



La  
**Metallurgia**  
Italiana **International Journal of the  
Italian Association for Metallurgy**

n. 4 Aprile 2018

Organo ufficiale  
dell'Associazione Italiana di  
Metallurgia.

Rivista fondata nel 1909



# La Metallurgia Italiana

International Journal of the Italian Association for Metallurgy

Organo ufficiale dell'Associazione Italiana di Metallurgia.  
House organ of AIM Italian Association for Metallurgy.

Rivista fondata nel 1909



**Direttore responsabile/Chief editor:**  
Mario Cusolito

**Direttore vicario/Deputy director:**  
Gianangelo Camona

**Comitato scientifico/Editorial panel:**

Livio Battezzati, Christian Bernhard, Massimiliano Bestetti,  
Wolfgang Bleck, Franco Bonollo, Bruno Buchmayr, Enrique Mariano  
Castrodeza, Emanuela Cerri, Lorella Ceschini, Mario Conserva, Vladislav  
Deev, Augusto Di Gianfrancesco, Bernd Kleimt, Carlo Mapelli,  
Jean Denis Mithieux, Marco Ormellese, Massimo Pellizzari, Giorgio Poli,  
Pedro Dolabella Portella, Barbara Previtali, Evgeny S. Prusov,  
Emilio Ramous, Roberto Roberti, Dieter Senk, Du Sichen,  
Karl-Hermann Tacke, Stefano Trasatti

**Segreteria di redazione/Editorial secretary:**  
Valeria Scarano

**Comitato di redazione/Editorial committee:**  
Federica Bassani, Gianangelo Camona, Mario Cusolito,  
Ottavio Lecis, Carlo Mapelli, Valeria Scarano

**Direzione e redazione/Editorial and executive office:**  
AIM - Via F. Turati 8 - 20121 Milano  
tel. 02 76 02 11 32 - fax 02 76 02 05 51  
met@aimnet.it - www.aimnet.it

**siderweb**  
LA COMMUNITY DELL'ACCIAIO

**Gestione editoriale e pubblicità  
Publisher and marketing office:**

Siderweb spa  
Via Don Milani, 5 - 25020 Flero (BS)  
tel. 030 25 400 06 - fax 030 25 400 41  
commerciale@siderweb.com - www.siderweb.com

La riproduzione degli articoli e delle illustrazioni  
è permessa solo citando la fonte e previa autorizzazione  
della Direzione della rivista.

*Reproduction in whole or in part of articles and images  
is permitted only upon receipt of required permission  
and provided that the source is cited.*

Reg. Trib. Milano n. 499 del 18/9/1948.  
Sped. in abb. Post. - D.L.353/2003 (conv. L. 27/02/2004 n. 46)  
art. 1, comma 1, DCB UD

Siderweb spa è iscritta al Roc con il num. 26116

**Stampa/Printed by:**  
Poligrafiche San Marco sas - Cormòns (GO)



n. 4 Aprile 2018  
Anno 110 - ISSN 0026-0843

## Storia della metallurgia e beni culturali / Archaeological and historical artefacts

### Study of the conservation state of european street furniture in painted cast irons

C. Soffritti, L. Calzolari, A. Balbo, F. Zanotto, C. Monticelli, A. Fortini, G.L. Garagnani

5

### Massi-frantoio rinvenuti in scavo presso la miniera di magnetite di Pietra Bianca 2 (Biella)

A. Gattiglia, M. Rossi, P. de Vingo

17

### Indoor and outdoor atmospheric corrosion monitoring of cultural heritage assets

E. Angelini, C. E. Arroyave Posada, E. Di Francia, S. Grassini, L. Iannucci, L. Lombardo, M. Parvis

34

## Attualità industriale / Industry news

### Manifestazioni AIM

43

### Arte e fotografia: la vita del metallo, il fascino della trasformazione

a cura di Lucrezia Roda

44

## Scenari / Experts' Corner

### FOLD

a cura di Matteo Berra

52

## Atti e notizie / Aim news

### Review of the book "Early Indian metallurgy" (2017) - Paul T. Craddock

by A. Giunilia-Mair

58

### Rubrica dai Centri

62

## La Metallurgia Italiana



Prof. Gian Luca Garagnani  
Università di Ferrara

*L'applicazione delle tecniche di indagine chimica e microstrutturale, sia tradizionali che innovative, che oggi vengono condotte sui manufatti di interesse archeologico e storico-artistico può portare un contributo fondamentale per una migliore conoscenza delle leghe metalliche e delle loro lavorazioni, dalla più remota antichità a tempi storici relativamente recenti.*

*Le informazioni acquisite possono fornire sia all'archeologo che allo storico dell'arte un sicuro aiuto di tipo strumentale per la lettura dei reperti. Un fine specifico è quello di approfondire ulteriormente, ed in modo sistematico, le conoscenze riguardanti i processi estrattivi, le tecnologie metallurgiche adottate per la fabbricazione degli oggetti e l'evoluzione di queste nel corso dei secoli.*

*L'applicazione di queste metodologie analitiche impone tuttavia la soluzione preliminare di alcuni problemi. Infatti, data l'unicità dei beni artistici in studio, è preferibile disporre di "tecniche non distruttive", tali cioè da fornire il maggior numero di dati senza danneggiare il manufatto ed avere indicazioni fondamentali su difetti ed alterazioni presenti nel materiale, anche se in modo più qualitativo che quantitativo. Le "tecniche distruttive" affrontano invece il problema dell'analisi sacrificando frammenti più o meno consistenti del manufatto da studiare; danno informazioni di tipo quantitativo, con precisione ed accuratezza spesso notevolmente elevate. Le tecniche oggi impiegate, grazie al loro continuo perfezionamento, richiedono frammenti di sempre minor entità.*

*Oltre alla caratterizzazione microstrutturale dei manufatti, è interessante anche lo studio sistematico delle scorie, delle inclusioni non metalliche e delle impurezze in tracce, che può fornire informazioni utili sulle miniere utilizzate, sugli scambi commerciali, sulle condizioni termiche e chimiche dei processi metallurgici, e quindi permette di formulare ipotesi attendibili sulle condizioni di funzionamento dei forni e sulle tecniche di riduzione adottate nell'antichità.*

*Le moderne metodologie scientifiche contribuiscono dunque a risolvere problemi che concernono l'origine, la provenienza, la datazione, l'autenticità, o anche l'identificazione di eventuali successive manomissioni dei manufatti; nello stesso tempo è possibile conoscere l'influenza che hanno avuto le condizioni ambientali sui processi di alterazione e corrosione, e quindi risalire ai meccanismi di degrado al fine di definire le appropriate metodologie di restauro e conservazione del nostro Patrimonio Culturale.*

## Massi-frantoio rinvenuti in scavo presso la miniera di magnetite di Pietra Bianca 2 (Biella)

A. Gattiglia - M. Rossi - P. de Vingo

I massi-frantoio, mezzi tecnologici per la frantumazione/macinazione del minerale in sinergia con frantumatori manuali litici o metallici, sono noti in siti archeologici dalla preistoria al medioevo e in fonti iconografiche protomoderni. A pochi metri dagli ingressi della miniera di magnetite di Pietra Bianca 2 (alta val Sessera, Biella) sono presenti cinque massi-frantoio, quattro dei quali rinvenuti in scavo nel 2017 tra i blocchi di crollo dei muri di una forgia tardosettecentesca. La presenza, accanto alla forgia, dei resti di un forno di riduzione diretta suggerisce tuttavia che i massi-frantoio risalgano a età pre-/protomoderna e che i fabbri del XVIII secolo li abbiano reimpiegati come materiale edilizio, così come si osserva nel vallone del Fournel (Hautes-Alpes, Francia). Per il Piemonte questi reperti rappresentano in ogni caso una novità tecnologica, qui indagata da più punti di vista (petrografico, funzionale, lessicale) al fine di fornire un più preciso inquadramento crono-culturale.

**KEYWORDS:** ARCHEOLOGIA MINERARIA, MASSO-FRANTOIO MANUALE, FRANTUMATORE MANUALE, COMMUNIZIONE MANUALE, ALTA VAL SESSERA, ETÀ PRE-/PROTOMODERNA, FONTI ICONOGRAFICHE

### IL SITO

In alta val Sessera (Biella), nella regione di Pietra Bianca soprastante l'area archeo-siderurgica attrezzata di Rondolere, è nota da tempo una miniera di magnetite preindustriale (Pietra Bianca 2, PB2, 1 253-1 273 m) [1, p. 157-159; 2, p. 281-283; 3, p. 151-152]. Durante l'età moderna lo sfruttamento è documentato a due riprese: da una infeudazione perpetua del duca Emanuele Filiberto del 1570 [4], a cui si possono collegare le escavazioni caratterizzate da assenza di fori di barramina (un cantiere sotterraneo, una trincea a cielo aperto con camere di abbattimento laterali), e da un permesso di coltivazione ventennale del re Vittorio Amedeo III risalente al 1784 [5, p. 85, 89 (nota 5)], a cui vanno ricondotte le escavazioni a polvere pirica (due cantieri più profondi, una galleria, un traverso banco). Di quest'ultima fase estrattiva esistono riscontri tanto archeologici, quanto chimico-petrografici: nel cantiere più profondo si sono infatti rinvenuti frammenti di un piatto e di un coperchio in ceramica a taches noires di fine XVIII secolo [6, p. 60, 64 (fig. 35a/D)], mentre analisi di laboratorio hanno dimostrato che la magnetite di PB2 ha alimentato l'alto forno di Rondolere, attivo nel periodo 1788-1804 [7; 8; 9; 10; 3, p. 152-153, 179].

Sul versante immediatamente sottostante la miniera si trovano vari resti di occupazione legati all'estrazione [2, p. 281-283] (fig. 1):

– ruderi di quattro piccole costruzioni in pietra a secco (E1, E2, E3, E4, 1 243-1 250 m), incassati nel pendio mediante il taglio di terrazzini artificiali e collegati da sentieri (S1, S2, S3), costruiti anche con blocchi mineralizzati o recanti fori di barramina,

provenienti dall'interno della miniera;

– bassi muri di terrazzamento (M1, M2) delimitanti una piazzola (PT) antistante l'ingresso del traverso banco (TB, 1 254 m);

– discariche minerario-metallurgiche di varia composizione (DM1, DM2, DM3, 1 235-1 261 m);

– iscrizione rupestre «1784 / P ●» su di un masso delimitante E4 (IR, 1 248 m: dato il contesto, «P» può essere abbreviazione di «Permissione») [11, p. 110; 6, p. 26];

– piccolo masso in monzonite con faccia superiore lievemente concava e artificialmente lisciata (MF1, 1 249 m).

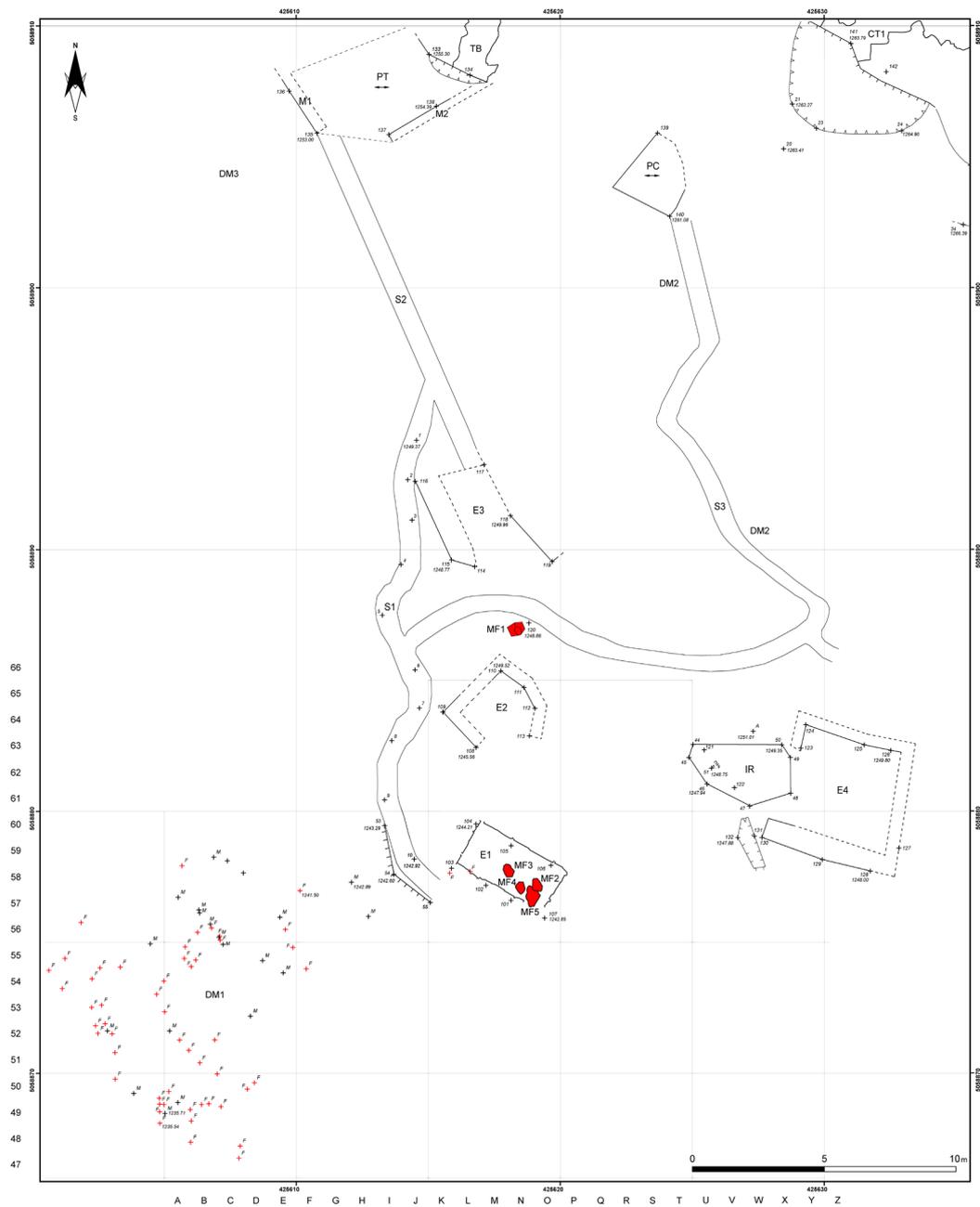
### Anna Gattiglia, Maurizio Rossi

Il Patrimonio Storico-Ambientale (AIPSAM),  
Corso Tassoni 20, I-10143 Torino;  
Collaboratori del Dipartimento di Studi Storici,  
Università degli Studi di Torino,  
Via Sant'Ottavio 20, I-10124 Torino

### Paolo de Vingo

Dipartimento di Studi Storici,  
Università degli Studi di Torino,  
Via Sant'Ottavio 20, I-10124 Torino

# Archaeological and historical artefacts



**Fig. 1** - Miniera Pietra Bianca 2. Planimetria quotata delle strutture esterne con evidenziazione in rosso dei massi-frantoio rinvenuti in posto (MF1) o tra i materiali di crollo dell'edificio E1 (MF2, MF3, MF4, MF5). 1÷142 = vertici plani-altimetrici; CT1 = ingresso di cantiere di abbattimento pre- o protomoderno (ante 1671); DM1 = falda detritica con frammenti di pareti di forno di riduzione pre- o protomoderno (= F) e minerale magnetitico (= M); DM2÷DM3 = discariche con minerale magnetitico; E1÷E4 = ruderi di edifici minerari moderni (1784-1804); IR = masso con iscrizione rupestre (1784); M1÷M2 = muri moderni (1784-1804); PC = piattaforma contemporanea (2003); PT = piazzola all'ingresso del traverso-banco moderno; S1÷S3 = sentieri; TB = ingresso del traverso-banco moderno (1784-1804). Sui margini sono indicate le coordinate del reticolo UTM-WGS84. / *Pietra Bianca 2 mine. Measured site plan of the outer structures with highlighting in red of the anvil-stones found in situ (MF1) or among the rubble of building E1 (MF2, MF3, MF4, MF5). 1÷142 = planimetric and altimetric stations; CT1 = entrance to the pre-/proto-modern stope (ante 1671); DM1 = debris layer with fragments of the walls of the pre-/proto-modern bloomery furnace (= F) and magnetite ore (= M); DM2÷DM3 = spoil banks with magnetite ore; E1÷E4 = ruins of modern mining buildings (1784-1804); IR = boulder with carved inscription (1784); M1÷M2 = modern walls (1784-1804); PC = contemporary platform (2003); PT = area at the entrance to the modern crosscut; S1÷S3 = paths; TB = entrance to the modern crosscut (1784-1804). The coordinates of the grid UTM-WGS84 are indicated in the margins.*

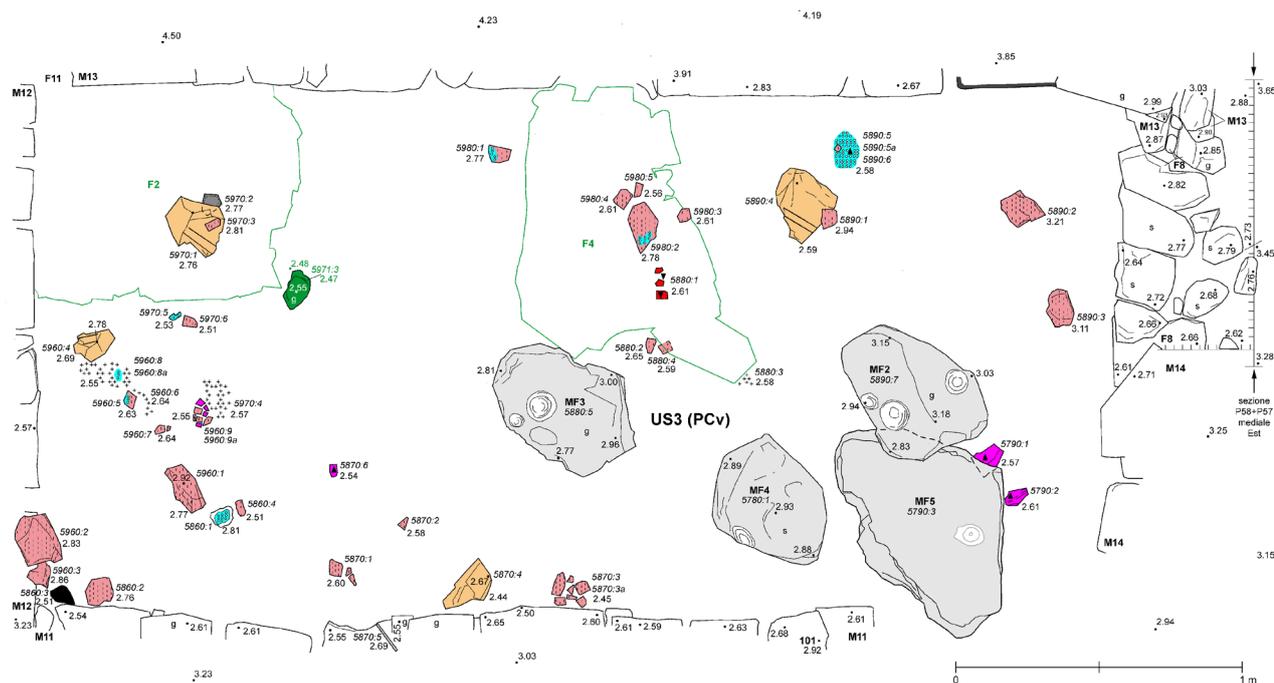
# Storia della metallurgia e beni culturali

La vicinanza di MF1 alla miniera (25 m al massimo) e la sua somiglianza con blocchi lapidei adibiti alla frantumazione manuale del minerale, noti da altri siti archeo-minerari delle Alpi Occidentali [12, p. 89-91; 13, p. 41-42] e da fonti iconografiche di area tirolese e lorenese [14, p. 113, 270; 15, p. 36-37, 78; 16, p. 38; 17, p. 234 (n. 8); 18, p. 594 (fig. 154a)], inducono ad attribuire al reperto la funzione di masso-frantoio. Alla fine del XVIII secolo la comminazione era ormai affidata da più di due secoli a frantoi idro-meccanici a pestelli [19, p. 219-223; 20, p. 58-66; 21, p. 3, sez. I, tav. IX], come hanno anche specificamente dimostrato le ricerche storico-archeologiche in alta val Sessera [5, p. 68-69, 72, 75; 22, p. 93-98]: l'impianto di PB2 va quindi ricondotto a una fase estrattiva precedente. Lo stesso vale per la discarica DM1, che in stratigrafia si frappone tra l'humus e il deposito colluviale derivante in parte da morena pedogenizzata che costituisce la copertura olocenica del versante, formando una falda a conoide di oltre 70 m<sup>2</sup> al cui apice sta il terrazzino artificiale di E1. Oltre che da micascisti autoctoni (20%) e ganga con minerale magnetico (30%), lo scheletro di

DM1 è infatti formato per il 50% da blocchi e blocchetti di argilla indurita termoalterata, rossiccia o grigia scura, talora scorificata, che le analisi chimiche hanno riconosciuto come frammenti del rivestimento interno di un forno metallurgico giunto a 1200 °C di temperatura [7]: dato il contesto, si ritiene che si tratti un forno di riduzione diretta della magnetite di età pre-/protomoderna, le cui macerie sarebbero state allontanate lungo il pendio dai minatori tardosettecenteschi.

## LO SCAVO ARCHEOLOGICO

Tenuto conto della distribuzione di tali macerie sul versante e dell'assenza fra esse di resti riconducibili al fondo del forno, si è ipotizzato che le fondazioni di questo non siano andate completamente distrutte, ma si trovino ancora sepolte nelle vicinanze o al di sotto di E1 o E2. È infatti verosimile che, se i ruderi dell'impianto fusorio pre-/protomoderno esistevano ancora nel 1784, essi siano stati spianati per far posto alle nuove costruzioni.



**Fig. 2** - Edificio E1. Distribuzione dei materiali archeologici rinvenuti nello strato di crollo PCv, con quote indicate in m (per le quote reali occorre sommare 1240 m). Grigio chiaro = massi frantoio; beige = blocchi con fori di barramina; magenta = minerale magnetico; rosso = minerale ferromagnetico polverulento (?ematite terrosa); salmone = argilla termoalterata; ciano = scorie; +++ = carboni di legna; grigio scuro = manufatti in acciaio; nero = ceramiche; verde = frantumatore manuale 5971:3 rinvenuto nel sottostante strato LSBc e contorni degli impianti in elevato della forgia tardosettecentesca che erano ricoperti dallo strato PCv (F2 = banco di forgia, F4 = banco da lavoro). / Building E1. Distribution of archaeological material found in the rubble layer PCv, with levels indicated in metres (for actual levels, add 1,240 m). Light grey = anvil-stones; beige = boulders with gad holes; magenta = magnetite ore; red = pulverised ferromagnetic mineral (?earthy haematite); salmon pink = thermally altered clay; cyan = slag; +++ = charcoal; dark grey = steel artefacts; black = pottery; green = hand-held hammerstone 5971:3 found in the underlying LSBc layer and outlines (elevation) of the structures of the late eighteenth-century forge which were covered by the PCv layer (F2 = forge workbench, F4 = workbench).

# Archaeological and historical artefacts

Allo scopo di verificare tale ipotesi, nel 2017 è stato avviato lo scavo archeologico del terrazzino di E1 (1 243 m). L'intervento, condotto dal Dipartimento di Studi Storici dell'Università degli Studi di Torino, si svolge nel quadro del programma Piemonte archeo-minerario (<http://www.aipsam.org/rete/rete.htm>), con il sostegno dell'Unione Montana dei Comuni del Biellese Orientale e di EZ Real Estate (proprietario dei terreni in cui si trova il sito archeo-minerario).

E1 si è rivelato come un edificio a pianta rettangolare con superficie interna di 4x2 m<sup>2</sup> (fig. 2). Sono venuti in luce, allineati contro il muro Nord, gli impianti di una forgia della fine del XVIII secolo (banco di forgia, banco da lavoro con probabile base per incudine, lastricati, accumuli di residui siderurgici) [[http://www.fastionline.org/excavation/micro\\_view.php?fst\\_cd=AIAC\\_4495&curcol=sea\\_cd-AIAC\\_9350](http://www.fastionline.org/excavation/micro_view.php?fst_cd=AIAC_4495&curcol=sea_cd-AIAC_9350); 23], mentre le fondamenta del forno non sono per ora state localizzate. La totale assenza di argilla termoalterata sui muri e sulle altre strutture tardosettecentesche conferma comunque che tale materiale non ha relazione con il funzionamento della forgia, ma è eredità di un impianto anteriore.

Sotto l'humus, l'interno del vano era occupato da un ammasso di pietrame edilizio (= PCv, 'pietrame caotico a vacui'), con spessore massimo di 0.68 m e volume complessivo stimabile ≤ 4 m<sup>3</sup>, formatosi per deterioramento postfunzionale e progressivo crollo naturale delle fasce superiori dei muri perimetrali di E1 a causa dell'erosione e della forza di gravità. Lo strato si componeva di blocchi e meno frequenti blocchi lastroidi ultradecimetrici in giacitura caotica (talora ulteriormente dislocati dalla vegetazione), privi di segni di sbazzatura a fine edilizio e di tracce di legante, con ampi e profondi vacui e scarsa matrice di limo debolmente sabbioso bruno ad abbondante componente di origine vegetale, senza malta disgregata. La natura petrografica è varia: prevalgono i micascisti del substrato, per lo più a spigoli vivi, in parte prelevati dallo sterile della miniera (5 hanno fori di barramina), frammisti con blocchi subarrotondati in gneiss massicci, monzoniti e rare metabasiti, provenienti dalla copertura colluviale del versante, ma di originario apporto morenico.

Secondo la documentazione storica, nel 1807 la miniera era già improduttiva da alcuni anni [3, p. 152-153]: l'abbandono della forgia installata presso l'ingresso del traverso banco deve perciò risalire ai primi anni del XIX secolo e, più precisamente, al più tardi al 1804, anno di scadenza della concessione di Vittorio Amedeo III; il crollo delle strutture deve essere iniziato poco dopo

tale anno, perdurando sino all'epoca attuale.

Lo strato PCv inglobava sporadici materiali archeologici riferibili alle attività lavorative (e anche culinarie) delle maestranze: 21082 g di minerale magnetitico, 53 g di possibile ematite, 637 g di scorie di vario tipo, 1150 g di carboni di legna, resti di 7 chiodi da calzatura, 4 chiodi da carpenteria, 1 scalpello da fabbro, 1 barretta, 1 lamiera, 1 borchietta e 1 semilavorato in acciaio, 2 frammenti di ceramica invetriata arancio e 1 frammento di ceramica nuda tornita del tardo XVIII secolo, 1 frammento di ceramica a taches noires dell'ultimo ventennio del XVIII secolo simile a quella rinvenuta nella miniera, 1 frammento osseo di probabile Ruminante parzialmente combusto dopo spolpatura.

Vi erano però anche materiali che è oggettivamente difficile inquadrare in una forgia tardosettecentesca: 3 frammenti di ugelli in terracotta scorificata, apparentemente simili agli esemplari dei bassi forni altomedievali di Les Boulies a Boécourt (Jura svizzero, 550-650 d.C.) [24, p. 58-63] e di Mont Chemin a Martigny (Valais, 545-669 d.C.) [25, p. 49, 56-58], 187 frammenti della già ricordata argilla indurita termoalterata e 4 blocchi lapidei caratterizzati dalla presenza di incavi artificiali arrotondati lisci, più o meno grandi, profondi ed evidenti, aventi forma di vaschette (fig. 2, 4, 5, 6).

Questi blocchi, denominati MF2, MF3, MF4 e MF5, stavano in un'area ristretta del settore Sud-Est di E1, nel livello più superficiale dello strato, in giacitura inclinata, disordinatamente frammisti a pietrame ordinario; MF2, MF4 e MF5 erano gli uni vicini agli altri, MF2 e MF5 addirittura embricati; data la posizione di ritrovamento, è probabile che provengano dai muri perimetrali Nord-Est di E1, settore in cui si trova la soglia di un'apertura (F8) di cui non è per ora nota la funzione. Sono simili a MF1, per quanto più profondamente scavati, e per le stesse ragioni di quello potevano avere funzione di massi-frantoio.

Nello strato sottostante al crollo (= LSbc, 'limo sabbioso bruno carbonioso'), ai piedi del banco di forgia F2 (fig. 2), è inoltre stato raccolto un ciottolo subarrotondato in gneiss massiccio con quarzo e pirosseno sodico (reperto 5971:3; determinazione petrografica di P. Rossetti), alcune delle cui superfici, contigue tra loro, sono molto lisce e ricoperte da una patina rossiccia cosparsa di puntiformi microcicatrici da percussione: la forma e le dimensioni ergonomiche del reperto (in cm, 14.5x9.5x8, peso 2291 g; fig. 4, 8), che si presta a essere impugnato, inducono a riconoscerci un frantumatore manuale e a ipotizzare che esso sia stato usato in sinergia con i massi-frantoio.

# Storia della metallurgia e beni culturali

## I MASSI-FRANTOIO

I cinque massi prescelti per servire alla comminazione manuale sono dei poliedri irregolari concavi-convessi con un numero imprecisabile di facce non modificate mediante sbazzatura. La natura geologica di quattro di essi (due gneiss massicci, due monzoniti; determinazioni petrografiche di M. Biasetti) parrebbe indicare che si siano selezionati i più duri litotipi locali, sennonché MF5 è un micascisto fissile e piuttosto fragile. Nella

descrizione che segue i reperti sono assimilati per comodità a poliedri irregolari a sei facce, indicate con le lettere A-F. Le vaschette artificiali si trovano di norma su di una sola faccia piana (denominata A), che proprio per questa sua caratteristica è stata più delle altre ritenuta idonea all'uso; fanno eccezione MF2, che ha vaschette anche sulla faccia C, debolmente ondulata e contigua ad A (con cui forma un angolo di circa 90°), e MF5, la cui faccia A è fortemente ondulata. I contorni delle vaschette non sono perfettamente circolari, bensì lievemente ellittici (fig. 7).



**Fig. 3** - Masso-frantoio in posto MF1, con fenomeni di distacco di schegge gelive (6880:1). / Anvil-stone in situ MF1, with detachment of frost-shattered shards (6880:1).

MF1 (fig. 1, 3). Masso in monzonite di apporto morenico. Subarrotondato. In posto poco a monte di E1, a circa 7 m di distanza in direzione della miniera, fra le strutture E2 ed E3, a lato del sentiero S3; faccia A rivolta verso l'alto. Immerso nell'humus attuale; non ancora sottoposto a scavo ma verosimilmente poggiante sulla copertura colluviale, che, non inglobando frammenti di roccia con fori di barramina, deve essersi formata prima dell'inizio dello sfruttamento minerario tardosettecentesco; la posizione coincide probabilmente con l'area in cui avveniva la frantumazione manuale del minerale in età pre- o protomoderna. Faccia A: piana, con ampio risalto a calotta occupante circa un terzo della superficie; tra la parte piana e la calotta si insinua una fessura geliva ad andamento orizzontale. Facce laterali (solo in parte visibili) generalmente subarrotondate; la metà Nord della faccia Ovest e la parte inferiore della faccia Nord

mostrano però vecchie cicatrici di distacco di schegge gelive, smussate o localmente ancora acute/subacute; una scheggia geliva distaccatasi dal lato verticale della calotta è discesa a terra, disponendosi di coltello accanto al masso.

Una vaschetta a contorno ellittico e pareti inclinate nella faccia A; l'incavo artificiale è meno evidente e meno profondo di quelli di MF2, MF3, MF4 e MF5, in quanto localizzato sul fondo di una conchetta naturale del masso.

Dimensioni (in cm): faccia A = 60x51, superficie con vaschetta = 45x27, calotta = 38x25, altezza da terra della faccia A = 12÷26. Dimensioni della vaschetta (misure dirette in cm): assi 11x10, profondità 1.2.

# Archaeological and historical artefacts



**Fig. 4** - Massi-frantoio rinvenuti in scavo. In alto, MF2, MF3, MF4 e MF5 dopo l'asportazione dell'humus. Al centro, MF2 all'atto del rinvenimento e dopo il recupero. In basso, particolare di due delle vaschette di MF2 e ipotesi di funzionamento in sinergia con il frantumatore 5971:3. / Anvil-stones found during the excavation. Above, MF2, MF3, MF4 and MF5 after removal of the topsoil. Centre, MF2 at the moment of discovery and after recovery. Below, detail of two of the basins of MF2 and hypothetical functioning together with the hand-held hammerstone 5971:3.

# Storia della metallurgia e beni culturali

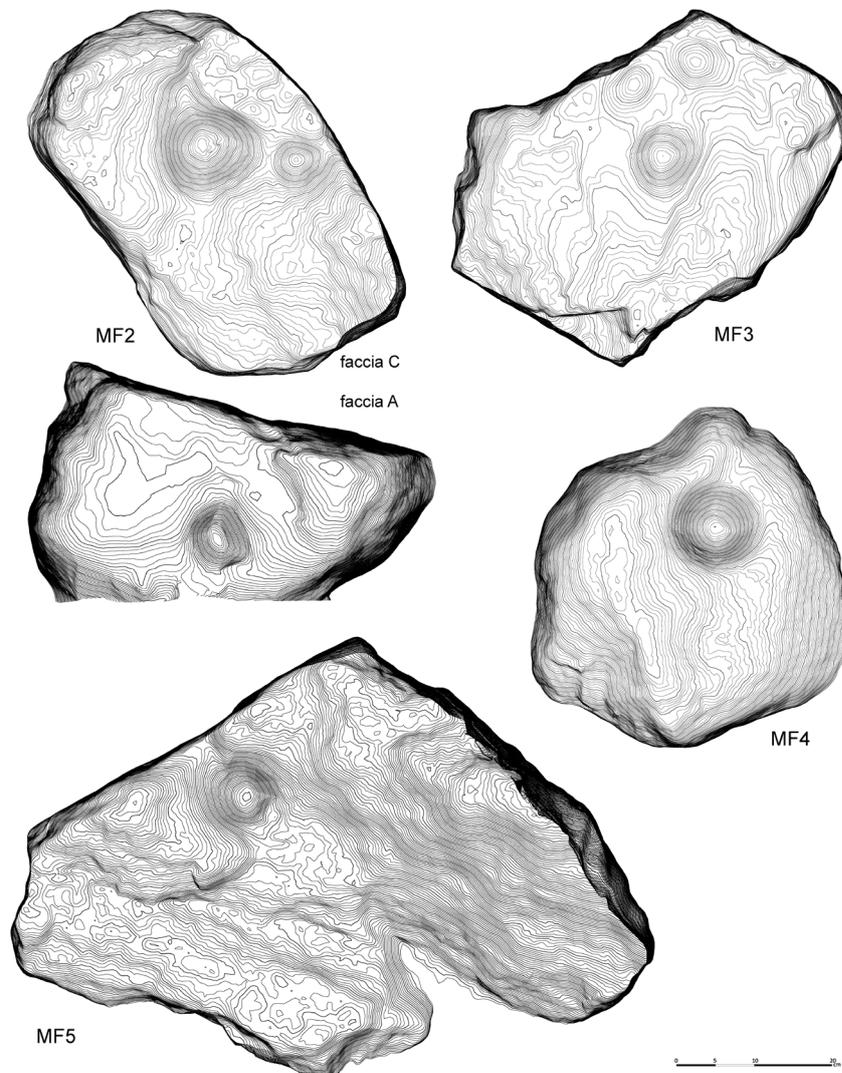


**Fig. 5** - Massi-frantoio rinvenuti in scavo. In alto, MF3 all'atto del rinvenimento e particolare delle sue vaschette. Al centro e in basso, MF4 e MF5 dopo il recupero e particolari delle loro vaschette. / Anvil-stones found during the excavation. Above, MF3 at the moment of discovery and detail of its basins. Centre and below, MF4 and MF5 after recovery and details of their basins.

# Archaeological and historical artefacts

MF2 (= reperto 5890:7; fig. 1, 2, 4, 6). Ciottolone in gneiss massiccio di apporto morenico. Subarrotondato tendente ad arrotondato. Reimpiegato nei muri della forgia tardosettecentesca e successivamente coinvolto nel loro crollo; poggiate sullo spigolo formato dalle facce E ed F; faccia A rivolta a Est, faccia C rivolta a Ovest. Immerso per 0÷4 cm nel sedimento associato ai materiali lapidei di crollo. Proveniente dal muro M14 o dallo spazio soprastante la soglia F8. Faccia A: piana con risalto marginale piano dovuto a scistosità e brevi fessure inframillimetriche lungo i piani di scistosità. Faccia B: lievemente ondulata, usurata. Faccia C: lievemente ondulata, solo in parte lisciata nelle vaschette. Faccia D: lievemente ondulata, usurata, come B ma con pieghe smussate su parte della superficie. Faccia E: lievemente ondulata, usurata, come B ma con depressione marginale subarrotondata al confine con A. Faccia F = piana, usurata. I margini subarrotondati di

buona parte della faccia C si differenziano dagli altri, che sono arrotondati e privi di discontinuità: la faccia C si è infatti formata per il distacco di una grande calotta del ciottolone originario, evento relativamente antico e non attribuibile ad azione umana. Tre vaschette a contorno ellittico e pareti inclinate, di cui la n. 1 nella faccia A, le n. 2 e 3 nella faccia C. Dimensioni massime delle facce (in cm): A = 39x25, B = 26x25, C = 50x31, D = 36x26, E = 36x24, F = 42x29. Dimensioni delle vaschette (misure indirette in cm): n. 1, assi = 9.3x8.2, profondità = 2.8; n. 2, assi = 13.4x12.2, profondità = 3.6; n. 3, assi = 6.6x5.6, profondità = 1.4.



**Fig. 6** - Massi-frantoio rinvenuti in scavo. Rappresentazioni microtopografiche a isoipse (equidistanza = 1 mm; rilievo mediante laser scanner). / Anvil-stones found during the excavation. Microtopographies with contour lines (equidistance = 1 mm; laser scanning survey).

# Storia della metallurgia e beni culturali

MF3 (= reperto 5880:5; fig. 1, 2, 5, 6). Blocco lastroide in gneiss massiccio con un livello quarzoso su di un margine, di apporto morenico. Subacuto. Reimpiegato nei muri della forgia tardosettecentesca e successivamente coinvolto nel loro crollo; poggianti sulle facce E ed F; faccia A rivolta a Ovest. Immerso per 0÷10 cm nel sedimento associato ai materiali lapidei di crollo. Proveniente dal muro M13 o dal muro M14.

Faccia A: piana, debolmente rugosa, lisciata all'interno delle vaschette ma non nelle areole circostanti, con fratture marginali. Faccia B: margini subacuti, localmente acuti per fratture recenti. Faccia C: irregolare, in parte subacuta, in parte subarrotondata, con pronunciata cresta mediale. Faccia D: piana, margini subacuti. Faccia E: margini subarrotondati con frattura subacuta. Faccia F: irregolare con superfici di frattura subacute, fessure inframillimetriche lungo i piani di scistosità e pigmentazioni arancio-giallastre formatesi verosimilmente per il prolungato interrimento nel terreno ferruginoso della forgia.

Tre vaschette a contorno ellittico e pareti inclinate nella faccia A; la n. 2 interessa marginalmente il livello quarzoso.

Dimensioni massime delle facce (in cm): A = 45x41, B = 26x13, C = 46x14, D = 25x11, E = 46x9, F = 48x15.

Dimensioni delle vaschette (misure indirette in cm): n. 1, assi = 10.5x9.7, profondità = 2.1; n. 2, assi = 8.8x6.8, profondità = 1.0; n. 3, assi = 6.9x6.6, profondità = 0.9.

MF4 (= reperto 5780:1; fig. 1, 2, 5, 6). Ciottolone in monzonite di apporto morenico. Subarrotondato. Reimpiegato nei muri della forgia tardosettecentesca e successivamente coinvolto nel loro crollo; poggianti sulla faccia B; faccia A rivolta a Ovest. Immerso per 0÷10 cm nel sedimento associato ai materiali lapidei di crollo. Proveniente dal muro M14 o dallo spazio soprastante la soglia F8.

Faccia A: piana, solo lievemente ondulata, lisciata nella vaschetta n. 1 e su parte delle areole circostanti. Faccia B: vagamente piramidale, non lisciata. Faccia C: presenta una concavità presso il confine con A, lisciata nella parte adiacente alla vaschetta. Faccia D: lievemente convessa, con solchi e altre depressioni

lineari da subacute a subarrotondate. Faccia E: originariamente liscia e convessa, mostra oggi una depressione mediamente rugosa causata dal distacco subrecente di parte della calotta. Faccia F: piana, lisciata, con margine subacuto lungo una faccia obliqua intermedia con C.

Una vaschetta a contorno ellittico e pareti inclinate nella faccia A. Dimensioni massime delle facce (in cm): A = 34x32, B = 30x28, C = 30x26, D = 42x36, E = 32x32, F = 32x27.

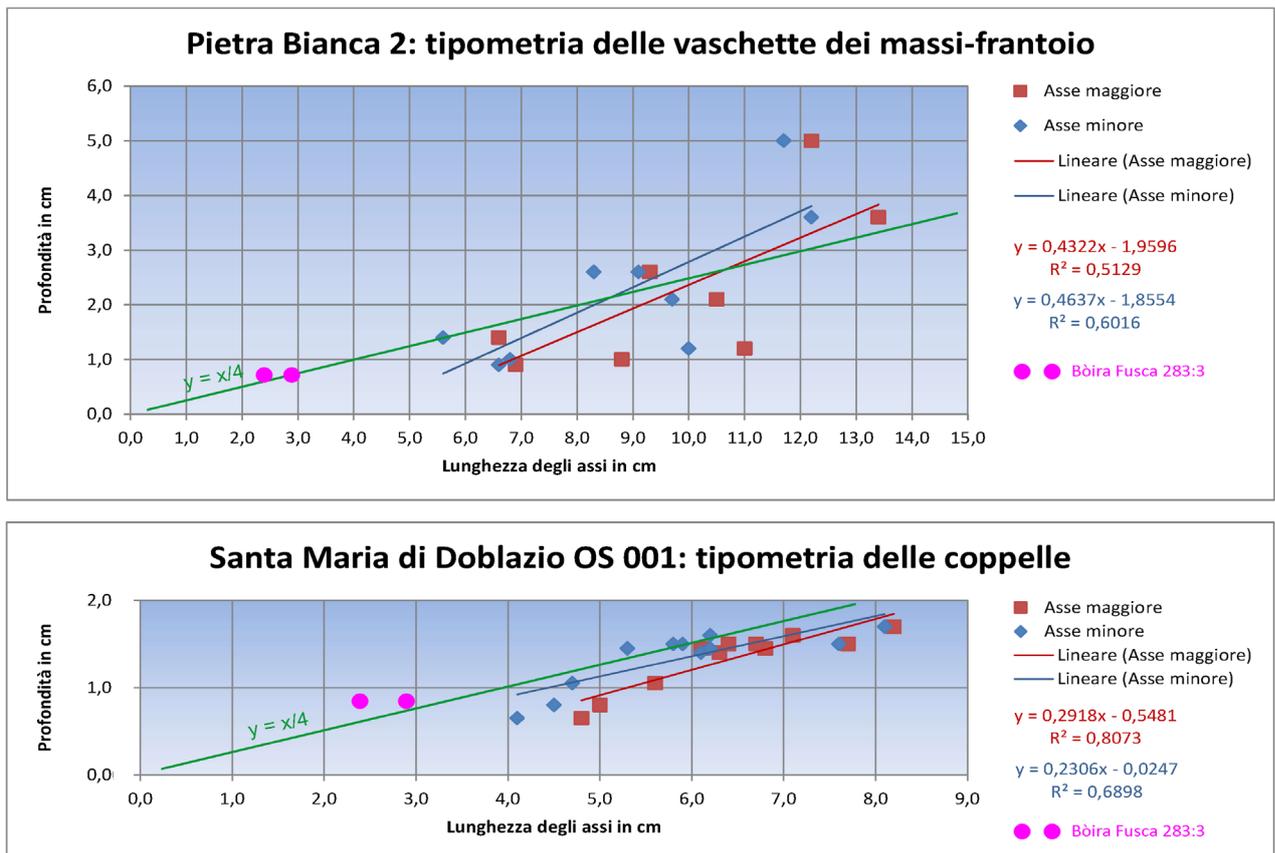
Dimensioni della vaschetta (misure indirette in cm): n. 1, assi = 12.2x11.7, profondità = 5.0.

MF5 (= reperto 5790:31; fig. 1, 2, 5, 6). Lastrone in micascisto del substrato locale a marcata scistosità innescata da grosse lamelle di mica. Prevalentemente subarrotondato, con un margine acuto formatosi a seguito di una recente fratturazione longitudinale parallela ai piani di scistosità (impossibile precisare se naturale o artificiale). Reimpiegato nei muri della forgia tardosettecentesca e successivamente coinvolto nel loro crollo; poggianti sulla faccia A; faccia F (opposta ad A) rivolta a Ovest. Immerso per 0÷20 cm nel sedimento associato ai materiali lapidei di crollo. Proveniente dal muro M14.

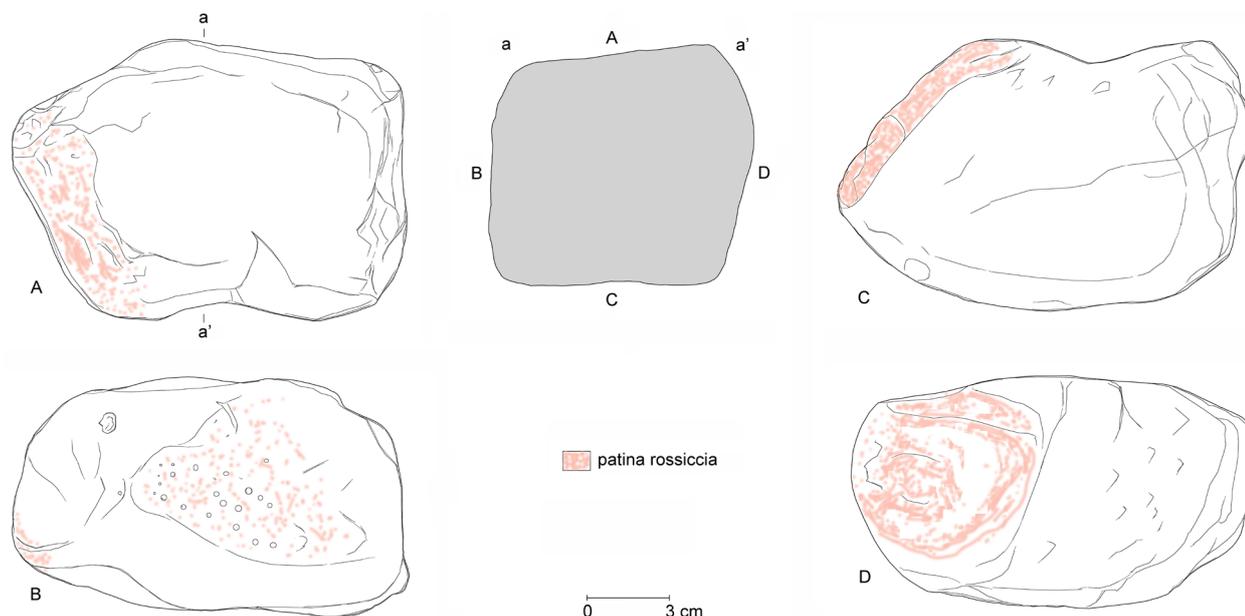
Faccia A: fortemente ondulata con fessure longitudinali lungo i piani di scistosità, mediamente rugosa con frequenti gradinetti dovuti alla scistosità; interno della vaschetta marcatamente più liscio, nonostante la conformazione gradinata dovuta alla scistosità. Faccia B: acuta, ossidata. Facce C, D, E: subarrotondate. Faccia F: irregolare, con estesa fratturazione secondo la scistosità e compresenza di due superfici differenti per andamento ed età. Una vaschetta a contorno ellittico e pareti inclinate nella faccia A. Dimensioni massime (in cm) = 80x55, spessore massimo = 12 (con forte assottigliamento verso la faccia B); prima della fratturazione poteva trattarsi di un lastrone trapezoidale con base maggiore = 70, base minore = 42, altezza = 58, spessore maggiore di quello attuale.

Dimensioni della vaschetta (misure indirette in cm): assi = 9.3x9.1, profondità = 2.6.

# Archaeological and historical artefacts



**Fig. 7** - Confronto tipometrico tra le vaschette dei massi-frantoio di PB2, le coppelle di un masso in gneiss di Santa Maria di Doblazio (Pont Canavese, Torino) e la coppella su lastrina in micascisto eclogitico, con probabile funzione metallurgica, dalla Bòira Fusca (Cuorné, Torino). / Typometric comparison between the basins of the anvil-stones of PB2, the cup-marks of a gneiss boulder from Santa Maria di Doblazio (Pont Canavese, Turin) and the cup-mark on a thin slab of eclogitic micaschist, with probable metallurgical function, from Bòira Fusca (Cuorné, Turin).



**Fig. 8** - Probabile frantumatore manuale (5971:3) ricavato da un ciottolo in gneiss massiccio di formato ergonomico, con alcune superfici molto lisce e ricoperte da una patina rossiccia localmente interessata da microcicatrici puntiformi da percussione. / *Probable hand-held hammerstone (5971:3) made from an ergonomically-shaped gneiss pebble with some extremely smooth surfaces, covered by a reddish patina with areas of punctiform micro-scars caused by percussion.*

## LA TERMINOLOGIA

L'archeologia mineraria italiana non dispone per ora di un lessico tecnico univoco, consolidato e condiviso dagli studiosi. Per definire impianti, utensili, lavorazioni, maestranze, minerali e così via e per descrivere i processi minerari, mineralurgici e metallurgici si impiega una quantità esagerata di lemmi, in parte acriticamente mutuati dalle fonti storiche. Anche restando in un ambito cronologico relativamente ristretto come quello medievale-moderno, queste propongono una grande varietà terminologica, con sfumature dialettali difficili da uniformare: si può scorrere ad esempio il lessico della siderurgia indiretta raccolto da E. Baraldi per i secoli XII-XVII nella sola area bresciano-bergamasca [26].

Trovandosi nella necessità di denominare i mezzi tecnologici descritti al capitolo precedente, che nell'archeologia mineraria piemontese rappresentano probabilmente una novità, è perciò parso opportuno approfondire gli aspetti terminologici a essi legati.

Nella bibliografia arqueo-mineraria, gli impianti per la frantumazione manuale del minerale sono definiti mortiers, meules o enclumes in francese, mortar stones in inglese, Unterslagsblöcke, Unterlagplatten o Erzmühle in tedesco, incudini in italiano; gli utensili impiegati sono denominati percuteurs, masses, marteaux, broyeur o pilons in francese, pestles, hammer

stones o rock-crushing hammers in inglese, Schlägel in tedesco, macinelli o pestelli in italiano [27, p. 185-186 (fig. 58); 12, p. 89-91; 13, p. 41; 28, p. 58-63; 29, p. 282; 30, p. 83, 85; 31, p. 25-39; 32, p. 102 (fig. 17)].

Nell'italiano archeologico corrente, 'mortaio' è normalmente il contenitore di pietra, terracotta, porcellana o metallo in cui si frantumano manualmente, con l'aiuto di un 'pestello' litico, ligneo o metallico o di un 'percussore' litico, sia derrate alimentari crude o cotte da cui ottenere farine o salse, sia piccole quantità di minerali nella fabbricazione di coloranti, medicinali o cosmetici. Tanto 'mortaio', quanto 'pestello' e 'percussore' hanno usi codificati e non risultano perciò idonei a indicare i reperti in questione, che hanno inoltre dimensioni maggiori rispetto agli oggetti comunemente designati da tali termini.

Per gli impianti di PB2, si è quindi adottata una espressione, 'masso-frantoio', che pare ben tenere conto delle caratteristiche materiali, formali e dimensionali degli oggetti, con il trattino di unione deputato a sottolineare il legame forma-funzione. Per indicare l'utensile, da 'masso-frantoio' pare discendere in modo lineare il termine 'frantumatore'.

'Masso-frantoio' ha inoltre assonanza con 'Scheidstein', traducibile letteralmente come 'pietra per la separazione', che compare nel 1529 in relazione alla miniera Saint-Nicolas a la Croix-aux-Mines (Vosges, Francia) [15, p. 78], ma è assente con tale accezione nei dizionari tedeschi (cf. ad esempio [33]).

# Archaeological and historical artefacts

Anche l'adozione del termine 'vaschetta' per designare gli incavi artificiali dei massi-frantoio richiede una spiegazione. La forma a coppa e una certa rassomiglianza che tali incavi hanno con quei petroglifi che in archeologia sono denominati 'coppelle' avrebbe potuto indurre a optare per questo lemma. Si è invece volutamente evitato di farlo, per non creare confusione, né con le coppelle-petroglifi (in archeologia rupestre il lemma è in uso dal 1880 [34, p. 128]), che, eccettuati rarissimi casi, non hanno di norma funzioni mineralurgico-metallurgiche, né con le coppelle-crogioli adibite alla raffinazione dei metalli preziosi (ambito in cui il termine è in uso da prima del 1347 [35, p. 281]), le quali non hanno parte nella metallurgia del ferro. Oltre che funzionale, la differenza tra gli incavi dei massi-frantoio e le coppelle-petroglifi è anche tipometrica: nei diagrammi di dispersione di fig. 7, che mettono a confronto le dimensioni delle 9 vaschette di PB2 e di una popolazione all'incirca equivalente di 11 coppelle realizzate su gneiss (ossia su di un supporto petrograficamente simile a MF2 e MF3), appare evidente come le prime siano non solo mediamente più grandi, ma anche proporzionalmente più profonde delle seconde: mentre infatti nelle coppelle, e non solo nel qui riportato esempio di Santa Maria di Doblazio a Pont Canavese (valle Orco, Torino) [36, p. 38, 75-82], il rapporto tra profondità e assi è generalmente  $< \frac{1}{4}$  con alta correlazione lineare positiva ( $0.7 \div 0.8$ ), nelle vaschette di PB 2 esso è sovente  $> \frac{1}{4}$  con inferiore correlazione lineare ( $0.5 \div 0.6$ ). Per completare il confronto, va notato che in entrambi i diagrammi si colloca in posizione alquanto eccentrica una delle poche coppelle a probabile funzione metallurgica, collegabile alla zecca clandestina attiva nel X secolo nella grottina Bôira Fusca a Cuorné (valle Orco, Torino, reperto 283:3) [37, p. 50-51].

## LE FONTI ARCHEOLOGICHE DALLA PREISTORIA AL MEDIOEVO

Allo stato attuale della ricerca i massi-frantoio noti dalle fonti archeologiche sono poco numerosi.

In età pre-/protostorica se ne conoscono in relazione al trattamento dei solfuri misti. In Europa R.F. Tylecote enumera tra i siti più antichi Missa Ateya (Burgas, Bulgaria, mortar stone con 17 vaschette del 4700 a.C., non vidimus) e Cabrières (Hérault, Francia, due mortar stones utilizzati su due lati nel calcolitico antico e recente) [28, p. 60-61; cf. 38, p. 21]. A Cabrières, accanto a meules, non descritte dagli autori, si sono rinvenuti galets à cupules in basalto o in quarzo, ovali, di dimensioni  $< 20$  cm e di spessore  $\leq 3.5$  cm, caratterizzati da una faccia recante al centro un incavo più o meno profondo, da mettere in relazione con l'arricchimento del minerale argentifero (Pioch-Farrus) o cuprifero (Roque-Fenestre) che ha prodotto sabbie fini o grosse [39, p. 226, 230; 38, p. 23-25].

Saint-Véran - les Clausis (Hautes-Alpes, Francia), miniera da cui si estraeva bornite alla cerniera fra calcolitico e bronzo antico, evidenzia un processo mineralurgico più complesso, testimoniato da un grande blocco in serpentinite (1.3 m x 1.0 m, spesso 0.5 m), tre frammenti di meules (una in quarzo, due in calcescisto), un mortier intero in calcescisto (35.5 cm x 21.5 cm, spesso

6.5-8 cm), una quarantina di frantumatori in serpentinite, in calcescisto o in «riebeckite» [!] e otto pierres à cupules, di cui sei in «riebeckite» [!] e due in serpentinite (lunghe 9-11 cm, larghe 6-9 cm, spesse 4-8 cm). Il reperto intero era utilizzato sia per l'arricchimento del minerale, sia per la frantumazione delle scorie di fonderia mirante a recuperare le piccole sferule di metallo che vi restavano imprigionate; la faccia concava mostra sia cicatrici sparse puntiformi originate dalla frantumazione (conassage), sia superfici lisce create dalla macinazione (broyage) [40, p. 105 (fig. 9)]: si evidenziano così differenze funzionali, oltre che dimensionali, fra i diversi mezzi tecnologici impiegati [38, p. 24; 40, p. 101-102, 105]. Secondo H. Barge, i migliori confronti Saint-Véran li trova a Mount Gabriel (Munster, Irlanda), miniera di malachite dell'età del bronzo con un'ampia area di trattamento dotata di lastre in arenaria utilizzate come piani di frantumazione (stone slabs), presso il maggiore dei quali (98 cm x 79 cm, spesso 16 cm), erano abbandonati oltre 800 frantumatori rotti [40, p. 108; cf. 29, p. 282].

In età classica, massi-frantoio sono noti nel distretto minerario del Laurion (Lavreotiki, Attica, Grecia), dove dal V secolo a.C. si estraeva piombo argentifero con un ciclo operativo molto avanzato, comprendente una prima comminuzione manuale con frantumatori in acciaio su grandi massi di marmo o calcare, che produceva sabbie grosse, un successivo passaggio di queste sotto pestelli in acciaio in grandi mortai in pietra e, infine, una macinazione in mulini in trachite azionati da più uomini, da cui si ottenevano grani  $< 1$  mm che venivano poi idroclassati [41, p. 59-62; 42, p. 1862; 43, p. 127, 213, 216-218, 220, 227 (fig. 10-3, 10-4), 426]. Strabone (64/63 a.C. - 20/21 d.C.), nel tratteggiare il declino delle miniere del Laurion, quasi abbandonate sotto la dominazione romana, descrive il processo di rifusione delle vecchie scorie, dalle quali si otteneva ancora argento puro nonostante che la tecnologia del V secolo le avesse giudicate inutili (Geographia, IX, 1, 23) [43, p. 417].

Gli studiosi hanno cercato di ricostruire il ciclo produttivo dei solfuri misti avvalendosi di autori come Diodoro Siculo (90/80-20 a.C. circa) o Plinio il Vecchio (23-79 d.C.). Il primo descrive in dettaglio la prima frantumazione del minerale con pestelli in acciaio entro mortai in pietra e il successivo passaggio sotto macine azionate da tre persone, con cui si trasformavano le ghiaie grosse in ghiaie fini o in polveri che erano poi idroclassate (Bibliotheca historica, III, XII-XIV). Il secondo così tratta la comminuzione: «Quod effossum est, tunditur, lauatur, utitur, molitur. Farinam a pila scudem uocant; argentum, quod exit a fornace, sudorem» (Naturalis historia, XXXIII, 69: si noti che scudes ricorda scheiden). Efficaci nella descrizione, entrambi gli autori si riferiscono però a minerali auriferi o argentiferi dell'Egitto, anche se è vero che nelle regioni europee e mediterranee i trattamenti erano standardizzati.

Per i minerali feriferi, la cui fusione in età romana avveniva per riduzione diretta, non si hanno indicazioni precise riguardo alla comminuzione [44, p. 1086-1087]. Rari sono i riferimenti alla granulometria del minerale ferifero prima della diffusione dei manuali di età moderna e ancora Agricola, quando nel De re metallica descrive la frantumazione [19, p. 208], sembra avere

# Storia della metallurgia e beni culturali

presente il passo pliniano (v. infra).

Durante l'alto medioevo, nei siti siderurgici di età longobarda Val Gabbia I e II (Blenno, Brescia) l'ematite si presentava «in pezzatura centimetrica forse già a bocca di miniera» [45, p. 26]. Nel medioevo spiccano i siti francesi di Brandes-en-Oisans (Isère) e di L'Argentière-la-Bessée (Hautes-Alpes), esemplarmente studiati, rispettivamente, da M.-C. Bailly-Maître e B. Ancel.

A Brandes, fra XIII e inizio XIV secolo il primo arricchimento dei solfuri di piombo argentifero in ganga baritica avveniva mediante mortiers, percuteurs e broyeur in arenaria. Gli oltre 150 blocchi su cui si realizzavano manualmente frantumazione (concassage) e macinazione (broyage) avevano concavità su di una o due facce e misure relativamente standardizzate (lunghezza dei lati 15÷50 cm, spessore 8÷25 cm, peso 25÷40 kg). Le centinaia di utensili – percuteurs, caratterizzati da incavi per le dita e broyeur, caratterizzati da striature d'usura – pesano 850÷1600 g. L'osservazione degli scarti granoclassati delle discariche, delle superfici dei frantoi e della loro distribuzione areale, talora presso piccole canalizzazioni, fa ipotizzare che il minerale più ricco fosse frantumato a secco, quello meno ricco in acqua [12, p. 23, 89-91; 46, p. 16 (tav. XX), 119-123; 47, p. 202-203]. La presenza di utensili ergonomici è già segnalata nel 1901 in un pionieristico studio di H. Müller, il quale annota in un taccuino, con qualche rivelatrice incertezza lessicale, la presenza di «plusieurs marteaux ou concasseurs broyeur à avec cupules pour la préhension» [47, p. 209]. Una parte del minerale arricchito era sottoposto a macinazione sotto mole idrauliche (diametro 0.95 m, spessore 0.15 m), probabilmente quando nella ganga quarzo o gneiss erano associati alla più tenera barite [12, p. 91-92; 46, 119-120, 124-126; 47, p. 202-203, 222, 226].

A L'Argentière-la-Bessée, enclumes de cassage sono state ritrovate in stretto collegamento con le miniere dei secoli XI-XIII (davanti all'ingresso del reticolo Saint-Roch), ma anche reimpiegate come materiale edilizio in muri del XIX secolo (edifici minerari del Gorgeat nel vallone del Fournel) [13, p. 41-42]: queste ultime costituiscono i migliori elementi di paragone per i massi-frantoio di PB2.

## LE FONTI STORICHE IN ETÀ POSTMODERNA

Per compensare la povertà di dati archeologici sull'arricchimento dei minerali in età medievale e moderna è utile ricorrere a documenti storici, letterari, tecnici, amministrativi, giuridici, finanziari, notarili. Molte sono in effetti le conoscenze storiche sulla metallurgia fra XII e XVII secolo, ma, come si comprende dagli esempi qui di seguito proposti, le fonti sono avaro di notizie su quei processi che erano considerati talmente ovvi da non richiedere soverchie spiegazioni. Altro ostacolo è la rarità dei manuali tecnici premoderni.

Il primo quindicennio del XVI secolo è un cruciale periodo di passaggio, in cui coesistono l'arricchimento manuale e quello mediante frantoi idromeccanici a pestelli, operanti a secco o in acqua [48, p. 106-108 (nota 92)]. Le prime raffigurazioni dei nuovi frantoi idromeccanici risalgono appunto al 1505/1515 [18,

p. 598 (fig. 157)].

Del 1521 è una pala d'altare in cui il pittore Hans Hesse ha rappresentato le miniere argentifere di Annaberg-Buchholz (Sachsen, Germania), documentandone l'intero ciclo lavorativo. L'addetto all'arricchimento lavora su di un parallelepipedo litico poggiante su di un tozzo supporto ligneo e tiene con una mano un blocco di minerale, mentre con l'altra aziona un mazzuolo in acciaio, producendo ghiaie grosse che vanno ad ammucchiarsi ai suoi piedi entro un piccolo spiazzo subcircolare contornato da sassi [18, p. 594, 596].

Nel 1529 Heinrich Groff ritrae venti operai cernitori (schaideurs) in uno dei disegni acquarellati con cui illustra il funzionamento della grande miniera argentifera Saint-Nicolas a la Croix-aux-Mines. La didascalia recita «Les schaideurs separens la bonne myne appart» e gli addetti lavorano al riparo di tettoie lignee, seduti su ceppi, frantumando il minerale con snelli mazzuoli in acciaio su lastre subcircolari (Scheidsteine) poggianti a loro volta su ceppi o su tavole lignee a scomparti. Con la punta del mazzuolo un lavorante ha prodotto sulla lastra una piccola cicatrice [15, p. 36-37, 78].

Fra 1554 e 1556 i codici manoscritti relativi alla miniera argentifera di Schwaz (Tirolo, Austria) e lo stesso Agricola (v. infra) illustrano una procedura di lavoro molto simile. Un disegno acquarellato del codice 3313 (Bochum, 1554) raffigura un capanno polifunzionale in legno denominato Cram: in un annesso funziona una cucina, mentre all'interno e all'esterno del vano principale tre operai sono intenti a frantumare il minerale con mazzette in acciaio. Un po' incongruamente, quello che lavora all'esterno è seduto a cavalcioni dello stesso masso sul quale batte [16, p. 38; 17, p. 234, 306, 468 (Cram)]. Più accurato è il corrispondente disegno del codice Dipauliana 856 (Innsbruck, 1556), in cui, fermo restando l'uso di mazzette in acciaio, l'operaio appare seduto a terra, con le spalle al capanno e le gambe divaricate intorno al masso-frantoio [14, p. 113, 270 (Kram)]; il medesimo codice testimonia l'utilizzazione a Schwaz del frantoio idromeccanico a quattro pestelli [14, tav. XXI; 17, p. 181; 49, p. 943].

Fondamentali sono comunque, con le loro eloquenti descrizioni scritte, i trattati di Biringuccio e Agricola.

Vannoccio Biringuccio (1480-?1539) è uno dei precursori rinascimentali dell'incipiente metodo sperimentale. Di scarsa erudizione classica, nella sua opera De la pirotechnia, edita postuma nel 1540, si attiene a osservazioni basate su esperienze personali. Nel capitolo De la miniera del ferro et sva natvra afferma che il minerale (la miniera) dell'Elba è così puro che basta un fuoco modesto per ricavarne ferro dolcissimo: «solo le basta vna semplice fucina, & vn par di mantaci [...] hauendola prima rotta in pezzetti come noci, & dintorno fattoli vna clausura in forma di circulo di piu grossi pezzi di miniera, ouero daltre pietre mortigne qual sol vi si mettano, per che retenghino il carbone el fuochetto stretto». In generale, «chi far vuole il ferro dolce & buono per virtù dela miniera oltre al modo & al carbone, deue prima prouedere a vn pratico & intelligente sceglitore, quale con diligentia scelga la pura dala impura, & col inditio [iuditio] de lochio & con il romperle le separi, & dipoi al forno aperto

# Archaeological and historical artefacts

le ricuocha» [50, p. 16v-17r (libro I, capitolo VI)]. Nel capitolo Del metodo di preparare li metalli avanti le fusioni ribadisce che «tutte le miniere di qual sorte si voglia [...] han dibisogno desser conosciute dali pratici & buoni sceglitori [...] acciaio in questa prima preparatione importantissima sappino discernere le buone dalle triste, & quale e sasso, & quale e miniera & in questo vsino con el rompere & tagliare»; inoltre, «le miniere aride & mal disposte» vanno prima arrostite e «tutte a voler far bene vogliono esser suttilmente macinate» [50, p. 47r-47v (libro III, capitolo II)]. L'autore non chiarisce quale tecnica usare per la comminazione e non descrive frantoi idromeccanici: si desumerebbe tuttavia che il minerale ferifero è sufficiente tritarlo sino alle dimensioni della ghiaia grossa [cf. 51, p. 41: minerale e carbone devono essere «ben frantumati ma non pulverulenti»), mentre per gli altri minerali occorre scendere alla ghiaia fine.

Georgius Agricola alias Georg Bauer (1494-1555), di solida formazione classica, profondo conoscitore di filologia e filosofia abituato al pensiero sistematico, è considerato il padre della scienza mineraria. I suoi *De re metallica* libri XII, editi postumi nel 1556 ma terminati nel 1550, sono ben illustrati. Le osservazioni sull'arricchimento si trovano nel libro VIII, dedicato alla preparazione dei minerali per la fusione. Si propone qui la versione italiana di Michelangelo Florio, edita nel 1563, che rispetta quasi alla lettera quella latina del 1556: «solendo la natura le piu uolte generar i metalli impuri e mescolati con terre, e sughi congelati, & sodi, & con pietre, ei fa mestieri, prima che le uene metalliche si cuochino, da quelle separar le dette cose [...] La onde al presente son per trattare come le uene si discernano, si pestan co' martelli, e con le palle [co' pestelli]: come le s'abbruciano, si macinino & facciano in farina: come quelle si uagliano, si lauino s'infuochino, & ardano [Itaque quibus modis uenae discernantur, tundantur malleis, urantur, tundantur pilis, molantur in farinam, cribrentur, lauentur, torreantur, crementur]».

Due i metodi di arricchimento che l'autore registra. Se si segue il primo, «quei sassi che con la uena ricca son congiunti, a finche non si perda punto di metallo, ancora essi bisogna che si pestino, si tritino, e lauino [sunt tundenda, comminuenda, lauanda] [...] l'ufficio di scegliere il metallo rozzo, e le uene nobili, e migliori, non pur gl'huomini, ma i fanciulli, e le donne ancora fanno» [52, p. 228; cf. 19, p. 208]. «E quantunque i cauatori dentro nei pozzi, e ne le mine habbiano scelte, e separate [...] le cose cauate, non di meno le uene de metalli tratte, & portate fuori, con i martelli si deono spezzare, e ben bene sminuzzolare [malleis in partes frangendae sunt, uel minutim contundendae, comminuendaeque] [...] Gli sceglitori sopra ciascuna tauola mettono una larga & dura pietra [Discretiores autem cuique abaco durum & latum lapidem imponunt] [...] la parte dinanzi doue siede lo sceglitore è aperta. Et alcuni di detti sceglitori con un martel largo, ma non molto grosso uanno spezzando la uena de l'oro, e de l'argento posta sopra quella pietra larga che s'è detto, & sminuzzolata che l'hanno molto bene, la mettono in un uaso [52, p. 230; cf. 19, p. 210]. Alcuni altri di loro piglion la massa dela uena che non

ha molt'oro, ne molto argento, e mettonla sopra la pietra detta, e col martello minutissimamente la uan pestando: e come l'è benissimo trita, la raccolgono insieme, e mettonla ne uasi» [52, p. 231; cf. 19, p. 210-211].

Il secondo metodo prevede che «I pezzi de le uene grandi, e dure si rompano, e pestano molto bene prima che s'abbrucino», come avviene a Goslar (Harz, Niedersachsen, Germania), ove si frantuma la pirite: «magnis malleis tundunt pyritas» [19, p. 211], dove M. Florio traduce erroneamente «pyritas» con «pietre focaie» [52, p. 231]. Nel paese «de la gran Germania, che Vestfalia si chiama, e ne la parte de la Germania bassa che Eifalia si nomina, i lauranti al'incontro pigliano i pezzi de le uene prima abbruciate, e postigli in un'aia tonda di durissime lastre ben lastricata, gli uan pestando e tritando con alcuni ferramenti c'hanno forma quasi di martelli [...] Trite c'han molto bene le uene, le uan raunando insieme con le granate [= scope], e portone la fucina [52, p. 232, cf. 19, p. 212] [...] Ma con piloni ferrati si pestano le uene, a cio il metallo discernen si possa da le pietre, e da sassi del tetto» [52, p. 239, cf. 19, p. 219]. Da qui il testo prosegue con la descrizione del frantoio idromeccanico a pestelli, definito nell'indice «Machina qua uenae siccae pilis praeferratis tunduntur».

## CONCLUSIONI

Gli scavi archeologici a PB2 sono in fase iniziale, avendo sinora interessato una sola delle quattro costruzioni esistenti all'esterno della miniera, mentre all'interno di questa i campionamenti sedimentari e antracologici sono appena iniziati. La sequenza cronologica del sito non è perciò ancora nota nei dettagli.

Ciò nonostante, i dati storico-archeologici disponibili, pur nella loro laconicità, suggeriscono concordemente che gli impianti di frantumazione di PB2 siano retaggio di attività mineralurgiche di età pre-/protomoderna che, a parte la coincidenza topografica, nulla hanno in comune con le attività estrattive tardosettecentesche. È invece probabile il collegamento con i resti di forno di riduzione diretta che non trovano posto nella forgia (frammenti di argilla indurita termoalterata e di ugelli in terracotta).

Tenendo conto che MF1 non pare avere subito spostamenti, si può ipotizzare che anche i massi-frantoio rinvenuti tra i materiali di crollo di E1 stessero in precedenza un poco più a monte, presso MF1 stesso, in posizione intermedia tra la miniera e l'area in cui doveva sorgere il forno di riduzione, oggi occupata dai ruderi di E1 ed E2. Risalirebbero alla fine del XVIII secolo il loro rimaneggiamento e il loro reimpiego in E1, con funzione di materiale edilizio (come si verifica nel vallone del Fournel a L'Argentière-la-Bessée).

# Storia della metallurgia e beni culturali

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ROSSI M., GATTIGLIA A., ROSTAN P., CHERSICH S. 2002. Miniere e metallurgia in Alta Valsessera (Biella). Studi e ricerche sull'Alta Valsessera, 2: 137-196. Biella: DocBi.
- [2] ROSSI M., GATTIGLIA A. 2014. Riflessi ambientali dell'attività mineraria e metallurgica nella montagna piemontese. Montagne incise. Pietre incise. Archeologia delle risorse nella montagna mediterranea. Carved mountains. Engraved stones. Environmental resources archaeology in the Mediterranean mountains. Atti del convegno, Borzonasca 2011, (a cura) A.M. Stagno. Archeologia Postmedievale 17 (2013): 279-288. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- [3] ROSSI M., GATTIGLIA A. 2015. Il forno di affinazione di Rondolere (1788-1813). Archeologia delle aree montane europee: metodi, problemi e casi di studio, (a cura) U. Moscatelli, A.M. Stagno. Il capitale culturale 12: 149-182. Macerata.
- [4] GATTIGLIA A. 2007a. Infeudazione della miniera delle Rondolere a Gieronima Saura (1570). Aquile, argento, carbone. Indagine sull'alta Valsessera, (a cura) G. Vachino: 91-94. Biella: DocBi.
- [5] ROSSI M., GATTIGLIA A. 2007. Un destino minerario e metallurgico. Aquile, argento, carbone. Indagine sull'alta Valsessera, (a cura) G. Vachino: 63-90. Biella: DocBi.
- [6] ROSSI M., GATTIGLIA A., PANTÒ G. (a cura) 2008. Rondolere. Un'area archeometallurgica del XVIII secolo in alta val Sessera (Biella). Firenze: All'Insegna del Giglio.
- [7] SERNEELS V. 2004. Rapport préliminaire concernant l'étude des déchets métallurgiques du Val Sessera. Fribourg: Département de Géosciences - Université de Fribourg. [Relazione inedita].
- [8] SELVAGGIO I. 2006. Mineralizzazioni a magnetite dell'alta Valsessera: aspetti geologico-petrografici e archeometallurgici. Torino: Università di Torino. [Tesi di laurea magistrale in Scienze naturali sotto la direzione di D. Castelli, M. Rossi e A. Gattiglia].
- [9] SELVAGGIO I., CASTELLI D., ROSSETTI P. 2008. L'analisi geologico-petrografica dei siti estrattivi di Pietra Bianca. Rondolere. Un'area archeometallurgica del XVIII secolo in alta val Sessera (Biella), (a cura) M. Rossi, A. Gattiglia, G. Pantò: 21. Torino - Firenze.
- [10] CASTELLI D., ROSSETTI P., GROppo C., ROSSI M., GATTIGLIA A., MESSIGA B., RICCARDI M.P., SELVAGGIO I. 2009. Rondolere. Un incontro fra la storia del pianeta e la storia dell'uomo. Roma - Torino: Ministero dell'Università e della Ricerca - Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche dell'Università degli Studi di Torino.
- [11] GATTIGLIA A. 2007b. Petroglifi minerari alpini tra archeologia e fonti archivistiche. Pietra, scrittura e figura in età postmedievale nelle Alpi e nelle regioni circostanti. Convegno - tavola rotonda, Usseglio 2007, (a cura) T. Mannoni, D. Moreno, M. Rossi. Archeologia Postmedievale 10 (2006): 107-125. Firenze: All'Insegna del Giglio.
- [12] BAILLY-MAÎTRE M.-C., BRUNO DUPRAZ J. 1994. Brandes-en-Oisans. La mine d'argent des Dauphins (XII-XIVe s.). Isère. Lyon: Service Régional de l'Archéologie de Rhône-Alpes.
- [13] ANCEL B., PY V., MARCONNET C., KAMMENTHALER E., FERAUD J., LENNE A., LELEU V., COWBURN I., CONSTANT A. 2013. La mine d'argent du Fournel. Des origines médiévales de L'Argentière-La Bessée à sa première industrie au XIXe siècle. L'Argentière-La Bessée: Musée des Mines de la ville de L'Argentière-La Bessée.
- [14] WINKELMANN H. (ed.) 1956. Schwazer Bergbuch. Lünen: Gewerkschaft Eisenhütte Westfalia.
- [15] BRUGEROLLES E., BARI H., BENOÎT P., FLUCK P., SCHOEN H. (ed.) 1992. La mine mode d'emploi. La Rouge Myne de Saint Nicolas de la Croix dessinée par Heinrich Groff. Paris: Gallimard.
- [16] BARTELS C., BINGENER A., SLOTTA R. (ed.) 2006a. Das Schwazer Bergbuch, I: Der Bochumer Entwurf von 1554. Faksimile. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum.
- [17] BARTELS C., BINGENER A., SLOTTA R. (ed.) 2006b. Das Schwazer Bergbuch, II: Der Bochumer Entwurf und die Endfassung von 1556. Textkritische Editionen. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum.
- [18] BARTELS C., SLOTTA R. (a cura) 2012. Geschichte des deutschen Bergbaus, (dir.) K. Tenfelde, S. Berger, H.-C. Seidel, 1: Der alteuropäische Bergbau. Von den Anfängen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. Münster: Aschendorff.
- [19] AGRICOLA G. 1556. De re metallica libri XII. Basel: Froben.
- [20] DELLA FRATTA ET MONTALBANO M.A. 1678. Pratica minerale. Bologna: Manolesi.
- [21] [DIDEROT D., D'ALEMBERT J.-B. (a cura)] 1773. Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques avec leur explication, IV. Livorno: Imprimerie des Éditeurs.
- [22] ROSSI M., GATTIGLIA A., CASTALDI R., CASTELLI D., GUÉNETTE-BECK B., NISBET R., ROSSETTI P., SANNA C., VACCIO R.V. 2016. Opificio in riva destra Sessera. Da risorsa strategica a patrimonio storico-ambientale. Biella: E20Progetti.
- [23] GATTIGLIA A., ROSSI M., DE VINGO P. in stampa [2018]. Bioglio, alta val Sessera, Pietra Bianca 2. Scavo di sito archeo-siderurgico e archeo-minerario. Quaderni di Archeologia del Piemonte 2. Torino.
- [24] ESCHENLOHR L., SERNEELS V., HILTPOLD B. 1991. Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, les Boulies (JU, Suisse).

# Archaeological and historical artefacts

- Porrentruy: Office du Patrimoine Historique - Société Jurassienne d'Émulation.
- [25] SERNEELS V., BECK B. 1998. Les scories du Mont Chemin et l'utilisation de la magnétite pour fabriquer du fer par la méthode directe de réduction. *Minaria Helvetica* 18b: 43-65. Basel.
- [26] BARALDI E. 2001. Ordigni e parole dei maestri da forno bresciani e bergamaschi: lessico della siderurgia indiretta in Italia fra XII e XVII secolo. La sidérurgie alpine en Italie (XIIe-XVIIe siècle), (a cura) P. Braunstein: 163-213. Roma: École Française.
- [27] MOHEN J.-P. 1990. Métallurgie préhistorique. Introduction à la paléométaballurgie. Paris: Masson.
- [28] TYLECOTE R.F. 1987. The early history of metallurgy in Europe. London - New York: Longman.
- [29] O'BRIEN W.F. 1990. Prehistoric copper mining in South-West Ireland: the Mount Gabriel-type mines. *Proceedings of the Prehistoric Society* 56: 269-290. London.
- [30] CIERNY J., MARZATICO F., WEISGERBER G. 1995. Endbronzezeitliche Kupferproduktion im Trentino. Ein Vorbericht. *Der Anschnitt* 47 (3): 82-91. Bochum.
- [31] ŠEBESTA Giuseppe 2000<sup>2</sup>. La via del rame. San Michele all'Adige: Museo degli Usi e Costumi della Gente Trentina. (1a ed.: 1992).
- [32] GOLDENBERG G. 2013. Prähistorischer Fahlerzbergbau im Unterinntal. *Montanarchäologische Befunde. Cuprum Tyrolense. 5500 Jahre Bergbau und Kupferverhüttung in Tirol*, (a cura) K. Oeggel, V. Schaffer: 89-122. Brixlegg: Edition Tirol.
- [33] GRIMM J., GRIMM W. 1854-1960. *Deutsches Wörterbuch*, I-XVI. Leipzig: Hirzel.
- [34] MAGNI A. 1901. Pietre coppelliformi nuovamente scoperte nei dintorni di Como. *Rivista Archeologica della provincia di Como* 43-44: 19-139. Como.
- [35] CORTELAZZO M., ZOLLI P. 1979. *Dizionario etimologico della lingua italiana*, 1: A-C. Bologna: Zanichelli.
- [36] ROSSI M., GATTIGLIA A., DI MAIO M., PERADOTTO M., VASCHETTI L. 1989. I petroglifi della bassa Valleorco tra Salto (Cuorné) e Santa Maria di Doblazio (Pont Canavese). *Antropologia Alpina Annual Report* 1: 27-220. Torino.
- [37] FEDELE F., ROSSI M., GATTIGLIA A. 1994. Una lastrina con coppella dal deposito della Bòira Fusca (Valleorco, Torino). *Antropologia Alpina Annual Report* 3 (1992-1993): 21-59. Torino.
- [38] AMBERT P. 1996. Cabrières (France), mines et métallurgie au III<sup>e</sup> millénaire B.C.: apport de la métallurgie expérimentale. Cabrières - Hérault et le contexte régional du développement de la première métallurgie du cuivre en France (III<sup>e</sup> millénaire av. J.-C.). *Archéologie en Languedoc* 20 (1): 21-26. Lattes.
- [39] AMBERT P., BARGE H., ESPÉROU J.-L., BOURHIS J.-R. 1983. Mines de cuivre préhistoriques de Cabrières (Hérault). Premiers résultats. *Journées de paléométaballurgie, Compiègne 1983*: 225-233. Paris: Société Française de Métallurgie - Ministère de la Recherche et de l'Industrie - Association Nationale de la Recherche Technique.
- [40] BARGE H. 1999. L'installation métallurgique préhistorique de la cabane des Clausis à Saint-Véran (Hautes-Alpes). *Actes du colloque «Mines et métallurgies de la préhistoire au moyen-âge en Languedoc-Roussillon et régions périphériques»*, Cabrières 1997, (a cura) P. Ambert. *Archéologie en Languedoc* 21 (1997): 99-110. Lattes.
- [41] ARDAILLON E. 1897. Les mines du Laurion dans l'antiquité. Paris: Fontemoing.
- [42] ARDAILLON E. 1904. *Metalla. Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments*, (dir.) C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, III (II): 1840-1873. Paris: Hachette.
- [43] CONOPHAGOS C.E. 1980. Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent. Athina: Thémistocle 80.
- [44] DE LAUNAY L. 1896. *Ferrum. Dictionnaire des antiquités grecques et romaines d'après les textes et les monuments*, (dir.) C. Daremberg, E. Saglio, E. Pottier, II (II): 1074-1094. Paris: Hachette.
- [45] CUCINI TIZZONI C. 2001. Dieci anni di ricerca sulla siderurgia lombarda: un bilancio. La sidérurgie alpine en Italie (XIIe-XVIIe siècles), (ed.) P. Braunstein: 31-48. Roma: École Française.
- [46] BAILLY-MAÎTRE M.-C. 2002. L'argent. Du minerai au pouvoir dans la France médiévale. Paris: Picard.
- [47] PELOUX F., BAILLY-MAÎTRE M.-C., VIALLET H. 2015. L'histoire si curieuse des mines de Brandes. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.
- [48] BENOIT P. 1997. La mine de Pampailly. XVe-XVIIIe siècles. Brassieu - Rhône. Lyon: Service Régional de l'Archéologie de Rhône-Alpes.
- [49] BARTELS C., BINGENER A., SLOTTA R. (ed.) 2006c. *Das Schwazer Bergbuch, III: Der Bergbau bei Schwaz in Tirol im mittleren 16. Jahrhundert*. Bochum: Deutsches Bergbau-Museum.
- [50] BIRINGUCCIO V. 1540. *De la pirotechnia libri X*. Venezia: Roffinello.
- [51] CAVALLINI M. 2005. *Fortuitum & sordidum opus. Appunti di storia della metallurgia*. Perugia: Centro Ricerche Ambiente Cultura Economia.
- [52] AGRICOLA G. 1563. *Opera di Giorgio Agricola de l'arte de metalli partita in 12. libri*. Basel: Froben - Episcopio.

## Anvil-stones found in excavation by the magnetite mine at Pietra Bianca 2 (Biella)

**KEYWORDS:** MINING ARCHAEOLOGY, ANVIL-STONE, HAND-HELD HAMMERSTONE, MANUAL COMMINATION, UPPER SESSERA VALLEY, PRE-/PROTOMODERN ERA, ICONOGRAPHIC SOURCES

*Anvil-stones, used for crushing/grinding ore together with hand-held hammerstones or metal hammers, have been found at archaeological sites dating from the prehistoric era to medieval times and are known from proto-modern iconographic sources. A few metres away from the entrances to the magnetite mine at Pietra Bianca 2 (Upper Sessera valley, Biella) there are five anvil-stones, four of which were found during an excavation in 2017 amid collapsed rubble from the walls of a late eighteenth-century forge. However, the presence, next to the forge, of the remains of a bloomery furnace suggests that the anvil-stones date to the pre-/protomodern era and that eighteenth-century smiths reused them as building material, as has been observed in the Fournel gorge (Hautes-Alpes, France). In the case of Piedmont, these finds represent a new technological discovery which is examined in this paper from several perspectives (petrographic, functional and lexical analysis) in order to provide a more precise chronological and cultural framework.*