

Metallurgia del piombo e siderurgia nel sito protostorico di Brunku 'e s'Omu (Sardegna centro-occidentale): inquadramento funzionale dei manufatti e ricostruzione dei processi produttivi

Marco Serra – Carla Cannas – Martina Montisci – Giacomo Paglietti – Riccardo Cicilloni

The archaeological excavations carried out in 2013 in the hut n. 16 of the protohistoric settlement of Brunku 'e s'Omu (central-western Sardinia) returned some metal products. The morpho-metric and functional study of these artifacts allowed the identification of two mending strips and other remains related to Bronze Age (late II millennium BC) ceramic vessels repairing. Some uncertainly dated slags and metal fragments were also identified.

Visual examination and archaeometric investigation carried out by means of portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (pXRF) were performed on these metals. The analyses were able to relate some remains to iron manufacturing and highlighted the lead composition of the other ones. The chosen approach further clarified some aspects of nuragic metallurgists' behaviour in selecting and processing metalliferous geo-materials.

Introduzione

La tradizione di studi archeometallurgici, fiorita in Sardegna negli ultimi decenni, annovera numerosi casi applicativi volti all'inquadramento tipologico e funzionale dei reperti risalenti ad età nuragica e alla loro caratterizzazione chimica e fisica¹. Tra le principali tecniche strumentali impiegate per l'investigazione di tali prodotti piro-sintetici si ricordano la spettroscopia di assorbimento atomico (AAS), la microscopia a scansione elettronica (SEM-EDS)² e la spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS), applicate all'indagine di numerosi reperti metallici dell'isola sia ai fini della loro caratterizzazione elementare che per la determinazione dei traccianti isotopici del piombo³, la cui conoscenza è considerata imprescindibile ai fini di una puntuale diagnosi di provenienza delle materie prime metallifere⁴. In anni recenti le istanze di tutela, cui è sempre più strettamente soggetto il patrimonio archeologico nazionale, hanno spinto gli studiosi del settore archeometrico verso l'adozione e lo sviluppo di tecniche analitiche operanti secondo modalità sempre meno invasive e distruttive dei materiali antichi.

Il presente lavoro propone i risultati dell'indagine condotta su un lotto di reperti metallici provenienti dal villaggio nuragico di Brunku 'e s'Omu di Villa Verde (Sardegna centro-occidentale). In ottemperanza alle sueposte prescrizioni di natura conservativa, è stato sviluppato un percorso di studio basato sull'indagine autoptica e su misurazioni archeometriche non distruttive, attraverso l'applicazione della spettrometria di fluorescenza di raggi X a dispersione di energia (ED-XRF) con strumenti portatili (pXRF). Lo studio è stato indirizzato verso la definizione della destinazione d'uso dei reperti metallici e la loro caratterizzazione chimica, allo scopo di ricostruire il *know how* tecnologico sotteso alla produzione metallurgica, probabilmente imputabile allo stesso gruppo umano residente nel sito di Brunku 'e s'Omu durante il Bronzo Finale.

M.S.

¹ Per una sintesi sull'argomento si veda SANNA *et al.* 2011.

² ATZENI *et al.* 1987; 2011.

³ VALERA *et al.* 2011.

⁴ Per un'efficace sintesi sulle tecniche archeometriche citate nel presente paragrafo si vedano LEUTE 1987; CILIBERTO, SPOTO 2000; GAUGLITZ, VO-DINH 2003; HOLLAS 2004; GLASCOCK *et al.* 2007; GOFFER 2007; POLLARD *et al.* 2007; POLLARD, HERON 2008.

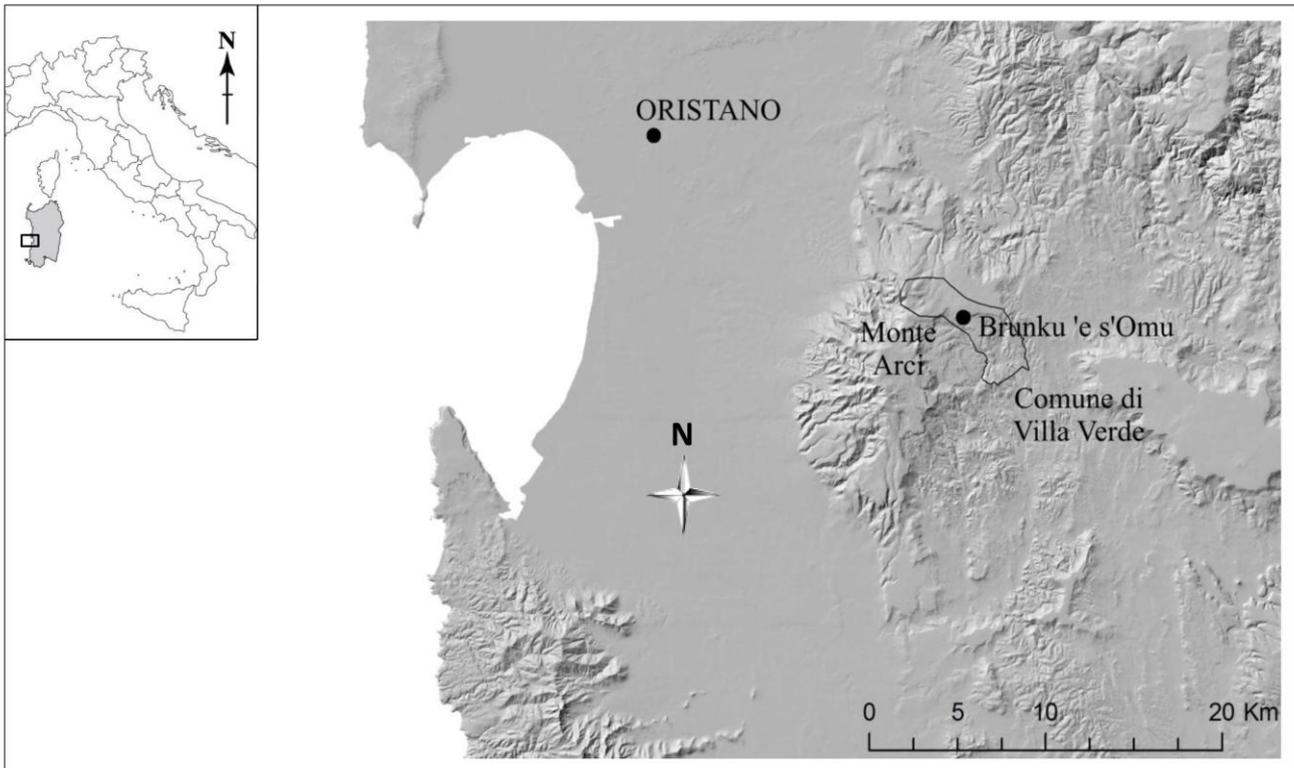


Fig. 1. Carta geografica della Sardegna con la localizzazione del sito di Brunku 'e s'Omu di Villa Verde (OR) (elaborazione grafica M. Cabras).

1 - I villaggio protostorico di Brunku 'e s'Omu

Il complesso nuragico di Brunku 'e s'Omu si trova sul versante orientale del Monte Arci, nella Sardegna centro-occidentale (fig. 1). Il sito, che sorge nel bosco immediatamente a nord della località di Mitza Margiani, comprende un nuraghe ed un esteso villaggio di età protostorica.

Il nuraghe è di tipo complesso, caratterizzato da una peculiare planimetria, dovuta probabilmente al condizionamento delle caratteristiche geomorfologiche del sito: il nuraghe è infatti costituito da una singola torre sulla sommità di un picco basaltico e da vari corpi aggiunti, posizionati lungo i versanti del medesimo rilievo e collegati tra loro da tratti di murature⁵. Alle pendici sud-orientali del rilievo su cui sorge il nuraghe è stato trovato un importante agglomerato capannicolo. Le indagini scientifiche hanno permesso di individuare oltre venti capanne costruite in opera poligonale a secco che spesso integra, con grandi massi di basalto locale, emergenze rocciose naturali.

Le strutture dovevano tendenzialmente avere una copertura originaria di pali e frasche ma, in qualche caso, probabilmente, anche una copertura litica, come sembra testimoniare l'aggetto delle pareti di alcune muraure interne. Tali capanne presentano vari schemi planimetrici: si hanno piante circolari, ellittiche, sub-ellittiche e sub-quadrangolari, particolarità propria delle capanne del Bronzo Finale sardo⁶.

Dal 1982 al 2004 sono state effettuate, a cura della Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano, varie campagne di scavo che hanno messo in luce una parte dell'abitato⁷. Di recente è ripresa l'attività di scavo nell'area del villaggio, a seguito di una concessione ministeriale accordata al Dipartimento di Storia, Beni Culturali e Territorio dell'Università degli Studi di Cagliari: sono state effettuate due campagne di scavo, rispettivamente nell'estate del 2013 ed in quella del 2014.

⁵ USAI, LOCCI 2008; CICILLONI, CABRAS 2014.

⁶ PAGLIETTI 2012.

⁷ LOCCI *et al.* 2004; USAI, LOCCI 2008.

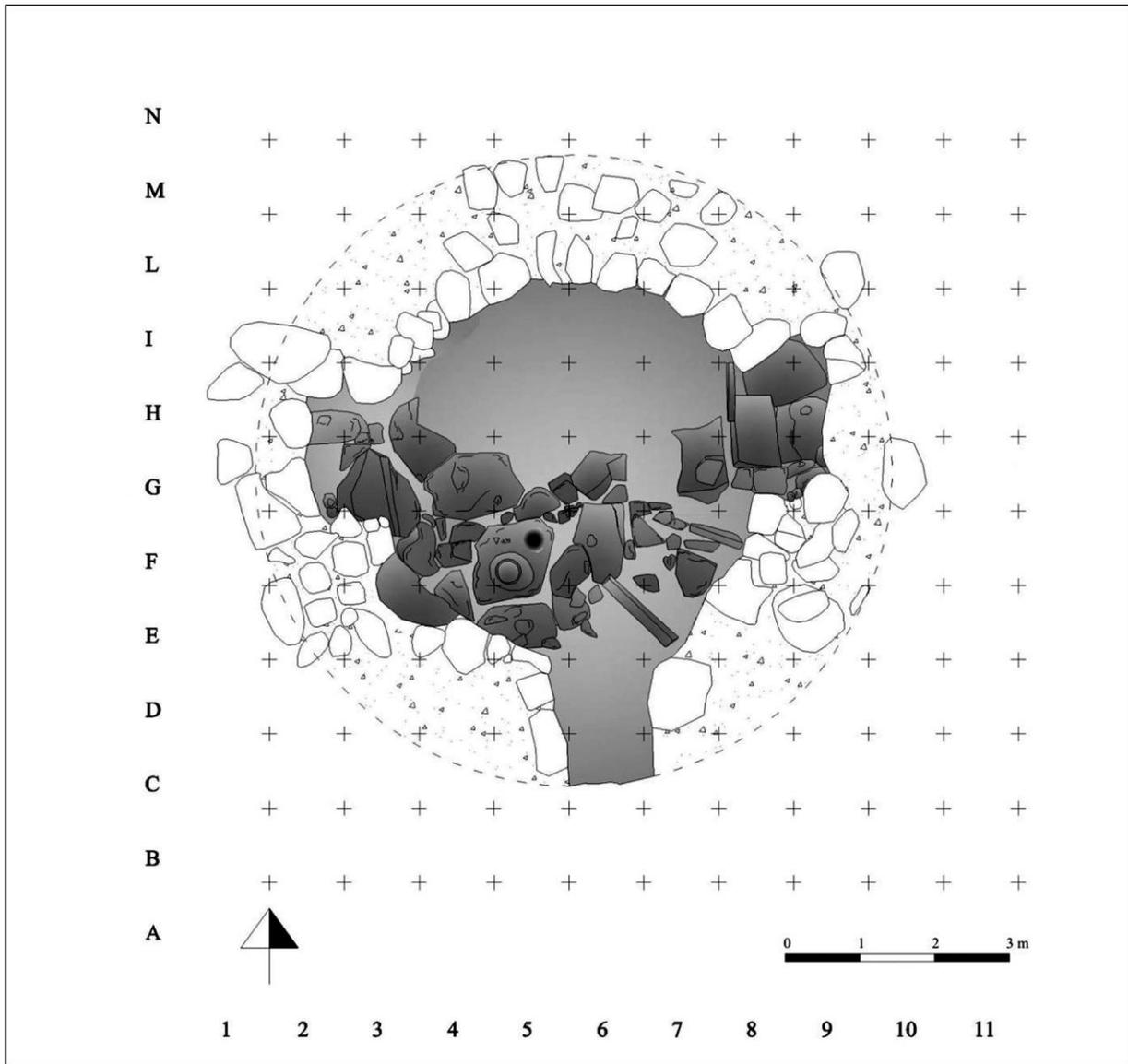


Fig. 2. Brunku 'e s'Omu-Villa Verde. Rilievo planimetrico della capanna n. 16 (elaborazione grafica V. Chergia).

Le operazioni di indagine hanno riguardato alcune capanne localizzate nella zona nord-orientale del villaggio, disposte attorno ad un ampio spazio centrale (piazza?), a costituire una sorta di isolato⁸. In particolare, è stata indagata la capanna n. 16 (fig. 2), dalla quale provengono i reperti metallici qui presentati. Si tratta di un ambiente di pianta circolare, attualmente privo della copertura in quanto crollata, dall'altezza residua massima di 3,51 m (tratto di muratura settentrionale) e diametro interno alla base di 5,00/5,10 m, con uno spessore murario medio di 1,80 m. L'ingresso si apre a sud/sud-est, ed è leggermente strombato verso l'interno (largh. 1,20 m). La tecnica muraria riscontrata consiste nella messa in opera di filari orizzontali di blocchi basaltici rozza-mente sbozzati, dalle medie e grandi dimensioni. Lungo il perimetro interno della capanna sono presenti tre nicchie risparmiare nello spessore delle pareti. La pavimentazione è costituita in parte da massi del basamento roccioso lavorati sulla sommità (spesso con grande cura), in parte da un acciottolato che riutilizza dei frammen-

⁸ CICILLONI 2014; CICILLONI, PAGLIETTI 2014.

ti di matrici di fusione e da un battuto pavimentale in argilla che colma gli interstizi tra i massi; tale battuto poggia su vari strati di preparazione che a loro volta ricoprono il paleosuolo. Su uno dei grandi blocchi di base venne ricavato un bacile con ghiera ad anello (diam. est. 55 cm; diam. int. 35 cm; prof. 12 cm).

Lo scavo ha messo in luce una prevalente frequentazione della capanna durante il Bronzo Finale della Sardegna mentre, coerentemente con quanto emerso dalle indagini effettuate in passato nel resto del sito, non ha restituito sicure prove di un'occupazione durante la successiva età del Ferro.

R.C.

2 - Materiali e metodi

2.1 - I reperti

L'indagine archeologica condotta nel 2013 all'interno della capanna n. 16 del sito di Brunku 'e s'Omu di Villa Verde (OR), ha portato al rinvenimento di un piccolo lotto di elementi di cultura materiale riferibili ad attività metallurgica.

La stratigrafia riconosciuta all'interno della struttura è caratterizzata da una sequenza del tutto analoga a quella osservata nelle altre unità abitative del villaggio di Brunku 'e s'Omu⁹. Anche nella capanna 16 lo spesso deposito di crollo (1) si è presentato uniforme quale risultato di progressive e ravvicinate cadute di blocchi costituenti le murature della capanna. A parte il rinvenimento di sporadici elementi culturali dalle quote inferiori (descritti in questo contributo), durante lo scavo del deposito di crollo (1) non è stata osservata alcuna importante variazione stratigrafica che abbia lasciato intendere un'occupazione del vano posteriore all'abbandono. Al di sotto della US1 è stato rinvenuto un livello (2) corrispondente all'ultima fase di frequentazione della capanna (2).

Durante le prime operazioni di scavo, sono state individuate due piccole cavità ricavate nei conci della muratura del paramento settentrionale¹⁰: all'interno della cavità Est (2 ter) è stata rinvenuta una piccola placca metallica (inv. n. BSO87) (fig. 3a). Nel settore sud-occidentale dell'edificio, nel corso dell'asportazione della US 1, alle quote comprese tra -3,05 m e -3,35 m sono stati rinvenuti due blocchi basaltici coperti da evidenti colate scoriacee (inv. nn. BSO257, BSO191) (fig. 4a-b); inoltre nella stessa unità stratigrafica è stato recuperato un frammento di scoria (inv. n. BSO269), pertinente con certezza al rifiuto metallurgico aderente ad uno dei blocchi (Inv. n. BSO191) sopra descritti (fig. 3b). Dalla sottostante US 2 (da -3,42 m a -3,55 m) proviene una grappa metallica frammentaria (inv. n. BSO385; fig. 3c), probabilmente destinata alla riparazione di contenitori fittili. Proseguendo lo scavo, alla profondità di -3,80 m circa, sono stati individuati, ancora, altri resti metallici: un frustolo dall'aspetto ferroso (inv. n. BSO550), un frammento basaltico al quale aderisce una piccola massa scorificata (inv. n. BSO592) ed un residuo di colata (inv. n. BSO663) (fig. 3d-f). Dallo stesso settore proviene, infine, una grappa di restauro integra (inv. n. BSO1054) solidale ad un brano di scodella fittile (fig. 3g).

La US 2, che ha restituito la maggior parte dei reperti appena elencati, è stata oggetto di datazione radiometrica ¹⁴C: 2870 ± 30BP, 1120-940 cal BC 2σ¹¹. Tale datazione colloca il livello stratigrafico in oggetto entro le fasi conclusive del Bronzo Finale sardo e indica il *terminus post quem* per l'inquadramento cronologico della soprastante US 1; qui l'unico elemento culturale rinvenuto è rappresentato da un frammento di scodellone ansato confrontabile con analoghi manufatti da Su Nuraxi-Barumini¹² e Cuccurada Mogoro¹³, e riferibile alle fasi comprese tra lo scorcio del Bronzo Finale e gli inizi del Primo Ferro (fig. 5).

I reperti metallici oggetto delle analisi archeometriche presentate in questo contributo, sono riassunti in tab. 1¹⁴.

G.P.

⁹ LOCCI, USAI 2008; CICILLONI, PAGLIETTI 2014.

¹⁰ Dalla cavità posta ad ovest (2 bis) provengono un'accettina di pietra verde ed un brunitoio.

¹¹ Campione Beta-392579. Data set: IntCal 13, REIMER *et al.* 2013.

¹² SANTONI 2001: 90.

¹³ MONTISCI 2015: 263.

¹⁴ Sulla grappa in piombo Inv. n. BSO1054, attualmente sottoposta ad un delicato intervento di consolidamento e restauro, è stato possibile effettuare il solo studio morfo-metrico e funzionale. La restante parte dei ritrovamenti è stata invece indagata, dal punto di vista morfo-metrico, funzionale e tecnologico.



Fig. 3. Prodotti metallurgici della capanna n. 16 di Brunku 'e s'Omu-Villa Verde: placca metallica Inv. n. BSO87 (a); scorie di fusione Inv. nn. BSO269 (b) e BSO592 (e); grappe di restauro Inv. nn. BSO385 (c) e BSO1054 (g); frustolo metallico Inv. n. BSO550 (d); residuo di colata Inv. n. BSO663 (f)

2.2 Tecniche e strumenti

In prima istanza è stato operato un tentativo di inquadramento dei singoli reperti entro le categorie materiali di relativa pertinenza. Per l'espletamento di questa prima fase di ricerca è stato adottato un criterio descrittivo atto ad inquadrare i caratteri formali, dimensionali e funzionali dei manufatti metallici di Villa Verde.

Il secondo livello di analisi è stato condotto per via autoptica ed ha permesso la descrizione delle peculiarità strutturali macroscopiche dei metalli. L'ispezione visuale ha fornito importanti indicazioni, seppure di carattere preliminare, sulle fasi pirotecniche di pertinenza dei singoli prodotti e sulle specie chimiche in essi presenti, queste ultime definibili attraverso le cromie conferite dai fenomeni di alterazione delle masse metalliche (ossidazione, carbonatazione etc.). Tali informazioni sono risultate di valida utilità, in quanto hanno concorso ad orientare correttamente l'interpretazione dei dati forniti dalla successiva indagine chimica.



Fig. 4. Blocchi di basalto coperti da colate scoriacee: a) Inv. nn. BSO257; b) BSO191.

In relazione al programma archeometrico, l'investigazione del campione archeologico è consistita nell'esecuzione di una serie di misure non distruttive e non invasive effettuate tramite la tecnica spettrometrica di fluorescenza di raggi X a dispersione di energia (ED-XRF)¹⁵, al fine di verificare la composizione chimica dei reperti metallici. Attraverso i dati analitici è stato possibile addivenire ad una caratterizzazione elementare delle materie prime impiegate nella pratica fusoria, sondare le peculiarità tecnologiche di quest'ultima e valutare il livello delle competenze metallurgiche ad essa sottese.

Le misure di fluorescenza sono state effettuate attraverso l'ausilio degli spettrofotometri portatili (pXRF) ASSING LITHOS 3000 e XGLab ELIO. Le analisi sono state condotte attraverso l'adozione delle seguenti condizioni sperimentali: tempo di acquisizione = 600 s; tensione elettrica = 25 kV; intensità di corrente elettrica = 150 μ A, diametro del collimatore = 5 mm; distanza dal campione di 10 mm.

M.S., C.C.

¹⁵ Sull'efficacia delle misure di fluorescenza condotte secondo l'approccio non distruttivo si vedano JONES *et al.* 1997; CANEVA *et al.* 1998; SHACKLEY 2011; MITCHELL *et al.* 2012.

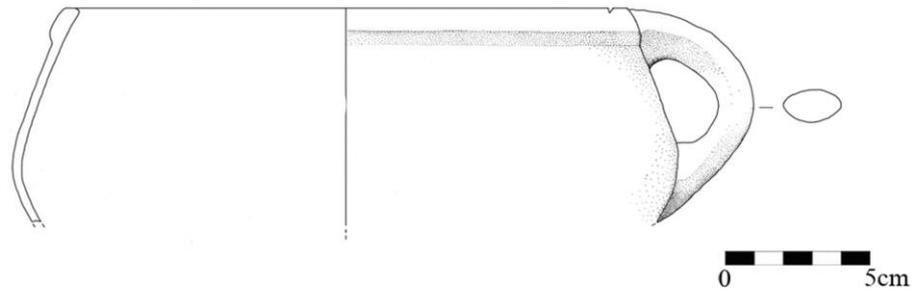


Fig. 5. Brunku 'e s'Omu-Villa Verde. Rappresentazione grafica del frammento di scodellone ansato rinvenuto nella US 1 della capanna n. 16 (dis. G. Paglietti).

N. inv.	Descrizione	US
BSO 87	Placca	2ter
BSO 269	Scoria	1
BSO 385	Grappa di restauro frammentaria	2
BSO 550	Frustolo ferroso	2
BSO 592	Scoria	2
BSO 663	Colata	2
BSO 1054	Grappa di restauro integra	2

Tab. 1. Tabella riassuntiva dei reperti metallici analizzati.

3 - Risultati

3.1 - I residui scoriacei

3.1.1 - Inquadramento funzionale e caratteri morfo-metrici

Le piccole masse vitrofiriche rinvenute a Villa Verde sono chiaramente inquadrabili come frammenti di scoria metallurgica. Si distinguono per i caratteri mensurali riportati di seguito. Il reperto inv. n. BSO269 (fig. 3 b) ha lungh. di 29 mm, largh. di 21 mm, spess. di 25 mm e peso di 15,3 g. Sul reperto inv. n. BSO592 (fig. 3e) sono state rilevati, invece, una lungh. di 35 mm, una largh. di 27 mm, uno spess. di 14 mm ed un peso di 19 g.

3.1.2 - Esame autoptico

I due reperti scoriacei si caratterizzano per il colore grigio scuro ed il peso specifico molto basso. La loro struttura è fortemente vetrosa (presumibilmente ricca di silice), bollosa, fluidale e isoorientata, ed è sicuramente riconducibile alla solidificazione di un composto allo stato semifluido e pastoso. I tratti macroscopici delle scorie di Brunku 'e s'Omu palesano, pertanto, la stretta relazione di tali sottoprodotti metallurgici con le fasi pirotecniche della fusione propriamente detta (*melting*)¹⁶.

3.1.3 - Analisi pXRF

Dal punto di vista chimico, i due frammenti scoriacei analizzati mostrano una stretta uniformità composizionale (fig. 6a-b). L'analisi pXRF di entrambi i reperti ha evidenziato, infatti, un set analitico all'interno del quale i picchi di fluorescenza dotati di maggiore intensità risultano essere quelli attribuibili al ferro (Fe). Tale circostanza, unita alla già descritta struttura vetrosa delle scorie, permette di confermare la pertinenza dei due reperti alla raffinazione di metallo ottenuto a seguito del processamento mineralurgico di georisorse metallifere contenenti elevati tenori di ferro e silicio, quest'ultimo non rivelabile attraverso gli spettrofotometri utilizzati.

Gli spettri dei residui scoriacei evidenziano, infine, la presenza di deboli segnali associabili al potassio (K), al calcio (Ca), al titanio (Ti), al manganese (Mn) ed allo stronzio (Sr).

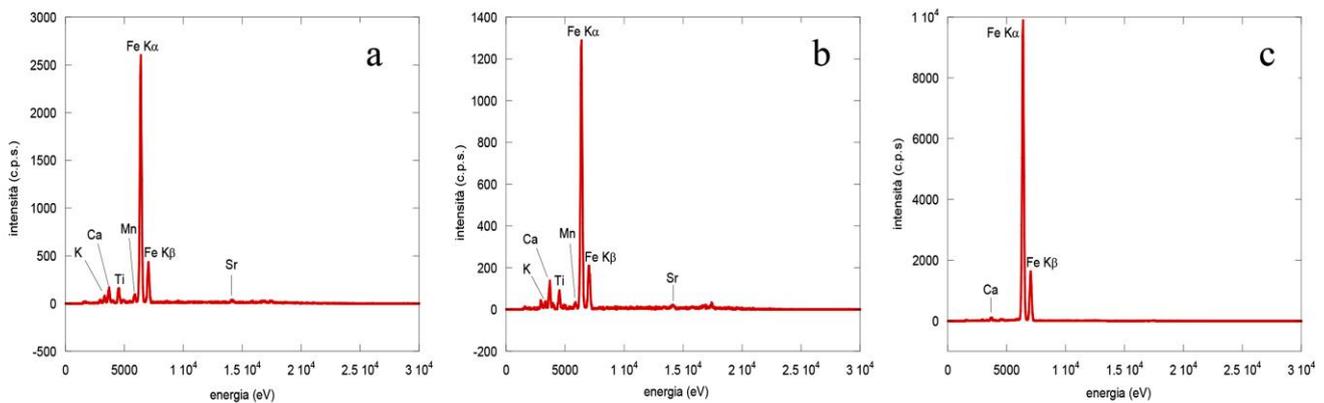


Fig. 6. Spettri pXRF delle scorie di fusione Inv. nn. BSO269 (a) e BSO592 (b), e del frustolo metallico Inv. n. BSO550 (c).

3.2 - Il frustolo ferroso

3.2.1 - Inquadramento funzionale e caratteri morfo-metrici

Il frustolo ferroso inv. n. BSO550 (fig. 3d) si presenta come una massa metallica di forma irregolare, caratterizzata dalle seguenti dimensioni: lungh. 32 mm, largh. 24 mm, spess. 18 mm, peso 35 g. Sotto il profilo tecnologico tale reperto può essere inquadrato come un prodotto di fusione siderurgica.

3.2.2 - Esame autoptico

All'atto del ritrovamento il reperto presentava un peculiare aspetto metallescente tale da far supporre l'assenza di qualsiasi fenomeno di degrado a carico del corpo metallico. Tuttavia, dopo alcuni mesi dallo scavo, sul frammento è stato documentato un incipiente processo di alterazione, reso evidente dall'insorgenza di una

¹⁶ TYLECOTE *et al.* 1977: 321.

sottile patina giallo-aranciata di probabile origine ossidativa (limonite) o carbonatica (siderite). Tale fenomeno ha accreditato l'ipotesi circa la natura siderurgica del residuo di Brunku 'e s'Omu o, quantomeno, ha rivelato un'elevata concentrazione di ferro nella sua composizione chimica.

3.2.3 - *Analisi pXRF*

A conferma delle considerazioni precedentemente espresse in relazione al frustolo metallico della cappa n. 16, i segnali di fluorescenza dotati di maggiore intensità sono risultati essere quelli pertinenti al ferro (Fe) (fig. 6c). Un segnale di intensità decisamente minore è stato attribuito al calcio (Ca), analita probabilmente afferente ai carbonati sideritici¹⁷ dei quali si è ipotizzata la presenza in relazione alle patine di alterazione del reperto.

La pressoché totale assenza di interferenze composizionali consente di parlare del prodotto siderurgico di Villa Verde come di un frammento di ferro sostanzialmente puro.

3.3 - *Le grappe di riparazione, il residuo di colata e la placca*

3.3.1 - *Inquadramento funzionale e caratteri morfo-metrici*

La pertinenza delle grappe di Brunku 'e s'Omu al tipo dei dispositivi anticamente impiegati nella riparazione dei contenitori fittili è confermata dal già menzionato rinvenimento di una grappa metallica integra (inv. n. BSO1054) in connessione con l'orlo di una scodella fittile (fig. 3g). Il reperto risulta composto da due piastrine irregolarmente quadrangolari notevolmente allungate (piastra interna: lungh. 77 mm, largh. 10 mm, spess. 2 mm; piastra esterna: lungh. 74 mm, largh. 11 mm, spess. 2 mm), oltreché dagli originali perni di unione delle due lamine, entrambi ancora visibili sulla porzione residua del manufatto ceramico restaurato in antico (lungh. perni: 11 mm). La seconda grappa (inv. n. BSO385) si presenta, invece, in evidente stato di frammentarietà (fig. 3c). Essa è costituita, infatti, soltanto da una delle due piastre che componevano la struttura originaria del sistema di ripristino dei vasi. Anche nel caso del reperto lacunoso, l'elemento residuale mostra una forma vagamente rettangolare (lungh. 85 mm, largh. 19 mm, spess. 3 mm).

La forma irregolarmente allungata del reperto inv. n. BSO663 (30 mm X 40 mm circa) parrebbe configurare l'oggetto come un residuo generato durante le operazioni di colaggio del fuso metallico (fig. 3f).

La placca inv. n. BSO87 si presenta, infine, come una piccola riserva metallica di sagoma irregolare, con lati curvilinei e dimensioni approssimative di 67 mm di lungh., 33 mm di largh., 6 mm di spess. e 62 g di peso (fig. 3a).

3.3.2 - *Esame autoptico*

L'osservazione visuale degli elementi materiali di Villa Verde connessi con la riparazione delle ceramiche, del piccolo flusso di colata e della placchetta, ha permesso di documentare la presenza di una spessa patina biancastra sulla superficie di tutti i reperti. Le cause dell'insorgenza di tali prodotti alterativi risiedono indubbiamente nella plurimillennaria esposizione dei manufatti ai fenomeni di diagenesi litosferica¹⁸. Pur tuttavia, una puntuale ispezione delle porzioni superficiali prive di incrostazioni ha permesso di confermare la costituzione metallica dei materiali archeologici. Laddove evidenti, le fusioni palesano un corpo dotato di lucentezza argentea, fortemente omogeneo e macroscopicamente privo di ogni inclusione e impurezza.

¹⁷ Potrebbe trattarsi, infatti, di ankerite, un carbonato doppio di calcio e ferro [CaFe(CO₃)₂] (DAY 2009: 1).

¹⁸ ATZENI *et al.* 2011: 143.

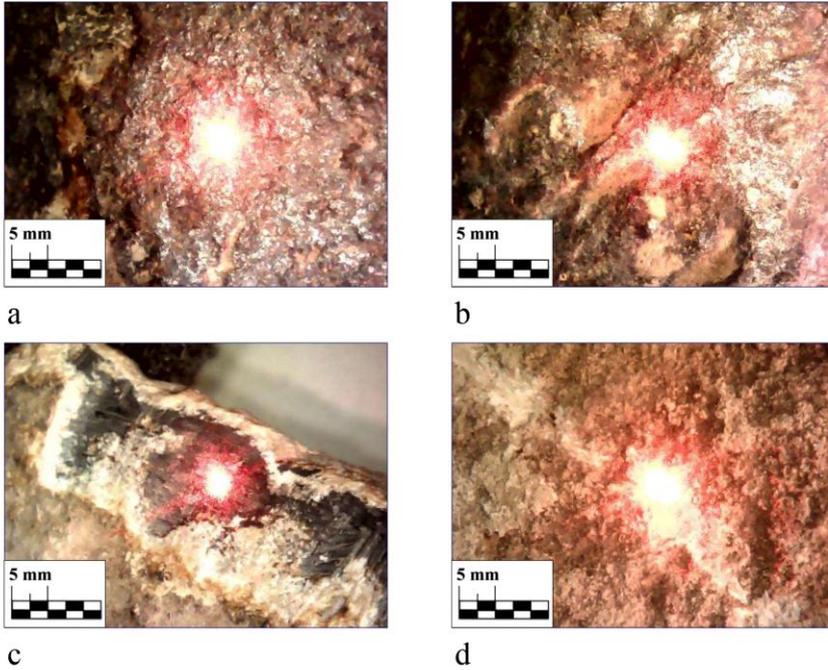


Fig. 7. Dettaglio delle masse metalliche di alcuni dei reperti sottoposti alle misurazioni pXRF: a) scoria di fusione Inv. n. BSO269; b) frustolo metallico Inv. n. BSO550; c) grappa di restauro Inv. n. BSO385; d) residuo di colata Inv. n. BSO663.

3.3.3 - Analisi pXRF

Onde scongiurare il rischio di interferenze composizionali da parte delle patine depositatesi sui reperti, l'irraggiamento fotonico ha interessato le zone non caratterizzate dal fenomeno di arricchimento post-deposizionale (fig. 7). Tale approccio ha consentito di ovviare alla fase preparativa dei campioni, funzionale all'eliminazione dello strato di neoformazione tramite dissoluzione chimica¹⁹ o abrasione meccanica a carico dell'interfaccia metallica²⁰. Dal punto di vista strumentale, ciò ha permesso, inoltre, di eliminare ogni complicazione legata al superamento degli strati

di alterazione da parte della radiazione X, generando le condizioni ottimali per un'attendibile mappatura elementale della massa metallica sottostante (*bulk analysis*)²¹.

Il set analitico rilevato sulla grappa inv. n. BSO385 (fig. 8a) e sulla placca inv. n. BSO87 (fig. 8b) risulta essere il medesimo, e comprende un analita con intensità maggiore, rappresentato dal piombo (Pb), e tre elementi con intensità minore: zolfo (S), ferro (Fe) e arsenico (As).

Alcune peculiarità composizionali si riscontrano, infine, in seno alla configurazione chimica della colata inv. n. BSO663 (fig. 8c) nella quale, ai picchi di fluorescenza relativi agli analiti rilevati sui due precedenti reperti, si aggiungono i segnali di potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti) e manganese (Mn).

M.S., C.C., M.M.

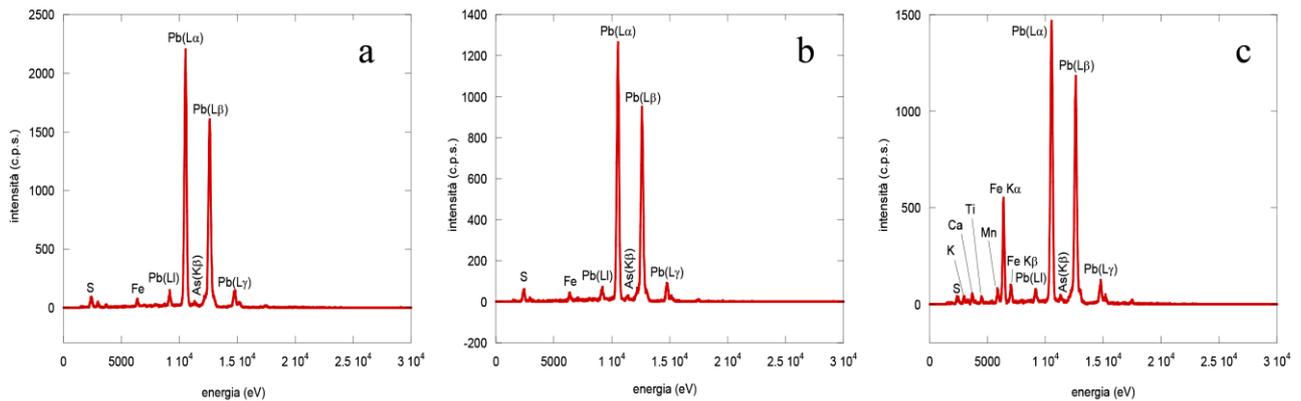


Fig. 8. Spettri pXRF della grappa di restauro Inv. n. BSO385 (a), della placca metallica Inv. n. BSO87 (b) e del residuo di colata Inv. n. BSO663 (c).

¹⁹ SCOTT 1996; JONES *et al.* 1997: 938.

²⁰ MUKHOPADHYAY 2006: 408.

²¹ ENGELHARDT 2006: 701-702.

4 - Discussione

4.1 - Aspetti funzionali

Come detto in precedenza, i caratteri visuali dei due residui metallurgici inv. nn. BSO269 e BSO592 (fig. 3b, 3e) di Brunku 'e s'Ormu, hanno preliminarmente suggerito l'appartenenza dei reperti al tipo delle scorie di fusione, spesso appellate nella letteratura scientifica anche come "scorie leggere"²². Tali reperti scoriacei possono essere inseriti nel già cospicuo novero di ritrovamenti dello stesso tipo effettuati in relazione a numerosi contesti protostorici dell'isola. Tra i siti di maggiore interesse scientifico, limitando l'elenco ai soli casi in cui si sia proceduto ad uno studio archeometrico del materiale, si ricordano quelli di Forraxi Nioi a Nuragus (CA)²³, Nieddiu e Enna a Nurallao (CA)²⁴, Baccus Simeone e Genna Maria a Villanovaforru (CA)²⁵, Brunku Madugui a Gesturi (VS)²⁶ e il ripostiglio individuato presso il vano "i" di Sa Sedda 'e sos Carros a Oliena (NU)²⁷. Tuttavia, ad esclusione del materiale scoriaceo proveniente da Oliena, accertatamente riconducibile ad attività siderurgica, la totalità dei sottoprodotti di fusione analizzati per il periodo nuragico sono riferibili alla metallurgia del rame e delle sue leghe. Avanzi metallurgici assimilabili al reperto inv. n. BSO550 (fig. 3d) sono noti in Sardegna attraverso il rinvenimento di alcuni scarti di fusione siderurgica nella già citata favissa barbaricina del sito di Sa Sedda 'e sos Carros, associati a manufatti cronologicamente inquadrabili nel Primo Ferro²⁸.

Lo studio formale dei reperti inv. nn. BSO385 e BSO1054 (fig. 3c, 3g) ha consentito di constatarne l'afferenza al tipo delle grappe di riparazione a due piastre (destinate rispettivamente alla parete interna e a quella esterna del manufatto danneggiato), rese tra loro solidali tramite perni cilindrici alloggiati all'interno di fori appositamente praticati sui frantumi ceramici da ricomporre. È presumibile che in Sardegna l'impiego di tali elementi metallici per la riparazione del vasellame ceramico rimonti al IV millennio BC, come testimonierebbe la presenza di fori per l'innesto di grappe, forse in piombo, su alcuni reperti fittili afferenti alla cultura tardo-neolitica di Ozieri e provenienti dagli insediamenti a carattere abitativo di Monte Olladiri-Monastir (CA) e Puisteris-Mogoro (OR)²⁹. Tuttavia, le prime attestazioni certe della manipolazione di questo metallo duttile, malleabile, basso fondente e quindi di semplice e immediata gestione sotto il profilo termotecnico, non risalgono oltre i tempi della *facies* eneolitica di Abealzu (2600-2400 BC)³⁰, alla quale vengono riferiti i tre frustoli di piombo provenienti dalla sepoltura megalitica di Corte Noa a Laconi (OR)³¹. È soltanto a partire dalle successive fasi culturali del III millennio che la metallurgia sarda si caratterizza per il crescente impiego del piombo nell'ambito utilitaristico della riparazione dei materiali fittili. Allo stato attuale delle conoscenze, infatti, la comparsa delle grappe realizzate con tale materiale può essere fatta risalire alla cultura di Monte Claro (2900-2300 cal. BC). Tra i contesti di ritrovamento si ricordano quelli delle cavità di San Lorenzo o Cuccuru Tiria³², di Su Mrajani³³ e di Grotta della Volpe³⁴, tutte nell'agro di Iglesias (CI). Testimonianze indirette dell'uso di simili grappe metalliche, rappresentate da scodelle, ziri e situle Monte Claro dotate di piccoli fori per l'inserimento dei punti metallici, giungono ancora dal sistema carsico dell'Iglesiente e, in particolare, dalla grotta Quattordicesima delle Ossa di Tanì ad Iglesias (CI) e dalla grotta dei Pipistrelli di Villamassargia (CI)³⁵. Durante il lasso cronologico che intercorre tra l'inizio del Campaniforme sardo (2500 cal. BC) e l'affermarsi del fenomeno nuragico nel Bronzo Medio locale (secc. XVI-XIV BC)³⁶, la produzione delle grappe di restauro in piombo registra una profonda battuta

²² GALLIN, TYKOT 1993: 341.

²³ TYLECOTE *et al.* 1984: 135-137.

²⁴ ZWICKER *et al.* 1980.

²⁵ ATZENI *et al.* 1987: 150.

²⁶ ATZENI *et al.* 2011: 167.

²⁷ ATZENI *et al.* 2011: 167, 191-192; LO SCHIAVO 2011a.

²⁸ SALIS 2012.

²⁹ UGAS 1993: 26.

³⁰ Per tutti gli orientamenti cronologici qui proposti in relazione al Neolitico e all'Eneolitico sardo si vedano LAI 2009: 318; MELIS 2009: 84.

³¹ ATZENI 1988: 526.

³² ATZENI 2001: 34, fig. 4.

³³ ALBA 2012: 1251, fig. 2.1.

³⁴ ALBA 1996: 23, fig. 1.1.

³⁵ ALBA 1973: 8, tav. 1.6, 9; CANINO 2001: 42.

³⁶ In relazione ai *range* cronologici indicati per il periodo nuragico, si vedano DEPALMAS 2009a; 2009b; 2009c.

d'arresto che determina la sostanziale assenza di tali manufatti nell'isola per oltre un millennio³⁷. Una decisa ripresa del loro impiego è documentata in relazione a numerosi contesti isolani riferibili al Bronzo Recente (secc. XIV-XII BC). A tale periodo, infatti, vengono ascritti i reperti metallici provenienti dal cortile *B* del nuraghe Su Sonadori di Villasor (CA)³⁸, dal complesso protostorico di Antigori di Sarroch (CA)³⁹, dal cortile *X* del nuraghe Adoni di Villanovatulo (NU)⁴⁰ e dal sito di S'Ollastu a Monastir (CA)⁴¹. A tempi di poco recenziari, specificatamente al passaggio tra la fase recente e quella finale dell'Età del Bronzo, afferiscono i consimili manufatti del tempio a pozzo di Santa Vittoria di Serri (NU)⁴², mentre al pieno Bronzo Finale (secc. XII-XI BC) andrebbero riferite le oltre cento grappe individuate sui *dolia* della torre A e nel cortile centrale del nuraghe Arrubiu di Orroli (CA)⁴³. Coeve a queste ultime sarebbero, inoltre, le grappe emerse in occasione delle investigazioni archeologiche condotte presso la fonte nuragica di Mitza Pidighi di Solarussa (OR)⁴⁴, nel nuraghe Orgono di Ghilarza (OR)⁴⁵, nel complesso di Santa Barbara di Bauladu (OR)⁴⁶ e nella capanna 173 del villaggio di Su Nuraxi di Barumini⁴⁷. Gli oggetti metallici ritrovati all'interno del vano *f* del nuraghe di Genna Maria a Villanovaforru (CA)⁴⁸, quelli osservabili sulla brocca askoide del nuraghe la Prisciona di Arzachena (OT)⁴⁹ e quelli del dolio di Su Cungiau 'e Funtà di Nuraxinieddu (OR)⁵⁰ andrebbero inquadrati, invece, entro le fasi incipienti dell'Età del Ferro. Solo genericamente riferibili ad età nuragica sarebbero, infine, i frammenti di grappe recuperati durante la raccolta di superficie che nel 1988 interessò l'interno della grotta di Su Gorroppu a Orgosolo (NU)⁵¹ e quelle facenti parte del carico metallico di un relitto navale protostorico rinvenuto ad Arbus (VS)⁵². Benché nella produzione del tipo di manufatti in oggetto non siano rilevabili significativi cambiamenti morfologici, dimensionali⁵³ e tecnologici in relazione alla variabile temporale, per le grappe in piombo di Villa Verde (inv. nn. BSO385 e BSO1054), riferibili al Bronzo Finale sulla base dei dati radiometrici e degli elementi culturali associati, l'accostamento formale di maggiore pregnanza è quello istituibile con gli omologhi reperti dei contesti nuragici di Santa Barbara di Bauladu (OR)⁵⁴ e di Su Nuraxi di Barumini⁵⁵. L'unica difformità tecnica ravvisabile tra i manufatti dei diversi siti è rappresentata dall'apparente assenza a Brunku 'e s'Omu e a Barumini delle impronte di trame tessili che interessano i rinvenimenti di Santa Barbara, le quali rivelano l'uso di pezze per il contenimento della fusione, onde evitare la dispersione di materiale metallico sottoforma di colature⁵⁶. È possibile, tuttavia, che sotto la spessa patina che riveste quasi per intero le superfici metalliche delle grappe oggetto di questo studio possano ancora celarsi testimonianze di analogo interesse tecnologico, ancorché la mancata adozione di tale espediente tecnico nella produzione metallurgica di Villa Verde sembri confermata dal rinvenimento della colata plumbea inv. n. BSO663 (fig. 3f). Sebbene alcune placchette in piombo siano note in relazione al già menzionato relitto navale di Arbus (VS)⁵⁷, per il piccolo lingotto inv. n. BSO87 (fig. 3a), a conoscenza di chi scrive, mancano dei convincenti termini di paragone morfometrici e ponderali d'ambito nuragico⁵⁸. Infatti, i più piccoli pani di piombo protostorici della Sardegna dei quali sia fatta menzione nella letteratura specialistica, so-

³⁷ UGAS 1993: 26.

³⁸ USAI, MARRAS 2005: 191; USAI 2011a: 114.

³⁹ LO SCHIAVO 2011b: 123.

⁴⁰ LO SCHIAVO 2011d: 331.

⁴¹ UGAS 1993: 28.

⁴² LO SCHIAVO 2011c: 125.

⁴³ LO SCHIAVO, SANGES 1994: 60-64; PERRA 2003: 84.

⁴⁴ USAI 2004: 540-541.

⁴⁵ USAI 2011b: 129.

⁴⁶ GALLIN, TYKOT 1993: 343.

⁴⁷ PAGLIETTI 2011: 284, tav. XLVII.1.

⁴⁸ ATZENI *et al.* 1987: 150, 161 fig. 2.

⁴⁹ CAMPUS, LEONELLI 2002: 527, nota n. 27, fig. 12.1; CONTU 2006: 679, fig. 117.4.

⁵⁰ SEBIS 1994: 93, tav. X.13; 2007: 74, fig. 22.20.

⁵¹ SANGES 1993: 43-44.

⁵² UGAS 1993: 28.

⁵³ È possibile osservare, infatti, come la variabilità mensurale delle grappe sembri regolata essenzialmente dalle dimensioni del vaso da restaurare.

⁵⁴ GALLIN, TYKOT 1993: fig. 10; ATZENI *et al.* 2011: figg. 49, 53.

⁵⁵ PAGLIETTI 2011: 284, tav. XLVII.1.

⁵⁶ ATZENI *et al.* 2011: 204.

⁵⁷ UGAS 1993: 28.

⁵⁸ L'unico parallelo ponderale possibile per il reperto di Villa Verde è quello istituibile con la riserva di piombo di 66 g rinvenuta presso le strutture del Nuraghe Santa Barbara di Bauladu (NU), la quale è però definita in letteratura come "frammento di lingotto" (GALLIN, TYKOT 1993: 343).

no rappresentati dai dodici esemplari del peso di 2 kg ciascuno rinvenuti nel nuraghe Badu 'e Tuva di Tula (NU)⁵⁹. Ciononostante, per la placca di Villa Verde pare legittimo congetturare una funzione pratica ricadente, una volta di più, nell'ambito del restauro ceramico, probabilmente come riserva di metallo da rifondere in occasione di riparazioni eseguibili entro lo spazio abitativo della capanna n. 16⁶⁰. Le impressioni espresse in merito alla destinazione funzionale dei vari elementi in piombo di Brunku 'e s'Omu, ricevono un vigoroso sostegno dalle analisi recentemente eseguite su simili reperti provenienti dal Nuraghe Cuccurada di Mogoro (OR). Anche in quest'ultimo contesto, infatti, sono state documentate tracce riferibili ai diversi *step* di una catena operativa finalizzata alla realizzazione e all'impiego di dispositivi destinati al ripristino di contenitori fittili danneggiati: tra essi, analogamente a quanto osservato a Villa Verde, sono riconoscibili piccole riserve metalliche (rappresentate da rottami destinati alla rifondita), prodotti finiti (grappe) e residui informi di derivazione termotecnica⁶¹.

Recenti *test* sperimentali, eseguiti al fine di replicare i processi produttivi delle grappe di riparazione note per la protostoria della Sardegna, hanno permesso di osservare che la temperatura di fusione del piombo (327 °C) poteva facilmente essere ottenuta attraverso l'ausilio di focolari non strutturati⁶², sebbene questi ultimi siano notoriamente soggetti a sensibili variazioni termiche⁶³. Attraverso un adeguato apporto di comburente (ossigeno), lo stesso tipo di focolare avrebbe potuto permettere il raggiungimento dei 400 °C, abbassando la viscosità del fuso a 2,3 cP (appena doppia rispetto a quella dell'acqua) e la sua densità a 10,597 g/cm³⁶⁴, migliorandone la capacità di penetrazione all'interno dei fori praticati sui frammenti fittili da ricomporre. Il tempo richiesto per l'esecuzione delle operazioni appena descritte ammonterebbe a complessivi 10 minuti, circostanza che evidenzia la relativa semplicità di realizzazione delle grappe e che supporta l'ipotesi, precedentemente espressa in relazione a Brunku 'e s'Omu, circa il carattere di attività domestica della produzione in oggetto.

M.S., M.M., G.P.

4.2 - Elementi di metallurgia antica

La composizione chimica delle scorie siderurgiche inv. nn. BSO269 e BSO592 (fig. 6a-b), associata alla loro struttura vetrosa (fig. 3b, 3e), palesa la formazione di legami stabili tra parte del ferro grezzo e la silice residua della frazione sterile, durante le operazioni di raffinazione del metallo. La presenza di minerali silicati di ferro, i quali generalmente rappresentano i principali costituenti delle scorie metallurgiche note per la protostoria sarda⁶⁵, potrebbero derivare però anche da un'integrazione della carica minerale con additivi ferro-silicatici (dotati di elevato potere scorificante) indotta dall'agente antropico durante la precedente fase di riduzione⁶⁶. La presenza di potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), manganese (Mn) e stronzio (Sr) permette, infine, l'interpretazione di tali analiti quali possibili resti di ganga o, almeno in parte, come avanzi di miscele fluidificanti sopravvissuti alle fasi metallurgiche di ricupero del ferro⁶⁷.

Il materiale componente il frustolo inv. n. BSO550 si mostra fortemente inadatto alla realizzazione di oggetti d'uso quotidiano capaci di buone prestazioni tecniche a causa della forte malleabilità derivante dalla quasi completa purezza del ferro che lo costituisce⁶⁸ (fig. 6c), paragonabile a quella rilevata sul frammento metallico inv. n. 59024 di Sa Sedda 'e sos Carros di Oliena⁶⁹.

Nella grappa inv. n. BSO385 e sulla placca inv. n. BSO87 (fig. 8a-b) la presenza di zolfo (S), ferro (Fe) e arsenico (As) è probabilmente imputabile ad una poco efficiente purificazione del metallo principale (piombo)

⁵⁹ LILLIU 1986: 11.

⁶⁰ ATZENI *et al.* 2003: 107-115.

⁶¹ SERRA *et al.* 2015.

⁶² ATZENI *et al.* 2011: 204.

⁶³ PERLÈS 1977.

⁶⁴ HOFMANN 1970.

⁶⁵ ATZENI 2011: 22.

⁶⁶ GIARDINO 2010: 56.

⁶⁷ GALE, STOS-GALE 1981: 178; GIARDINO 2010: 163; ATZENI 2011: 20-22, 31-32.

⁶⁸ Per completezza d'informazione si ritiene necessario specificare che il limite di rivelabilità degli spettrofotometri di fluorescenza di raggi X utilizzati, non ha consentito di chiarire l'eventuale esistenza di carbonio nel reperto. Per una più precisa valutazione delle peculiarità tecnologiche del materiale in oggetto si renderebbe necessaria un'indagine distruttiva mirata alla determinazione quantitativa di tale elemento capace di incrementare la durezza del ferro.

⁶⁹ ATZENI *et al.* 2011: 191 tab. 25.

nelle fasi di arricchimento (*roasting*)⁷⁰, riduzione (*smelting*) e fusione (*melting*)⁷¹. Se il riscontro delle impurezze ferrose e arsenicali nelle grappe di piombo protostoriche della Sardegna è abbastanza frequente⁷², non altrettanto può essere affermato in relazione alla presenza di zolfo nella massa metallica dei manufatti⁷³. Nel caso di specie, questo elemento chimico potrebbe derivare dall'impiego di una carica minerale solforosa sottoposta ad una blanda fase di arricchimento per desolforazione⁷⁴. Tale dato riveste particolare interesse in virtù del fatto che potrebbe rivelare l'utilizzo di galene (delle quali il Sud dell'isola è particolarmente ricco⁷⁵) nell'esercizio fuorioso della Sardegna di fine II millennio BC. L'ipotesi dell'approvvigionamento di piombo dai giacimenti metalliferi del Meridione della Sardegna è stata avanzata a più riprese dagli archeologi isolani⁷⁶ ma solo in rari casi si è proceduto ad una sua validazione per via archeometrica⁷⁷.

Nella colata inv. n. BSO663 (fig. 8c), anch'essa costituita essenzialmente da piombo e caratterizzata da impurezze solforose, i segnali di potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti) e manganese (Mn) possono essere posti in relazione con masse residuali di ganga, materiale sterile pertinente al minerale metallifero processato. Decisamente meno realistica pare, invece, un'interpretazione delle suesposte specie chimiche come resti di fondenti introdotti durante il processo di *smelting* per la fluidificazione degli sterili minerali. Infatti, l'impiego di tali agenti scorificanti, generalmente composti da ceneri alcaline apportatrici di potassio, da prodotti a base di carbonato di calcio o da minerali di ferro e manganese, trova la sua ragion d'essere nel trattamento di metalli altofondenti come il rame e il ferro. Fluidificando a temperature ricadenti entro un *range* termico di 850-950 °C, questi additivi avrebbero avuto un'applicabilità trascurabile nel trattamento dei solfuri di piombo, il cui processo mineralurgico si avvia intorno ai 400 °C (desolforazione) e si conclude a 880 °C [riduzione del litargirio (PbO) a piombo metallico (Pb)]⁷⁸. Va sottolineato, tuttavia, come l'aggiunta di tali scorificanti avrebbe potuto permettere un più efficiente ricupero del piombo dalla massa mineralizzata durante le fasi finali del processo estrattivo⁷⁹.

M.S., C.C.

Conclusioni

Lo studio dei caratteri morfometrici e della destinazione d'uso dei manufatti metallici inv. nn. BSO385, BSO1054 (grappe), BSO663 (residuo di colata) e BSO87 (placca) ne ha indicato con chiarezza la relazione con la pratica della riparazione dei contenitori fittili, in accordo con l'interpretazione funzionale attribuita ad oggetti simili rinvenuti in Sardegna per i periodi compresi tra il Bronzo Recente e il Primo Ferro. L'insieme delle omologie riscontrate tra i reperti di Brunku 'e s'Omu e quelli di numerosi contesti protostorici isolani, informa in merito al sussistere di un *know how* tecnologico comune a vaste aree del territorio regionale, strettamente rispondente ad una logica di *household production*. Le circostanze di rinvenimento dei metalli di Villa Verde ne confermano la pertinenza stratigrafica ai livelli archeologici del Bronzo Finale, contestuali alla principale fase di occupazione della capanna n. 16.

L'indagine archeometrica condotta sulla grappa di restauro inv. n. BSO385, sul residuo di colata inv. n. BSO663 e sulla presunta riserva di metallo inv. n. BSO87 ha permesso di determinare la natura essenzialmente piombifera dei tre reperti. I loro corpi metallici, tuttavia, hanno rivelato la presenza di numerose impurezze, molto probabilmente legate ad una poco efficiente purificazione del metallo nei differenti stadi della pratica termotecnica. Sotto il profilo della provenienza delle materie prime metallifere, appare di particolare rilevanza la presenza di zolfo in tutti i tre i reperti analizzati. Tale carattere compositivo, infatti, rappresenta un indizio del possibile approvvigionamento di metallo dai giacimenti a solfuri di piombo della Sardegna⁸⁰ da parte delle

⁷⁰ GIARDINO 1987: 191.

⁷¹ Si veda ATZENI 2011: 24-25.

⁷² ATZENI *et al.* 2011: 197 tab. 28; SERRA *et al.* 2015.

⁷³ Tale analita è stato riconosciuto soltanto sui lingotti frammentari precedentemente citati per il Nuraghe Santa Barbara di Bauladu (NU) (GALLIN, TYKOT 1993: 343).

⁷⁴ GIARDINO 1987: 191.

⁷⁵ MARCELLO *et al.* 2008.

⁷⁶ UGAS 1993:26; ALBA 1996: 26; USAI, MARRAS 2005: 191; USAI 2011a: 114.

⁷⁷ Si veda VALERA *et al.* 2002.

⁷⁸ GIARDINO 2010: 163; ATZENI 2011: 20-22, 31-32.

⁷⁹ GALE, STOS-GALE 1981: 178.

⁸⁰ La maggiore concentrazione dei suddetti giacimenti è ravvisabile nelle regioni sud-occidentali dell'isola (MARCELLO *et al.* 2008).

comunità residenti a Brunku 'e s' Omu durante il Bronzo Finale. Detta proposta interpretativa risulta, peraltro, in buon accordo con i dati editi in merito alla circolazione su scala regionale di georisorse piombifere autoctone già a partire dal Bronzo Recente⁸¹. La presenza di analiti come potassio, calcio, titanio e manganese esclusivamente nel residuo inv. n. BSO663 parrebbe suggerire la pertinenza di questo reperto ad un ciclo metallurgico nel quale sono stati processati minerali provenienti da giacimenti differenti rispetto a quelli attraverso cui è stato prodotto il resto dei piombi di Brunku 'e s' Omu.

L'inusuale purezza del frustolo inv. n. BSO550, chiaramente risultante da attività siderurgica, parrebbe suggerire la receniorità del reperto rispetto ai tempi dell'occupazione a scopo abitativo della capanna n. 16 durante il Bronzo Finale. Le considerazioni cronologiche appena proposte possono essere estese alla scoria di fusione inv. n. BSO592 e allo scarto pirotecnologico inv. n. BSO269, anch'essi prodotti attraverso efficaci processi metallurgici che, sulla base delle suesposte omologie tecnologiche con i reperti di Sa Sedda 'e sos Carros di Oliena⁸², troverebbero il loro più ragionevole inquadramento culturale nei primi secoli del I millennio BC.

Allo stato attuale della ricerca, le ipotesi relative all'esistenza di un'attività siderurgica esercitata all'interno della capanna o nelle aree contermini, mancano di incontrovertibili evidenze archeologiche. È tuttavia plausibile che i reperti connessi alla metallurgia del ferro (in special modo i grandi blocchi in basalto coperti da scoria di fusione) siano stati rinvenuti nella capanna n. 16 a seguito del riutilizzo nei suoi apparecchi struttivi di materiale di spoglio, forse proveniente da una non ancora identificata officina fusoria. Dalla presunta struttura metallurgica potrebbero giungere, peraltro, le già menzionate matrici di fusione, reimpiegate nella pavimentazione della capanna durante la sua edificazione nel Bronzo Finale. Successivamente al crollo delle murature della capanna, tali materiali sarebbero affluiti all'interno delle UUSS 1 e 2. Parrebbe configurarsi, in tal senso, l'eventualità che un'attività siderurgica di carattere sperimentale possa aver avuto luogo nel sito di Brunku 'e s' Omu già durante il Bronzo Finale. Tale precocità non risulta attualmente attestata in nessuno dei coevi contesti isolani. Ciò nonostante, la comprovata esistenza di rapporti tra la metallotecnica sarda e quella di Cipro⁸³, isola per la quale si dispone di indubbie evidenze di metallurgia del ferro già al volgere del II millennio BC⁸⁴, non consente di escludere aprioristicamente questa seconda ipotesi. Si auspica che il già preventivato prosieguo delle ricerche sul campo e in laboratorio, possa consentire l'acquisizione di dati utili a dirimere le problematiche di ordine cronologico e tecnologico emerse in questa sede.

M.S., C.C., M.M., G.P., R.C.

Ringraziamenti

Si ringraziano la prof.ssa A. Musinu e il prof. M. Casu del Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche dell'Università di Cagliari, ed i tecnici della XGLab s.r.l. - Spinoff del Politecnico di Milano, per la disponibilità mostrata durante lo svolgimento dello studio qui presentato.

Marco Serra

Dipartimento di Storia, Beni Culturali e Territorio - Università degli Studi di Cagliari, Piazza Arsenale 1, 09124 Cagliari; Consorzio per la Promozione delle Attività Universitarie del Sulcis-Iglesiente (AUSI); Centro di Ricerca per l'Energia, l'Ambiente e il Territorio (C.R.E.A.TE), Palazzo Bellavista-Monteponi, 09016 Iglesias
E-mail: marco.serra@unica.it
Corresponding author

Carla Cannas

Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche - Università degli Studi di Cagliari, Cittadella Universitaria, 09042 Monserrato; Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali (Cagliari Unit)
E-mail: ccannas@unica.it

Martina Montisci

Dipartimento di Storia, Beni Culturali e Territorio - Università degli Studi di Cagliari, Piazza Arsenale 1, 09124 Cagliari
E-mail: martina_montisci@yahoo.it

⁸¹ USAI 2011a: 114; VALERA *et al.* 2011: 72.

⁸² ATZENI *et al.* 2011: 191 tab. 25.

⁸³ GIARDINO 1987: 207.

⁸⁴ ÅSTRÖM *et al.* 1986.

Giacomo Paglietti

Dipartimento di Storia, Beni Culturali e Territorio - Università degli Studi di Cagliari, Piazza Arsenale 1, 09124 Cagliari
E-mail: gpaglietti@unica.it

Riccardo Cicilloni

Dipartimento di Storia, Beni Culturali e Territorio - Università degli Studi di Cagliari, Piazza Arsenale 1, 09124 Cagliari
E-mail: r.cicilloni@unica.it

BIBLIOGRAFIA

- ALBA L., 1973, "La grotta dei pipistrelli e la sua funzione di sepoltura comune delle genti di "facies" M. Claro", in *Speleologia Sarda* 5, 1: 7-22.
- ALBA L., 1996, "Archeologia e metallurgia della cultura di Monte Claro nel bacino minerario dell'Iglesiente", in *Sardegna mineraria dal II al III millennio: miniere, cave, ambiente*, Atti del Congresso internazionale per il centenario dell'Associazione Mineraria Sarda 1896-1996 (Iglesias 12-13 ottobre 1996), vol. 1, Iglesias: 21-30.
- ALBA L., 2012, "La grotta de su Mrajani e la grotta di Suddomu a Monte Casula di Iglesias", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. IV, Poster, Firenze: 1247-1252.
- ÅSTRÖM P., MADDIN R., MUHLY J.D., STECH T., 1986, "Iron artifacts from Swedish excavations in Cyprus", in *Opuscula Atheniensia* XVI (3): 27-31.
- ATZENI C., 2011, "Alcuni aspetti della metallurgia antica", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 18-37.
- ATZENI C., MASSIDDA L., SANNA U., VIRDIS P.F., 1987, "Archeometallurgia nuragica nel territorio di Villanovaforru", in *La Sardegna nel Mediterraneo tra il secondo e il primo millennio a.C.*, Atti del II Convegno di studi: Un millennio di relazioni fra la Sardegna e i paesi del Mediterraneo (Selargius-Cagliari 27-30 novembre 1986), Cagliari: 147-165.
- ATZENI C., CINCOTTI A., MASSIDDA L., SANNA U., 2003, "Experimental Lead Old Metallurgy", in *Archaeometallurgy in Europe II*, Atti del convegno (Milano 24-26 settembre 2003), Milano: 107-115.
- ATZENI C., MASSIDDA L., SANNA U., 2011, "I dati archeometrici", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 134-221.
- ATZENI E., 1988, "Tombe megalitiche di Laconi (Nuoro)", in *Rassegna di Archeologia* 7: 526-527.
- ATZENI E., 2001, "L'età del rame nelle grotte di Corongiu de Mari-Iglesias: la cultura di Monte Claro", in E. ATZENI, L. ALBA, G.F. CANINO (a cura di), *La collezione Pistis-Corsi e il patrimonio archeologico del comune di Iglesias*, Mostra archeologica, grafica e fotografica, Iglesias: 32-35.
- CAMPUS F., LEONELLI V., 2002, "Considerazioni sui materiali ceramici dell'età del bronzo finale-primo ferro nella Sardegna settentrionale: il nuraghe Funtana di Ittireddu", in *Etruria e Sardegna centro-settentrionale tra l'età del bronzo finale e l'arcaismo*, Atti del XXI Convegno di studi etruschi ed italici (Sassari, Alghero, Oristano, Torralba 13-17 ottobre 1998), Pisa: 491-510.
- CANEVA C., GIARDINO C., GIGANTE G.E., 1998, "Metodologie di indagine non distruttiva e non invasive su vaselame d'argento romano", in C. D'AMICO, C. ALBORE LIVADIE (a cura di), *Le scienze della terra e l'archeometria*, Atti del convegno (Napoli, 1997), Napoli: 53-58.
- CANINO G.F., 2001, "La grotta Quattordicesima delle Ossa a Tani di Iglesias", in E. ATZENI, L. ALBA, G.F. CANINO (a cura di), *La collezione Pistis-Corsi e il patrimonio archeologico del comune di Iglesias*, Mostra archeologica, grafica e fotografica, Iglesias: 42-43.
- CICILLONI R., 2014, "Brunku 'e s'omu (Villa Verde, Prov. di Oristano)", in *Notiziario di Preistoria e Protostoria* 1, IV: 95-97. Disponibile su: <http://www.iipp.it/wpcontent/uploads/2014/07/NPP-2014-IV.pdf>.
- CICILLONI R., CABRAS M., 2014, "Aspetti insediativi nel versante orientale del Monte Arci (Oristano-Sardegna) tra il Bronzo Medio e la I età del Ferro", in *Quaderni della Soprintendenza Archeologica per le Province di Cagliari e Oristano* 25: 81-107.

- CICILLONI R., PAGLIETTI G., 2014, "Il villaggio protostorico di Brunku 'e s'Omu – Villa Verde (OR): lo scavo della struttura 16. Notizia preliminare", in *Traces in Time* 4. Disponibile su: <http://www.archaeologicaltraces.org/index.php/2014-01-28-09-56-01/traces-in-time/32-4-2014/57-tit0022>.
- CILIBERTO E., SPOTO G. (a cura di), 2000, *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology* (Chemical Analysis. A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications 155), New York-Chichester-Weinheim-Brisbane-Singapore-Toronto.
- CONTU E., 2006, *La Sardegna preistorica e nuragica*, vol. II, Sassari.
- DAY S., 2009, "Estimation of Calcium and Magnesium Carbonate Neutralization Potential for Refined Acid-Base Accounting Using Electron Microprobe and X-Ray Diffraction", in *Proceedings of 8th International Conference on Acid Rock Drainage* (Skellefteå, Svezia, 23-26 giugno 2009), New York: 1-11.
- DEPALMAS A., 2009a, "Il Bronzo medio della Sardegna", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. I, Relazioni Generali, Firenze: 123-130.
- DEPALMAS A., 2009b, "Il Bronzo recente della Sardegna", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. I, Relazioni Generali, Firenze: 131-140.
- DEPALMAS A., 2009c, "Il Bronzo finale della Sardegna", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. I, Relazioni Generali, Firenze: 141-154.
- ENGELHARDT J., 2006, "XRF-Application in Numismatics", in B. BECKHOFF, B. KANNGIEBER, N. LANGHOFF, R. WEDELL, H. WOLFF (a cura di), *Handbook of Practical X-ray Fluorescence Analysis*, Berlin-Heidelberg: 700-712.
- GALE N.H., STOS-GALE Z.A., 1981, "Cycladic lead and Silver Metallurgy", in *The Annual of the British School at Athens* 78: 169-224.
- GALLIN L.J., TYKOT R.H., 1993, "Metallurgy at Nuraghe Santa Barbara (Bauladu), Sardinia", in *Journal of Field Archaeology* 20, 3: 335-345.
- GAUGLITZ G., VO-DINH T. (a cura di), 2003, *Handbook of Spectroscopy*, vol. I, Weinheim.
- GIARDINO C., 1987, "Sfruttamento minerario e metallurgia nella Sardegna protostorica", in M.S. BALMUTH (a cura di), *Studies in Ancient Sardinia III. Nuragic Sardinia and the Mycenaean World* (BAR International Series, 387), Oxford: 189-219.
- GIARDINO C., 2010, *I metalli nel mondo antico: introduzione all'archeometallurgia* (Manuali Laterza, 299), Roma-Bari, 2010.
- GLASCOCK M.D., SPEAKMAN R.J., POPELKA-FILCOFF R.S. (a cura di), 2007, *Archaeological Chemistry. Analytical Techniques and Archaeological Interpretation* (ACS symposium series, 968), Washington.
- GOFFER Z., 2007, *Archaeological Chemistry*, New York-Chichester-Weinheim-Brisbane-Singapore-Toronto.
- HOFMANN W., 1970, *Lead and Lead Alloys*, Berlino.
- HOLLAS J.M., 2004, *Modern Spectroscopy*, Chichester.
- JONES G., BAILEY D.G., BACK, C., 1997, "Source Provenance of Andesite Artefacts Using Non-destructive XRF Analysis", in *Journal of Archaeological Science* 24: 929-943.
- LAI L., 2009, "Il clima nella Sardegna preistorica e protostorica: problemi e nuove prospettive", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. I, Relazioni Generali, Firenze: 313-324.
- LEUTE U., 1987, *Archaeometry: an Introduction to Physical Methods in Archaeology and the History of Art*, New York-Weinheim.
- LILLIU G., 1986, "Le miniere dalla preistoria all'età tardo romana", in F. MANCONI (a cura di), *Le miniere e i minatori della Sardegna*, Cagliari: 7-18.
- LO SCHIAVO F., 2011a, "Oliena (Nuoro), complesso nuragico di Sa Sedda 'e Sos Carros", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 263-265.
- LO SCHIAVO F., 2011b, "Sarroch (Cagliari), nuraghe Antigori", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 122-123.

- LO SCHIAVO F., 2011c, "Serri (Nuoro), santuario federale nuragico di S. Vittoria", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 124-125.
- LO SCHIAVO F., 2011d, "Villanovatulo (Nuoro), nuraghe Adoni", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 113.
- LO SCHIAVO F., SANGES M., 1994, *Il nuraghe Arrubiu di Orroli*, Sassari.
- LOCCI M.C., PUDDU M.G., USAI E., 2004, "Il villaggio nuragico di Brunku s'Omu (Villaverde, Oristano)", in D. COCCHI GENICK (a cura di), *L'età del bronzo recente in Italia*, Atti del Congresso nazionale (Lido di Camaiore 26-29 ottobre 2000), Viareggio: 542-543.
- LOCCI M.C., USAI E., 2008, "L'insediamento nuragico di Brunku s'Omu (Villaverde – Oristano)", in *La civiltà nuragica. Nuove acquisizioni. II*, Atti del Convegno (Senorbì 14-16 dicembre 2000), Quartu S.Elena: 521-542.
- MARCELLO A., MAZZELLA A., NAITZA S., PRETTI S., TOCCO S., VALERA P., VALERA S., 2008, *Carta Metallogenica e delle Georisorse della Sardegna 1: 250000*, Firenze.
- MELIS M.G., 2009, "L'eneolitico antico, medio ed evoluto in Sardegna: dalla fine dell'Ozieri all'Abealzu", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. I, Relazioni Generali, Firenze: 81-85.
- MITCHELL, D., GRAVE, P., MACCHERONI, M., GELMAN, E., 2012, "Geochemical Characterisation of NNorth Asian Glazed Stonewares: a Comparative Analysis of NAA, ICP-OES and Non-destructive PXRF", in *Journal of Archaeological Science* 39: 2921-2933.
- MONTISCI M., 2015, "Ceramiche dell'Età del Bronzo e della I Età del Ferro dal cortile (UUSS 71 e 72) e dalla capanna nord", in R. CICILLONI (a cura di), *Ricerche archeologiche a Cuccurada – Mogoro (Sardegna centro-occidentale)*, vol.1, Perugia: pp. 245-309.
- MUKHOPADHYAY S.M., 2006, "Sample Preparation for Microscopic and Spectroscopic Characterization of Solid Surfaces and Films", in S. MITRA (a cura di), *Sample Preparation Techniques in Analytical Chemistry* (Chemical Analysis. A Series of Monographs on Analytical Chemistry and its Applications 162), Hoboken: 377-411.
- PAGLIETTI G., 2011, *Su Nuraxi di Barumini tra il Bronzo recente e finale nelle capanne 69, 79, 83, 94 e nell'isolato 174*, Tesi di Dottorato, Università di Roma "La Sapienza".
- PAGLIETTI G., 2012, "Modalità di aggregazione delle capanne circolari nel villaggio di Su Nuraxi di Barumini", in *La Preistoria e la Protostoria della Sardegna*, Atti della XLIV riunione scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria (Cagliari-Barumini, Sassari 23-28 novembre 2009), vol. II, comunicazioni, Firenze: 745-750.
- PERLÈS C., 1977, *Préhistoire du feu*, Paris.
- PERRA M., 2003, "L'età del bronzo finale: la "bella età" del nuraghe Arrubiu e la ricchezza delle genti di Pran'e Muru", in T. COSSU, F. CAMPUS, V. LEONELLI, M. PERRA, M. SANGES (a cura di), *La vita nel nuraghe Arrubiu* (Arrubiu 3), Orroli: 77-99.
- POLLARD A.M., HERON C., 2008, *Archaeological Chemistry*, Cambridge.
- POLLARD A. M., BATT C., STERN B., YOUNG S.M.M., 2007, *Analytical Chemistry in Archaeology*, Cambridge.
- REIMER P.J., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P.G., BRONK RAMSEY C., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAFLIDASON H., HAJDAS I., HATTŽ C., HEATON T.J., HOFFMANN D.L., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KAISER K.F., KROMER B., MANNING S.W., NIU M., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SCOTT E.M., SOUTHON J.R., STAFF R.A., TURNEY C.S.M., VAN DER PLICHT J., 2013, "IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP", in *Radiocarbon* 55, 4: 1869-1887.
- SALIS G., 2012, "Le rotonde con bacile: un nuovo contributo dal villaggio nuragico di Sa Sedda 'e sos Carros-Oliena", in *The Journal of Fasti Online*. Disponibile su: www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2012-278.pdf.
- SANGES M., 1993, "Ripostiglio di materiali preistorici e classici nel Supramonte di Orgosolo-Urzulei (Nuoro)", in *Ipogea* 1988-1993: 43-44.
- SANNA U., VALERA R.G., LO SCHIAVO F. (a cura di), 2011, *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari.

- SANTONI V., 2001, *Il nuraghe Su Nuraxi di Barumini*, Guide e Studi 2, Ministero per i Beni e le Attività culturali-Soprintendenza Archeologica per le province di Cagliari e Oristano.
- SCOTT D.A., 1996, "A Note on the Metallographic Preparation of Ancient Lead", in *Studies in Conservation* 41: 60-62.
- SEBIS S., 1994, "Materiali dal villaggio nuragico di Su Cungiau 'e Funtà nel territorio di Nuraxinieddu (Or)", in *Quaderni della Soprintendenza Archeologica per le Province di Cagliari e Oristano* 11: 89-110.
- SEBIS S., 2007, "I materiali ceramici del villaggio nuragico di Su Cungiau 'e Funtà (Nuraxinieddu-Or) nel quadro dei rapporti fra popolazioni nuragiche e fenicie", in *Sardinia, Corsica et Baleares antiquae: international journal of archaeology* 5: 63-86.
- SERRA M., MONTISCI M., MAMELI V., ORRÙ G., NAITZA S., CANNAS C. 2015, "Elementi di metallurgia protostorica dal nuraghe Cuccurada (Mogoro - OR)", in R. CICILLONI (a cura di), *Ricerche archeologiche a Cuccurada – Mogoro (Sardegna centro-occidentale)*, vol.1, Perugia: pp. 401-416.
- SHACKLEY M.S. (a cura di), 2011, *X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, New York-Dordrecht-Heidelberg-London.
- TYLECOTE R.F., GHAZNAVI H.A., BOYDELL P.J., 1977, "Partitioning of Trace Elements between the Ores, Fluxes, Slags and Metal during the Smelting of Copper", in *Journal of Archaeological Science* 4: 305-333.
- TYLECOTE R.F., BALMUTH M.S., MASSOLI NOVELLI R., 1984, "Copper and Bronze Metallurgy in Sardinia", in M.S. BALMUTH, R.J. ROWLAND (a cura di), *Studies in Sardinian Archaeology I*, Ann Arbor: 115-162.
- UGAS G., 1993, "La metallurgia del piombo, dell'argento e dell'oro nella Sardegna prenuragica e nuragica", in K. KIROVA (a cura di), *L'uomo e le miniere in Sardegna*, Cagliari: 25-36.
- USAI A., 2004, "La fonte nuragica Mitza Pidighi (Solarussa, Oristano)", in D. COCCHI GENICK (a cura di), *L'età del bronzo recente in Italia*. Atti del Congresso nazionale (Lido di Camaiore 26-29 ottobre 2000), Viareggio: 540-541.
- USAI A., 2011a, "Villasor (Cagliari), nuraghe Su Sonadori", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 114-115.
- USAI A., 2011b, "Ghilarza (Oristano), nuraghe Orgono", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 129.
- USAI A., MARRAS V., 2005, "Scavi nel nuraghe Su Sonadori (Villasor-Ca): campagne 1994-2000", in *La civiltà nuragica: nuove acquisizioni*, Atti del congresso (Senorbì 14-16 dicembre 2000), vol. I (Quaderni della Soprintendenza Archeologica per le Province di Cagliari e Oristano. Atti e Monografie 1), Quartu Sant'Elena: 181-207.
- USAI E., LOCCI M.C., 2008, "L'insediamento nuragico di Brunku s'Ormu (Villaverde – Oristano)", in *La civiltà nuragica: nuove acquisizioni*, Atti del congresso (Senorbì 14-16 dicembre 2000), vol. I (Quaderni della Soprintendenza Archeologica per le Province di Cagliari e Oristano. Atti e Monografie 1), Quartu Sant'Elena: 521-542.
- VALERA R.G., VALERA P.G., LO SCHIAVO F., 2002, "Lead in Nuragic Sardinia: Ores, Isotopy, and Archaeology", in M. BARTELHEIM, E. PERNICKA, R. KRAUSE (a cura di), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt - The Beginnings of Metallurgy in the Old World* (Archäometrie. Freiburger Forschungen zur Altertumswissenschaft 1), Rahden-Westf: 359-377.
- VALERA P.G., VALERA R.G., RIVOLDINI A., 2011, "I giacimenti sardi di minerali e metalli nell'età del Bronzo", in U. SANNA, R.G. VALERA, F. LO SCHIAVO (a cura di), *Archeometallurgia in Sardegna. Dalle origini al primo Ferro*, Cagliari: 52-109.
- ZWICKER U., VIRDIS P.F., FERRARESE CERUTI M.L., 1980, "Investigations on Copper Ore, Prehistoric Copper Slag and Copper Ingots from Sardinia", in P.T. CRADDOCK (a cura di), *Scientific Studies in Early Mining and Extractive Metallurgy* (British Museum Occasional Paper 20), London: 135-142.