

Indagini archeometriche su pani di bronzo dell'Età del Ferro rinvenuti a San Giorgio di Valpolicella in località Casaletti (Verona). Interpretazione d'uso per il forno rinvenuto

FEDERICA FENZI^{1,2}, LUCA PERUZZO³, NICOLA BRIANESE⁴, WARREN R.L. CAIRNS⁵, UMBERTO CASELLATO⁶, PIETRO A. VIGATO⁶

1 Accademia di Belle Arti di Verona – Via Montanari, 5 – Verona

2 SMATCH Italia – Rome, Italy

3 IGG Consiglio Nazionale delle Ricerche – Via Gradenigo, 6 – Padova

4 ICMATE Consiglio Nazionale delle Ricerche – Corso Stati Uniti, 4 – Padova

5 IPS Consiglio Nazionale delle Ricerche – Via Torino, 155 – Mestre-Venezia

6 già Dirigente di Ricerca presso IENI Consiglio Nazionale delle Ricerche – Corso Stati Uniti, 4 – Padova

ABSTRACT

Archaeometric surveys on bronze ingots of the Iron Age found in San Giorgio di Valpolicella in Casaletti settlement (Verona). Interpretation of use for the oven found.

The recent stratigraphic excavation at the Casaletti site, in San Giorgio di Valpolicella, has returned a large quantity of metal finds. These are buckles and ornamental objects together with nine ingots, mainly bars without markings similar to those circulating in the precoin Age. The chemical and microstructural characteristics of the ingots found in Casaletti site are comparable with those of the “Ramo secco” found in the Verona area and in the areas south of the Po river. The findings indicate the presence of a workshop for the remelting of scrap and probably for the scorification of manufactures with a high iron content. The site studied also returned the fragments of a small oven with a perforated top not used for metallurgical activity. The oven was probably located in the room adjacent to the workshop, where it performed culinary functions.

Key words: Bronze ingots, aes signatum, recast, scorification, domestic oven.

RIASSUNTO

Il recente scavo stratigrafico condotto nel sito di località Casaletti, in San Giorgio di Valpolicella, ha restituito una grande quantità di reperti metallici. Si tratta di fibbie e oggetti ornamentali assieme a nove pani, principalmente barre prive di contrassegno analoghe a quelle circolanti in età premonetale. Le caratteristiche chimiche e microstrutturali dei pani rinvenuti in località Casaletti sono confrontabili con quelle dei pani col “Ramo secco” rinvenuti nel veronese e nelle aree a Sud del Po. I reperti indicano la presenza di un’officina per la rifusione dei rottami e probabilmente per la scorificazione dei manufatti a elevato tenore di ferro. Il sito studiato ha restituito anche i frammenti di un piccolo forno con piano forato non adibito all’attività metallurgica. Probabilmente il forno era ubicato nell’ambiente adiacente all’officina, laddove svolgeva funzioni culinarie.

Parole chiave: Pani di bronzo, *aes signatum*, rifusione, scorificazione, forno domestico.

INTRODUZIONE

Nell’area centro-occidentale dei Monti Lessini vi sono alcune miniere metallifere, il cui utilizzo si è protratto fino ai tempi recenti, probabilmente già sfruttate dalle comunità preistoriche locali. Si tratta principalmente di miniere per l’estrazione di minerali di ferro (ad esempio limonite, $\text{Fe}(\text{O})(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$)

nelle quali sono presenti anche minerali di manganese (ad esempio pirolusite MnO_2). Nell’intera area non sono presenti miniere di rame.

Sulla base dei reperti archeologici (letti di arrostitimento, fornaci e scorie) si è potuta ottenere una visione complessiva riguardo lo sfruttamento delle

fonti di rame nell'area alpina centro-orientale, identificando differenti fasi nella diffusione e sviluppo della tecnica fusoria.

Probabilmente, il considerevole aumento della produzione di rame che coinvolse la parte Sud-Est del territorio trentino (la Valsugana) fra l'età del Bronzo Recente e quella del Bronzo Finale, è dovuta all'approvvigionamento di minerale dall'area transalpina (Alto Adige/Südtirol). In questo periodo, l'area gardesana e quella corrispondente al versante veneziano della Pianura Padana, molto probabilmente utilizzavano lo stesso minerale altoatesino, del quale si rifornivano proprio in Valsugana.

A causa della cessazione dell'attività metallurgica in quest'area geografica, avvenuta approssimativamente nel IX secolo a.C., le miniere di rame toscane rimpiazzarono quelle trentine, come attestato dalla presenza di stagno (cassiterite) nelle fonti di rame toscano.

San Giorgio di Valpolicella è un insediamento situato in una posizione strategica, in prossimità dello sbocco della Val d'Adige nella Pianura Padana. L'abitato in esame (di origine medievale) sorge su resti che risalgono all'inizio dell'età del Ferro (IX-VIII secolo a.C.). I reperti archeologici rinvenuti nel sito di San Giorgio e nei suoi dintorni, e riconducibili al periodo protostorico, sono specialmente fibbie. Essi mostrano una connessione con l'area centralpina, testimoniando lo scambio di metallo tra la pianura e le aree di approvvigionamento di rame (Adam, 1983: 156). Tuttavia, data la distanza delle miniere di rame, il riciclo del rottame era molto importante a San Giorgio e nel territorio circostante.

Lo scavo stratigrafico condotto a San Giorgio di Valpolicella, nel sito ubicato in località Casaletti, ha portato alla luce un'officina metallurgica adibita alla rifusione di rottami (ambiente H), nella quale venivano realizzati principalmente oggetti ornamentali (vedi Salzani *supra*). Il sito consiste in un edificio a pianta rettangolare, utilizzato per la forgiatura. All'interno dell'edificio e nelle sue vicinanze, è stata rinvenuta una grande quantità di reperti: oggetti lavorati e rottami, assieme a nove pani (VI-V secolo a.C.) esaminati nel presente studio. Si ritiene che gli artigiani dell'età del Ferro Medio operassero in questo sito, in forni di pietra ricoperti d'argilla e con l'ausilio di mantici. Il decimo pane esaminato è un reperto di superficie rinvenuto nella vicina località di Gargagnago (Sant'Ambrogio di Valpolicella), proveniente da un abitato dell'età del Ferro ancora inedito (Salzani, 1981: 84). Lo scopo del presente lavoro è lo studio archeometrico dei reperti soprari-

tati e il confronto con quelli già studiati e rinvenuti a Nord del Po, in particolare con quelli rinvenuti in provincia di Verona. Riguardo alla funzione dei pani ivi rinvenuti, essa è suggerita già in partenza dallo stesso contesto di rinvenimento; s'ipotizza dunque siano destinati alla rifusione.

In accordo con l'osservazione macroscopica (Figura 1), i reperti esaminati possono essere classificati come pani o frammenti di pani di forma abbastanza regolare privi di contrassegno (barre), a eccezione di due che sono invece di forma irregolare.

IL SITO DI RINVENIMENTO

Il sito di San Giorgio di Valpolicella (località Casaletti) è il settimo sito studiato, tra quelli situati a Nord del Po. Esso ha restituito un lingotto di *aes signatum* col "ramo secco", molto simile a un secondo lingotto proveniente dall'abitato protostorico di Gazzo Veronese (l'ottavo sito a Nord del Po) (Fenzi *et al.*, 2009). Il duplice ritrovamento indica l'inserimento dell'area veronese nei circuiti produttivi ed economici etruschi e riapre la problematica relativa alla loro funzione. Il presente studio è incentrato sui pani rinvenuti in località Casaletti. Il sito consta di due vani contigui, in uno dei quali sono stati rinvenuti i reperti oggetto del presente studio. Si tratta di 10 reperti metallici, databili tra la fine del V e la prima metà del IV secolo a.C., e dei frammenti di un forno molto ben conservato (di circa 60 cm di diametro), la cui funzione è uno dei quesiti cui il presente contributo vuol dare una risposta. Originariamente il forno doveva trovarsi nel vano accanto a quello del suo rinvenimento; in quest'ultimo, il più profondo dei due, vi doveva essere un laboratorio metallurgico, dato il rinvenimento dei pani esaminati e di molti altri frammenti metallici. Quando l'abitazione è stata abbandonata i frammenti del forno sono stati scaricati dentro il laboratorio stesso. I materiali ai quali il forno era associato ne permettono la datazione tra la fine del V e la prima metà del IV secolo a.C.

PARTE SPERIMENTALE

Campionamento e indagini

Il campionamento dei reperti metallici è stato effettuato tramite strumento da taglio munito di disco diamantato. Al fine di analizzare la parte interna dei pani, sono stati prelevati campioni di volume prossimo al cm³. I campioni così prelevati sono stati a

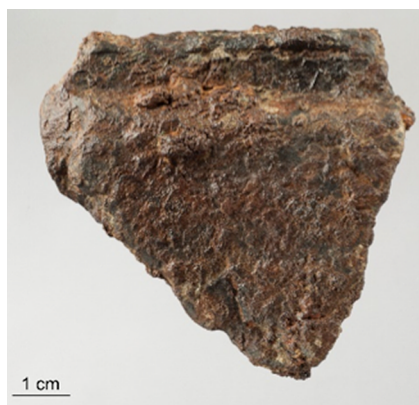
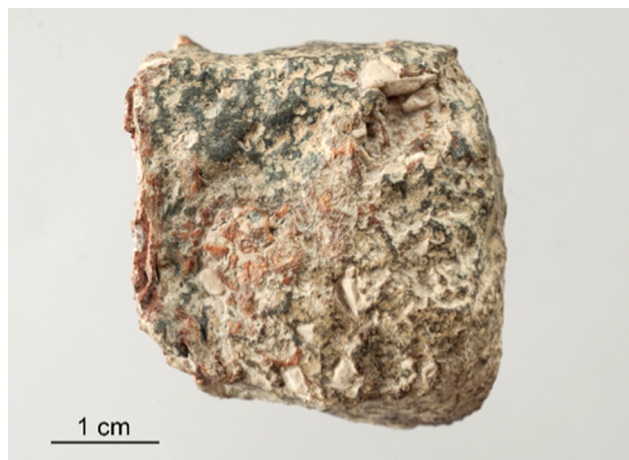
**SGC US 11****SGC US 5****SGC sp**

Fig. 1 – Immagine dei reperti metallici esaminati
Image of the metal finds examined



SGC sp 1

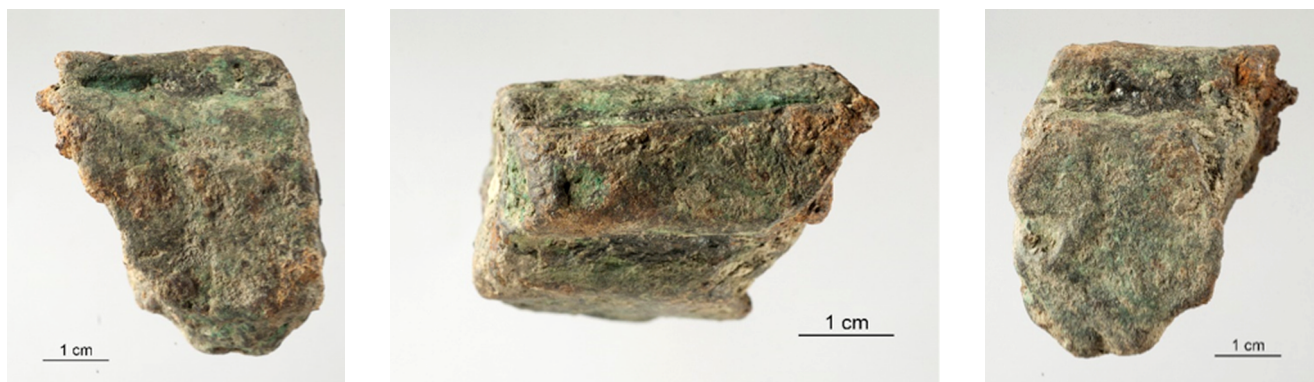


SGC sp-2



SGC US 11A e 11B

Fig. 1 – Immagine dei reperti metallici esaminati
Image of the metal finds examined



SGC US 13



SGC US 13 A



SGC US 244-32

Fig. 1 – Immagine dei reperti metallici esaminati
Image of the metal finds examined



2.1



2.2



2.3

Fig. 2 – 1. Veduta d'insieme del forno rinvenuto a San Giorgio di Valpolicella in località Casaletti

1. Overall view of the oven found in San Giorgio di Valpolicella, Casaletti

2. Immagine del reperto campionato appartenente al piano del forno

2. Image of the sampled fragment belonging to the oven floor

3. Particolare del campione indagato, prelevato in prossimità di uno dei fori passanti

3. Detail of the sample investigated, taken near one of the through holes

loro volta sottocampionati per le indagini compositive (ESEM-EDS, ICM-MS e ICP-OES) e per l'osservazione microscopica in sezione lucida (Microscopia Ottica e Microscopia a Scansione Elettronica).

Le indagini ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) sono state effettuate con un Agilent 7500 (Agilent Technologies) dotato di una spray chamber in quarzo e di un nebulizzatore concentrico PolyPro-ST (Elemental Scientific Inc.).

I frammenti selezionati per l'osservazione microscopica sono stati inclusi in resina epossidica, quindi spianati e lucidati. Le osservazioni in elettroni retrodiffusi BSE (Backscattered Electrons) e le indagini morfologiche-composizionali EDS (Energy Dispersion System) sono state realizzate con uno strumento di tipo FEG-ESEM (Field Emission Gun-Environmental Scanning Electron Microscope) modello Quanta 200FEI, su sezioni lucide trasversali. L'osservazione dei campioni al SEM mediante elettroni retrodiffusi permette l'individuazione delle diverse fasi presenti, distinguibili per le differenti intensità di grigio, funzione della composizione chimica. Le aree più chiare hanno un contenuto maggiore di elementi chimici con massa atomica più elevata; in esse prevale il contenuto di rame (e piombo, se presente). Al contrario le aree più scure sono costituite da elementi relativamente più leggeri; in esse prevale il contenuto di ferro, ma possono essere presenti anche residui solfurei o metalli ossidati.

Per le indagini diffrattometriche è stato utilizzato un PANalytical X'Pert PRO – X'Celerator a geometria parafocalizzante Bragg-Brentano con goniometro verticale theta-theta, raggio goniometrico di 240 mm e tubo a raggi X in Ceramica Long Fine Focus (Ceramic Tube Cu LFF) con anodo in cobalto.

RISULTATI

I reperti metallici

I dati ICP-OES e ICP-MS sono riportati in Tabella 1. A eccezione dei campioni SGC sp-2, SGC US13 e SGC sp, gli elementi maggiori sono Cu e Fe, in presenza di Pb, Zn, As e S. Il campione SGC 08 US13 è una lega Cu-Pb molto simile al campione Oppeano-X già studiato in un precedente lavoro, il campione SGC sp-2 contiene prevalentemente Pb, mentre il campione SGC sp contiene in prevalenza Fe.

Si osservi come la somma delle percentuali in peso degli elementi presenti fornisca, generalmente, un

valore compreso tra l'80 e il 90%. Tale discrepanza è dovuta, molto probabilmente, all'alterazione superficiale dei reperti, ovvero all'ossidazione.

I dati compositivi dei campioni sono confermati anche dalla loro microstruttura, in cui dendriti a ferro prevalente (con minori quantità di rame) appaiono incluse in una matrice ricca in rame (con basso tenore di ferro). La Figura 3 mostra la morfologia e la microstruttura presenti nel campione SGC US11A, riportato come esempio rappresentativo. I dati ESEM-EDS delle aree selezionate di questo campione (indicate nella Figura 3 con lettere maiuscole) sono riportati nella Tabella 2.

Le analisi ESEM-EDS delle aree analizzate per i reperti SGC US 11A, SGC US5 e SGC US13 sono riportate in Tabella 2. Il primo reperto presenta caratteristiche analoghe a quelle dell'aes signatum rinvenuto a San Giorgio di Valpolicella, come pure a quello di Gazzo Veronese. Dendriti a ferro prevalente sono distribuite in una matrice a rame prevalente.

La presenza di solfuri contenenti rame e ferro (aree F e D) indica che la fonte di rame è calcopirite (CuFeS₂). In questo reperto sono state analizzate, inoltre, aree corrispondenti a solfuri misti di Zn, Cu e Fe (aree I, L ed M), si ritiene quindi che la fonte di rame utilizzato contenesse anche blenda (Zn,Fe)S. Il reperto in esame mostra il maggiore quantitativo di Zn tra i reperti esaminati (0.77%). Tale quantitativo è comunque confrontabile con quello degli altri pani esaminati, ad eccezione dei reperti SGC US11B, SGC sp-2 (a piombo prevalente) e SGC sp (a ferro prevalente) nei quali la percentuale di Zn è inferiore. Dunque, il minerale di rame sembra essere associato ad una piccola quantità di blenda. Questo aspetto compositivo lo accomuna, non soltanto ad alcuni dei pani esaminati in questo studio, ma anche agli aes signatum rinvenuti a San Giorgio e a Gazzo Veronese (Fenzi *et al.*, 2009).

In alcune aree del reperto SGC US 11A (Tabella 2, area C), si possono osservare residui della scorificazione del ferro dalla calcopirite e dagli altri solfuri di rame tramite aggiunta di materiale siliceo. I dati descritti sono in accordo con la forma alquanto irregolare del reperto e con il tipo di attività produttiva ipotizzata per il sito esaminato (Casaletti).

Il reperto SGC US5 presenta una tessitura molto simile a quella del campione SGC US 11A. Si osservano domini contenenti Cu, Fe e Pb (Tabella 2, area C) oppure Fe, Cu, Pb (area D) e fasi micrometriche ricche di Pb (2-5µm) che indicano un raffreddamento rapido del campione (area E ed F).

Campione	SGC sp-1	SGC US13	SGC US11	SGC US11A	GRGG US244	SGC US11B	SGC sp-2	SGC US5	SGC US13	SGC sp
*Cu wt%	74,250	69,890	59,750	70,500	75,970	79,490	0,040	60,480	55,910	0,070
*Fe wt%	15,140	2,570	22,740	15,470	15,160	12,590	0,030	20,330	26,410	82,140
*Pb wt%	0,050	18,920	0,230	0,370	1,690	1,640	76,040	1,030	0,080	0,010
*S wt%	0,460	0,480	1,000	0,640	0,430	0,260	0,020	0,270	0,260	0,040
*Si wt%	0,090	0,080	0,090	0,110	0,060	0,050	0,050	0,070	0,110	0,320
°Ca wt%	0,072	0,070	0,005	0,122	0,086	0,003	0,096	0,133	0,018	0,130
°Zn wt%	0,577	0,185	0,478	0,767	0,234	0,061	0,003	0,254	0,140	0,051
°Co wt%	0,027	0,051	0,051	0,045	0,282	0,186	0,001	0,038	0,013	0,012
°Ni wt%	0,006	0,123	0,007	0,012	0,137	0,243	0,001	0,032	0,007	0,003
°As wt%	0,652	0,672	0,236	0,300	0,376	0,445	0,011	0,986	0,592	0,006
°Na ppm	72	65	89	217	63	173	17	92	181	123
°Mg ppm	92	80	63	197	123	44	80	327	167	99
°Al ppm	188	205	76	310	324	60	76	427	335	187
°K ppm	212	150	189	246	116	129	106	216	237	159
°V ppm	6	31	3	8	3	2	5	12	7	684
°Cr ppm	9	8	9	9	6	7	5	8	10	39
°Mn ppm	8	6	18	15	61	9	2	26	20	0.49%
°Ga ppm	45	5	6	8	8	7	0	12	9	10
°Se ppm	2	15	3	2	11	5	nd	2	nd	nd
°Sr ppm	2	2	1	2	1	1	1	3	2	1
°Ag ppm	349	975	459	610	624	578	43	332	197	2
°Ba ppm	77	4	2	8	6	2	2	16	71	4
°Tl ppm	0,99	17,06	0,68	0,95	4,42	3,82	44,26	3,11	0,75	0,13

Tabella 1 – Dati ICP-OES (*) e ICP-MS(°) dei campioni esaminati; nd=non rilevato; r=rivelato. Le concentrazioni di Li, Be, Sc, Rb, Y, Cd, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, e U sono <1ppm.

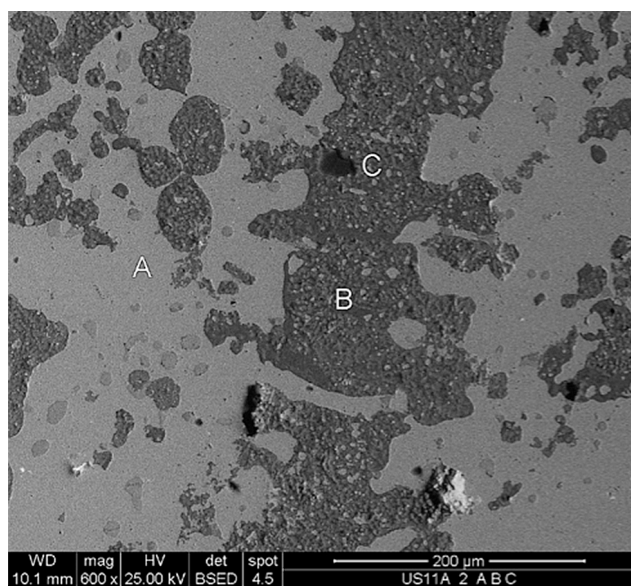
Table 1 – ICP-OES (*) and ICP-MS(°) data of the examined samples; nd=not detected; r=revealed. The Li, Be, Sc, Rb, Y, Cd, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, and U concentrations are <1ppm.

Sono presenti anche prodotti di alterazione clorurati in aree contenenti Cu, Fe, Pb (probabilmente CuCl_2).

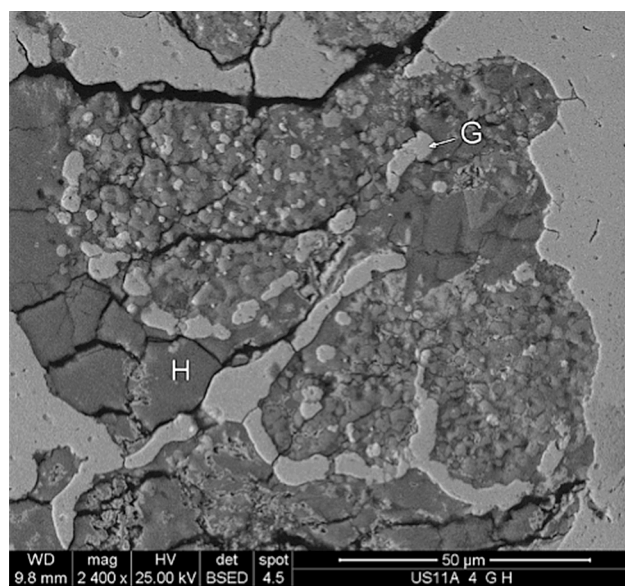
Analogamente ai campioni già descritti, anche la microstruttura del campione SGC US 13 (Tabella 2, aree E ed F) è dendritica a ferro prevalente in una

matrice a rame prevalente. Anche in questo caso la fonte di rame può essere calcopirite.

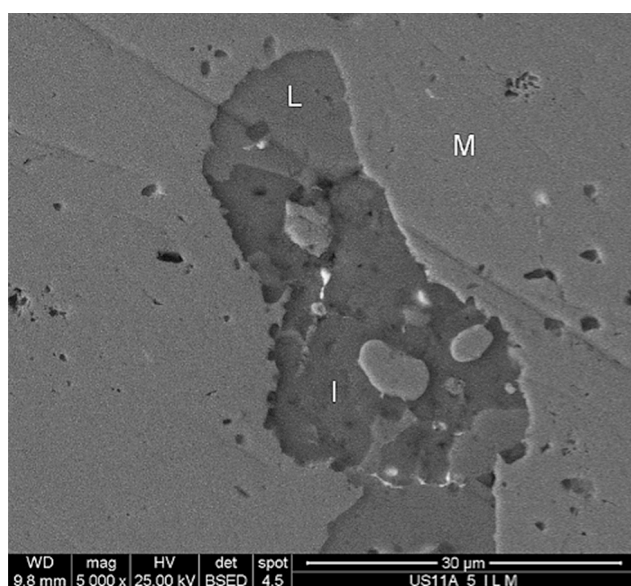
Come nel campione SGC US 11A, si osservano residui della scorificazione del ferro dalla calcopirite, ottenuta probabilmente grazie all'aggiunta di sabbie quarzifere ricche di feldspato di potassio (aree G, I, L ed N).



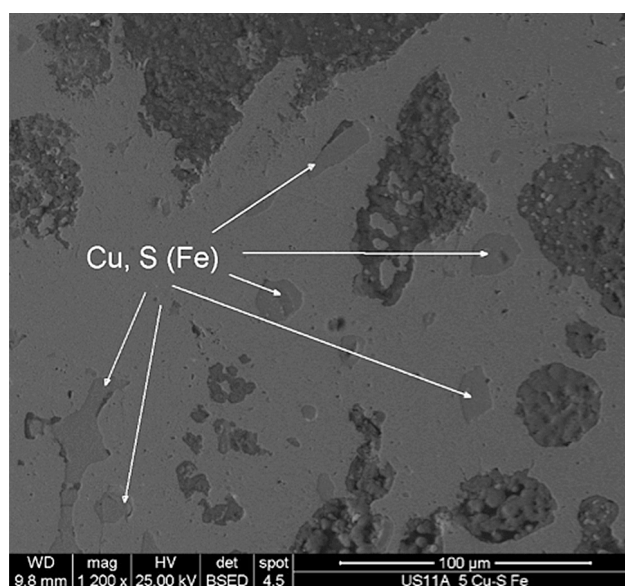
1



2



3



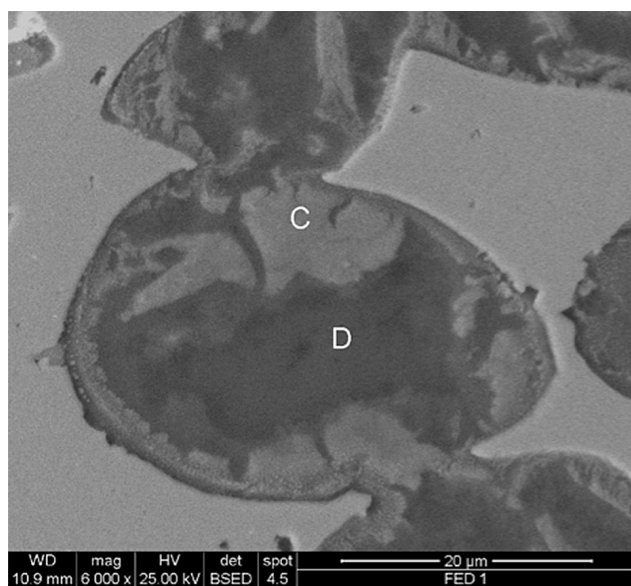
4

Fig. 3 – Le figure 3-1, 3-2, 3-3 e 3-4 sono immagini in elettroni retrodiffusi; esse mostrano la microstruttura del reperto SGC US 11A; le lettere maiuscole indicano le aree analizzate (vedi Tabella 2)

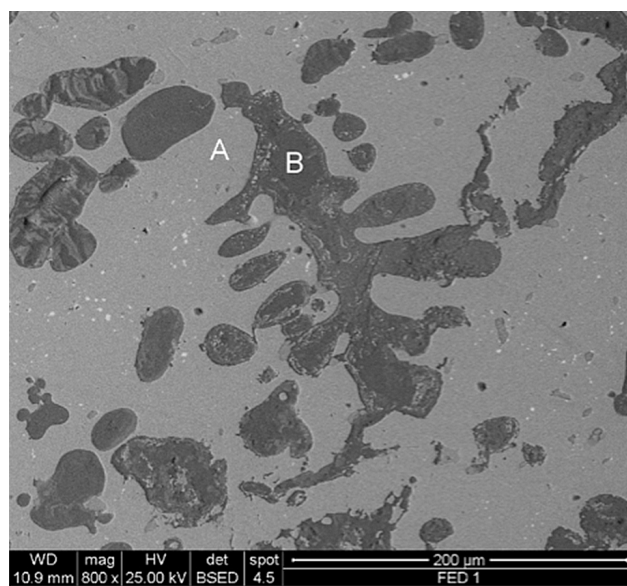
Backscattered electron images of the selected sample SGC US11A (Figure 3-1, 3-2, 3-3 and 3-4); they show the microstructure of the sample; the areas analyzed (see Table 2) are labeled with capital letters

Sigla	area	Mg	Al	Si	S	K	Cl	Ca	Fe	Cu	Pb	Zn
SGC US11A	A	-	-	-	-	-	-	-	7.3	92.7	-	-
	B	-	-	-	-	-	-	-	82.4	17.6	-	-
	C	-	-	41.3	-	-	-	-	42.3	16.4	-	-
	D	-	-	1.0	0.9	-	-	9.9	67.1	21.1	-	-
	E	-	-	0.6	1.1	-	-	0.5	67.5	30.3	-	-
	F	-	-	0.7	16.8	-	-	0.4	7.1	75.0	-	-
	G	-	-	r	0.4	-	-	0.4	10.2	88.8	-	-
	H	-	-	0.8	1.3	-	-	0.5	72.7	24.6	-	-
	I	-	-	r	18.9	-	-	0.6	9.5	26.2	-	44.7
	L	-	-	0.5	13.4	-	-	0.4	9.1	74.8	-	1.8
M	-	-	r	0.9	-	-	r	4.1	92.0	-	2.6	
SGC US	A	-	-	-	-	-	1.2	-	6.6	88.0	5.3	-
	B	1.1	-	1.5	-	-	-	-	66.9	22.4	8.2	-
	C	1.3	-	0.4	-	-	-	-	32.4	56.3	8.4	-
	D	-	-	-	-	-	9.7	-	60.5	25.1	4.7	-
	E	-	-	-	-	-	-	-	5.1	33.3	61.6	-
	F	-	-	-	-	-	-	-	10.0	73.0	17.0	-
	G	-	-	-	-	-	-	-	51.8	35.3	13.0	-
	H	-	-	-	-	-	21.2	-	54.0	20.2	4.6	-
	I	-	-	-	-	-	-	-	78.5	21.5	-	-
	L	-	-	-	19.8	-	-	-	15.8	64.4	-	-
	M	-	-	12.8	0.5	-	0.7	-	63.0	23.1	-	-
A	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	90.0	-	
SGC US13	B	-	-	-	-	-	-	-	-	84.5	15.5	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	81.7	18.3	-
	D	-	-	2.8	-	-	-	-	-	79.2	18.0	-
	E	-	-	1.8	-	-	4.1	-	76.0	18.1	-	-
	F	-	-	1.8	0.7	-	-	-	65.4	32.2	-	-
	G	-	12.5	24.2	1.1	12.1	-	-	40.7	9.42	-	-
	H	-	0.9	3.0	18.1	0.7	-	-	15.4	61.9	-	-
	I	-	3.1	18.7	2.2	1.5	-	5.5	53.7	15.3	-	-
	L	-	15.6	29.8	1.1	8.3	-	1.5	32.6	11.0	-	-
	M	-	2.2	4.9	0.5	0.8	-	0.5	82.8	8.2	-	-
	N(*)	-	2.4	20.9	1.67	3.0	-	7.2	48.1	9.0	-	-

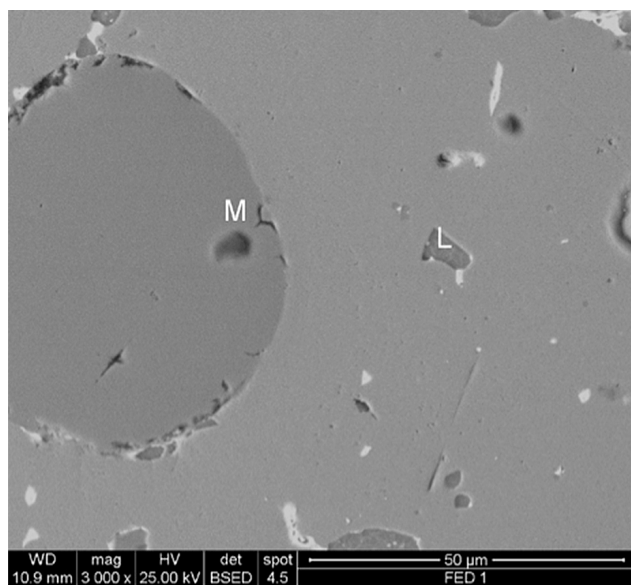
Tabella 2 – Dati ESEM-EDS delle aree analizzate nei campioni SGC US 11A, SGC US5 e SGC US13; il bismuto non è stato rivelato
 Table 2 – ESEM-EDS data of the investigated areas of the samples SGC US 11A, SGC US5 and SGC US13; bismuth has not been revealed



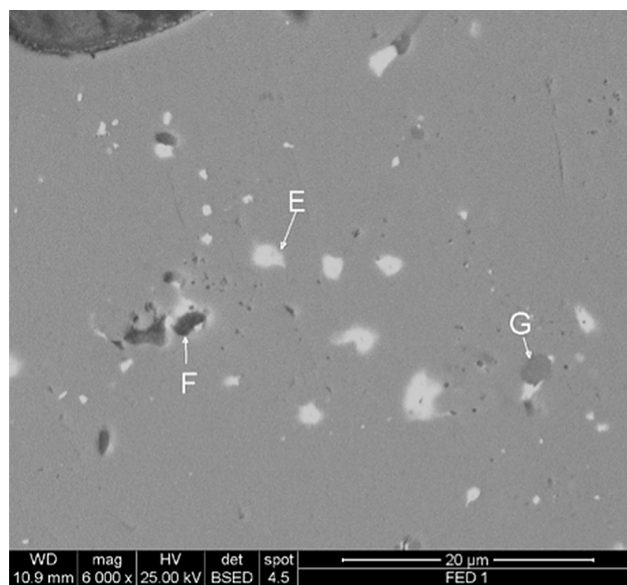
1



2



3



4

Fig. 4 – Immagini 4-1, 4-2, 4-3 e 4-4 da elettroni retrodiffusi di alcune microstrutture osservabili nel campione SGC US5; le lettere maiuscole indicano le aree analizzate (vedi Tabella 2)

BSE view of the microstructures of the selected sample SGC US5 (Figure 4-1, 4-2, 4-3 and 4-4): the investigated areas are labeled with capital letters (Table 2)

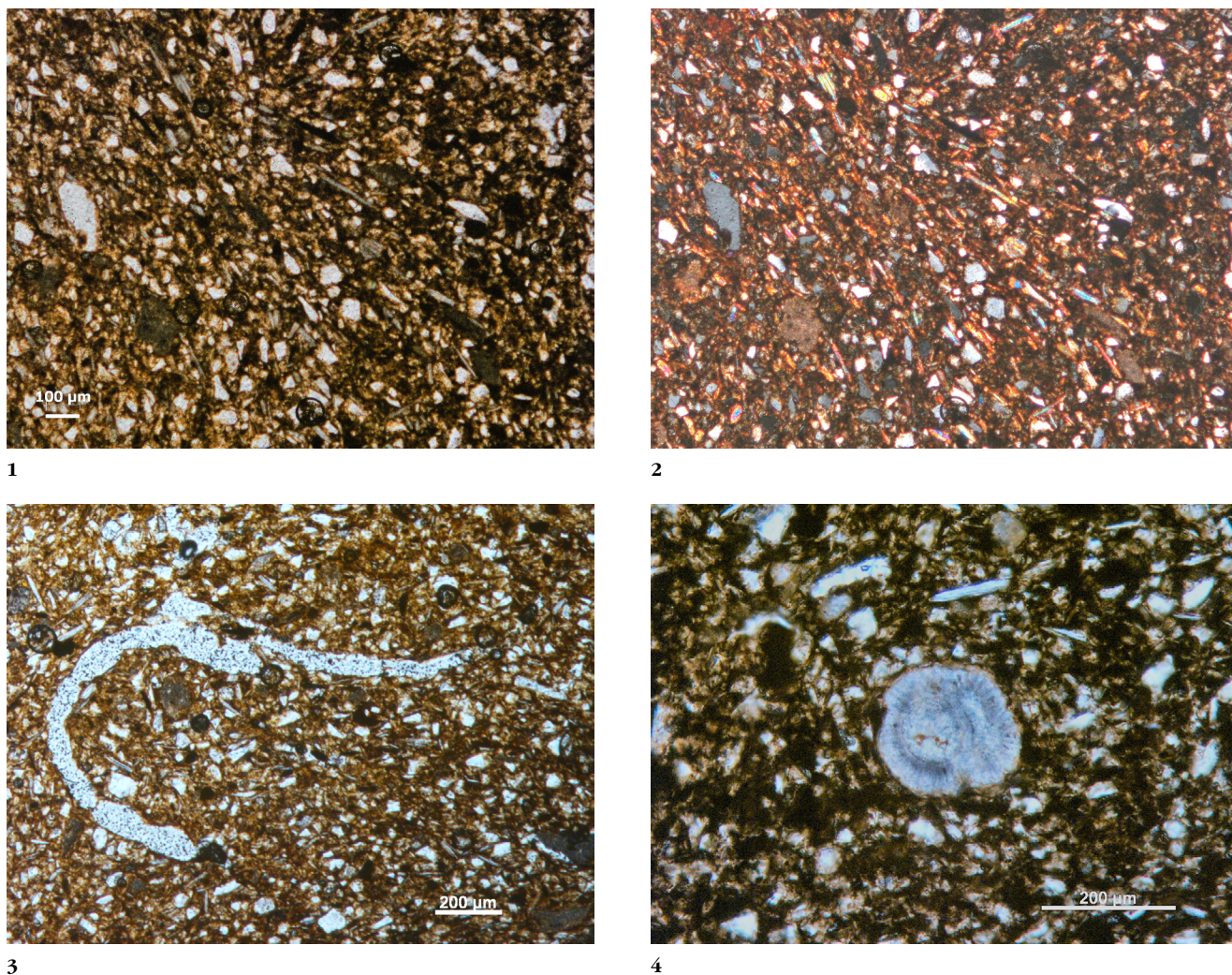


Fig. 5 – Immagini al microscopio ottico in luce polarizzata di una sezione sottile ottenuta da un frammento del piano del forno (in Figura 2-3). **1.** Immagine a nicols paralleli della tessitura del campione che mostra l'abbondanza di smagrante, costituito in prevalenza da quarzo, calcite, feldspati e lamelle di muscovite. **2.** Immagine a nicols incrociati della tessitura del campione. **3.** L'immagine a nicols paralleli mostra minute cavità ricurve riconducibili all'originaria presenza di sostanza vegetale. **4.** Immagine a nicols paralleli di un ootide calcitico perfettamente conservato

Polarized light microscopic images of a thin section obtained from a fragment of the oven floor (see Figure 2-3). 1. Parallel nicols image of the texture of the sample, showing the abundance of temper, consisting mainly of quartz, calcite, feldspars and muscovite flakes. 2. Crossed nicols image to the right of the texture of the sample. 3. Parallel nicols image showing minute curved cavities attributable to the original presence of vegetable substance. 4. Parallel nicols image of a calcitic remains (ooid)

Il forno

L'indagine diffrattometrica ha permesso di rivelare la presenza di quarzo, calcite, feldspati, muscovite e anfibolo. L'osservazione della sezione sottile ha sostanzialmente confermato le indicazioni diffrattometriche e messo in luce una quantità di smagrante piuttosto elevata, costituita soprattutto da quarzo, calcite, feldspati e fillosilicati (muscovite in lamelle abbastanza evidenti e spesso isoorientate) come mostrato nella Figura 5-1 e 5-2.

Si possono inoltre osservare alcune minute cavità allungate e ricurve riconducibili a frammenti vegetali presenti nell'argilla (Figura 5-3), mentre non si osservano cavità di maggiore estensione riconducibili all'aggiunta di paglia nell'impasto. L'aggiunta di paglia in un impasto a scarso contenuto di matrice argillosa (con una quantità di scheletro abbastanza elevata) provocherebbe decoesione nell'impasto stesso, per sottrazione di legante.

DISCUSSIONE

Durante il primo millennio a.C. l'Europa occidentale e mediterranea venne raggiunta da un'evoluzione tecnologica nel processo di fusione del rame, sulla base della metodologia più avanzata in uso in Medioriente dall'inizio dell'età del Bronzo. Tramite un processo di fusione in due tempi, tale metodologia consentiva lo sfruttamento di minerali a minore contenuto di rame (Cu 20-30% in peso) (Craddock and Meeks, 1987; Peters, 1907).

Nel processo estrattivo a partire dai minerali ricchi di solfuro di rame (calcopirite), la prima fase di lavorazione consiste nella fusione in presenza di scorificanti silicei e alluminosilicatici sottoforma di fayalite ($\text{Fe}^{\text{II}}_2\text{SiO}_4$). Le scorie così ottenute, che fondono a temperature relativamente moderate (1200°C), venivano allontanate tramite un'apposita apertura posta alla base della fornace. L'estrazione di tutto il rame presente era possibile prolungando la fusione a una temperatura sufficientemente elevata (Craddock and Meeks, 1987).

Ma la temperatura elevata comporta, inevitabilmente, l'instaurarsi di un'atmosfera riducente all'interno della fornace che, a sua volta, favorisce la riduzione del ferro contrastando con il processo di scorificazione (Peters, 1907). Dunque, in un manufatto non rifinito la quantità di ferro poteva essere di molto superiore al 10% (in peso). Questo problema rendeva necessaria una seconda fusione, nella quale il rame non rifinito veniva rifuso in un crogiolo all'aperto, al fine di provocare l'ossidazione del ferro e permettere la sua eliminazione per schiumatura, grazie all'aggiunta di materiale siliceo quale quarzo macinato o sabbia. Attraverso questo processo di fusione in due tempi, la quantità di ferro poteva essere abbattuta fino allo 0.5% in peso, ma non scendere al di sotto di tale valore (Craddock and Meeks, 1987).

È un fatto frequente quello di riscontrare una quantità di ferro inferiore al 10% nei reperti non sottoposti a rifinitura. Ma nella maggior parte dei reperti esaminati la quantità di ferro è maggiore del 15%. Molto probabilmente questi pani sono stati prodotti con un minerale di rame ricco di ferro, senza alcun processo di rifinitura. L'utilizzo di calcopirite come fonte di rame viene suggerita, per almeno sette dei dieci reperti, dalla presenza di relitti solfurei contenenti rame e ferro (Figure 3 e 4, Tabella 2), con l'eccezione dei tre campioni SGC sp-2, SGC US13 e SGC sp. A tale proposito, si osservi come la composizione chimica media dei tre reperti sopracitati differisca da quella degli altri sette campioni (Tabella

1). In particolare, il campione SGC sp-2 è piombico, SGC US13 è una lega rame-piombo a basso tenore di ferro, mentre SGC sp contiene soltanto ferro.

I reperti esaminati, pur tenendo conto della possibile disomogeneità, sono analoghi all'*aes signatum* rinvenuto a San Giorgio di Valpolicella e a quello di Gazzo Veronese. I dati di letteratura disponibili su pani di rame a elevato contenuto di ferro (20-40% in peso) offrono dati confrontabili a quelli ottenuti per i reperti esaminati (Garagnani e Martini, 2002; Follo, 1998). Ai pani viene attribuita, principalmente, una funzione monetale, per la quale un eccesso di ferro non comporta alcun problema di lavorazione (Craddock and Meeks, 1987), al contrario fornisce un'extra quantità di metallo fuso, direttamente dalla fornace (cioè dopo la prima cottura) (Pellegrini e Macellari, 2002). I pani etruschi col "Ramo secco" (appartenenti all'età premonetale) costituiscono un gruppo di reperti sistematicamente ricchi di ferro (Craddock and Meeks, 1987; Garagnani e Martini, 2002). Essi circolarono nel VI-V secolo a.C., con un decremento progressivo della loro presenza fino al secolo successivo. Oltre ai lingotti con il "Ramo secco", vi sono pani analoghi e provenienti da analoghi contesti di rinvenimento che non presentano stemma (Cocchi Ercolani, 1987; Panvini Rosati, 1988; Panvini Rosati, 1970).

Dalla composizione chimica media dei pani esaminati si osserva una quantità di rame variabile nell'intervallo 55.9-79.5% e una quantità di ferro variabile nell'intervallo 12.6-26.4% in peso. Trattandosi dei due costituenti principali della lega, le loro quantità sono inversamente proporzionali.

Il campione SGC US13, contenente principalmente piombo e rame in presenza di una piccola quantità di ferro, è molto simile al reperto siglato Oppeano-X (Fenzi *et al.*, 2009), classificato come pane con impresso il simbolo di una croce ortogonale (Neri, 2004; Sassatelli, 1981-82). La quantità di ferro contenuta in questi due reperti è comunque superiore a quella riscontrata nei manufatti prodotti secondo il metodo antico, per sfruttamento di minerali a elevato contenuto di rame: essi sono riferibili, quindi, alla tecnologia fusoria successiva e allo stesso periodo degli altri reperti esaminati, sistematicamente ricchi di ferro (Craddock and Meeks, 1987; Craddock, 1995; Peters, 1907).

I pani esaminati nel presente studio mostrano proprietà morfologiche, compositive e microstrutturali comparabili a quelle degli *aes signatum* rinvenuti a Sud del Po, appartenenti alla realtà economico-produttiva etrusca. Dunque, per la sua particolare

posizione geografica, San Giorgio di Valpolicella era parte di un circuito commerciale che interessava la Pianura Padana. La considerevole quantità di reperti rinvenuti in località Casaletti suggerisce la presenza di un sito produttivo dell'età del Ferro, dedicato principalmente alla rifusione di rottami in bronzo. In tali contesti produttivi è sempre difficile individuare la provenienza dei reperti e la fonte di rame utilizzata.

Per le loro caratteristiche e il contesto archeologico del sito in località Casaletti i pani esaminati sono, probabilmente, rottami destinati alla fusione-scorificazione, allo scopo di abbattere la quantità di ferro ed estrarre il rame presente.

La funzione del forno

Il materiale ceramico di cui è costituito il forno presenta il “cuore nero”, collocato nella porzione centrale dello spessore, che sfuma bilateralmente verso il rosso in prossimità delle pareti (Figura 2C). Esso è dovuto a incompleta combustione di sostanza organica presente nell'impasto con sottrazione di ossigeno agli ossidi di ferro e parziale riduzione degli stessi. La presenza di resti vegetali promuove la formazione del cuore nero. La sua comparsa può essere dovuta a vari fattori, quali la mancata permanenza a una temperatura sufficientemente elevata oppure a un riscaldamento iniziale troppo elevato. La sua eliminazione avviene per ossidazione e decomposizione della sostanza organica presente, sotto forma di CO₂ (degassazione), seguita dall'ossidazione completa degli ioni ferro.

Nel caso esaminato, una possibile interpretazione può essere cercata nella diffusa pratica di cottura operata in epoca protostorica, ovvero in strutture “a fossa” o “a buca”. La legna veniva collocata nel fondo della buca e in modo tale da ricoprire interamente i manufatti. Secondo questa pratica, il manufatto argilloso passava molto rapidamente dalla temperatura ambiente a quella della brace di legna (400°C circa). Il contatto diretto tra la brace e le superfici dei manufatti potrebbe modificare la microstruttura del corpo ceramico nella sua porzione più esterna aumentandone la densità. L'apporto di ossigeno verso l'interno del materiale, come pure la migrazione di CO₂ verso l'esterno verrebbero rallentati. Il processo di eliminazione della sostanza organica dovrebbe giungere comunque a completamento se il materiale ceramico raggiungesse una temperatura pari a 650-800°C. Il materiale esaminato non avrebbe superato i 700-750°C, temperatura alla quale ha inizio la decomposizione del carbonato di calcio (calcite). Ne

è dimostrazione la quantità di calcite rivelata alla diffrazione e osservata anche al microscopio ottico (Figura 5-4), oltre all'assenza di fasi mineralogiche di più alta temperatura.

L'abbondanza di smagrange avrebbe la funzione di diminuire il ritiro del crudo durante la cottura, con l'ottenimento di un materiale a bassa porosità dotato di una buona resistenza meccanica, pur senza il raggiungimento della temperatura di sinte-rizzazione completa di minerali argillosi, carbonati e feldspati. Un impasto di questo tipo, è dotato di scarsa plasticità in fase di lavorazione, ma, trattandosi di un manufatto caratterizzato da superfici piane o con basso raggio di curvatura, questo aspetto appare secondario.

Con queste caratteristiche il forno non risulta compatibile con l'attività di fusione del bronzo e nemmeno con quella di fabbricazione della ceramica che richiederebbero temperature di esercizio ben più elevate di quelle raggiunte. Tali evidenze trovano riscontro anche nel confronto tipologico con altri forni transalpini per i quali l'interpretazione più attendibile è a favore dell'utilizzo domestico (vedi Salzani *supra*). Sembra quindi plausibile che tali forni con struttura leggera e piano forato (fabbricati per essere trasportabili) venissero utilizzati per l'affumicatura di carne o pesce, l'essiccazione di legumi e la tostatura di cereali (Coulon, 2019).

CONCLUSIONE

Le indagini condotte sui pani rinvenuti nel sito produttivo di San Giorgio di Valpolicella in località Casaletti mostrano la prevalenza della lega di rame a elevato contenuto di ferro, già riscontrata nei reperti con lo stemma del “ramo secco”, rinvenuti nel territorio veronese [nostro lavoro]. L'*aes signatum* circolava in età premonetale in particolare nella Tirrenia centrale e nell'area Ovest dell'Etruria polese, includendo anche la regione a Nord del Po.

Il rinvenimento dei pani esaminati in un sito destinato alla rifusione allontana l'ipotesi di una loro funzione premonetale.

Molto probabilmente questi pani venivano utilizzati come fonte di rame per la realizzazione di fibbie ed elementi ornamentali, dopo un processo di scorificazione con sabbie feldspatiche.

La fornace nella quale avvenne l'attività metallurgica, ovvero la rifusione dei rottami e la scorificazione del ferro non è stata ancora rinvenuta. Infatti, le analisi condotte sui frammenti ceramici rinvenuti

ti nello stesso laboratorio, meglio corrispondono a quelle di un forno utilizzato per cucinare, essiccare o affumicare gli alimenti.

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo Chiara Dalconi per le analisi in diffrazione e Stefano Castelli per le immagini fotografiche dei pani di bronzo.

BIBLIOGRAFIA

- COCCHI ERCOLANI E., 1987. Unità-riserva di valore, strumenti di Pagamento, mezzi di scambio in Emilia Romagna e in Italia. *Studi e Documenti di Archeologia*, III: 131-173.
- CRADDOCK P.T., MEEKS N.D., 1987. Iron in ancient copper, *Archaeometry*: 187-204.
- CRADDOCK P.T., 1995. Early metal mining and production. London: 255-270.
- FENZI F., PERUZZO L., SALZANI L., CAIRNS W.R.L., VIGATO P.A., 2009. Indagini archeometriche su lingotti di rame del "ramo secco" rinvenuti a nord del Po (VR). *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, Geologia Paleontologia Preistoria, 33: 115-132.
- FOLLO L., 1998. Archeometria dei lingotti: alcuni aspetti analitici. In: Neri D. (Editor). Aspetti premonetali e monetali nell'Emilia Centrale. Aes signatum e moneta greca da Castelfranco Emilia. *Quaderni di archeologia dell'Emilia Romagna*, 1: 169-176.
- GARAGNANI G.L., MARTINI C., 2002. Indagini microstrutturali e chimiche di lingotti di rame e di aes rude. In: Pellegrini E., Macellari R. (Editors). I Lingotti con il segno del "ramo secco". *Biblioteca Studi Etruschi*: 147-162 e tav. IX.
- COULON J., 2019. Etude thermique d'un four protohistorique: entre théorie et pratique, Incontri annuali di preistoria e protostoria – *Focolari, Forni e Fornaci tra Neolitico ed Età del Ferro*, 6: 73-76.
- MAGGIANI A., 2002. La libbra etrusca. *Studi Etruschi*, vol. LXV-LXVIII, Firenze.
- NERI D., 1998. Aspetti premonetali e monetali nell'Emilia Centrale. Aes signatum e moneta greca da Castelfranco Emilia, *Quaderni di archeologia dell'Emilia Romagna*, 1, Firenze.
- NERI D., 2003. Aes signatum da S. Giorgio di Valpolicella, *Quaderni di Archeologia del Veneto*, XIX: 106-108.
- NERI D., 2004. Rinvenimento di aes signatum e lingotti da Oppeano (VR). Ricerche archeologiche in Italia e in Siria, Atti del Convegno. Padova: 5-10.
- NERI D., 2005. Gazzo Veronese. Note sul rinvenimento di un aes signatum da Coazze. *Quaderni di Archeologia del Veneto*, XXI: 86-89.
- PANVINI ROSATI F. 1970. Il ripostiglio di Castelfranco Emilia. Nuovi elementi. *EmPrerom*, 6: 15-43.
- PANVINI ROSATI F. (Editor), 1988. Aes signatum. Un aspetto dell'economia nell'Emilia preromana, Reggio Emilia.
- PELLEGRINI E., MACELLARI R. 2002. I lingotti con il segno del ramo secco. Considerazioni su alcuni aspetti socioeconomici nell'area etrusco-italica durante il periodo tardo-arcaico. *Biblioteca Studi Etruschi*, 38, Pisa-Roma.
- PETERS E.D., 1907, Modern copper smelting 7th ed., esp., New York, McGraw-Hill: 276-278
- SALZANI L., 2002. Età del Ferro. In: Aspes A. (Editor). Preistoria Veronese. Contributi e aggiornamenti. *Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, II serie, Sezione Scienze dell'Uomo, 5: 157-215.
- SASSATELLI G., 1981-1982. Graffiti alfabetici e contrasegni nel villanoviano bolognese, *EmPrerom*, 9, 10: 147-255.