

12

2015

IL CAPITALE CULTURALE

Studies on the Value of Cultural Heritage

JOURNAL OF THE SECTION OF CULTURAL HERITAGE

Department of Education, Cultural Heritage and Tourism
University of Macerata

eum



Il Capitale culturale

Studies on the Value of Cultural Heritage

Vol. 12, 2015

ISSN 2039-2362 (online)

© 2015 eum edizioni università di macerata

Registrazione al Roc n. 735551 del 14/12/2010

Direttore

Massimo Montella

Coordinatore editoriale

Mara Cerquetti

Coordinatore tecnico

Pierluigi Feliciati

Comitato editoriale

Alessio Cavicchi, Mara Cerquetti, Francesca Coltrinari, Pierluigi Feliciati, Valeria Merola, Umberto Moscatelli, Enrico Nicosia, Francesco Pirani, Mauro Saracco

Comitato scientifico – Sezione di beni culturali

Giuseppe Capriotti, Mara Cerquetti, Francesca Coltrinari, Patrizia Dragoni, Pierluigi Feliciati, Maria Teresa Gigliozzi, Valeria Merola, Susanne Adina Meyer, Massimo Montella, Umberto Moscatelli, Sabina Pavone, Francesco Pirani, Mauro Saracco, Michela Scolaro, Emanuela Stortoni, Federico Valacchi, Carmen Vitale

Comitato scientifico

Michela Addis, Tommy D. Andersson, Alberto Mario Banti, Carla Barbati, Sergio Barile, Nadia Barrella, Marisa Borraccini, Rossella Caffo, Ileana Chirassi Colombo, Rosanna Cioffi, Caterina Cirelli, Alan Clarke, Claudine Cohen, Lucia Corrain, Giuseppe Cruciani, Girolamo Cusimano, Fiorella Dallari, Stefano Della Torre, Maria del Mar Gonzalez Chacon, Maurizio De Vita, Michela Di Macco, Fabio Donato, Rolando Dondarini, Andrea Emiliani, Gaetano Maria Golinelli, Xavier Greffe, Alberto Grohmann, Susan Hazan, Joel Heuillon, Emanuele Invernizzi, Lutz Klinkhammer, Federico Marazzi, Fabio Mariano, Aldo M. Morace, Raffaella Morselli, Olena Motuzenko,

Giuliano Pinto, Marco Pizzo, Edouard Pommier, Carlo Pongetti, Adriano Prosperi, Angelo R. Pupino, Bernardino Quattrococchi, Mauro Renna, Orietta Rossi Pinelli, Roberto Sani, Girolamo Scullo, Mislav Simunic, Simonetta Stopponi, Michele Tamma, Frank Vermeulen, Stefano Vitali

Web

<http://riviste.unimc.it/index.php/cap-cult>

e-mail

icc@unimc.it

Editore

eum edizioni università di macerata, Centro direzionale, via Carducci 63/a – 62100 Macerata

tel (39) 733 258 6081

fax (39) 733 258 6086

<http://eum.unimc.it>

info.ceum@unimc.it

Layout editor

Cinzia De Santis

Progetto grafico

+crocevia / studio grafico



Rivista accreditata AIDEA

Rivista riconosciuta CUNSTA

Rivista riconosciuta SISMED

Saggi

Archeologia delle aree montane
europee: metodi, problemi e casi di
studio

*Archaeology of Europe's mountain
areas: methods, problems and case
studies*

a cura di Umberto Moscatelli e Anna Maria Stagno

Il forno di affinazione di Rondolere (1788-1813)

Maurizio Rossi*, Anna Gattiglia**

* Maurizio Rossi, Ricercatore, Antropologia Alpina, Corso Tassoni, 20, 10143 Torino, e-mail: studio@antropologiaalpina.it.

** Anna Gattiglia, Collaboratrice della Cattedra di Archeologia Cristiana e Medievale, Università di Torino, Dipartimento di Studi Storici, Via Sant’Ottavio, 20, 10124 Torino, e-mail: anna.gattiglia@unito.it.

Analisi di laboratorio:

Roberto Castaldi, Ingegnere, Docente di Chimica Analitica, Istituto Tecnico Industriale di Stato, Laboratorio di analisi chimica strumentale, Via Lirelli 17, 13011 Borgosesia, e-mail: castaldi.roberto@email.it.

Silvia Chersich, Cultore della materia di Scienze del Suolo, Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell’Ambiente, Via Ferrata 1, 27100 Pavia; Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze dell’Ambiente e del Territorio, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano, e-mail: silvia.chersich@gmail.com.

Maurizio Gomez Serito, Ricercatore, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell’Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, e-mail: maurizio.gomez@polito.it.

Renato Nisbet, già Professore a contratto, Università Ca’ Foscari di Venezia, Dipartimento di Studi Umanistici, Dorsoduro 3246, 30123 Venezia, e-mail: renatonisbet@gmail.com.

Piergiorgio Rossetti, Associato di Georisorse minerarie e applicazioni mineralogico-petrografiche per l’ambiente e i beni culturali, Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino, e-mail: piergiorgio.rossetti@unito.it.

Vincent Serneels, Professeur associé d’Archéométrie, Université de Fribourg, Département de Géosciences, Chemin du Musée 6, 1700 Fribourg, e-mail: vincent.serneels@unifr.ch.

Abstract

Lo stabilimento siderurgico di Rondolere, a 1176 m in val Sessera (Biella), ha funzionato dal 1788 al 1813. Gli scavi archeologici hanno rivelato edifici e impianti per il trattamento del minerale (magnetite locale ed ematite importata), la produzione di ghisa e la sua conversione in acciaio (semilavorati e prodotti finiti). Informazioni dettagliate sono fornite dai documenti di età napoleonica sulla produzione metallurgica.

Il forno di affinazione è un impianto complesso, generalmente poco noto, in quanto raramente studiato dal punto di vista archeologico. La buona conservazione di quello di Rondolere permette di conoscere le caratteristiche tecniche e la posizione dei componenti, la natura dei residui di lavorazione (ghisa, scorie, pulviscoli ferrosi, ritagli di barre e semilavorati in acciaio), il comportamento dei materiali costruttivi impiegati sotto l'azione del calore. L'impianto messo in luce trova precisi raffronti nei manuali tecnici e nelle rappresentazioni di opifici della sua epoca.

The Rondolere steelworks, at 1176 m in the Sessera valley (Biella, Italy), was operational since 1788 to 1813. The archaeological excavations revealed buildings and plants for ore treatment (local magnetite and imported hematite), cast iron production and its conversion into steel (semi finished and finished products). Detailed information is provided by the documents of the Napoleonic era concerning the metallurgical production.

The finery is a complex, generally not well known installation, being rarely archaeologically investigated. The good conservation of the Rondolere specimen let us know the technical features and the position of the components, the characteristics of the production rejects (cast iron, slag, iron powder, steel bar cuttings and semi finished items), the behaviour of the constituent materials facing the high temperatures. The installation finds precise comparisons in technical handbooks and drawings dating to its age.

Introduzione

La nascita del forno di affinazione, o affineria, è legata alla necessità di rendere utilizzabile per tutti gli usi la ghisa, che in Europa inizia a prodursi negli alti forni dal XII/XIII secolo¹.

In età moderna coesistono parecchi tipi di affineria, la cui significativa variabilità, dipendente da fattori mineralogici, economici e geo-culturali

Un vivo ringraziamento per avere sostenuto le ricerche archeominerarie in alta val Sessera va in primo luogo a Enzo Cravello e Orazio Garbella, succedutisi nella carica di Presidente della Comunità Montana Valle di Mosso, nonché a Giovanni Vachino, Presidente del DocBi - Centro Studi Biellesi, e a Gabriella Pantò, funzionario della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Piemonte. Grazie infine a Matteo Boscardin per la discussione sulla possibile provenienza dell'ematite di Rondolere.

¹ *Technique des foulles* 1997, pp. 10-11, 30; Arnoux 2001, pp. 216-218; Cucini Tizzoni 2001, pp. 38-41.

complessamente interconnessi, dà vita a tradizioni siderurgiche parallele, di non facile discriminazione in quanto in stato di continua evoluzione e contaminazione².

Le informazioni su strutture e funzionamento vengono in gran parte da fonti scritte o iconografiche, mentre scarsa è la conoscenza diretta degli impianti.

In Piemonte, le prime esili testimonianze materiali di riduzione indiretta di minerali di ferro risalgono al tardo medioevo e provengono da Forno di Lemie e Richiaglio, in valle di Viù (Torino), a conferma di quanto suggerito alla metà del XIV secolo dagli *Statuti* di Lanzo e Forno di Lemie³.

Molto più completi sono i resti archeologici rinvenuti a Rondolere, il cui impianto trova puntuali rispondenze tecnologiche nelle fonti di tarda età moderna, anche se non è riconducibile in modo univoco a uno dei tipi di affineria descritti.

Si tratta comunque di un impianto non d'avanguardia, che si pone al termine, più che all'inizio, di un percorso: uno degli ultimi forni di affinazione proto-industriali, fedele a una tradizione plurisecolare alla quale, in aree limitrofe, sotto l'impulso napoleonico alla modernizzazione, ne stava già subentrando una nuova⁴.

Lo stabilimento siderurgico di Rondolere

Lo stabilimento siderurgico di Rondolere (fig. 1), situato a 1176 m in val Sessera (Bioglio, Biella), trattava i minerali ferrosi per trasformarli in semilavorati e prodotti finiti. Esso è stato riportato in luce da scavi archeologici che hanno rivelato un alto forno, tre edifici ospitanti maglio idraulico, forno di affinazione, forni di riscaldamento, vasca per acqua e carbonile, nonché ingenti resti di canalizzazioni idriche a cielo aperto, sotterranee e aeree, di una ruota idraulica, di due trombe idroeoliche collegate a condutture lignee sotterranee, dispositivi di drenaggio, discariche di scorie di vario tipo e di altri residui di lavorazione⁵.

Le installazioni sorgono a seguito di una concessione mineraria del 1784 a Giovanni Battista Rej di Bioglio⁶: la stessa data si legge su roccia presso la miniera, mentre sul maglio è inciso «8 agosto 1788»; che l'edificazione iniziò dopo l'estrazione mineraria è confermato dai blocchi di ganga inseriti nei muri (fig. 3/c) e dal fatto che nel 1785 non esistono ancora condutture idriche. Lo

² Hassenfratz 1812; Belhoste *et al.* 1995.

³ Gattiglia, Rossi 2013, pp. 56-58.

⁴ Nicco 1988, pp. 96-98.

⁵ Rossi *et al.* 2008; Rossi, Gattiglia 2014, pp. 286-287.

⁶ Archivio di Stato di Torino, Sez. Riunite (= ASTR), *Camera dei Conti, Piemonte*, Art. 692, § 1, Maggio 57, 11 maggio 1784.

stabilimento funziona sino al 1813 per iniziativa dell'imprenditore biellese Luigi Ramella⁷. Segue, dal 1854-1885, una riconversione pastorizia, con costruzione di nuovi edifici, modifiche a quelli esistenti, asportazione di materiali edilizi («rovine di antica fonderia di metalli», 1868)⁸.

Per il 1804-1813, informazioni dettagliate si trovano in alcuni di quegli strumenti tecnico-censuari che, in Italia del Nord, riflettono le attenzioni strategiche del governo napoleonico⁹.

La materia prima proviene dapprima dalle miniere di magnetite di Pietra Bianca, prossime a Rondolere. Esauritesi queste, minerale arricchito è importato da Traversella (val Chiusella) sino al 1804, quando l'eccessiva distanza e gli oneri di trasporto impongono la dismissione dell'alto forno.

Analisi chimiche effettuate da V. Serneels su magnetite locale rinvenuta presso l'alto forno rivelano un minerale molto ricco in ferro (tab. 1/VSR41-42), caratterizzato da associazione con tormalina¹⁰. In due dei tre tipi di scorie di riduzione rinvenuti in scavo, i rapporti quantitativi tra gli elementi non riducibili sono quasi identici a quelli misurati nella magnetite: minerale e scoria sono perciò compatibili.

Presso l'alto forno vi è un accumulo di ematite massiccia (fig. 8/103-45). L'analisi chimica mostra un tenore in ferro elevato (tab. 1/VSR43), indicante un minerale molto puro, a cui non è riconducibile alcuna delle scorie di riduzione analizzate e di cui si ignora l'origine. È escluso che esso provenga da Machetto (Quittengo), distante da Rondolere 2,3 km, ove è segnalata ematite «in piccole concentrazioni compatte di color bruno rossastro»¹¹, prive della struttura lamellare riscontrata a Rondolere. Improbabile che giunga da Lessolo, Baio Dora o Tavigliano¹², sia perché l'«État des haut-Fourneaux» del 1807 indica Traversella come fonte, sia perché Lessolo e Tavigliano entrano in attività quando l'alto forno di Rondolere non è più in funzione. Unica ipotesi valida, benché da verificare, è che si tratti della rimanenza di una fornitura da Traversella, località produttrice non solo di magnetite, ma anche di ematite a struttura lamellare¹³.

⁷ Archivio di Stato di Biella (= ASB), *Archivio Storico della Città di Biella, Comune, Serie II*, Mazzo 31, «Stati delle professioni, Arti, e Negozi», 21 marzo 1800 e 20 marzo 1801.

⁸ ASB, *Comuni, Bioglio*, Mazzo 4, Teggie e Casolari nelle Alpi, 11 maggio 1868; Istanze di diversi affittuari di Boschi e Alpi, 4 ottobre 1870; Mazzo 5, Riaffittamento delle Alpi, 1878.

⁹ Archivio di Stato di Vercelli (= ASV), *Dipartimento della Sesia*, Mazzo 158, «État des haut-Fourneaux du Département de La Sésia», 1807; «État des Forges du Dép.^t de la Sésia», 1807; Mazzo 159, «Mines et usines, Tableau de produits des fonderies de gueuse et subtiladures de l'an 1807, 1808, 1809, 1810», 28 marzo 1811; Mazzo 160, «Instruction pour les Ingénieurs des Mines», 30 aprile 1807; lettera di Louis Ramella, 28 novembre 1807; ASB, *Archivio Storico della Città di Biella, Comune, Serie II*, Mazzo 31, «État de Situation des Forges et Usines», 3 luglio 1812; ASTR, *Catasti, Catasto francese, Allegato G*, Bioglio, 1813; cf. Nicco 1987; 1988; Spina 1992; Chierici 1999.

¹⁰ Selvaggio 2006.

¹¹ Boscardin *et al.* 1972, p. 398.

¹² Barelli 1835, pp. 114-115; Jarvis 1873, p. 134.

¹³ Nicolis de Robilant 1786, p. 233; Barelli 1835, pp. 97, 99, 103; Jarvis 1873, p. 122;

Disinnesco l'alto forno, l'affineria e il maglio continuano a convertire ghisa, che nel 1807 giunge da Ivrea e nel 1810 da luoghi imprecisati del «Département de la Sesia». A Ivrea, ove si riforniscono anche gli stabilimenti Aymone di Aranco e Gastaldi di Netro, la ghisa costa 2,50 Franchi/miriagrammo, contro i 2,75 che pagano gli stabilimenti Serramoglia di Netro agli alti forni di Donato (Gattino) e Donnas. Il risparmio è vanificato dal trasporto: 0,50 Franchi/miriagrammo, contro 0,45 per la tratta Ivrea-Aranco e 0,25 per Ivrea-Netro, Donato-Netro e Donnas-Netro.

Nel 1807-1810 sono trattate 30,5 t di ghisa (massimo 10,8 t nel 1809, minimo 5,4 t nel 1810). Se ne ricavano 24,6 t di semilavorati in acciaio, con una resa di 80,7% e un consumo di combustibile di 183,1 t (6:1): valori simili ad alcuni stabilimenti valdostani, quali Conoz e Aymavilles, che nel 1807 producono 8,3 e 10,2 t di acciaio, con, ad Aymavilles, una resa di 81% e un consumo di carbone di 5,8:1; diverse affinerie valdostane espongono però rese sino a 89% e consumi ridotti sino a 3,2:1¹⁴.

Una tabella dell'ingegnere minerario Jean-François d'Aubuisson (1807) attribuisce però a Ramella – su basi induttive a fine impositivo – una produzione giornaliera di 200 kg, pari a quelle di Molina a Campertognetto, Gastaldi e Gattino, contro 160 di Aymone, e una produzione annua di 20 t, contro 40 di Molina, 15 di Aymone, 12 di Gastaldi e Serramoglia-falci, 10 di Gattino, 7 di Serramoglia-utensili e 4 di un altro stabilimento di Netro: quantitativi superiori alla media, in contrasto con le osservazioni negative dello stesso ingegnere su condizioni e operosità di Rondolere.

Prodotti finiti sono citati solo nel 1812: in un trimestre si confezionano 200 zappe, 10 zappe a lama piatta, 10 asce, 12 bidenti.

Il carbone di legna, di Faggio come confermano le analisi archeobotaniche di R. Nisbet (tab. 2), ha nel 1807 un prezzo basso: 5 Franchi/m³ come a Campertognetto, mentre spende 6-6,25 Franchi/m³ chi utilizza Faggio e Castagno (Donato, Postua, Aranco) e addirittura 7 chi usa solo Castagno (Netro).

Due le trombe idroeoliche, alte 4 m, in armonia con la topografia e con le pietre cilindriche rinvenute in scavo (fig. 1/7).

Il personale oscilla nel 1807 tra 4 e 6 addetti, come nel resto del dipartimento (solo da Serramoglia-falci sono in 8), con paga di 230 Franchi/mese contro 220 concessi da Molina, Gastaldi e Gattino. Le maestranze calano a 3 nel 1808-1810 e a una sola nel 1812, mentre dal 1807 al 1810 sono 6 gli addetti al carbone.

osservazioni inedite M. Gomez Serito.

¹⁴ Nicco 1988, pp. 107-108.

Lo scavo del forno di affinazione

Notevole interesse ha la presenza di un'affineria (figg. 1, 3 e 4), installazione complessa, raramente oggetto di scavi¹⁵, talora confusa con strutture di diversa funzione.

L'impianto occupa 2,6x2,5 m², in un angolo di un vano ove operavano anche maglio idraulico e forno di riscaldamento. In sua corrispondenza lo spessore di macerie era maggiore che nel resto del sito (2,8 m, con un'altezza residua del muro perimetrale di 3,5 m): a una concentrazione di lastre, dovuta al crollo di cappa e canna fumaria, erano sovrapposti conci lapidei di decadimento dei muri perimetrali M8 e M9 (figg. 2 e 3).

Le condizioni di quest'ultimo hanno richiesto un consolidamento a scavo in corso (fig. 3/g), impedendo temporaneamente di rimuovere un ammasso di pietrame embricato (fig. 3/h). I materiali di crollo avevano però creato un guscio protettivo intorno alla parte inferiore del forno.

Elementi costruttivi. Nella descrizione analitica che segue, con riferimento alle figg. 1, 3, 4, 5, 6 e 7, i vari elementi costruttivi dell'impianto sono indicati con la sigla di unità stratigrafica¹⁶ loro attribuita all'atto dello scavo, composta da due cifre precedute da una lettera (M), utile a livello mnemonico per distinguere gruppi di strutture coerenti.

M22: masso in micascisto di forma tabulare irregolare, con facce laterali e inferiore arrotondate, faccia superiore orizzontale a spigoli subacuti artificiali (figg. 4, 6 e 7); equilibrato su blocchi più piccoli, è ruotato in senso orario sotto la spinta dei materiali di crollo; dimensioni 1,1 m x 0,9 m x 0,4 m di spessore.

M23: muretto a L, sghembo rispetto a M8 e M9, così da formare una intercapedine antiumidità (M69); la sua sommità forma un piano orizzontale rivestito da argilla; segmento nord-sud 2,1x1,1 m², segmento ovest-est 1,7x0,7 m², elevato 0,6 m (fig. 4).

M24: muro rettilineo appoggiato a M8 (fig. 5/d), tangente a M23 e M37, con al centro una finestrella strombata otturata; lunghezza 1,9 m, spessore 0,8 m, elevato attuale 0,2-1,4 m, elevato originario $\geq 1,5$ m; finestrella: larghezza esterna 0,4 m, interna 0,7 m, altezza odierna da terra 0,2 m esterna, 0,4 m interna (figg. 4 e 5).

M36: pavimento in terra battuta, a tessitura eterogenea, compatto, crostoso, con aspetto bituminoso, formato da una sequenza di aggregati lenticolari interdigitati di tritumi lapidei, sabbia, carboni, scorie e altri residui (figg. 3 e 4).

M37: soglia lapidea, parallela al segmento ovest-est di M23, larga 0,41 m, profonda 0,25 m, elevato 0,1 m (fig. 4).

M39: otturazione della finestrella al centro di M24 (figg. 4 e 5).

¹⁵ Tylecote 1992, pp. 102-103; Arribet-Deroin *et al.* 2007; Dillmann *et al.* 2009, pp. 335-336.

¹⁶ Parise Badoni 1984, p. 17.

M61: resti di impianto ligneo all'esterno di M24, inglobati in M36;
 M69: intercapedine antiumidità, stretta tra M8, M9 e M23; lunghezza 1,05 m, larghezza massima 0,35 m (figg. 4 e 7/b).

Catino. M23, M24 e M37 delimitano un catino rettangolare, sul cui fondo si trova una lastra in micascisto (602:11, 61 cm x 46 cm x 8 cm, figg. 4 e 6), posata in orizzontale su altre lastre, con rinzeppatura di pietre sul lato nord (figg. 4 e 6/c) e intercapedini sui lati est (figg. 3/t e 5/g) e ovest; larghezza 0,7 m, lunghezza 0,9 m, altezza 0,65 m; intercapedini: larghezza 6-12 cm, profondità 6-13 cm.

Nel settore sud del catino si trova un concio in micascisto squadrato, posto in orizzontale su residui metallurgici soprastanti M37 e rientrato rispetto al prospetto esterno di questa; dimensioni 44 cm x 22 cm x 24 cm di altezza (figg. 4, 5/h e 6/e).

Conseguenze del funzionamento. Il funzionamento dell'impianto ha causato la parziale fusione delle pareti interne di M24 e M23 ("vento" e "controvento"): le due areole interessate sono l'una di fronte all'altra; dimensioni 21 cm x 33 cm su M23, 15 cm x 7 cm su M24; altezza sulla lastra di fondo 5-38 cm su M23 (figg. 6/b e 7/a), 28-35 cm su M24 (fig. 5/f).

Nell'intercapedine M69 si è depositato un accumulo di spessore pluridecimetrico di pulviscolo ferroso nerastro magnetico (ossido ferroso bivalente; figg. 7/b e 11/604:6).

Relazioni stratigrafiche e spaziali. M8 e M9 si immorsano e sono contemporanei (fig. 3).

La fascia superiore di M8 ha una discontinuità subverticale (fig. 3/v) coincidente con il limite ovest di un rifacimento (M21), in cui si percepisce parte di uno stipite (fig. 3/w).

Alcuni blocchi di M8 hanno apparente andamento ad arco, ma in realtà sono disposti in modo da creare piani orizzontali per i corsi soprastanti (fig. 3/o).

M23 e M24 si appoggiano a M9 e M8 (fig. 5/d).

M23 e M24 non si immorsano (figg. 3/p e 5/e) e hanno tessiture differenti: è probabile che M24 sia stato costruito dopo M23, ma nell'ambito di una sola fase edilizia.

La rotazione di M22 ne ha esposto la faccia nord, rubefatta perché a contatto con il catino, al margine sud del "controvento" (fig. 6/d): il posizionamento originario di M22 è perciò legato alla costruzione di M23.

M36 si appoggia a M24 e ai blocchi sottostanti M22 (figg. 4 e 5): si è quindi formato dopo l'allestimento del catino e il posizionamento di M22.

M37 non si immorsa con M24, ma è allineato con M23 (fig. 4), di cui risulta perciò sincrono e sinfunzionale.

Il pietrame disordinato di M39 (fig. 5) si differenzia da quello ben squadrato, in corsi orizzontali, che forma M24.

Selezione e uso dei materiali costruttivi

Per costruire M8 e M9 sono stati usati micascisti, ma anche monzoniti, entrambi disponibili nelle coperture dei versanti sotto forma di grossi blocchi (fig. 3/u).

In M23 e M37 sono impiegate lastre in micascisto di taglio regolare, sottili (minimo 2,7 cm), impilate l'una sull'altra nella fascia inferiore, appena digradanti in quella superiore. I lati visibili sono lisci e rettilinei, a spigoli acuti, quasi senza cicatrici di cavatura (fig. 6).

Lastre in micascisto, usate per i tetti, erano sparse in tutto il sito. Tuttavia, delle 71 lastre dal vano M, il 73% si concentra nel 24% della superficie, in corrispondenza dell'affineria; di queste, il 65% è rivestito da pulviscolo ferroso, il 50% è rubefatto, il 4% mostra croste di scorie e il 2% di solfuri. Aspetto notevole è che il 54% presenti lembi di malta (fig. 11/352:15), materiale assente sulle lastre nel resto del sito. È quindi probabile che molte delle lastre del settore affineria facessero parte della cappa e della canna fumaria, con la malta a impedire la fuoriuscita di fumi dai giunti. A 30 m di distanza, in riva al Sessera, vi è una piccola cava da cui le lastre possono provenire.

Sul piano orizzontale e nei giunti di M23, sulle pareti del catino e negli interstizi della fascia inferiore di M8 e M9 è stata usata, con funzione isolante, argilla debolmente sabbiosa (figg. 3/q, 4, 6 e 11/609:13). Tale materiale può essere locale: in un sondaggio, al di sotto delle discariche siderurgiche e del paleosuolo da esse fossilizzato (inglobante macroresti di *Fraxinus excelsior*), è infatti emerso uno strato di argilla che ingloba muschi cf. sfagno¹⁷ e presenta in superficie detriti lignei fusiformi isorientati di *Juniperus communis*, suggerendo una situazione di acqua stagnante ai piedi del versante, in relazione con un piccolo sbarramento¹⁸.

Per M24 è stato preferito lo gneiss minuto (figg. 3/r e 5/c), di cui non si conoscono cave nei dintorni.

Aspetti del funzionamento

I materiali usati per il catino sono fortemente termoalterati. La rubefazione indica riscaldamento in atmosfera ossidante: l'argilla di rivestimento, che allo stato naturale è grigio oliva, è divenuta arancione (figg. 4, 5, 6 e 7). Dal punto di vista chimico, la conversione della ghisa in acciaio consiste del resto in una decarburazione mediante ossidazione del carbonio, con cui si riossida anche una percentuale del ferro della ghisa, che entra nella composizione della scoria e va perduta¹⁹. A riprova delle alte

¹⁷ Profilo pedologico di S. Chersich.

¹⁸ Analisi e osservazioni paleobotaniche di R. Nisbet.

¹⁹ *Technique des fouilles* 1997, pp. 11, 30, 70, 79-80; Cavallini 2005, pp. 25, 99-103.

temperature raggiunte (1300-1400 °C), la termoalterazione ha coinvolto anche strutture non a diretto contatto con la fiamma.

Entrambi i litotipi impiegati in M8 e M9 hanno reagito al calore in modo incostante: micascisti pressoché intatti o solo rubefatti (fig. 3/k1-k2-k3) si alternano ad altri scissi in posto (fig. 3/j1), esfoliati (fig. 3/j2) o termoalterati in profondità (fig. 3/j3-j4); analogamente, monzoniti integre, che conservano le cicatrici a spigoli vivi dei cunei usati per la sbazzatura (fig. 3/n), stanno a fianco di altre disgregate (fig. 3/m1) o soggette a esfoliazione cipollare (fig. 3/m2). È possibile che alcuni conci fortemente rubefatti (fig. 3/e-f) siano di reimpiego, dato che la loro posizione non giustifica una profonda termoalterazione.

Il pulviscolo ferroso che colma M69 è un materiale caratteristico (fig. 11/604:6), sollevato sino a 2 m da terra da gas molto caldi. Negli interstizi di M8 e M9, al di sotto della linea a di figura 3 esso forma piccoli accumuli. Al di sotto della linea b gli interstizi ne sono ricolmi, con esili lembi di argilla rubefatta al fondo (il limite superiore di questo rivestimento è indicato con d in figura 3).

La faccia superiore di M22 è in continuità plani-altimetrica con la sommità di M23 (figg. 4 e 6) ed è incisa da vaschette a cui aderiscono scorie e residui ferrosi (figg. 5/a e 7/c): si tratta perciò di un banco da lavoro, usato dal fonditore operante davanti a M37.

A est di M24, si sono rinvenuti resti di tavole e travicelli, inglobati in M36 e riferibili a una condotta d'aria compressa e al suo supporto (M61); i reperti sono in Faggio (tab. 2), legno prescelto per gli «ordegni»²⁰, oltre che per la carbonella. La condotta doveva essere sotterranea, come si desume dalla documentazione grafica su stabilimenti coevi²¹ e dal limo organico bruno privo di componente minerale, derivante da degradazione del legno, apparso nei sondaggi. Essa emergeva dal terreno sul lato est di M24 e entrava nella finestrella oggi otturata.

Il punto di arrivo del getto d'aria è indicato dall'areola fusa sul "controvento", creatasi per eccessivo avanzamento dell'ugello (figg. 1/14, 6/b e 7/a); l'areola fusa sulla parete opposta si deve invece a un eccessivo arretramento (figg. 1/14 e 5/f)²². L'allineamento M61-finestrella-areole fuse era disseminato di frammenti (massimo 3 cm x 3 cm) di sottili scorie vetrose tubolari (figg. 1/15, 5/b, 9/608:1 e 11/608:1) e di aggregati di sferule ferrose cave millimetriche (figg. 1/15, 3/s, 6/a, 9/357:2-602:9 e 11/603:2-608:4): le prime si sono solidificate intorno a un oggetto a sezione curvilinea o mistilinea largo alcuni cm, che, dato il contesto, doveva essere un ugello; le seconde hanno la forma aerodinamica delle goccioline di metallo fuso trasportate da una forte corrente d'aria.

²⁰ ASB, *Comuni, Bioglio*, Mazzo 8, n. 21, f. 28r, 21 giugno 1785.

²¹ ASV, *Dipartimento della Sesia, Disegni*, 1801-1814.

²² Hassenfratz 1812, pp. 12-13.

La tessitura lenticolare di M36 indica che il pavimento si è rialzato per accumulo di residui in parte allo stato fluido o semifluido. A sud di M22, un rialzo troncoconico a sommità arrotondata (fig. 1) richiama quello delineato da M.A. Della Fratta nella zona di fuoriuscita della scoria²³.

Scarti di lavorazione e semilavorati

Ghisa. A parte i frammenti informi, vi sono 13 spezzoni di lingotti in ghisa, 1 lingotto quasi intero e 1 intero (tab. 3). Questo (fig. 8/700:1) ha forma di pane trapezoidale ad angoli smussati; alla faccia inferiore aderiscono lembi del crogiolo dell'alto forno. Di 7 spezzoni, a forma di spicchio, si conserva in parte il bordo del pane originario (fig. 8/188:4).

Il reperto intero era reimpiegato in un muro dell'edificio pastorizio addossato all'alto forno. Degli altri, 7 erano presso l'alto forno, 2 nel settore condutture idriche, 1 presso il maglio, 1 nel catino dell'affineria, 2 presso il forno di riscaldamento, 1 presso un masso frantoio. Le loro dimensioni sono indicative della pezzatura del materiale sottoposto ad affinazione²⁴.

I campioni osservati in sezione (63:6, 227:1, 333:4, 341:11, 603:1; fig. 8) sono vacuolari, con massa volumica apparente 4,59-6,23²⁵ (tab. 3), minore delle ghise industriali (6,8-7,8) e inversamente correlata con le dimensioni dei vacuoli; questi sono di forma irregolare, pluriorientati e polilobati nei campioni più leggeri (603:1, 333:4, 63:6), circolari o ellittici in quelli più pesanti (227:1, 341:11); nei 2 campioni più leggeri sono distribuiti uniformemente, negli altri si concentrano verso una delle superfici. La variabilità è forse indice di affinazione in più fasi.

Quattro reperti (63:6, 227:1, 333:4, 341:11) sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio da parte di R. Castaldi, cui si devono le osservazioni seguenti.

Nella preparazione dei provini si è constatata la fragilità dei reperti. Si sono comunque ricavate alcune durezza (Rockwell HRB), risultate molto elevate: 98/100 per 227:1 e 100/100 per 341:11.

I provini sono stati levigati a specchio e attaccati con soluzione acida nital, per evidenziare la struttura microcristallina: l'osservazione al microscopio metallografico ha accertato assenza di grafite.

Gli sfridi della fresatura sono stati sottoposti ad analisi chimiche, mediante attacco con HCl concentrato, che solubilizza il ferro metallico, e, in seguito, con HNO₃ diluito al 50%, che solubilizza i carburi; i campioni hanno avuto due diversi comportamenti (tab. 4).

²³ Della Fratta 1678, p. 146.

²⁴ Della Fratta 1678, p. 143; Hassenfratz 1812, pp. 37-38.

²⁵ Determinazione delle masse volumiche di M. Gomez Serito e C. De Regibus.

Le differenti percentuali solubili in HCl possono essere in relazione con il contenuto in carburi; la maggior reattività di 341:11 agli acidi può indicare maggiore contenuto in zolfo e/o solfuri.

Ulteriori prove qualitative sono state eseguite sul residuo insolubile di 341:11. Un saggio al tubicino senza reattivi ha dato abbondante sublimato giallo-arancio e sviluppo di anidride solforosa, con residuo di ossido ferrico. Un ulteriore saggio al tubicino con acetato di ammonio ha prodotto un tenue odore di cacodile, indicante forse leggera presenza di As.

L'assenza di residuo grafitico pone i campioni tra le ghise bianche, ossia leghe in cui tutto il carbonio è combinato con il ferro.

Nei tre campioni che hanno dato un residuo del 23-24% dopo attacco con HCl e quasi nullo dopo attacco con HNO₃, anche supponendo che i carburi siano interamente cementitici, la percentuale di carbonio originaria sarebbe $\leq 6,67 \times 24\% \leq 1,60\%$; invece, nel campione che ha dato un residuo del 64% dopo attacco con HCl e del 5,55% dopo attacco con HNO₃, tale percentuale sarebbe $6,67 \times (64-5,55)\% = 3,90\%$. Poiché il confine convenzionale tra ghisa e acciaio coincide oggi con il tenore di 2,11% in carbonio, 341:11 ricade nelle ghise bianche, mentre gli altri campioni ricadrebbero negli acciai. Tuttavia, l'assenza di vacuoli stirati e la forma piano-convessa degli spezzoni escludono che si tratti di semilavorati acciaioidi già decarburati e passati, allo stato pastoso, sotto il maglio. Si deve invece pensare che si tratti di ghise povere in carbonio: la ragione di tale povertà va ricercata nella scarsa altezza dell'alto forno (4,55 m dalla bocca al fondo del crogiolo), per cui il ferro del minerale aveva poco tempo per legarsi con il carbonio. In età napoleonica il massimo tenore convenzionale in carbonio della ghisa era del resto 3,33%²⁶.

Scorie. Il sito è costellato da discariche di scorie, che nel settore alto forno derivano dalla riduzione del minerale. Nel settore ovest si trova per oltre il 73% un altro tipo di scoria, distinguibile per il peso maggiore, la struttura non vetrosa e la forma, che negli esemplari integri è a calotta o a placca cordata. Quelle a calotta raggiungono 25-30 cm di diametro, 8-15 cm di spessore, 3-5 kg di peso.

Cinque campioni sono stati sottoposti ad analisi chimiche da parte di V. Serneels (tab. 1/VSR51-55), cui si devono le osservazioni seguenti.

VSR53 (fig. 9) è un blocco vagamente emisferico (diametro 20 cm, spessore 8 cm). La forma attuale è simile all'originaria, ma i lati sono fratturati. Il peso è 2350 g. La superficie inferiore è abbastanza regolare, lievemente convessa, bruno-rossastra scura, con impronte di carbone di legna. La superficie superiore è irregolare, con ampia depressione al centro. La superficie di raffreddamento è deteriorata; la parte conservata è liscia e regolare, bruno-rossastra scura. Nelle rotture si osserva forte porosità.

²⁶ Hassenfratz 1812, p. 24.

In sezione si osserva una matrice grigia scura omogenea, con aspetto di materiale costituito da fayalite (silicato di ferro) e wüstite (ossido di ferro). La porosità è elevata (30-40%), più fitta e con bolle più grandi nella parte superiore. Le bolle sono di forma irregolare, sovente polilobate, di 0,1-50 mm. Alla base vi è una serie di bolle allungate perpendicolari alla superficie, indicanti la direzione di fuoriuscita dei gas. Vi è una proporzione abbastanza forte di ferro metallico (5-7%), sotto forma di catenelle di piccole biglie o di filamenti che percorrono la matrice fayalitica.

VSR54 (fig. 9) è abbastanza simile a VSR53 (spessore 7 cm), con superficie superiore bombata, liscia e regolare e superficie di raffreddamento ben conservata.

In sezione la matrice di fayalite+wüstite ha minore porosità (10-15%), ripartita in modo uniforme, con bolle di 0,1-20 mm e notevole proporzione di ferro metallico in filamenti o catenelle (2-3%).

Tutti i campioni sono molto ricchi in ferro, che compare in forte quantità nelle forme FeO o Fe; l'eccesso di tale elemento rispetto alla fayalite indica la presenza di wüstite.

Le scorie fayalitiche ricche in ossidi di ferro e inclusi di ferro metallico sono scarti abituali delle operazioni di affinazione, durante le quali si ha considerevole perdita in ferro²⁷. In una scoria pesante 5 kg e contenente circa 55% di ferro (media di Rondolere) vi sono 2750 g di metallo. Nel 1807-1810 la perdita in ferro è in media del 19,3%: una scoria contenente 2750 g di ferro corrisponde perciò a una massa di 14,25 kg di ghisa. Il quantitativo appare piccolo per un'età in cui esistono alti forni con produzioni giornaliere di diverse centinaia di kg²⁸; esso è però proporzionato a uno stabilimento che ha una produzione media annua di 6,15 t di acciaio e a cui le autorità attribuiscono una vita operativa di 100 giorni/anno, corrispondente a una produzione giornaliera di 61,5 kg di ghisa.

Acciaio. Sono stati rinvenuti 5 ritagli di barre piatte, 1 ritaglio di lamiera curva e 7 semilavorati destinati alla finitura a caldo.

I ritagli di barre piatte hanno dimensioni infradecimetriche e spessori di 6, 8, 12 e 14 mm. In sezione, 191:3 e 357:4 (fig. 11) mostrano struttura omogenea, priva di cricche o bolle. Nonostante l'ossidazione, 357:4 ha ancora massa volumica 7,07, poco inferiore all'acciaio (7,86); 191:3 (figg. 10 e 11), spesso 8 mm alle estremità, è piegato e inglobato in un residuo di lavorazione polimaterico di roccia termoalterata, argilla indurita, scoria e ferro metallico; che la piegatura sia avvenuta a caldo lo dimostra l'assottigliamento della barra nella piega.

I semilavorati (fig. 10) hanno forme irregolari, modificate dall'ossidazione, e

²⁷ Hassenfratz 1812, pp. 38, 47 (12-60%!).

²⁸ Nicco 1988, p. 107.

dimensioni comprese tra 8,4 cm x 7 cm e 14,5 cm x 10 cm, con spessori di 4-50 mm e pesi di 244-1300 g. Quattro di essi (130:5, 152:29, 161:1, 161:3) sono piegati a L. Al pari della tricuspide a punte arrotondate 370:4, hanno forme e pesi compatibili con masselli e semifiniti per produzione di strumenti agricoli visibili in collezioni²⁹ o in cortometraggi³⁰ relativi a fucine del XX secolo; nonostante l'ossidazione superficiale, 370:4 ha massa volumica 6,48.

Ai reperti 130:5, 152:29, 364:1 e 379:2 aderiscono chiazze di argilla grigio-biancastra indurita, residuo dell'immersione in un bagno argilloso, volta a impedire la saldatura accidentale dei pezzi durante le lavorazioni a caldo: nel vano M vi era una vasca interrata a pareti argillose (fig. 1) che doveva servire allo scopo.

Manualistica tecnica e iconografia storica

Un apporto allo studio dei resti archeosiderurgici viene dai manuali tecnici e dalle rappresentazioni grafiche dell'epoca di pertinenza, fonti però di non facile impiego.

Ad esempio, nella *Pratica minerale*, M.A. Della Fratta pubblica a pagina 146 un disegno, con cui l'autore illustra un processo descritto nelle pagine precedenti. Chi legge tali pagine³¹ si rende conto che il processo in questione è l'affinazione della ghisa³². Ciononostante, il curatore di una riedizione della *Pratica minerale* assume il disegno a esemplificazione del «focolare [...] indistintamente impiegato quale basso fuoco o forgia, [...] completo del catino per la raccolta delle scorie» (scoria che invece, tanto nel disegno, quanto nel testo, esce dal forno «come se fosse acqua»), trovandovi «precisi riferimenti nel basso fuoco catalano, in quello catalano-ligure e in quello brossasco [...]», e propone il testo quale «descrizione del processo di riduzione del minerale di ferro al basso fuoco»³³. In un'opera seguente, lo studioso annovera lo stesso disegno tra le immagini di «basso fuoco a catasta», assimilato al «fuoco grosso bresciano», e trova un antecedente in un inchiostro del *Salterio di Utrecht*³⁴ che in realtà illustra una similitudine ispirata dalla raffinazione dell'argento.

Un altro caso simile riguarda il pittore fiammingo Herri met de Bles, che, in un dipinto del 1540 di cui esistono almeno quattro versioni simili (Graz, Praga, Firenze e collezione privata), raffigura un opificio siderurgico presso una miniera, con un'affineria collegata a un alto forno dal quale la ghisa esce

²⁹ Piantoni 2003; Maestri 2004; cf. Spina 1992, pp. 125-157.

³⁰ Gatti, Berbenni s.d..

³¹ Della Fratta 1678, pp. 143-145.

³² Cavallini 2005, p. 101.

³³ Cima 1985, pp. XIX-XX.

³⁴ Cima 1991, pp. 131-135, 175.

in colata. La versione di collezione privata è giustamente citata in uno studio sull'affineria "vallona"³⁵, ma quella di Praga è finita anch'essa tra i suddetti esempi di forno di riduzione.

Nell'uso delle fonti grafiche è perciò prudente non trascurare i testi che le accompagnano, raggruppando gli impianti secondo la funzione e i processi, anziché secondo le somiglianze formali, e puntando su documenti coerenti dal punto di vista cronologico e geografico, pur senza ignorare i trasferimenti di tecnologie conseguenti ai viaggi di istruzione e agli spostamenti delle maestranze.

In tale ottica, la figura 12 propone una selezione iconografica risalente agli anni 1780-1813, periodo nel quale l'installazione di Rondolere era attiva, le cui fonti sono:

- *Viaggi Mineralogici* di Spirito Benedetto Nicolis di Robilant³⁶ (Torino 1724-1801), 5 volumi manoscritti completati nel 1788, sintesi delle tecniche che l'autore aveva appreso in Europa Centrale (1749-1752) e adottato negli Stati Sabaudi in qualità di ispettore generale delle miniere (1752-1773);
- *De venarum metallicarum excoctione* di Ermenegildo Pini³⁷ (Milano 1739-1825), trattato in 2 volumi, latore della lezione dell'*Encyclopédie*³⁸, notevolmente diffuso a causa dell'appartenenza dell'autore, dal 1805, alla Commissione delle Miniere del Regno d'Italia³⁹;
- *La sidérotechnie* di Jean Henri Hassenfratz (Paris 1755-1827), trattato in 4 volumi, testo ufficiale nell'Impero napoleonico, panoramica tecnico-didattica di respiro continentale;
- due dei numerosi *Disegni* in scala richiesti dal governo napoleonico, a fini tecnico-censuari, agli imprenditori siderurgici biellesi⁴⁰.

Insieme con i rispettivi testi, tali immagini recano conferme e integrazioni ai dati archeologici emersi da Rondolere.

Conferme. Il forno di affinazione sorge di norma nel vano del maglio idraulico e si appoggia ai muri perimetrali dell'officina, di cui il più delle volte occupa un angolo (fig. 12/2); è sormontato da un'ampia cappa, con una canna fumaria che attraversa il tetto e termina con un alto comignolo (fig. 12/1-2-5): ciò lo differenzia dal forno di riscaldamento, sovente privo di dispositivo di convogliamento dei fumi o dotato di piccola cappa con canna fumaria nel muro⁴¹. L'impianto

³⁵ Dillmann *et al.* 2009.

³⁶ = VM, Biblioteca Reale di Torino (= BRT), *Varia*, voll. 485-489 (copie definitive); cf. Accademia delle Scienze di Torino, Ms. 0307 (tomi preparatorii).

³⁷ Pini 1779; 1780.

³⁸ Cf. Diderot, D'Alembert 1773, tav. VI, con Pini 1780, tav. XII.

³⁹ Rossi, Gattiglia 2010, pp. 84, 99.

⁴⁰ ASV, *Dipartimento della Sesia*, *Disegni*, 1801-1814.

⁴¹ Bodo, Mancinelli 1992, pp. 19-21, 26; Chierici 1999, figg. 18-21.

occupa una superficie quadrangolare di 3-10 m² e si eleva di 2 m dal pavimento (oltre 5 m con la cappa)⁴².

Forma e dimensioni del catino di Rondolere sono compatibili con la conversione della ghisa bianca. Lo stesso vale per la distanza dell'ugello dal fondo e per la sua l'inclinazione media (18°), desumibile dall'areola fusa sul "controvento". L'inserimento dell'ugello nel muro laterale necessita di una finestrella strombata un po' scenterata verso la parete di fondo del catino, simile a quella rinvenuta, che consenta di orientare il getto d'aria⁴³ (fig. 12/3-4-5). Il confronto tra i *Disegni*, nei quali a fungere da soffierie sono sempre le trombe idroeoliche, e i *Viaggi Mineralogici*, che registrano invece una netta prevalenza di mantici, evidenzia la differenza tra Piemonte ed Europa Centrale in tale campo.

Alcuni testi specificano che la conversione della ghisa in acciaio richiede vari additivi⁴⁴, il che spiega i tenori in SiO₂, CaO, MgO, K₂O emersi analizzando le scorie.

Integrazioni. Le differenze tra M23 e M24 e l'asincronicità della loro erezione non indicano fasi tecnologiche successive, ma una prassi che separa il corpo murario del catino da quello che sostiene la cappa (fig. 12/4-5).

A Rondolere, il catino non era foderato in ghisa, ma le fonti ammettono l'impiego di materiali lapidei. Dallo scavo non sono emersi dati sul dispositivo di fuoriuscita della scoria. Le fonti lo situano un po' all'interno (fig. 12/4-5), nella posizione occupata a Rondolere dal concio arretrato rispetto a M37 (figg. 5/h e 6/e); esso poteva non essere formato da una piastra in ghisa traforata (fig. 12/5), ma da un diaframma in argilla, con fori costituiti da occhi di vecchi martelli⁴⁵.

La cappa del forno di Rondolere necessitava di supporti robusti e doveva poggiare su pilastri in muratura (fig. 12/1-5) e/o essere dotata di catene⁴⁶; due buche osservabili in M8 (fig. 3/i), una delle quali oggi occupata da una radice (fig. 3/l), potevano alloggiare travi o profilati.

L'addossarsi al versante di M8 e M9 può essere causa dell'intercapedine antiumidità M69, donde una canna fumaria a gomito, come in altri impianti (Ponte Nossa), e piuttosto alta, con la cima del camino a 6 m dal pavimento (fig. 12/2).

⁴² Pini 1780, tav. XI, figg. 68-70; VM, III, p. 396; V, tavv. CCIV, CCXXI; ASV, *Dipartimento della Sesia, Disegni*, nn. 203, 206, 209, 7 aprile 1812; 413, 1812/1813.

⁴³ Pini 1780, p. 260; VM, III, pp. 377, 396, 398, 400; Hassenfratz 1812, pp. 9-13, 36-37, 45-47.

⁴⁴ VM, II, pp. 296-298; III, pp. 379, 397-402; Hassenfratz 1812, pp. 39, 46, 49-50.

⁴⁵ Pini 1780, p. 259; VM, I, p. 537; II, p. 295, 297; III, pp. 377, 396, 398, 400; V, tavv. LXXII, CCIV; Hassenfratz 1812, pp. 10-11.

⁴⁶ Pini 1780, p. 260; Hassenfratz 1812, p. 10.

Conclusioni

Il forno di affinazione è poco studiato dagli archeologi. Rondolere è interessante perché ha rivelato un'affineria in senso proprio. Il riscaldamento di masselli e semilavorati avveniva in altri due impianti (fig. 1).

Restano imprecisati tipo e origine culturale del processo adottato, tra i vari esistenti all'epoca. L'alto consumo di carbone di legna è considerato un tipico difetto del metodo bergamasco, riferimento culturale che parrebbe supportato, nella prima fase dello stabilimento, dal camino bi-troncopiramidale dell'alto forno. I dati sul consumo di carbone sono però del 1807-1810, quando a Rondolere si è già imposto un nuovo indirizzo tecnologico, con conversione alla "contese" del succitato camino. Inoltre, il metodo bergamasco è ritenuto idoneo alla ghisa grigia, non a quella bianca. Altre caratteristiche incoerenti con il metodo bergamasco sono l'altezza del catino (0,65 m contro circa 0,27 m) e la posizione dell'ugello, inclinata e non orizzontale⁴⁷.

Il problema rimane aperto, anche se, forse, attribuire un'etichetta è meno urgente che ripensare su basi archeologiche la classificazione dei forni di affinazione, tralasciando la terminologia geografica ereditata dai manuali del XVIII-XIX secolo, per porre maggiore enfasi sui dettagli tecnologici e sulle corrispondenze tra dati materiali e documentari.

Riferimenti bibliografici / References

- Arnoux M. (2001), *Innovation technique, intervention publique et organisation du marché: aux origines du district sidérurgique de la Valteline (XIII^e-XIV^e siècles)*, in *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècles)*, textes réunis par P. Braunstein, Roma: École Française, pp. 215-251.
- Arribet-Deroin D., Benoit P., Dillmann P., Vega E. (2007), *Early modern cast iron and iron at Glinet*, in *Norberg-Nora. 700 years of iron production*, edited by I.-M. Petterson Jensen, U. Öhman, Stockholm: Jernkontoret, pp. 99-106.
- Barelli V. (1835), *Cenni di statistica mineralogica degli Stati di S. M. il Re di Sardegna*, Torino: Fodratti.
- Belhoste J.-F., Claerr C., Corbineau F. (1995), *Naissance et origine du procédé d'affinage appelé comtois*, in *Paléoméallurgie du fer & cultures. Actes du symposium international du Comité pour la sidérurgie ancienne de l'U.I.S.P.P.* (Belfort – Sévenans, 1-3 novembre 1990), publiés par P. Benoit, P. Fluzin, Paris: Vulcain, pp. 283-290.

⁴⁷ Hassenfratz 1812, pp. 58-59, 65-67, 71-73.

- Bodo A., Mancinelli C. (1992), *L'industria dei metalli nel Piemonte francese*, in *Forges et usines*, a cura di V. Marchis, Torino: Levrotto & Bella, pp. 9-34.
- Boscardin M., Gardinali E., Meani S. (1972), *Ferrimolibdite ed altri minerali dell'Alpe Machetto*, «Atti della Società Italiana di Scienze Naturali», 113, n. 4, pp. 391-400.
- Cavallini M. (2005), *Fortuitum & sordidum opus*, Perugia: CRACE.
- Chierici P. (1999), *Industria e territorio nel Piemonte meridionale tra Antico Regime e periodo napoleonico*, in *Miniere, fucine e metallurgia nel Piemonte medievale e moderno*, a cura di R. Comba, Rocca de' Baldi: Museo e Centro Studi Storico-Etnografici, pp. 137-163.
- Cima M. (1985), *Introduzione*, in *Pratica minerale. Trattato del march. Marco Antonio della Fratta et Montalbano*, a cura di M. Cima, Firenze: All'Insegna del Giglio, pp. IX-XXI.
- Cima M. (1991), *Archeologia del ferro*, Torino – Brescia: Nautilus – Grafo.
- Cucini Tizzoni C. (2001), *Dieci anni di ricerche sulla siderurgia lombarda: un bilancio*, in *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècles)*, textes réunis par P. Braunstein, Roma: École Française, pp. 31-48.
- Della Fratta et Montalbano M.A. (1678), *Pratica minerale*, Bologna: Manolesi.
- Diderot D., D'Alembert J.-B., dir., (1773³), *Recueil de planches sur les sciences, les arts libéraux, et les arts mécaniques avec leur explication*, IV, Livorno: Imprimerie des Éditeurs.
- Dillmann P., Desaulty A.-M., Leroy S., Arranda R., Lechevallier G., Arribet-Deroin D., Neff D., Bauvais S., Vega E., Bellot-Gurlet L., Téreygeol F. (2009), *Early Walloon refining process: first experimental restitution and metallographic analyses*, in *2nd international conference Archaeometallurgy in Europe* (Aquileia, 17-21 giugno 2007), Milano: AIM, pp. 335-347.
- Gatti C., Berbenni A. (s.d.), *Bienno. La valle dei magli*, Bienno: Pro Loco.
- Gattiglia A., Rossi M. (2013), *Minatori, fonditori, cavatori: reperti di cultura materiale medioevale nelle collezioni del Museo Civico Alpino di Usseglio*, in *Terre rosse, pietre verdi e blu cobalto. Miniere a Usseglio. Seconda raccolta di studi*, a cura di M. Rossi, A. Gattiglia, Usseglio – Torino: Museo Civico Alpino – Biblioteca Nazionale Universitaria – Dipartimento di Scienze della Terra, pp. 45-60.
- Hassenfratz J.H. (1812), *La sidérotechnie*, III, Paris: Didot.
- Jervis G. (1873), *I tesori sotterranei dell'Italia*, I, Torino: Loescher.
- Maestri M. (2004), *Il maglio idraulico di Molini di Fraconalto*, «Archeologia Postmedievale», 7 (2003), pp. 79-92.
- Nicco R. (1987-1988), *L'industrializzazione in Valle d'Aosta*, I-II, Aosta: Istituto Storico della Resistenza.
- Nicolis de Robilant E.B. (1786), *Essai géographique suivi d'une topographie souterraine, minéralogique, et d'une docimasie des États de S. M. en terre ferme*, «Mémoires de l'Académie Royale des Sciences», I, I (1784-5), pp. 191-304.

- Parise Badoni F., coord., (1984), *Norme per la redazione della scheda del saggio stratigrafico*, Roma: Ministero per i Beni e le Attività Culturali.
- Piantoni A. (2003), *Museo dei magli di Ponte Nossola*, Ponte Nossola: Associazione promozione magli.
- Pini E. (1779-1780), *De venarum metallicarum excoctione*, I-II, Milano: Marelli.
- Rossi M., Gattiglia A. (2010), *I magli e le acque della Nossola*, Ponte Nossola: Comune di Ponte Nossola.
- Rossi M., Gattiglia A. (2014), *Riflessi ambientali dell'attività mineraria e metallurgica nella montagna piemontese*, in *Montagne incise. Pietre incise. Archeologia delle risorse nella montagna mediterranea. Atti del convegno* (Borzonasca, 20-22 ottobre 2011), a cura di A.M. Stagno, «Archeologia Postmedievale», 17 (2013), pp. 279-288.
- Rossi M., Gattiglia A., Pantò G., a cura di, (2008), *Rondolere. Un'area archeometallurgica del XVIII secolo in alta val Sessera*, Firenze: All'Insegna del Giglio.
- Selvaggio I. (2006), *Mineralizzazioni a magnetite dell'alta Valsessera: aspetti geologico-petrografici e archeometallurgici*, Torino: Università di Torino [tesi di laurea magistrale].
- Spina L., a cura di, (1992), *Fabbriche e fucine a Mongrando*, Biella: Rosso.
- Technique des fouilles. Minerai, scories, fer* (1997), Basel: VATG.
- Tylecote R.F. (1992), *A history of metallurgy*, London: Maney.

Appendice

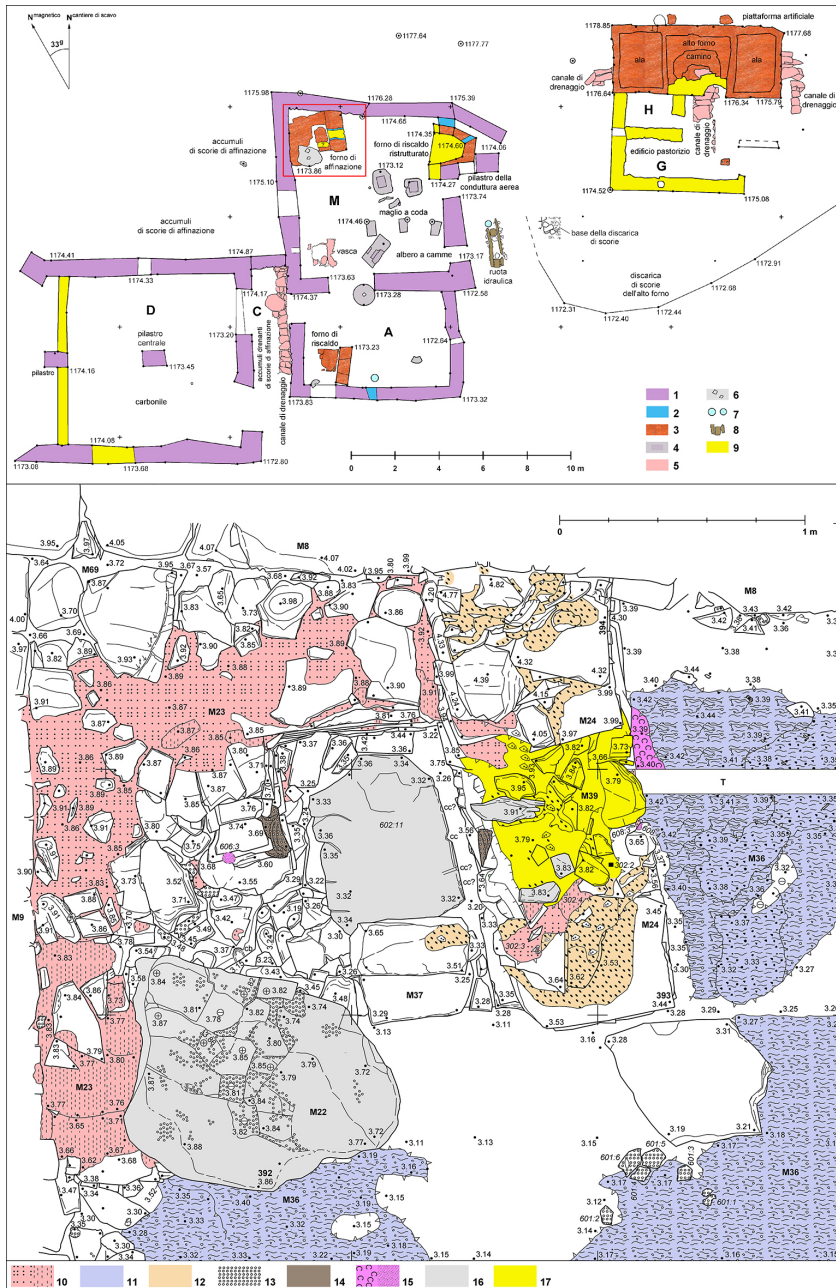


Fig. 1. Rondolere. Planimetria quotata dello stabilimento e particolare del forno di affinazione. 1 = fasi siderurgiche; 2 = varchi per condutture dell'aria compressa; 3 = forni; 4 = maglio idraulico; 5 = canali di drenaggio sotterranei e vasca interrata; 6 = banco da lavoro; 7 = pietre cilindriche di trombe idrocoliche; 8 = impianti lignei; 9 = fasi pastorizie; 10 = argilla rubefatta o non rubefatta; 11 = pavimento siderurgico; 12 = malta; 13 = scorie e residui ferrosi; 14 = pareti fuse; 15 = scorie tubolari e sferule ferrose cave; 16 = velo di pulviscolo ferroso; 17 = otturazione della finestrella dell'ugello



Fig. 2. Settore del forno di affinazione prima dello scavo (indicato dalla freccia) e dopo la rimozione dei materiali di crollo



Fig. 3. Analisi muraria del settore del forno di affinazione



Fig. 4. Vedute frontale e nadirale del forno di affinazione con indicazione dei componenti

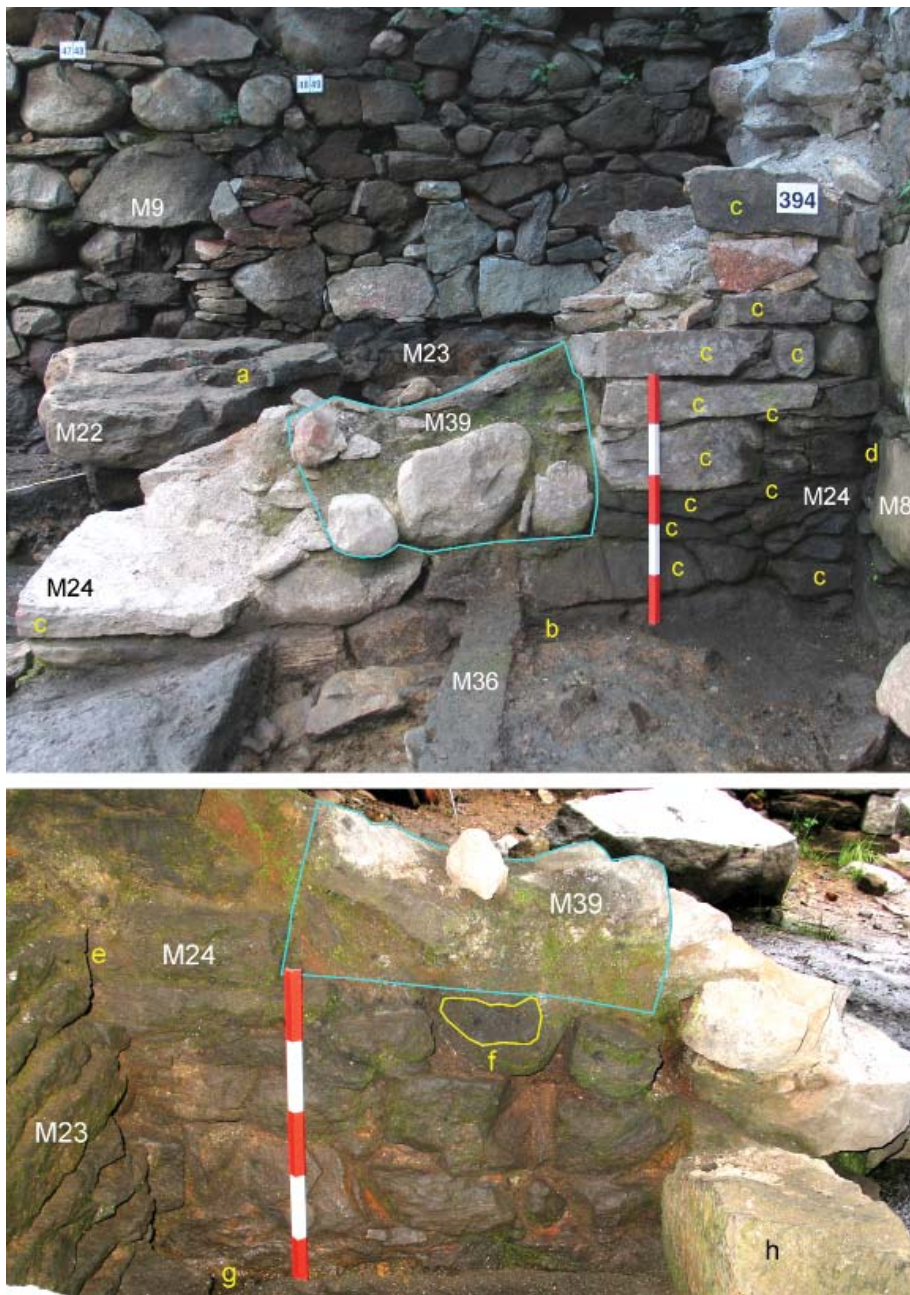


Fig. 5. Vedute laterali di M24



Fig. 6. Vedute del catino da sud-est e nord-est



Fig. 7. Particolari di alcuni componenti del forno di affinazione

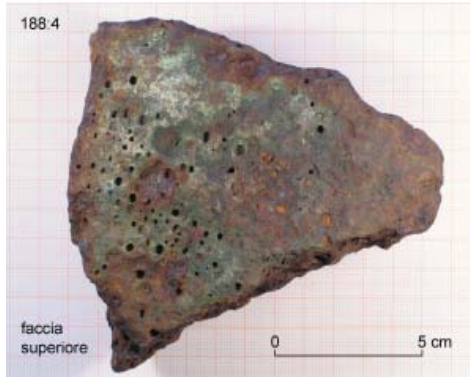
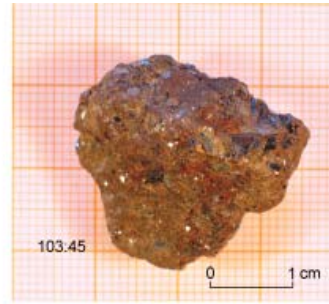


Fig. 8. Minerali e ghisa in lingotto

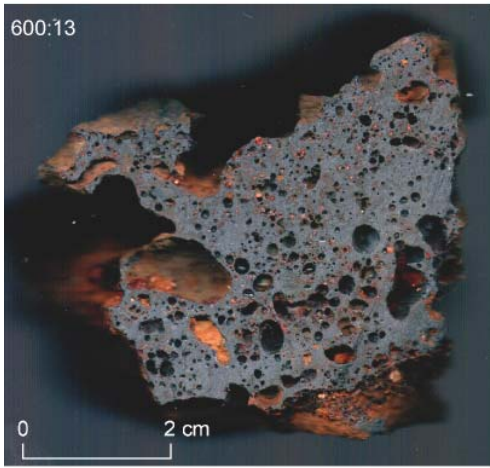
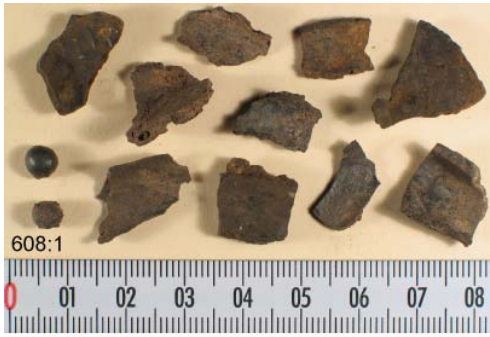


Fig. 9. Scorie del processo di affinazione

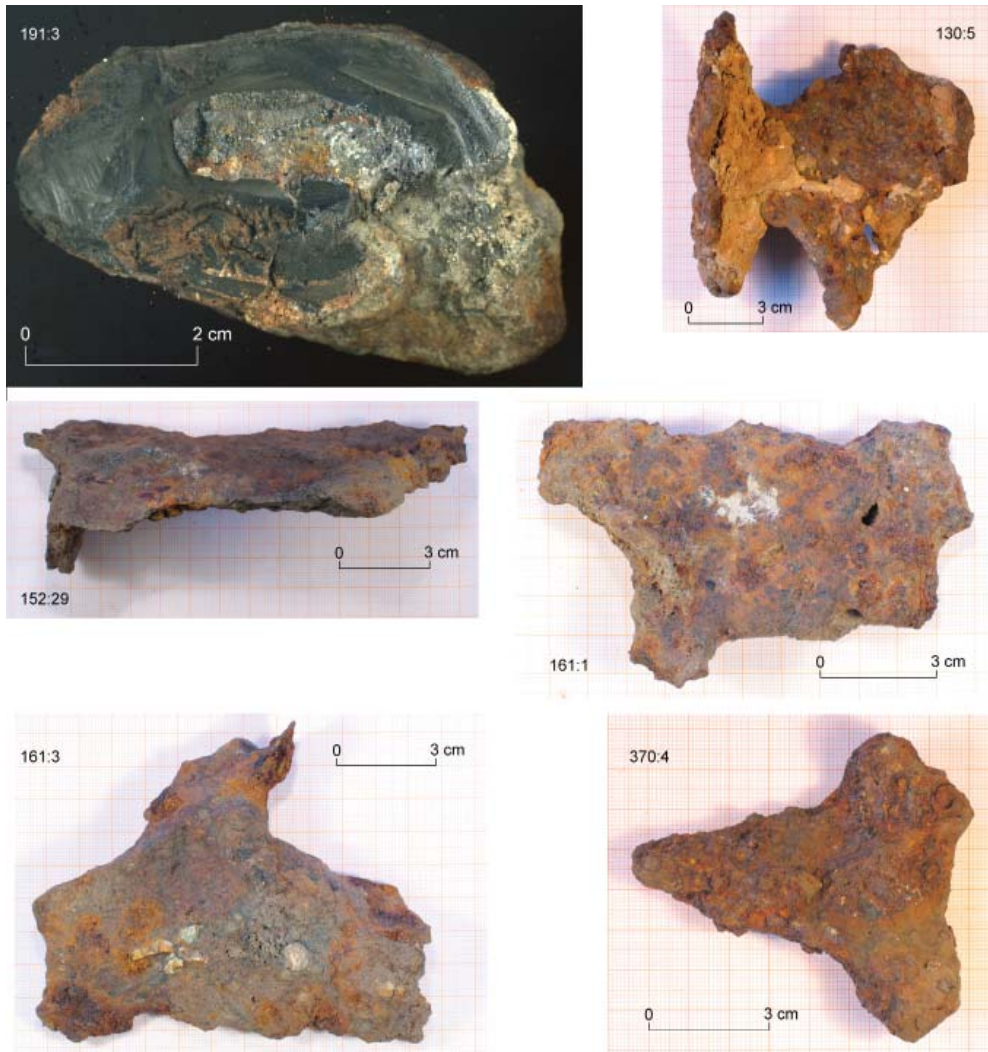


Fig. 10. Semilavorati in acciaio

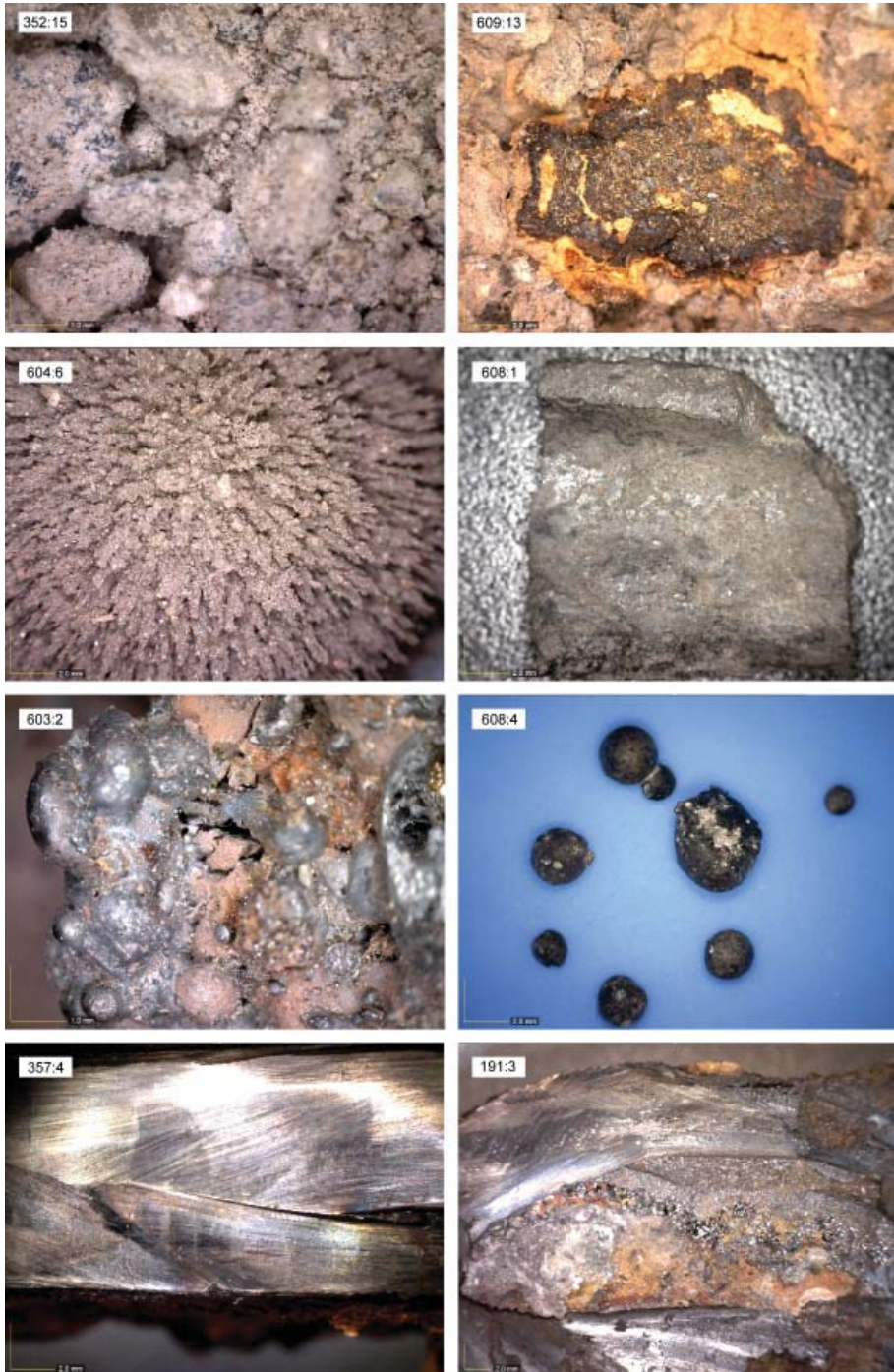


Fig. 11. Materiali al microscopio. 352:15 = malta su lastra della cappa; 609:13 = argilla termoalterata con incluso ferroso; 604:6 = pulviscolo ferroso su calamita; 608:1 = scoria vetrosa tubolare; 603:2 e 608:4 = sferule ferrose cave; 357:4 e 191:3 = ritagli di barre in acciaio

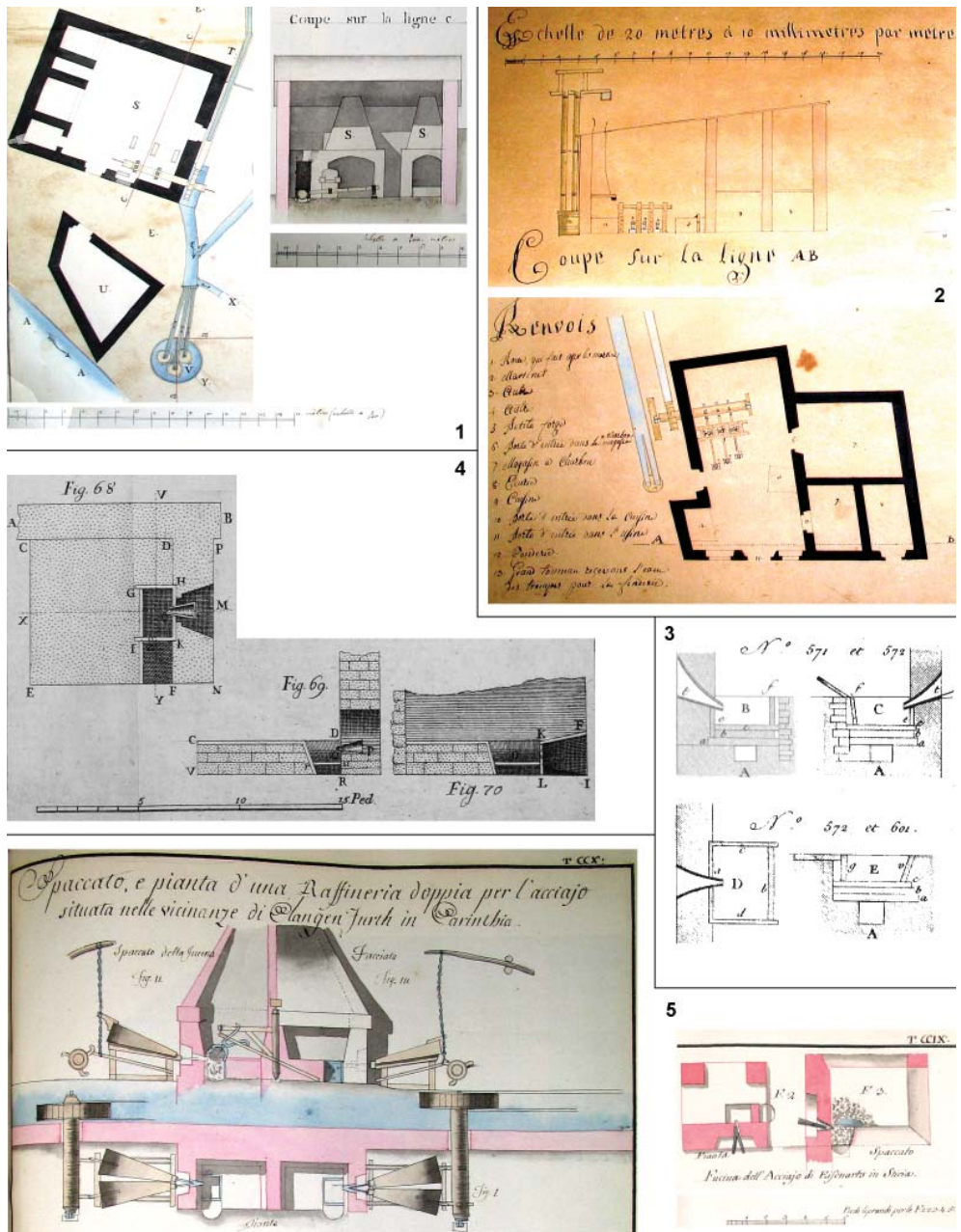


Fig. 12. Affinerie in fonti grafiche degli anni 1780-1813. 1 e 2 = ASV, *Dipartimento della Sesia, Disegni*, nn. 209, 203, 7 aprile 1812, e 413, senza data ma 1812/1813 (concessione Ministero per i Beni e le Attività Culturali 27 gennaio 2015); 3 = Hassenfratz 1812, tav. 40; 4 = Pini 1780, tav. XI; 5 = Accademia delle Scienze di Torino, Ms. 0307, «Viaggi Mineralogici», 1788, V, tavv. CCX e CCIX (concessione 27 gennaio 2015)

| Materiali Campioni | Magnetite | | Ematite | Scorie a placca cordata | | Scorie a calotta | | |
|--------------------------------|-----------|-------|---------|-------------------------|-------|------------------|-------|-------|
| | VSR41 | VSR42 | VSR43 | VSR51 | VSR52 | VSR53 | VSR54 | VSR55 |
| SiO ₂ | 12,3 | 14,0 | 15,9 | 17,9 | 20,2 | 15,7 | 18,0 | 15,4 |
| TiO ₂ | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| Al ₂ O ₃ | 10,6 | 7,6 | 0,7 | 2,6 | 5,4 | 3,2 | 4,5 | 2,9 |
| F ₂ O ₃ | 69,3 | 66,1 | 80,3 | 31,0 | 27,3 | 31,2 | 34,9 | 36,0 |
| FeO calc | 0,6 | 4,8 | 0,0 | 35,2 | 33,6 | 36,6 | 30,7 | 39,3 |
| MnO | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,2 |
| MgO | 3,0 | 2,4 | 0,6 | 2,0 | 5,3 | 2,2 | 2,0 | 1,2 |
| CaO | 1,7 | 2,2 | 0,1 | 8,6 | 5,5 | 8,1 | 6,3 | 3,2 |
| Na ₂ O | 0,9 | 0,7 | 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,4 |
| K ₂ O | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 1,2 | 0,9 | 1,4 | 0,8 |
| P ₂ O ₅ | 1,3 | 1,9 | 0,0 | 0,9 | 0,4 | 1,1 | 1,1 | 0,5 |
| H ₂ O calc | 0,0 | 0,0 | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CO ₂ calc | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Totali | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| S | | 0,01 | 0,70 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |
| Cl | 0,03 | 0,04 | | 0,01 | | 0,01 | | |
| Sc | | | | | | | | |
| V | 0,02 | 0,02 | | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Cr | | 0,01 | | 0,02 | | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| Co | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| Ni | | | | | | | | |
| Cu | | | | | | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Zn | | | | | | | | |
| Rb | | | | | | | | |
| Sr | 0,02 | 0,02 | | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| Y | | | | | | | | |
| Zr | | | | | | | | |
| Mo | 0,01 | | | | | 0,01 | | |
| Sn | 0,01 | 0,03 | | | | | | |
| Ba | | | | 0,08 | 0,05 | 0,12 | 0,10 | 0,04 |
| La | | 0,01 | 0,01 | | | | | |
| Ce | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | | 0,01 |
| Nd | | | | | | 0,01 | | |
| Hf | | | | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Ta | | | | | | 0,01 | 0,01 | |
| W | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| Totali tracce | 0,23 | 0,27 | 0,84 | 0,31 | 0,20 | 0,37 | 0,31 | 0,17 |

Tab. 1. Minerali e scorie di affinazione: risultati delle analisi chimiche (V. Serneels)

| Strati | Resti | Taxa | Intero sito compresa area forno di affinazione | | Solo area forno di affinazione | |
|---------------------------|---|----------------------------------|--|-----|--------------------------------|-----|
| | | | Quantità | % | Quantità | % |
| Siderurgici | Antracologici (carbonizzati e non carbonizzati) | <i>Fagus sylvatica</i> | 222 | 92 | 54 | 87 |
| | | <i>Alnus</i> sp. | 9 | 4 | 4 | 6 |
| | | <i>Betula</i> sp. | 9 | 4 | 3 | 5 |
| | | <i>Buxus</i> sp. | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | cf. <i>Quercus</i> | 1 | 0 | 1 | 2 |
| | | Totali | 242 | 100 | 62 | 100 |
| | Carpologici (non carbonizzati) | <i>Prunus persica</i> | 1 | 50 | 1 | 50 |
| | | <i>Prunus domestica</i> | 1 | 50 | 1 | 50 |
| | | Totali | 2 | 100 | 2 | 100 |
| | Pre-siderurgici | Antracologici (non carbonizzati) | <i>Juniperus communis</i> | 17 | 94 | 0 |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | | | 1 | 6 | 0 | 0 |
| Totali | | | 18 | 100 | 0 | 0 |

Tab. 2. Resti vegetali: risultati delle analisi antracologiche e carpologiche (R. Nisbet)

| Settore | Quadrato | Reperto | Consistenza | Forma | Dimensioni in cm | | Spessore in cm | Peso in g | e | V in cm |
|------------------------|----------|---------|--------------|----------------|------------------|------|----------------|-----------|------|---------|
| | | | | | | | | | | |
| Alto forno | R49 | 700:1 | intero | piano-convessa | 30,5 | 23 | 10 | 23372 | | |
| | R55 | 422:1 | spezzone | piano-convessa | 6 | 4 | 4 | 170 | | |
| | S48 | 150:5 | spicchio | piano-convessa | 9,5 | 6 | 5 | 580 | | |
| | S49 | 147:3 | spezzone | bipiana | 7 | 7 | 3,5 | 950 | | |
| | U48 | 117:2 | spicchio | piano-convessa | 18 | 14 | 6 | 3365 | | |
| | W51 | 161:4 | spicchio | piano-convessa | 13 | 10 | 5 | 2183 | | |
| | X47 | 188:4 | spicchio | piano-convessa | 11,5 | 10,5 | 5 | 1935 | | |
| | Z45 | 227:1 | spezzone | piano-convessa | 10,5 | 8,5 | 5 | 1765 | 6,10 | 0,8 |
| Condutture idriche | L38 | 73:1 | quasi intero | piano-convessa | 25 | 18 | 13 | 19644 | | |
| | L44 | 63:6 | spicchio | bipiana | 17 | 14 | 4 | 3050 | 5,75 | 0,9 |
| Maglio | I47 | 333:4 | spicchio | piano-convessa | 12 | 8,5 | 6 | 1640 | 5,30 | 1,1 |
| Affineria | E50 | 603:1 | spezzone | piano-convessa | 12 | 11 | 5 | 1345 | 4,59 | 1,8 |
| Forno di riscaldamento | D36 | 341:11 | spezzone | piano-convessa | 13 | 9 | 4 | 1650 | 6,23 | 0,6 |
| | D36 | 341:12 | spicchio | piano-convessa | 9 | 7 | 7 | 840 | | |
| Carbonile | OQ34 | 554:3 | spezzone | piano-convessa | 8 | 6 | 3 | 580 | | |
| Totali | | 15 | | | | | | 63069 | | |

Tab. 3. Ghisa in lingotto: distribuzione spaziale e caratteristiche dei reperti (q = massa volumica apparente; V = dimensione massima dei vacuoli in sezione)

| Reperti | | 63:6 | 227:1 | 333:4 | 341:11 |
|-------------------------------|---|---|--|---|---|
| Solubilizzazione degli sfridi | attacco con HCl concentrato | solubilizza in gran parte (76%) quasi senza sviluppo di gas | solubilizza in gran parte (76%) senza sviluppo di gas | solubilizza in gran parte (77%) quasi senza sviluppo di gas | solubilizza in parte (36%) con notevole sviluppo di H ₂ S e violenta formazione di schiuma |
| | attacco del residuo con HNO ₃ diluito al 50% | solubilizza praticamente tutto con modestissimo sviluppo di ipoazotide solo a caldo | solubilizza praticamente tutto con modestissimo sviluppo di ipoazotide | lieve schiumeggiamento, lieve odore di H ₂ S, ipoazotide quasi nulla anche a caldo | solubilizza con violento sviluppo di ipoazotide lasciando un residuo insolubile |
| | soluzioni riunite e portate a volume esatto | giallo-verdastra | giallo-verdastra | giallo-verdastra | marrone |
| | residuo insolubile | tracce, beige (non grafitico) | 0,11%, grigio-biancastro (silicatico?) | tracce, beige (non grafitico) | 5,55%, giallo-rossiccio (zolfo e ossido di ferro?) |

Tab. 4. Ghisa in lingotto: risultati delle analisi chimiche (R. Castaldi)

JOURNAL OF THE SECTION OF CULTURAL HERITAGE

Department of Education, Cultural Heritage and Tourism
University of Macerata

Direttore / Editor

Massimo Montella

Texts by

Ada Acovitsioti-Hameau, Viviana Antongirolami, Monica Baldassarri, Stefan Bergh, Anna Boato, Chiara Boscarol, Nicholas Branch, Paola Camuffo, Francesca Carboni, Francesco Carrer, Marta Castellucci, Annalisa Colecchia, Michael R. Coughlan, Alessandra D'Ulizia, Margarita Fernandina Mier, Serafino Lorenzo Ferreri, Vinzia Fiorino, Anna Gattiglia, Marta Gnone, Ted Gragson, Massimiliano Grava, Ana Konestra, David S. Leigh, Giovanni Leucci, Nicola Masini, Mara Migliavacca, Florence Mocci, Manuela Montagnari Kokelj, Carlo Montanari, Massimo Montella, Lionello Morandi, Umberto Moscatelli, Rosa Pagella, Eleonora Paris, Giovanni Battista Parodi, Juan Antonio Quirós Castillo, Enzo Rizzo, Francesco Roncalli, Alessandro Rossi, Maurizio Rossi, Dimitris Roubis, Enrica Salvatori, Gaia Salvatori, Fabiana Sciarelli, Francesca Sogliani, Ludovico Solima, Anna Maria Stagno, Michel Tarpin, Rita Vecchiattini, Sonia Virgili, Valentino Vitale, Kevin Walsh, Giuseppina Zamparelli.

<http://riviste.unimc.it/index.php/cap-cult/index>

