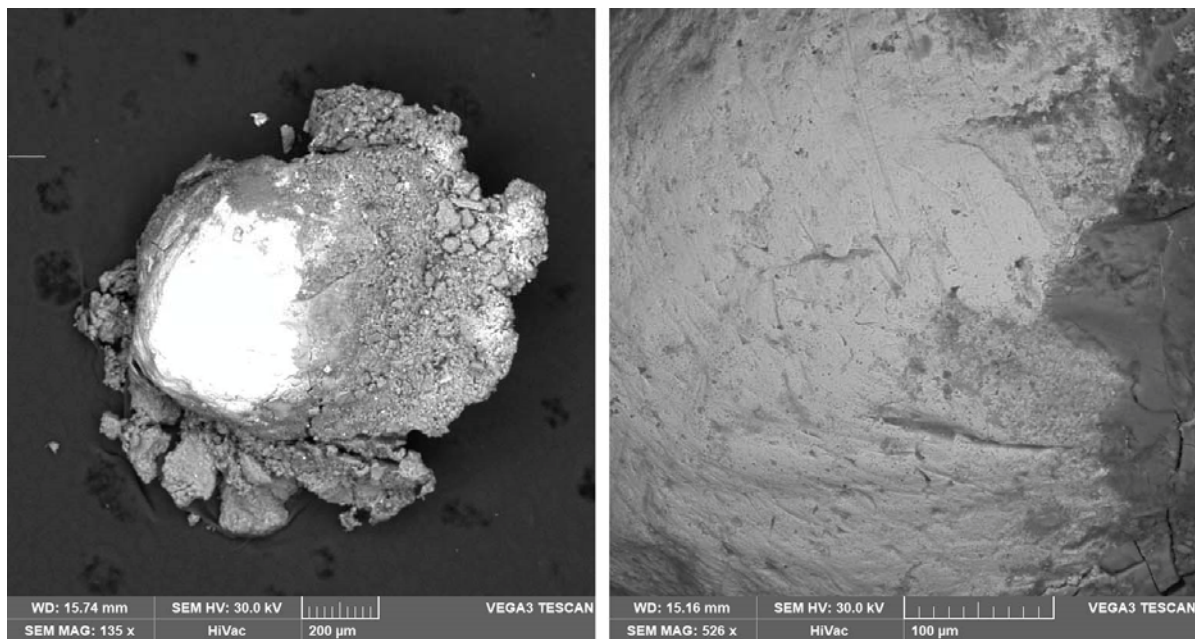


Fig. 21. A sinistra, visione d'insieme al SEM della goccia metallica solida estratta dalla matrice; a destra un dettaglio a bassi ingrandimenti della zona di interfaccia tra la superficie adesa alla matrice (parte più chiara) e la superficie esposta ad agenti ambientali (parte più scura sul fianco destro dell'immagine).

Left, SEM overview of the solid metal droplet extracted from the mould; Right, a detail at low magnification of the interface area between the surface attached to the mould (lighter side) and the surface exposed to environmental agents (darker side).

A supporto di quanto fin qui esposto, si riporta un'analisi di elementi mediante EDS al SEM rappresentativa delle decine effettuate su diversi punti della superficie esposta. Ebbene, risulta chiara la presenza di silicati (Si), solfati (S) e ossidi di rame (O) (Fig. 22 a-b). Di fatto, le analisi quantometriche degli elementi chimici che costituiscono la goccia metallica qui analizzata mediante EDS al SEM hanno messo in luce la presenza di rame con tracce di ossidazione e solfatazione (rilevata presenza di ossigeno e zolfo, e quindi presumibile presenza di Cu_2O e CuSO_4).

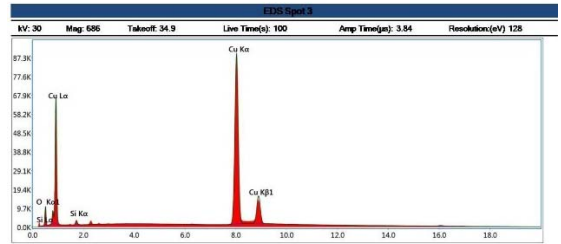
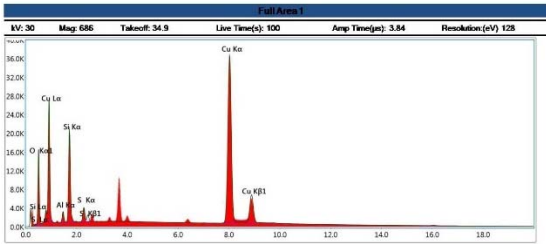
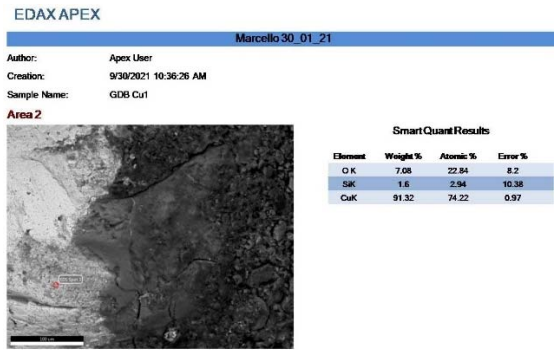
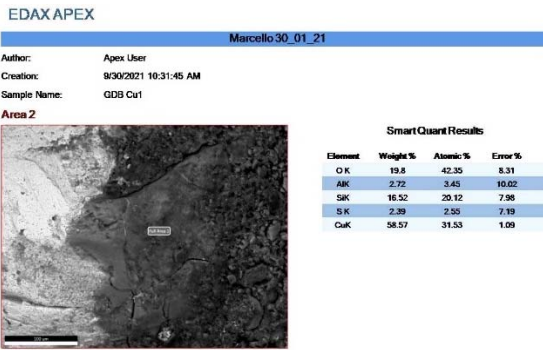


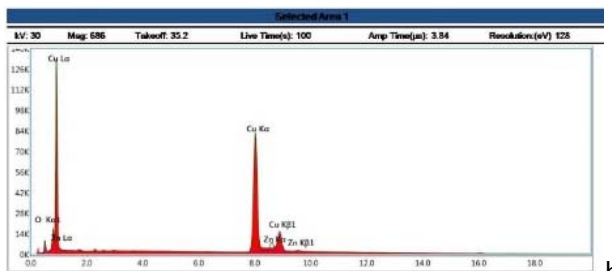
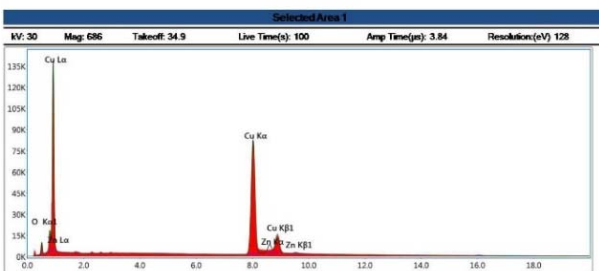
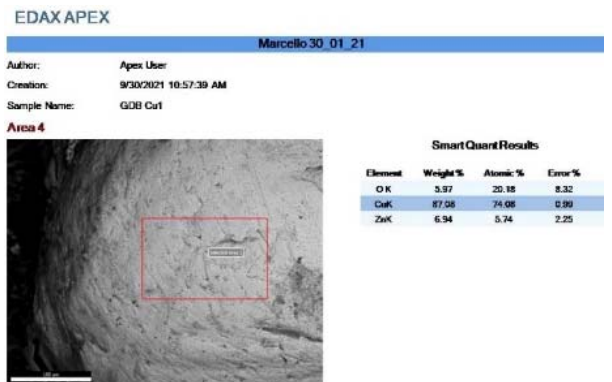
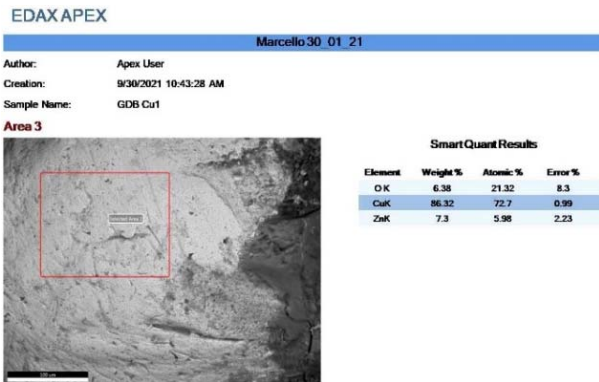
Fig. 22 a-b. Analisi EDS rappresentative eseguite in corrispondenza della superficie inferiore esposta agli agenti ambientali dove sono evidenti tracce di Si, S e O.

EDS analyzes carried out at the lower surface exposed to environmental agents where traces of Si, S and O are evident.

Al contrario, la porzione di superficie inferiore di contatto con la matrice non presenta tracce di silicio, né di zolfo, ma al contrario presenta una significativa presenza di zinco (Zn).

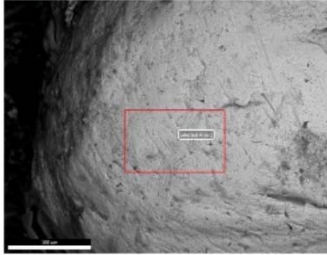
Pertanto, sulla base di questi aspetti morfologici e quantitativi di analisi degli elementi che costituiscono le diverse zone della goccia metallica, nel seguito si fa riferimento alla sola porzione di goccia metallica rimasta per tutto questo tempo adesa alla matrice di terracotta.

Nel seguito sono riportate le analisi EDS eseguite ed estese a tre porzioni della superficie inferiore a contatto con la matrice (Fig. 23 a-b-c).



Author: Apex User
 Creation: 9/30/2021 11:03:33 AM
 Sample Name: GDB Cu1

Area 4



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
O K	8.35	21.25	8.3
CuK	86.79	73.13	0.99
ZnK	8.86	5.62	2.31

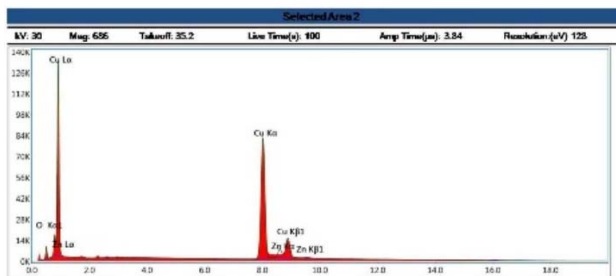


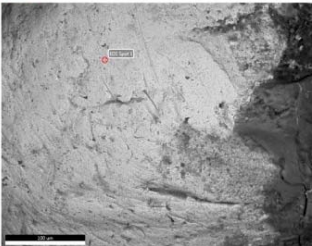
Fig. 23 a-b-c. Tre analisi di area rappresentative della natura chimica della goccia metallica rinvenuta a contatto con la matrice di terracotta. Si noti la costante presenza di zinco, segno che la goccia era costituita da rame-zinco, con tenori di zinco non inferiori ad 8% vol. La presenza di ossigeno rivela la formazione di ossido di rame (Cu_2O) in quanto il rame ha una forte tendenza all'ossidazione.

Analyzes representative of the chemical nature of the metallic spherules found in the terracotta mould. Worth of note is the constant presence of zinc, a sign that the droplet was made up of copper-zinc, with Zn content not less than 8% vol. The presence of oxygen reveals the formation of copper oxide (Cu_2O) as copper has a strong tendency to oxidation.

Per meglio valutare l'effettiva quantità di zinco nella goccia metallica, sono state eseguite analisi puntuali su diverse zone della porzione di superficie a contatto con la matrice. Alcune di queste analisi, a titolo esemplificativo, sono riportate in Fig. 24 a-b. Sulla base di queste misure di punto, estrapolando a zero la quantità di ossigeno, che, come detto, forma ossidi di rame del tipo Cu_2O , si è potuto risalire all'effettiva quantità in % vol. dello zinco rispetto al rame. Ebbene, la quantità di zinco può essere stimata in ragione di 8-12 % vol. La goccia metallica sarebbe così costituita da un composto di $\text{Cu}_{88}\text{-Zn}_{12}$ / $\text{Cu}_{92}\text{-Zn}_8$.

Author: Apex User
 Creation: 9/30/2021 10:45:18 AM
 Sample Name: GDB Cu1

Area 3



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
O K	4.6	16.11	8.69
CuK	87.2	76.86	0.98
ZnK	8.2	7.03	2.11

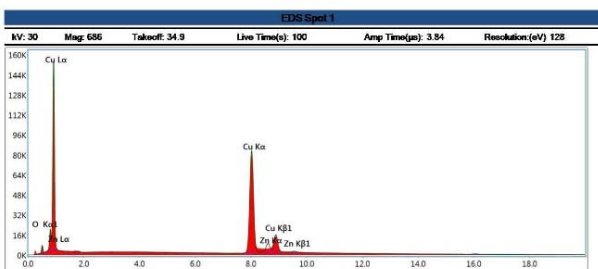
Author: Apex User
 Creation: 9/30/2021 10:59:35 AM
 Sample Name: GDB Cu1

Area 4

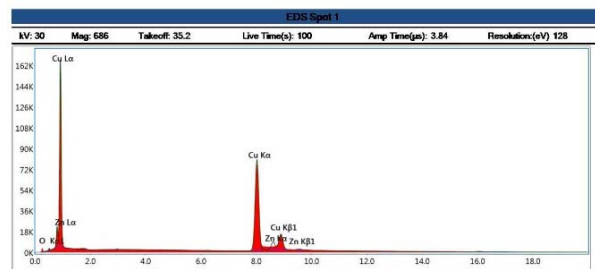


Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
O K	1.42	5.42	10.29
CuK	89.58	86.16	0.97
ZnK	9	8.42	2.06



a

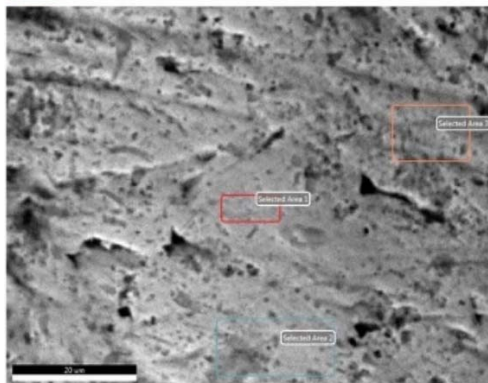


b

Fig. 24 a-b. Due analisi di punto rappresentative effettuate in corrispondenza della superficie di contatto con la matrice.
 Two punctual analyzes carried out at the contact surface with the mould.

Author: Apex User
 Creation: 10/5/2021 11:17:17 AM
 Sample Name: New Sample

Area 2

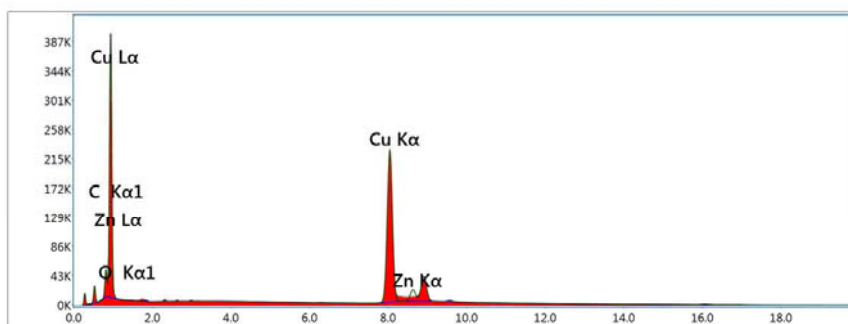


Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 1			
O K	1.83	6.88	10.44
CuK	98.17	93.12	0.99
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 2			
O K	4.24	14.95	9.01
S K	0.34	0.6	17.58
AgL	0.68	0.35	12.24
CuK	94.74	84.1	1
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 3			
O K	4.43	15.49	8.93
S K	0.33	0.57	12.28
CuK	95.25	83.94	1.01

kV: 30 Mag: 686 Takeoff: 35.2 Live Time(s): 270.8 Amp Time(us): 3.84 Resolution(eV): 128

Sum Spectrum



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Kratio	Z	A	F
C K	12.16	37.10	320.84	0.0290	1.2279	0.1940	1.0000
O K	7.20	16.49	522.48	0.0198	1.1900	0.2313	1.0000
CuK	74.29	42.85	13512.23	0.7050	0.9360	1.0076	1.0061
ZnK	6.35	3.56	1016.20	0.0594	0.9374	0.9934	1.0051

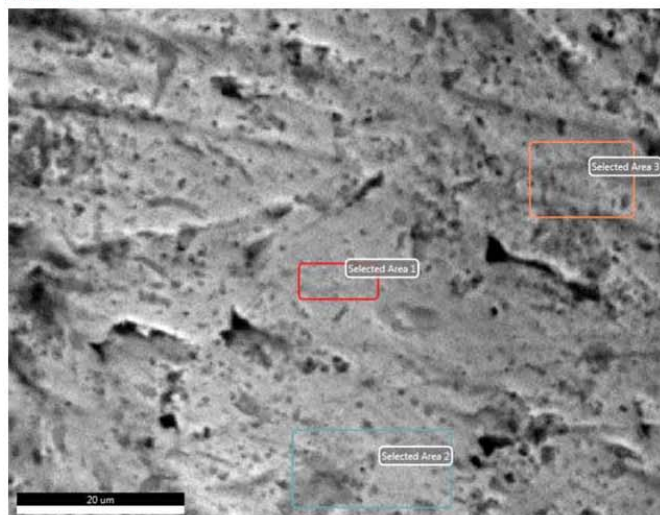
Fig. 25 a-b. Mappe composizionali con indicazione quantitativa degli elementi rilevati.
 Compositional maps with quantitative measurement of detected elements.

Inoltre, sono state eseguite ulteriori analisi di area con identificazione contemporanea di tutti gli elementi presenti. Si tratta di mappe composizionali che mostrano la diffusione della presenza degli elementi chimici rilevati (Fig. 25 a-b). Infine, è utile evidenziare che unitamente alla diffusa presenza di zinco, in alcune sporadiche zone della porzione interna della superficie inferiore a contatto con la matrice (non esposta agli agenti atmosferici), sono state riscontrate piccole tracce di argento (in ragione di un modesto 0.3-0.5%vol.) (Fig. 26). Si precisa che questo modesto 0.5% vol. max. di argento è stato riscontrato in una modestissima frazione della superficie di contatto goccia-matrice. Si tratta pertanto di pure tracce di piccolissima entità rispetto alla più copiosa e significativa presenza di zinco.

M.C.

Author: Apex User
 Creation: 10/5/2021 11:17:17 AM
 Sample Name: New Sample

Area 2



SmartQuant Results

Element	Weight %	Atomic %	Error %
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 1			
O K	1.83	6.88	10.44
CuK	98.17	93.12	0.99
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 2			
O K	4.24	14.95	9.01
S K	0.34	0.6	17.58
AgL	0.68	0.35	12.24
CuK	94.74	84.1	1
Marcello 30_01_21 New Sample Area 2 Selected Area 3			
O K	4.43	15.49	8.93
S K	0.33	0.57	12.28
CuK	95.25	83.94	1.01

Spectrum Overlay

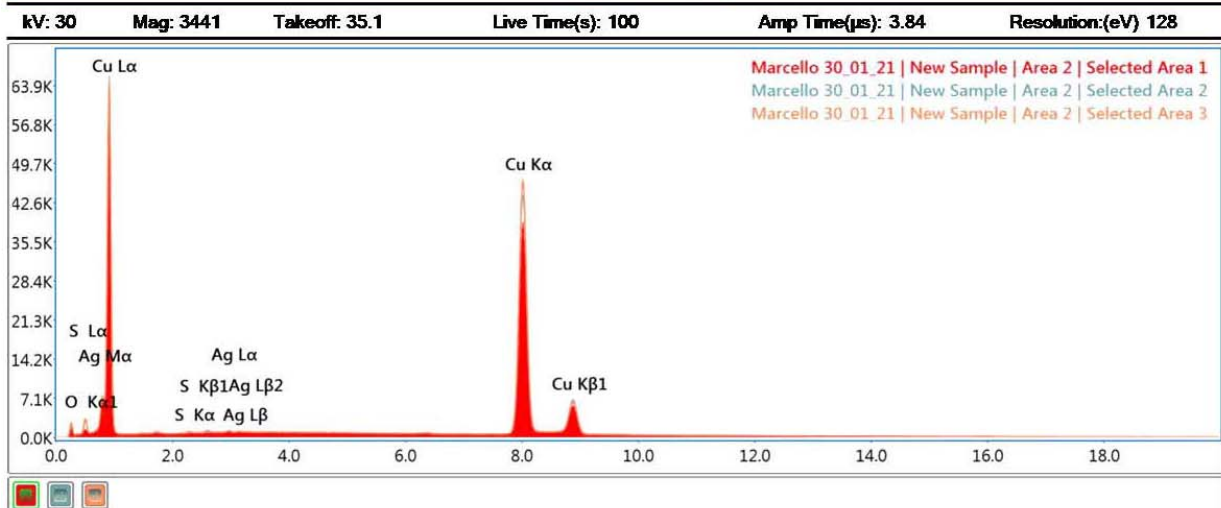


Fig. 26. Analisi EDS rappresentative delle piccole e sporadiche tracce di argento (Ag) rilevate sulla porzione di superficie della goccia a contatto con la matrice.

EDS analysis of the small and sporadic traces of silver (Ag) detected on the surface of the droplet in contact with the mould.

INTERPRETAZIONE E CONSIDERAZIONI

L'analisi sistematica effettuata sulla quasi totalità dell'estensione della superficie non affetta da interazioni ambientali, ha portato a determinare che il composto metallico che costituisce la goccia estratta dalla matrice è formato, stando alle rilevazioni effettuate in diverse zone, fino a un massimo del 92% di rame (Cu) e per una quantità di zinco (Zn) tra 8 e 12%. Inoltre, sono state rilevate anche sporadiche tracce di argento (Ag).

Un composto di rame e zinco, ma non una lega, dunque non frutto di alligazione intenzionale, casualmente rinvenuto sotto forma di millimetriche gocce sulla superficie interna dell'incavo della matrice. Un evento più che raro, venutosi

a creare, presumibilmente poiché alcune goccioline di metallo fuso sono schizzate saldandosi alla terracotta della matrice forse durante il processo di estrazione del rame da un minerale cuprifero grezzo del tipo tetraedrite-tennantite (minerale tipo Fahlerz), un solfuro misto di rame ricco in zinco, che un metallurgo stava fondendo in un vicino forno o crogiolo. Probabilmente si trattava di minerale già frantumato, più facile da trasportare dal sito primario di estrazione. L'evento osservato nella matrice della Grotta dei Baffoni sembra essersi verificato prima di raggiungere il punto di fusione dello zinco (419,5°C), minore di quello del rame (1083,4°C), che dunque si è fissato sulla terracotta assieme al rame. In fase di riduzione del minerale, quando ancora non era stata raggiunta la temperatura di fusione del rame, ma nemmeno quella dello zinco, alcune goccioline sarebbero schizzate dal punto dove stava avvenendo la fusione direttamente sulla superficie della matrice in terracotta, per poi solidificarsi rimanendo così saldate in superficie.

La fuoriuscita di gocce di metallo fuso può accadere per molti motivi, come ad esempio la colata troppo veloce dal crogiolo a uno stampo, la caduta di un oggetto estraneo (ad es. un frammento di carbone) nel crogiolo o nel forno all'aperto, la bollitura del metallo liquido, ma in questo caso la presenza di zinco suggerisce che si era nella fase iniziale dell'estrazione del metallo (Cu) da un minerale.

Questo evento è stato possibile dato che la matrice era posizionata a ridosso dell'area dove il metallurgo stava fondendo il minerale cuprifero dal quale ricavare il rame e della relativa fonte di calore, in quanto essa necessitava di essere pre-riscaldata per poter accogliere il metallo fuso senza pericolo di shock termico.

Le matrici in argilla hanno bisogno, infatti, di essere pre-riscaldate prima della fusione. Questo si fa per aumentarne la temperatura avvicinandola il più possibile a quella del metallo fuso. In questo modo si ottiene un duplice risultato: da un lato si riduce la possibilità che, durante la colata, la matrice si frantumi a causa dello shock termico derivante dalla differenza di temperatura tra la stessa e il metallo fuso, dall'altro il metallo fuso raffredderà più lentamente dopo la colata, limitando i ritiri di materiale in fase di raffreddamento.

Se il minerale di rame conteneva un'alta percentuale di zinco, questo si è potuto fissare alla terracotta della matrice conservandosi fino ad oggi. Questo perché le goccioline sarebbero schizzate prima del raggiungimento della temperatura di ebollizione dello zinco, che poi volatilizza.

Ora le uniche mineralizzazioni a solfuri misti contenenti rame e zinco, come i minerali di Fahlerz, abbastanza diffuse in area alpina e prealpina, sono presenti nell'Italia centrale nell'area delle Colline Metallifere e delle Alpi Apuane, tetraedrite-(Zn) e tennantite-(Zn), e ulteriori analisi, su eventuali futuri rinvenimenti di scorie, potrebbero indicare la provenienza forse precisa del minerale di rame, qui estratto da un metallurgo che utilizzava la grotta dei Baffoni come officina in un periodo che possiamo solo circoscrivere, stando alla quota negativa di rinvenimento della matrice, tra l'età del Rame e la prima età del Bronzo.

Le analisi metallografiche condotte su alcuni reperti rinvenuti nel non lontano insediamento eneolitico di Conelle di Arcevia con una lunga frequentazione nella seconda metà del IV fino agli inizi del III millennio a.C. (CAZZELLA, MOSCOLONI 1999, pp. 205-208), hanno indicato sia l'utilizzo di rame arsenicale formato da una significativa percentuale apparentemente ben definita e costante di arsenico (2,8-2,9%), sia la presenza di un campione, un frammento curvilineo descritto come un residuo di fusione o un manufatto non identificabile (CAZZELLA, MOSCOLONI 1999, fig. 48.4), composto quasi esclusivamente di rame con apprezzabili valori, tra gli elementi minori, di argento e zinco (rispettivamente 0,3 e 0,5 %), proveniente dalla fusione di un diverso minerale polimetallico a solfuri misti oppure da condizioni diverse di fusione. Si tratta di un dato molto significativo che indica un probabile processo metallurgico in loco suggerendo che, anche se in quantità limitate, solfuri di rame circolavano anche nella nostra regione ben oltre le zone di estrazione della Toscana e di altre regioni.

Nel villaggio di Pianacci di Genga a pochissimi chilometri dalla Grotta dei Baffoni, con due livelli di frequentazione del Neolitico finale e dell'Eneolitico (3630-3130 BC), sono stati rinvenuti "frustoli di rame" e un frammento non meglio identificabile (LOLLINI s.d. p. 94).

Nelle Marche colpisce la limitatezza di manufatti in rame negli abitati, oltre a Conelle di Arcevia e Pianacci di Genga altri indizi si hanno a Fontenoce-area Guzzini (un filo di rame a sezione quadrangolare assottigliato alle due estremità: SILVESTRINI, PIGNOCCHI 1998-2000, fig. 22.10) e a Maddalena di Muccia (una piccola lamina in rame dall'US 105: MANFREDINI *et alii* 2005, p. 441) e nelle sepolture (un'ascia da una tomba di Monte San Vito e un'ascia e un pugnale da una presumibile tomba da Colli del Tronto) (COLINI 1998, tav. XIV, fig. 10; CARANCINI cds).

La limitatezza di manufatti in rame nelle Marche potrebbe essere determinata sia dalla scarsità di materia prima con conseguente povertà di un'avviata produzione locale oltre che dalla limitata importazione di prodotti finiti, ma forse anche al diffuso riciclaggio del poco rame disponibile. Delle asce e pugnali eneolitici rinvenuti nelle Marche, inoltre, si conosce ben poco del luogo e del contesto di ritrovamento trattandosi per lo più oggetti sporadici dei quali è noto nella maggioranza dei casi solamente il comune di provenienza.

Nelle Marche un'unica isolata attestazione di un pugnale in metallo è il tipo a base ogivale affine al tipo della facies del vaso campaniforme (BIANCO PERONI 1994, p. 14 n. 82, tav. 7.82) dalla provincia di Ascoli Piceno (PIGNOCCHI 2018, fig. 1.16). Il pugnale, della fase finale dell'Eneolitico, fa parte di un gruppo di ritrovamenti distribuiti lungo la direttrice tiberina dell'Umbria, presente però anche nella tomba del capo tribù di Mirabella Eclano (BIANCO PERONI 1994, n. ???).

Particolarmente interessante la presenza nel territorio di Offida di un'ascia a margini rialzati che rientra nello stesso tipo dell'ascia dalla medesima tomba di Mirabella Eclano (CARANCINI cds n. 344).

Dalle Marche asce di tipologia antica provengono dalla collezione Augelli Monti di Arcevia (CARANCINI cds n. 79), da Pedaso (CARANCINI cds n. 121) e da Ascoli Piceno (K 234) (CARANCINI cds n. 128), stando a documentare in un momento antico dell'Eneolitico compreso nel IV millennio a. C. l'avvio anche nel nostro territorio di un'attività metallurgica autoctona nella produzione di oggetti importanti come le asce, oppure l'importazione di strumenti finiti dalla Toscana o dall'Umbria.

Ben tre asce tra la seconda metà del IV millennio e i primi trecento anni del III millennio a. C. presentano caratteristiche simili con profilo sub-romboidale e un rilievo dei margini concentrato nel tratto centrale (CARANCINI cds nn. 204, 210, 208). Due di esse provengono dall'area del Conero a sud di Ancona (Camerano e Sirolo: CARANCINI cds nn. 204 e 210), mentre la terza da Colli del Tronto, nella provincia ascolana (CARANCINI cds n. 208). Quest'ultima in particolare risulta provenire da una tomba distrutta in seguito a lavori agricoli in contrada Piangiorgio, fondo Palmucci in associazione ad un pugnale a base ogivale con due chiodi probabilmente del tipo Guardistallo e a due punte di freccia in selce, come risulta dallo schizzo di Giulio Gabrielli (taccuino 9 p. 53).

Più recente l'ascia, inquadrata nel III millennio a.C., da una tomba non bene documentata da San Vito di Monte San Vito (AN) (COLINI 1998, tav. XIV, fig. 10; CARANCINI cds n. 148).

Dunque, per le Marche un'attestazione molto limitata di oggetti in rame, che comunque coprono l'intero arco dell'Eneolitico che si aggiungono alle attestazioni ancora più antiche di manufatti e scorie (Attiggio str. 6 e Santa Maria in Selva aree 2-3) che indicano già la presenza di prodotti in rame arsenicale e l'acquisizione delle prime tecniche metallurgiche a partire dalla fine del V millennio a.C.

Sappiamo che il rame si trova, seppur raramente, come elemento chimico puro allo stato nativo, oppure veniva estratto da minerali in composti di rame legato con ossigeno, gli ossidi e carbonati (ad esempio cuprite, malachite e azzurrite), con zolfo, come i solfuri di ferro-rame (ad esempio la calcopirite, uno dei principali minerali per l'estrazione del rame), o in solfuri misti, i solfosali (ad esempio Fahlerz, tetraedrite e tennantite). Il cosiddetto gruppo di solfuri complessi grigi di rame (solfosali), Fahlerz dalla lingua tedesca, varia a livello compositivo tra tetraedrite e tennantite che contengono una vasta gamma di metalli (Ag, Fe, Zn, Ni).

La riduzione dei solfuri, oltre a produrre molte più scorie rispetto ai minerali che appartengono al gruppo degli ossidi che ne producono quantità minime, richiede una tecnologia iniziale più complessa fino alla raffinazione e alla produzione finale di manufatti oppure di lingotti o panelle di rame per il trasporto e le successive lavorazioni.

Dal punto di vista tecnologico il processo della lavorazione di un oggetto in metallo prevedeva una serie di passaggi a partire dall'estrazione dei minerali contenenti rame, siano essi ossidi o solfuri.

Si ritiene generalmente che le prime fasi della produzione, dall'estrazione del minerale allo *smelting*, cioè la trasformazione del minerale in metallo mediante calore (la riduzione del metallo contenuto nel minerale), avvenissero generalmente nei siti minerari o nelle prossimità, mentre la produzione secondaria di oggetti (*melting*, alligazione, *casting*, forgiatura a freddo) avveniva nei siti ad opera di artigiani specializzati, ma non sempre il processo di riduzione del minerale avveniva nelle miniere. Probabilmente i minerali dopo la loro frantumazione venivano portati in un altro luogo dove si procedeva ai passaggi successivi. E' quanto potrebbe essere avvenuto nel caso della Grotta dei Baffoni, un sito ben lontano dalla fonte primaria di approvvigionamento del minerale, ma dove sarebbe avvenuta la fase immediatamente successiva della produzione primaria, cioè il processo di riduzione del metallo (*smelting*) e la produzione di lingottini di metallo grezzo per il trasporto.

Mentre alcuni elementi, come l'argento seguono il rame durante il processo di fusione primaria del minerale (*smelting*) (il rapporto tra rame e questi elementi rimane invariato anche dopo la fusione), altri no, come lo zinco, a causa della loro volatilità durante i trattamenti termici iniziali del minerale. Dunque, il rinvenimento di un'alta percentuale di zinco nella gocciolina di metallo della matrice della Grotta dei Baffoni è indicativo di una prima fase del processo di fusione del minerale.

Dal punto di vista cronologico, mentre l'analisi dei manufatti in rame lasciava supporre durante l'Eneolitico l'uso di rame nativo ed estrattivo puro, o con trascurabili elementi in traccia, e di rame arsenicale, seguito cronologicamente dall'uso dei minerali di Fahlerz solo a partire dalle fasi iniziali dell'età del Bronzo, ora sappiamo che anche i solfuri sono stati sfruttati, anche se saltuariamente, fin dall'età del Rame, se non prima.

Già dal IV millennio a.C. risulta che il metallo, oltre che da ossidi di rame, venisse prodotto dalla riduzione dei solfuri. In Italia settentrionale nelle miniere del Levante ligure di Libiola e Monte Loreto tra i primi secoli del IV e la fine del III millennio a.C. sono state attivate importanti estrazioni di minerale di rame (calcopirite), anche se non sono documentati i processi di riduzione del minerale, che dunque non avveniva nel sito, né altri indicatori dei processi di fusione, come scorie, ugelli o crogioli. In questo caso i minerali erano estratti dalla miniera e poi portati in un'area di fusione non si sa quanto distante dove avveniva la fase della riduzione del minerale (*smelting*) e dove si ricava il metallo con l'aiuto del fuoco.

Le scorie sono il risultato dello *smelting* che avveniva all'interno del forno fusorio, che poteva essere una semplice buca o un focolare, e il rame ottenuto era poi fuso per produrre lingotti o oggetti per uso interno o per il commercio.

Sempre nell'Italia settentrionale siti con scorie di *smelting* sono quelli altoatesini della Valle Isarco di Millan e Gudon e di Bressanone- Circonvallazione ovest (COLPANI *et alii* 2009), quelli trentini di Riparo Gaban del III millennio a.C. (D'AMICO *et alii* 1998), La Vela, Acquaviva di Besenello e Montesei di Serso (ARTIOLI *et alii* 2015), mentre a Romagnano loc. III l'attività fusoria è attestata da crogioli e ugelli.

In Lombardia abbiamo Lovere, nel Bergamasco, dove le scorie sono presenti nei vari livelli tra Eneolitico e Bronzo antico (GIARDINO 2006).

Ad un momento ancora più antico appartengono le scorie segnalate nell'insediamento del Neolitico finale del Botteghino (Parma), dove la produzione in situ di oggetti in metallo è testimoniata dalla presenza di alcune scorie di fusione e soprattutto da un frammento di ceramica vetrificata e incrostata di gocce di rame, forse un probabile crogiolo (MAZZIERI, DAL SANTO 2007, pp. 131-132, fig. 11B.1).

Piccoli manufatti e frustoli di metallo sono stati segnalati anche per la fase finale neolitica delle Marche allo scorcio del V millennio a.C.

In Toscana scorie di fusione e resti di forni sono a Orti Bottagone, nel Campigliese (FEDELI 1999), mentre a Neto-Via Verga e Podere Pietrino sono stati rinvenuti frammenti di crogioli scorificati e manufatti in rame (GIACHI, PALLECCHI, SARTI 2001, p. 638), tutti contesti tardo-neolitici, tra la metà e la fine del V millennio a.C. che suggeriscono un'incipiente produzione metallurgica in questa regione con l'utilizzo di rame di provenienza locale (ARTIOLI *et alii* 2007; FEDELI, GALIBERTI 2016, p. 147), smentendo i precedenti suggerimenti secondo i quali la metallurgia neolitica si basava su importazioni e attestando un precoce avvio dell'attività metallurgica in Toscana e non solo.

Per il primo Eneolitico in Toscana eccezionale è inoltre il ritrovamento nella Cava Solvay di San Carlo (San Vincenzo-Livorno) (3400-3100 BC) di un gran numero di evidenze di attività metallurgica: scorie di riduzione, crogioli, frammenti di *tuyère*, gocce di metallo, e strutture indurite dal fuoco (piattaforme di argilla concotta in parte circondate da pareti calcaree curvilinee), dove la riduzione del rame era effettuata mediante la tecnica in crogiolo da minerali contenuti solfuri (ARTIOLI *et alii* 2016).

L'analisi di scorie e crogioli dal sito ha rivelato che i composti di rame e ferro-rame, alcuni contenenti quantità apprezzabili di arsenico e zinco, sono stati cofusi sulle piattaforme utilizzando una tecnologia di riduzione sorprendentemente efficiente.

Le cariche di fusione comprendevano in vario modo calcopirite, solfosalti (ad esempio, tetraedrite e tennantite) e ossidi/carbonati di rame (ad esempio, cuprite); questi sono stati ridotti in crogioli riscaldati dall'alto da cerbottane e/o soffiati (ARTIOLI *et alii* 2016). Il processo ha portato alla formazione di scorie e delle goccioline di rame intrappolate tipiche dei primi residui metallurgici.

Le analisi chimiche effettuate sulle scorie mediante SEM-EDS (ARTIOLI *et alii* 2016, tab. 3) mostrano un alto tenore di Zn compatibile con il trattamento di una mineralizzazione a solfuri e solfosali, molto abbondanti nell'area del Campigliese.

Inoltre, dallo scavo di Cava Solvay proviene un'ascia in rame oltre a un pugnoletto di rame tipo Spilamberto e un filo di rame inquadabili negli ultimi secoli del IV millennio a.C. (FEDELI, GALIBERTI 2016, pp. 128-129, fig. 92)

A questo stesso ambito cronologico (3400-3100 BC) appartiene l'ascia ancora immanicata trovata con il corpo dell'Uomo del Similaun, del cui manico possediamo anche tre datazioni radiocarboniche tra 3300 e 3000 BC. Le misurazioni dei rapporti isotopici di piombo della lama di rame hanno indicato inequivocabilmente che la fonte del metallo è la zona ricca di minerali della Toscana meridionale, in particolare una regione molto ben definita, quella delle miniere situate intorno a Campiglia Marittima e alle Colline Metallifere (ARTIOLI 2017).

Dunque, risulta rafforzato il ruolo prioritario della metallurgia nell'Italia centrale tirrenica sia come processi di estrazione e di produzione primaria e secondaria, ma a questo si deve aggiungere anche il gran numero di oggetti in rame, in particolare asce, nel territorio umbro a partire dalla fase più antica dell'Eneolitico con esemplari inizialmente di piccole dimensioni, alcuni dei quali in rame nativo.

La produzione metallurgica in Italia centrale sembra sempre più essersi sviluppata fin dall'inizio del IV millennio a.C. e i metallurghi erano a conoscenza dei processi di fusione dei vari minerali per l'estrazione del rame utilizzando rame puro, rame arsenicale e rame da ossidi e solfuri.

La prima lega di rame arsenicale sembra essere stata ottenuta per selezione di minerali di rame ricchi di arsenico, piuttosto che per alligazione intenzionale, in linea con le pratiche metallurgiche dell'età del rame che miravano alla scelta intenzionale del minerale piuttosto che all'aggiunta di altri minerali (alligazione) per ottenere le leghe metalliche desiderate (come sembra sia avvenuto per i primi manufatti in lega di Cu+ Sn ottenuti da minerali di rame-stagno fuso, ad esempio stannite, piuttosto che aggiungendo stagno metallico alla fusione di rame).

In contemporanea all'uso del rame arsenicale abbiamo visto che è comunque documentato l'utilizzo di metallo da solfuri polimetallici (Cu-Pb-Zn-Ag±Au) che sono particolarmente abbondanti nella Toscana meridionale, le Colline Metallifere e in particolare l'area del Campigliese. La riduzione dei minerali di Fahlerz (tetraedrite-tennantite) consentiva di ottenere un rame con percentuali di As, Sb, Ag e Ni, che sommandosi davano l'effetto di una lega, anche se non si tratta ancora di alligazione intenzionale.

Anche se è ormai accertato che già dall'inizio dell'Eneolitico, se non prima, si era in grado di sfruttare i "rami grigi" (Fahlerz), sappiamo che a partire dal Bronzo antico (2200-1800 a.C.) si ha una produzione consistente di manufatti

ricavati da minerali di Fahlerz con o senza nichel, poi sostituiti da manufatti con alligazione di stagno (lega di bronzo Cu-Sn). Dunque, l'utilizzo dei minerali polimetallici sembra essere iniziato forse ancor prima dell'età del Rame in maniera saltuaria e probabilmente non intenzionale, per poi attestarsi durante l'Eneolitico fino alla fase iniziale del Bronzo antico.

Un'ultima chiave di lettura, ugualmente significativa, ha preso in considerazione proprio il luogo di ritrovamento del manufatto, cioè l'interno di una grotta.

Con riferimento all'età del Rame e ai ritrovamenti in grotta di oggetti legati all'attività metallurgica, sappiamo della presenza di due probabili ugelli di mantice dai livelli eneolitici della Grotta Sant'Angelo di Civitella del Tronto (TE) (DI FRAIA, TIBERIO 2008, p. 10), che non hanno però restituito manufatti metallici.

Un frammento identificabile come un ugello proviene da uno dei livelli eneolitici dell'insediamento all'aperto di Cava Giacometti di Arcevia, a pochi chilometri dalla Gola di Frasassi (CAZZELLA, MOSCOLONI 1994, fig. 4.48).

Due vasetti con beccuccio sull'orlo dalla necropoli di Poggialti Vallelunga sono stati inoltre interpretati come crogioli (NEGRONI CATAACCHIO 1988, fig. 12.4-5). Da segnalare è il confronto tra il vasetto sporadico di Poggialti Vallelunga e un simile vaso con beccuccio dalla Grotta della Beata Vergine (PIGNOCCHI, MONTANARI 2016, fig. 13.3), mentre la decorazione a bugne sotto l'orlo richiama i frammenti dalla Grotta dei Baffoni riferibili all'età del Rame.

Nonostante l'estrema scarsità di attestazioni di attività metallurgiche in grotta, fondere un metallo in una cavità al chiuso anziché all'aperto presenta molteplici vantaggi pratici. Innanzitutto, il fabbro riesce a capire il momento esatto in cui il rame si fonde (1083,4°C) poiché quest'ultimo, fondendosi, libera nell'ossigeno alcuni elementi che determinano un cambiamento nel colore della fiamma, da giallo/arancio a verde.

L'attenta osservazione dei mutamenti cromatici durante la lavorazione dei manufatti metallici, era, infatti, complementare alla metodologia impiegata per raffinare il minerale cuprifero. Il rame può e poteva essere estratto dal minerale anche a freddo, tramite martellatura. Tuttavia, questo produce delle pepite di metallo impuro, che vanno poi rilavorate a caldo per eliminare le scorie e qualunque altro metallo che non sia il rame. Prendiamo ad esempio una pepita di metallo contenente rame e zinco. Essa non si presenta di colore rosso, come sarebbe se contenesse solo rame, ma tende invece tanto più al giallo quanto più zinco ha al suo interno, essendo lo zinco di un colore grigiastro che, mescolato al rosso del rame, altera la cromia della pepita. Tramite una serie di fusioni e conseguenti valutazioni della composizione del colore dei semilavorati metallici ottenuti si può arrivare all'ebollizione e alla volatilizzazione dello zinco, ottenendo infine un lingotto metallico contenente al suo interno quasi esclusivamente rame, e quindi che appare di colore rosso.

Il continuo esame visivo di questi semilavorati metallici (pepite o lingotti) era parte del bagaglio di conoscenze empiriche sulle quali si basava l'esperienza del fabbro prima dell'avvento della chimica moderna.

Ne consegue che anche la possibilità di controllare la fusione osservando il cambiamento di colore della fiamma rivestiva un ruolo cruciale nella scelta del luogo migliore dove condurre l'attività fusoria.

Inoltre, in una grotta, la temperatura e l'umidità restano molto più stabili che non all'esterno, garantendo un controllo maggiore della fusione. Un ulteriore vantaggio tecnico può essere rappresentato dal fatto che la grotta garantisce un riparo naturale da agenti esterni, quali il vento, che possono influenzare il raggiungimento ed il mantenimento della temperatura di fusione.

Non ultimo la possibilità di espletare un processo di lavorazione e produzione di un'attività, come quella della metallurgia, che, soprattutto agli albori, era ritenuta un sapere esclusivo a privilegio di pochi individui.

Etnograficamente molti popoli hanno ambientato l'officina del fabbro all'interno delle montagne ed è prassi comune nella mitologia di numerose culture africane, siberiane e mesoamericane e soprattutto europee e mediterranee collocare i metallurghi all'interno di montagne o cavità naturali.

Nei loro miti di fondazione questo avviene perché il fabbro è tradizionalmente una figura ambigua; infatti, esso impersona sia il ladro che ha rubato il fuoco agli dei sia l'unico artigiano in grado di controllare fuoco, terra, aria e acqua per fornire armi e attrezzi alla comunità. Questa mitologia così universalmente sviluppata si basa su un evidente ambiguità tanto morale quanto materiale di cui è permeata la figura del metallurgo.

Stando a tutti i miti di fondazione, infatti, esso ha rubato agli dei il segreto del fuoco: è un ladro, quindi una figura da emarginare e tenere ben distante dal centro del villaggio. Allo stesso modo, però, è l'unica persona in grado di rifornire il villaggio di armi e attrezzi metallici che consentono di difendersi e di far sfoggio del prestigio delle armi o degli ornamenti, oltre a garantire lo sviluppo e la ricchezza derivati dallo scambio o commercio di quegli oggetti. Il metallurgo, dal canto suo, ben volentieri accetta di tenere nascosti i segreti del suo mestiere, in modo da esserne il solo depositario e non doverne dividere i benefici con troppe persone.

Questa collocazione del fabbro ai margini della comunità senza dubbio rispondeva anche a finalità pratiche quali la necessità, in contesti abitativi fatti di capanne costruite con materiali infiammabili come legno, frasche e paglia, di tenere il più possibile a distanza di sicurezza una potenziale fonte d'incendio quale è il forno fusorio.

Per questi motivi il fabbro generalmente è tenuto o si tiene ai margini della comunità e, pur essendo una figura essenziale, è guardata con sospetto proprio per le sue capacità quasi magiche di trasformare la pietra in liquido, e poi in metallo solido, controllando il fuoco. Da parte loro i fabbri hanno spesso sfruttato quest'ambiguità e alimentato

l'appartenenza a un'élite di artigiani, in modo da poter restare i soli depositari della scienza metallurgica e avere minore concorrenza lavorativa.

La Grotta dei Baffoni, e le attività fusorie che si vanno delineando al suo interno sembrerebbe in epoche diverse, si prestano in maniera eccezionale ad un confronto con questi miti antropologici che vedono i fabbri all'interno delle montagne (ad es. Vulcano in epoca storica), quasi la grotta stessa fosse un "monumento naturale antropizzato", un esempio cioè di come quanto avvenisse quotidianamente per ragioni pratiche (controllo del procedimento di lavorazione attraverso il colore della fiamma o la temperatura stabile, ecc...) e sociali (ambiguità del metallurgo, vantaggio nel tener nascosti i segreti del mestiere) si sia cristallizzato, nel tempo, in miti e leggende con cui la società tentava di spiegare una pratica dai più percepita come magia.

G.P., M.C., M.F., A.M.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Polo Museale delle Marche e la direttrice del Museo Archeologico Nazionale delle Marche dott.ssa Nicoletta Frapiccini per l'autorizzazione concessa al prelievo, il dott. Mauro Esposto, la dott.ssa Francesca Graziosi, la dott.ssa Amanda Zanone per l'assistenza durante il prelievo, il dr. Alessandro Montanari dell'Osservatorio Geologico di Coldigioco che ha effettuato il prelievo, il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche che ha eseguito le analisi. Questa ricerca ha avuto il supporto dell'Associazione di Promozione Sociale "Le Montagne di San Francesco" di Coldigioco (Airo – MC).

BIBLIOGRAFIA

- ARTIOLI G., ANGELINI I., TECCHIATI U., PEDROTTI A. 2015, *Eneolithic copper smelting slags in the Eastern Alps: Local patterns of metallurgical exploitation in the Copper Age*, Journal of Archaeological Science, Volume 63, pp. 78-83.
- ARTIOLI G., ANGELINI I., ADDIS A., CANOVARO C., CHIARANTINI L., BENVENUTI M. 2016, *Ceramiche tecniche, scorie, minerali e metalli: interpretazione del processo metallurgico*, in F. FEDELI, A. GALIBERTI a cura di, *Metalli e metallurghi della preistoria. L'insediamento eneolitico di San Carlo-Cava Solvay*, Pontedera, Tagete Edizioni, pp.69-81
- ARTIOLI G., ANGELINI I., BURGER D., BOUGARIT E., COLPANI F. 2007, *Petrographic and Chemical Investigations of the Earliest Copper Smelting Slags in Italy: Towards a Reconstruction of the Beginning of Copper Metallurgy*, in *Archaeometallurgy in Europe*, Papers of the 2nd International Conference (CD issue, slag session), Milan: Associazione Italiana di Metallurgia, pp.1-9.
- ARTIOLI G., ANGELINI I., KAUFMANN G., CANOVARO C., DAL SASSO G., VILLA I. M. 2017, *Long-distance connections in the Copper Age: New evidence from the Alpine Iceman's copper axe*, PLoS ONE 12(7).
- BIANCO PERONI V. 1994, *I pugnali nell'Italia continentale*, PBF VI, 10, München
- BURLOT A. 2021, *Irish Copper Age-Ingots Recovered in Brittany: Experimental Casting to Recreate Porous Material*, in EXARC 2021/1.
- CARANCINI G.L. a cura di, cds, *Problemi relativi all'Eneolitico della penisola italiana. La tipologia delle asce metalliche. La tipologia della ceramica*, Quaderni di Protostoria 5.
- CAZZELLA A., MOSCOLONI M. 1994, *Il sito stratificato di Cava Giacometti (Arcevia - Ancona) nel quadro degli sviluppi culturali dell'Italia centro-settentrionale dal Neolitico finale all'età del Bronzo*, Quaderni del Museo Archeologico Etnologico di Modena I, pp. 89-119.
- CAZZELLA A., MOSCOLONI M. a cura di, 1999, *Conelle di Arcevia, un insediamento eneolitico nelle Marche. I. Lo scavo, la ceramica, i manufatti metallici, i resti organici*, Roma, Gangemi editore.
- COLES J. 2008, *Archeologia sperimentale*, Longanesi, Milano.
- COLINI G.A. 1898, *Il sepolcreto di Remedello Sotto nel Bresciano e il periodo eneolitico in Italia*, BPI 24, pp. 1-47, 88-110, 206-260, 280-295.
- COLPANI F., ANGELINI I., ARTIOLI G., TECCHIATI U. 2009, *Copper smelting activities at the Millan and Gudon Chalcolithic Sites (Bolzano, Italy): chemical and mineralogical investigations of the archaeometallurgical finds*, in *Proceedings of the 36th International Symposium of Archaeometry*, 2-6 May 2006, Quebec City, Canada, pp. 367-374.
- D'AMICO C., GASPAROTTO G., PEDROTTI A. 2008, *Scorie eneolitiche di Gaban e Acquaviva (Trento). Caratteri, provenienza ed estrazione del metallo*, in C. D'AMICO, C. ALBORE LIVADIE a cura di, *Le scienze della terra e l'archeometria*, Istituto Universitario Suor Orsola Benincasa (Napoli), pp. 31-38.
- DI FRAIA T., TIBERIO D. 2008, *Nuovi dati dalla Grotta Sant'Angelo di Civitella del Tronto (Te): quali culti e/o quali attività?*, in N. Negrone Catacchio a cura di, *Paesaggi reali e paesaggi mentali Ricerche e scavi*, Atti dell'VIII Incontro di Studi Valentano (Vt) – Pitigliano (Gr), 15-17 Settembre 2006, Milano, pp. 477-490.
- FEDELI F. 1999, *Il sito preistorico degli Orti Bottagone (Piombino, LI)*, RassA 16, pp. 115-127.
- FEDELI F., GALIMBERTI A. a cura di, 2016, *Metalli e metallurghi della preistoria. L'insediamento Eneolitico di San Carlo-Cava Solvay*, Tagete Edizioni, Pontedera.
- GIACHI G., PALLECCHI P., SARTI L. 2001, *La metallurgia in area fiorentina dalle origini al I millennio a.C.: progetto di indagine*, in *Preistoria e Protostoria della Toscana*, Atti della XXXIV Riunione Scientifica dell'IIPP, pp. 637-640.

- GIARDINO C. 2006, *Le prime attestazioni di estrazione del rame dai suoi minerali nell'area prealpina: le evidenze di Lovere*, AnnGavardo, 20, pp. 52-59.
- LOLLINI s.d., *Museo Archeologico Nazionale delle Marche. Sezione preistorica. Paleolitico – Neolitico*, Falconara M.ma (AN).
- LUCENTINI N. 1997, *Le grotte della gola del Sentino*, in M. PACCIARELLI a cura di, *Acque, grotte e dei. 3000 anni di culti preromani in Romagna, Marche e Abruzzo*, Imola, Musei Civici, pp. 36-49.
- MANFREDINI A., CARBONI G., CONATI BARBARO C., SILVESTRINI M., FIORENTINO G., CORRIDI C. 2005, *La frequentazione eneolitica di Maddalena di Muccia (Macerata)*, in *Preistoria e Protostoria delle Marche Atti della XXXVIII Riunione Scientifica dell'IIPP*, I, pp. 433-444.
- MAZZIERI P., DAL SANTO N. 2007, *Il sito del Neolitico recente di Botteghino (Parma)*, RSP 57, pp. 113-138
- MONTANARI A., FERRETTI M.P., MAINIERO M., MCGEE D., PIGNOCCHI G., RECANATINI S., ZORZIN R. cds, *Revisiting the Grotta dei Baffoni Cave (Frasassi Gorge, Italy): integrated stratigraphy, archeometry, and geochronology of upper Pleistocene–Holocene cave sediments*, in C. Koeberl, P. Claeys, A. Montanari a cura di, *“From the Guajira desert to the Apennines, and from Mediterranean microplates to the Mexican killer asteroid”*, in honor of Walter Alvarez”, Geological Society of America Special Publication 557.
- NEGRONI CATAACCHIO N. 1988, *La cultura di Rinaldone*, in AA.VV. *L'età del rame in Europa*, Atti del congresso Internazionale, RassA, 7, pp. 348-362.
- PIGNOCCHI G. 2018, *Pugnali in selce e in bronzo dalle Marche*, in Negroni Catacchio N. a cura di, *Armarsi per comunicare con gli uomini e con gli Dei. Le armi come strumenti di attacco e di difesa, status symbol e dono agli Dei. Ricerche e scavi*, Atti dell'XIII Incontro di Studi Preistoria e Protostoria in Etruria, Milano, pp. 229-250.
- PIGNOCCHI G., MONTANARI A. 2016, *La Grotta della Beata Vergine di Frasassi (Genga – AN): vecchi e nuovi dati geo-archeologici*, RSP 66, pp. 143-180.
- PIGNOCCHI G., MONTANARI A., FERRETTI M. P., FIORENTINI M., MAINIERO M., RECANATINI S., ZORZIN R. cds, *Le datazioni radiocarboniche AMS 14C per la revisione stratigrafica e archeometrica della Grotta dei Baffoni (Genga-AN)*, in *Le scienze della Preistoria e Protostoria: Paleoecologia, Archeobiologia, Applicazioni digitali e Archeometria*, Ferrara 20-23 ottobre 2021, Atti della LVI Riunione Scientifica dell'IIPP in onore di Alberto Broglio, Antonio Guerreschi, Carlo Peretto e Benedetto Sala,
- RADMILLI A.M. 1953, *Scavi nella grotta dei Baffoni presso S. Vittore di Frasassi*, BPI 63, pp. 117-130.
- RADMILLI A.M. 1956. *Gli scavi nella grotta dei Baffoni*, BPI, 65, pp. 523-533.
- SABBATINI T., SILVESTRINI M. 2005, *Piano di Fonte Marcosa, Moscosi di Cingoli: un sito pluristratificato dell'Appennino marchigiano. Le fasi del Bronzo Recente*, in Atti della XXXVIII Riunione Scientifica dell'IIPP, pp. 639-657.
- SILVESTRINI M., PIGNOCCHI G. 1998-2000, *Gli insediamenti preistorici di Fontenoce di Recanati (Macerata): aspetti del Neolitico ed Eneolitico marchigiano*, Origini 22, pp. 135-183.