



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Geoscienze

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN
STUDIO E CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHEOLOGICI ED ARCHITETTONICI
INDIRIZZO SCIENZE E TECNOLOGIE PER I BENI ARCHEOLOGICI ED ARCHITETTONICI
XXI CICLO

**EVIDENZE METALLURGICHE NELL'AREALE PADANO DEL
BRONZO MEDIO-BRONZO FINALE: STUDI ARCHEOMETRICI**

Direttore della Scuola : Ch.ma Prof.ssa Francesca Ghedini

Supervisore : Ch.mo Prof. Gianmario Molin

Dottoranda : Ivana Angelini

2 Febbraio 2009

*A Mamma
e per
Papà, Tata e Lucia*

Ringraziamenti:

Ringrazio la Dott. Marica Venturino Gambari della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Piemonte per la disponibilità concessa allo studio dei materiali di Chiusa Pesio e per il fondamentale supporto archeologico, per cui si ringrazia anche il Dott. Rubat Borel.

Un ringraziamento particolare v` anche al Dott. Luciano Salzani della Soprintendenza Archeologica del Veneto e alla Dott.ssa Maria Barnab` Brea della Soprintendenza dell'Emilia per il gentile permesso di studio dei materiali Veneti e di Beneceto. Lo studio archeologico dei reperti di Beneceto ` dovuto alla Dott.ssa Paloa Bianca.

Si ringrazia inoltre il Prof. Antonio Longoni, il Dott. Tommaso Frizzi ed il Dott. Roberto Alberti del Politecnico di Milano, con i quali sono state svolte le analisi XRF.

Un ringraziamento al Prof. Gianmario Molin per il supporto datomi in questi anni e per la valutazione costruttivamente critica del lavoro.

Fondamentale il supporto scientifico e la collaborazione del Prof. Gilberto Artioli che ringrazio tantissimo.

La Dott.ssa Angela Polla e la Dott.ssa Ilaria Giunti sono ringraziate per la collaborazione nell'analisi d'immagine e nelle analisi isotopiche.

Infine un ringraziamento ai colleghi d'ufficio e a tutti quelli del Dipartimento di Geoscienze che hanno reso questi anni di lavoro costruttivi ed anche piacevoli.

Riassunto	1
Abstract	5
1 Introduzione e scelta dei contesti in studio	9
2 Strategie d'indagine e tecniche analitiche utilizzate	
2.1 Studio macroscopico dei reperti e campionatura	13
2.2 Microscopia Ottica (OM)	15
2.3 Fluorescenza a raggi-X (XRF)	15
2.4 Microscopia Elettronica a Scansione accoppiata a microsonda a Dispersione di Energia (SEM-EDS)	17
2.5 Microsonda Elettronica (EPMA)	19
2.6 Analisi metallografiche	20
2.7 Diffrazione a raggi-X di polveri (XRPD)	21
2.8 Spettrometria di emissione di raggi-X indotta da protoni (<i>PIXE, Particle Induced X-ray Emission</i>)	22
2.9 Analisi isotopiche del Pb tramite spettroscopia di Massa (ICP_MS)	23
2.10 Analisi d'immagini 2D computerizzata (DIP)	24
3 Studio Archeometrico del ripostiglio di fine età del Bronzo da Chiusa Pesio (CN)	
3.1 Introduzione e problematiche archeologiche	25
3.2 Reperti in studio e campionature	28
3.3 Dati chimici e tessiturali, presentati e discussi per classi tipologiche dei reperti	38
3.3.1 Torques	39
3.3.2 Armille	42
3.3.3 Spilloni	47
3.3.4 Pendenti lanceolati	47
3.3.5 Bottoni a calotta e borchie	51
3.3.6 Placchette in lamina decorate a sbalzo	53
3.3.7 Spiraline	54
3.3.8 Anellini a sezione circolare o a D	57
3.3.9 Elementi tubolari in lamina	59
3.3.10 Pendenti a rotella e pendenti con sostegni a raggiera	61
3.3.11 Attrezzi per la lavorazione del metallo: martello, scalpelli lanceolato e punteruolo	66
3.3.12 Scarti/intermedi della lavorazione: una scoria e un lingotto	67
3.3.13 Oggetti singoli:	
3.2.13.a Gancio di cintura in lamina	69
3.2.13.b Capocchia di spillone a rotella	70
3.2.13.c Punta di spada	71

3.2.13.d	Pendente in lamina	72
3.2.13.a	Tazza ad ansa verticale sopraelevata	73
3.2.13.a	Anellino in lamina	75
3.4	Discussione dati isotopici	
3.4.1	Introduzione	77
3.4.2	Campioni giacimentologici di confronto	78
3.4.3	Dati e discussioni	80
3.4.4	Conclusioni	84
3.5	Comparazione delle tecniche analitiche utilizzate	85
3.6	Discussione generale	93
3.7	Conclusioni sullo studio dei reperti di Chiusa Pesio	105
3.8	Appendice: Tabelle dati	109
3.8.1	Tabella reperti	111
3.8.2	Dati XRF (Tabelle 3.7.2 A, B e C)	123
3.8.3	Analisi chimiche areali SEM-EDS e inclusioni presenti nella fase metallica principale	129
3.8.4	Tabella analisi EPMA	134
3.8.5	Tabella analisi PIXE	141
3.3.6	Tabella analisi d'immagine (DIP)	143
3.3.7	Tabella analisi EPMA e DIP combinate	145

4 Analisi archeometriche di alcune palette con immanicatura a cannone di area Veneta

4.1	Introduzione e problematiche archeologiche	147
4.2	Breve descrizione dei contesti di riferimento	152
4.3	Reperti in studio, campionature e tracce d'uso	154
4.4	Dati chimici e tessiturali	160
4.5	Discussione e conclusioni sullo studio delle palette con immanicatura a cannone di area Veneta.	165
4.6	Appendice: Tabelle dati	169
4.6.1	Tabella reperti	171
4.6.2	Analisi chimiche areali SEM-EDS, inclusioni e segregazioni presenti nella fase metallica principale	172
4.6.3	Analisi EPMA	173
4.6.4	Tabella analisi d'immagine (DIP)	174
4.6.5	Tabella analisi EPMA e DIP combinate	174

5 Indagini archeometriche dei reperti legati ad attività metallurgica provenienti dagli strati del Bronzo Recente della terramare di Beneceto (PR)

5.1	Contesto archeologico e problematiche indagate	175
5.2	Reperti in studio e campionature	179

5.2.1	I crogioli	180
5.2.2	Possibili scarti	181
5.3	Discussione generale e Conclusioni	183
5.4	Appendice: Tabelle dati	191
5.4.1	Tabella reperti	193
5.4.2	Analisi EPMA	194
5.4.3	Dati XRPD	195
6	Conclusioni	197
	Bibliografia	199

RIASSUNTO

Nel susseguirsi delle diverse fasi dell'età Bronzo si assiste ad uno sviluppo e diffusione della metallurgia del rame che, in momenti diversi, ricopre vari campi di sperimentazione. Fra la fine dell'età del Rame ed il Bronzo Antico questa sperimentazione appare volta allo sviluppo dei metodi estrattivi, all'esplorazione dell'utilizzo di diversi minerali ed alla ricerca di nuove leghe (quali i bronzi arsenicali, le leghe tipo *Fahlerz* ed il bronzo). In un momento più tardo, nel Bronzo Recente-Bronzo Finale, questi aspetti non sono più così rilevanti; la metallurgia del bronzo è ormai già ampiamente diffusa, e la sperimentazione sembra ora volta allo sviluppo degli aspetti più tecnologici della lavorazione e dello sfruttamento di questa lega.

E' in questo quadro che si inserisce il presente lavoro di ricerca. Nella tesi sono presi in considerazione tre contesti differenti, appartenenti a varie fasi del periodo Bronzo Recente-Bronzo Finale, il cui studio permette di investigare diversi aspetti della metallurgia del bronzo quali: l'alligazione, le tecnologie di produzione di manufatti a diversa funzionalità, e la diffusione degli oggetti finiti.

La parte preponderante della ricerca di dottorato ha riguardato lo studio di un ripostiglio di recente ritrovamento, risalente al X-IX secolo a.C. e proveniente da Chiusa Pesio (CN). Si tratta di un tesoretto contenente più di 300 reperti metallici, la cui natura porta a supporre che possa essere il materiale di un antico fonditore-metallurgo, e di cui un centinaio circa sono stati sottoposti ad analisi archeometriche. Lo studio di questi materiali è volto alla ricerca di risposte a numerose e ben specifiche domande archeologiche, che vanno dalle tecniche di lavorazione utilizzate per singole tipologie di reperti, al confronto con materiali coevi di diversa provenienza, alla ricerca dell'origine del metallo usato. Le necessità della ricerca hanno richiesto l'impiego di diverse tecniche analitiche quali: la microscopia ottica (OM), la microscopia elettronica a scansione (SEM-EDS), la microsonda elettronica (EPMA), la fluorescenza a raggi-X (XRF), l'analisi d'immagine computerizzata (DIP), la metallografia a luce riflessa (RL-Me), la determinazione degli

isotopi del Pb mediante spettrometria di massa (MS) e la spettrometria di emissione di raggi-X indotta da protoni (PIXE).

I risultati ottenuti hanno gettato luce sul livello di conoscenza metallurgica del tempo, permettendo di chiarire molti dubbi sulle tecniche di lavorazione di specifiche classi di oggetti, dubbi che andavano dalla semplice presenza o assenza di annealing termico, all'investigazione dei metodi di ottenimento di oggetti a decorazione complessa, alla possibile conoscenza e sfruttamento del fenomeno della segregazione inversa per l'ottenimento di superfici argentee.

La caratterizzazione chimica ha permesso inoltre una distinzione da materiali coevi a simile tipologia e diversa provenienza, differenziazione supportata anche dalle analisi isotopiche che hanno individuato, nelle vicine aree minerarie delle Alpi Occidentali la possibile zona di approvvigionamento del metallo.

In un secondo contesto di studio si sono indagate palette con immanicatura a cannone di provenienza Veneta. Nonostante il fatto che le analisi abbiano riguardato un limitato numero di reperti, sono di particolare interesse per la problematica affrontata. A dispetto dell'importanza archeologica di questa classe di reperti, legata al fatto di avere tipologie ben specifiche, con areali di distribuzioni ristretti all'Italia Centro-Settentrionale e all'area Balcanica, le analisi disponibili in letteratura sono poche e in genere di tipo qualitativo. Tramite l'utilizzo di analisi chimiche e morfologiche, quali alcune di quelle sopra riportate, e attraverso lo studio delle tracce d'uso, è stato possibile dare alcune prime risposte.

In particolare si è rilevata una differenziazione chimica fra la classe tipologica più antica (Bronzo Recente) e quella più recente (Bronzo Finale), legata sia al tenore di Sn, che soprattutto al livello di impurezze presenti in lega. Inoltre si sono osservate evidenti tracce d'uso che, associate agli studi metallografici, hanno permesso di escludere che tali materiali fossero usati come lingotti. La presenza di trattamenti termici della lega in una delle lame conferma questa conclusione.

L'ultima problematica studiata è legata al processo di alligazione vero e proprio, investigato attraverso l'indagine archeometrica di crogioli e scarti di fusione provenienti dalla terramara di Beneceto (PR). Analisi chimiche, morfologiche e mineralogiche (effettuate anche tramite diffrazione di raggi-X da polveri, XRPD) hanno portato

all'individuazione delle principali condizioni utilizzate durante il processo. L'alligazione avveniva in crogioli posti in buca, ricoperti da carboni e scaldati dall'alto, in un intervallo di temperature di 800-1200 °C. In un primo tempo veniva posto il rame nel crogiolo e solo in seguito avveniva l'aggiunta dello Sn, come testimoniato dal ritrovamento esclusivo di aree con rame disperse nelle zone di contatto con il corpo ceramico.

I risultati della ricerca hanno permesso di aggiungere nuovi tasselli alla nostra conoscenza delle capacità metallurgiche esistenti in questa fase pre-protostorica, ed hanno anche evidenziato come, per avere risposte reali a specifiche domande archeologiche, occorrono approcci multidisciplinari che prevedano l'utilizzo di diversi metodi d'indagine.

ABSTRACT

During the different periods of the Bronze Age the metallurgy of copper acknowledges a remarkable diffusion and substantial developments through experimentation. At the end of the Copper Age and at the beginning of the Early Bronze Age the metallurgical advances seem to be mainly related to mining, the use of different mineral sources, and the exploration of new metal alloying, such as arsenical bronzes, polymetallic metal mixtures derived from mixed Fahlerz-type mineralizations, and finally tin bronzes. At a later stage, during the Late Bronze and Final Bronze Ages, the metallurgy of bronze is widely diffused and experimentation seems to be mostly related to the fine tuning and improvement of the technological aspects of metal working and alloying.

The present research work wishes to contribute to the understanding of the advanced Bronze Age metallurgy, by investigating in detail three different contexts. The aim is to study and quantify upon sound archaeometric data a few aspects of the protohistoric metallurgy of bronze, namely the alloying process, the production techniques of artefacts with different functionality, and the areal diffusion of the finite objects.

The major part of the dissertation work involved the study of a recently found cache of bronze objects from Chiusa di Pesio (CN), dated to the X-IX centuries BC. The cache contains over 300 metal objects, whose nature indicates the possibility that this is the material of an ancient founder-metal worker. About a hundred objects of the cache have been archaeometrically investigated during the project, with the specific aim of answering specific archaeological questions such as the metal working technique adopted on each typology of artefact, the comparison with coeval objects having diverse origin, and the search for the metal sources. The investigation required the combined use of several analytical techniques: optical microscopy (OM), scanning electron microscopy equipped with energy dispersive spectrometry (SEM-EDS), electron probe micro analysis (EPMA), X-Ray fluorescence spectrometry (XRF), digital image processing (DIP), reflected light

metallography (RL-Me), mass spectrometry (MS) isotopic analysis, and proton induced X-Ray emission spectroscopy (PIXE).

The results yield a number of information on protohistoric metallurgy, even clarifying a few long lasting problems on the manufacturing techniques of specific metal objects such as the extent of thermal annealing, the making of complex decorations, and the mastering of inverse segregation to produce silver-shining techniques. The chemical characterization allowed discrimination between typologically similar coeval objects with different provenance, and the object grouping was supported by the isotopic analyses used to determine the probable copper sources, located in the mineral deposits of the Western Alps.

The second case study involves the socketed shovels found in the Veneto area. Despite the limited number of these objects available, they pose very important and challenging archaeological puzzles related to their unusual shape and functionality, and their geographical distribution, confined to North-Central Italy and the Balkans. Only scarce qualitative analytical data are available for such artefacts in the literature. A few answers have been proposed based on the new chemical and morphological data obtained by some of the listed techniques. Careful investigation of the wear traces also yield interesting information.

Specifically, a chemical discrimination based on the Sn content of the bronze and on the amount of minor and trace metal elements in the alloy confirms the distinction between the two major typological classifications: the older typologies related to the Late Bronze Age, and the new typologies related to the Final Bronze Age. The analysis of the wear traces excludes the use of socketed shovels as simple metal ingots, as proposed in the past. The clear presence of thermal annealing in one of the blades supports this conclusion.

The third case study specifically addresses the problems related to the alloying process itself, through the detailed archaeometric investigation of the crucibles and metal wastes found during the rescue excavation of the terramara of Beneceto (PR). The chemical, morphological, and mineralogical data, also supported by X-ray powder diffractometry (XRPD) allowed a clear definition of the conditions and methods used during the alloying process. The alloying of copper and tin used to take place in ceramic crucibles located in

shallow earths, covered by charcoal, and heated from above to temperatures in the range 800-1200 °C by the use of tuyères. Copper was first brought to melting conditions and then tin was added, as indicated by the pure copper inclusions dispersed in the ceramic-metal interaction layer.

In summary, a number of specific information concerning protohistoric metallurgical techniques have been derived from the present investigation. Attempt was made to answer specific archaeological and archaeometric questions through the combined use of several complementary experimental methods and techniques.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

La conoscenza della metallurgia del rame, del bronzo e del ferro è fondamentale per la ricostruzione degli aspetti sociali ed economici delle società post-Neolitiche. L'importanza dei metalli nelle società primitive è testimoniata da una parte dalla denominazione assunta da alcuni fra i maggiori periodi archeologici (Età del Rame, Età del Bronzo, Età del Ferro: Renfrew e Bahn 2008), e dall'altra dalla stima approssimata dell'utilizzo delle materie prime durante la storia umana (Fig. 1.1), che dimostra quale ruolo primario abbiano svolto i metalli quali materiali fondamentali per lo sviluppo delle società tecnologicamente avanzate.

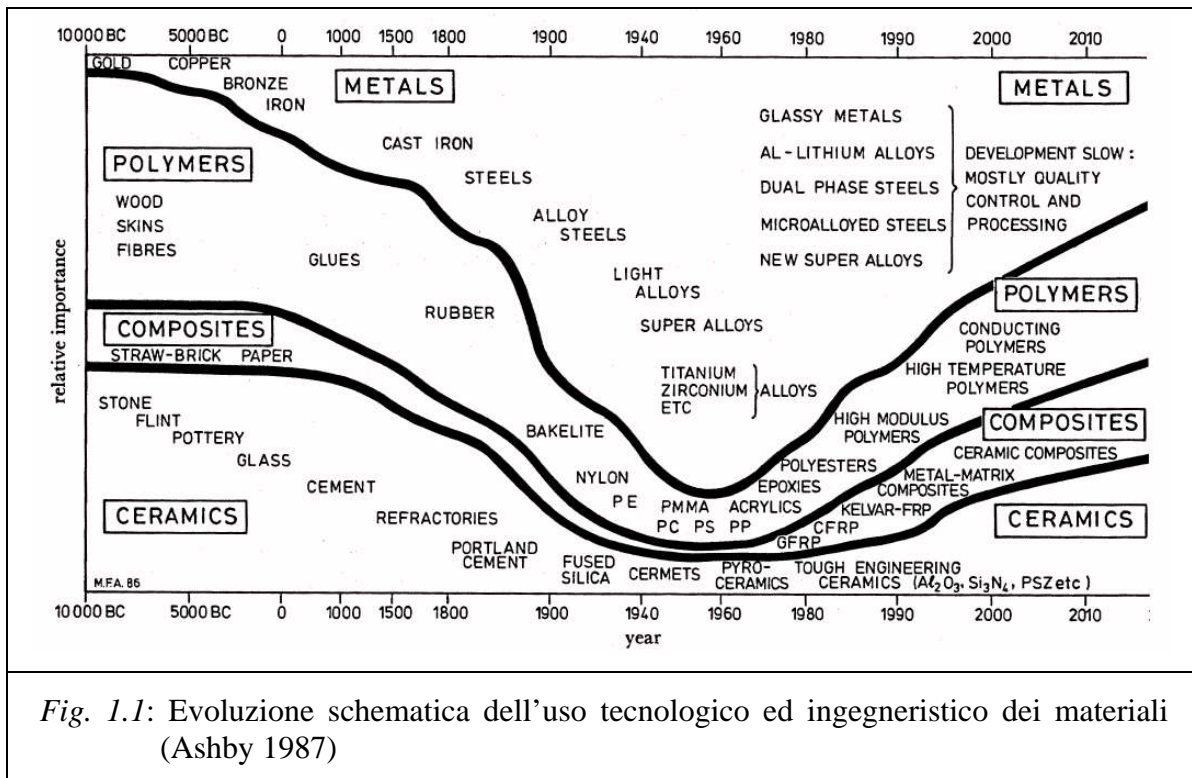


Fig. 1.1: Evoluzione schematica dell'uso tecnologico ed ingegneristico dei materiali (Ashby 1987)

Le problematiche coinvolte nello studio della metallurgia primitiva sono numerose ed interessano varie discipline accademiche. Gli studi che più si sono sviluppati in passato sono di tre tipi: archeologico-tipologici, chimico-composizionali, e metallografici-funzionali. Questi tre aspetti, seppur in modo non esaustivo, coprono in buona parte il ciclo archeometallurgico, il quale si articola in numerosi passaggi tecnologici e complessità operative (Fig. 1.2). In modo molto schematico, potremmo individuare tre fasi principali della metallurgia antica:

- (a) la fase mineraria ed estrattiva, e di riduzione del minerale,
- (b) la fase di alligazione e manifattura degli oggetti, e
- (c) le fasi di commercio, utilizzo e riciclo degli oggetti.

A ciascuna di queste tre fasi competono evidenze archeologiche molto diverse, rappresentate succintamente da (a) aree minerarie con evidenze di sfruttamento minerario nell'antichità, e siti di lavorazione del minerale ed estrazione del rame mediante processi pirometallurgici, (b) frammenti di metallo semilavorato, crogioli per alligazione e raffinazione, stampi di colata, nonché dagli oggetti in metallo, e (c) dalla distribuzione geografica e cronologica degli oggetti metallici.

Le evidenze relative a ciascuna fase metallurgica viene studiata con metodologie e tecniche analitiche appropriate e specifiche. Il fatto che raramente nei siti archeologici le tre classi di evidenze si trovino associate, pone notevoli problemi nella ricostruzione completa della provenienza e della diffusione del metallo, nonché nella interpretazione delle tecniche metallurgiche. Tradizionalmente, lo studio analitico recente degli oggetti metallici si rivolge a quattro finalità principali: l'identificazione della composizione originale e delle condizioni originali dell'oggetto, la classificazione in gruppi tipologico-composizionali, la ricostruzione delle pratiche di manifattura metallurgica (colatura, battitura, saldatura, rifinitura, patinatura, etc.), e la ricostruzione della provenienza e della diffusione del metallo.

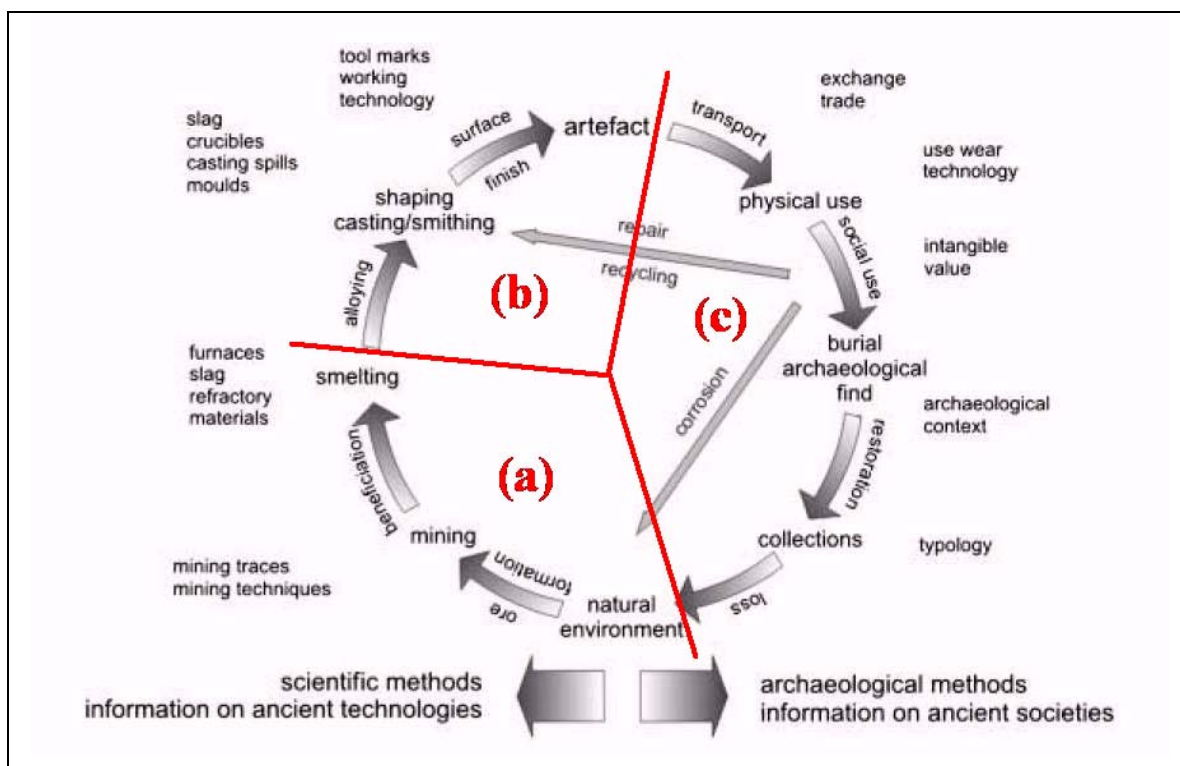


Fig. 1.2: Il ciclo archeometallurgico (rielaborata da Rehren e Pernicka 2008).

Partendo dalla intrinseca assenza di testimonianze scritte e dalla sistematica scarsità di dati archeologici ed archeometrici per quanto riguarda la metallurgia preistorica e protostorica del rame e del bronzo in Italia (De Marinis 2006), esiste quindi la necessità oggettiva di sfruttare ed interpretare al meglio i dati analitici disponibili sugli oggetti finiti e di inserire i dati composizionali in un solido quadro di riferimento metallografico-metallurgico.

Questo lavoro intende appunto approfondire la relazione esistente fra le caratteristiche chimico-composizionali dei metalli e le proprietà tecnologiche e funzionali degli oggetti a cui sono riferite. Gli oggetti studiati sono per la maggior parte riferiti alla avanzata età del Bronzo, e sono stati selezionati accuratamente per poter individuare eventuali scelte tecnologiche in una avanzata fase della metallurgia primitiva (Bronzo Recente, Bronzo Finale). La eccezionale disponibilità degli oggetti appartenenti al ritrovamento di Monte Cavanero rappresenta inoltre una opportunità unica per valutare in dettaglio le consuetudini e le scelte operative di un metallurgista nell'ultimo scorcio dell'Età del Bronzo, in prossimità della rivoluzione rappresentata dall'introduzione del Ferro.

Le problematiche affrontate nella presente ricerca sono quindi notevolmente diverse da quelle in genere enfatizzate nelle ricerche archeometallurgiche su siti ed oggetti più antichi (Eneolitici e della Prima Età del Bronzo), che privilegiano soprattutto i legami geochimici fra i depositi di rame, scorie di fusione ed oggetti metallici (ad es.: Pearce 1992, Artioli et al. 2008) o le classificazioni tipologiche-composizionali (ad es.: De Marinis 2005).

Al fine di approfondire gli aspetti legati all'interpretazione dettagliata delle attività metallurgiche collegate agli oggetti studiati, si è scelto di utilizzare avanzate tecniche di indagine relative a due aspetti analitici: la composizione chimica e la tessitura metallografica degli oggetti. Ciascun aspetto è stato affrontato con diverse tecniche sperimentali, spesso complementari fra di loro, sia per poterne meglio valutare l'attendibilità ed inoltre per poter ottenere un più completo spettro di dati sperimentali.

Nei dati presentati nella tesi e nella discussione verranno privilegiati gli aspetti innovativi metodologici ed interpretativi, rispetto alle conoscenze di base (ad es. diagrammi di fase) ed alla letteratura archeometallurgica generica, ritenuta una base di partenza acquisita e quindi non riportata in dettaglio. Per le conoscenze pregresse gli interessati sono riferiti ai seguenti testi di base:

- *diagrammi di fase e proprietà dei metalli*: Hatherly e Hutchison 1979, Ottaway e Wang 2004, Scott 2002, Verhoeven J.D. (1975), Porter e Easterling 2004.
- *pirotecnologia e scorie*: Bachmann 1982, Rehder 2000.
- *metallografia*: Scott 1991.
- *archeometallurgia*: Tylecote 1976, Tylecote 1987, Maddin 1988, Ottaway 1994, Craddock 1995, Giardino 1998, Hauptmann 2007.

CAPITOLO 2

STRATEGIE D'INDAGINE E TECNICHE ANALITICHE UTILIZZATE

2.1 Studio macroscopico dei reperti e campionatura

I reperti indagati nella presente tesi sono di diversa funzionalità e provengono da siti differenti quindi, di volta in volta, sono stati campionati con le modalità più opportune per i singoli casi e sottoposti a diversi tipi di indagine in funzione delle specifiche problematiche di studio. La sequenza base delle operazioni effettuate è tuttavia simile e può essere quindi schematizzata nel seguente modo:

- a) Visionamento di tutti i reperti provenienti dallo specifico contesto in studio.
- b) Scelta della strategia analitica da utilizzare in base alle problematiche indagate: quali analisi effettuare di routine, con che sequenza analitica, quali per confronto o su singoli reperti, etc.
- c) Scelta concordata con i responsabili archeologici dei materiali da campionare in funzione della significatività dei reperti, dello stato di conservazione e della quantità di materiale che si prevede possa essere necessaria per le indagini programmate.
- d) Registrazione della documentazione fotografica dei reperti.
- e) Determinazione delle caratteristiche fisiche e macroscopiche di ogni singolo reperto: dimensioni, peso, stato di conservazione, presenza di patine di alterazione.
- f) Creazione di una tabella di catalogazione dei reperti in cui si riportano: la sigla del campione usata nelle analisi, la tipologia del reperto, le caratteristiche macroscopiche misurate, la provenienza ed i dati archeologici fondamentali (numero d'inventario, dati di scavo, note particolari). Queste tabelle sono di fondamentale importanza per avere una visione globale dei materiali in studio. Alla fine di ogni capitolo relativo ad uno dei

contesti analizzati nella presente tesi (Capitoli 3, 4 e 5), si riportano nell'Appendice le relative tabelle di catalogazione dei reperti.

g) Campionatura dei reperti.

Per gli OGGETTI METALLICI il campionamento è stato effettuato con bisturi, dopo un opportuno studio al microscopio stereoscopico al fine di valutare il miglior punto di prelievo, che possa fornire metallo il più possibile "sano" e al contempo minimizzare il danno estetico. Non è stato usato un trapano per asportare il materiale in quanto avrebbe potuto alterare i risultati degli studi metallografici.

Su CROGIOLI, SCARTI DI LAVORAZIONE e gli altri reperti legati all'attività metallurgica che non fossero oggetti finiti, sono state effettuate delle sezioni di taglio, lungo le direzioni più significative, per la successiva preparazione delle sezioni sottili.

h) Preparazione dei campioni per le analisi: sezioni sottili lucide o pastiglie lucide. Per ottenere queste ultime i micro-frammenti prelevati sono stati inglobati in resina epossidica mantenendo, ove presente, un'orientazione che consentisse di vedere la sezione di taglio del reperto, in modo da poter distinguere la parte più esterna e alterata del reperto e quella più interna. Questo consente, nelle analisi puntuali, di poter verificare le variazioni composizionali del metallo e sapere se la parte più interna, utilizzata per ottenere i dati chimici del presente studio, si possa considerare comparabile a quella originale o se risente di effetti di alterazione.

I campioni così preparati sono stati sottoposti a molteplici analisi effettuate, se possibile, in serie sulla stessa pastiglia (o sezione sottile), in modo da ottimizzare le informazioni ottenute per la minima quantità di materiale prelevato. Generalmente la successione analitica utilizzata è la seguente:

- 1) Analisi XRF sui reperti tal quali (per i campioni di Chiusa Pesio, Cap. 3).
- 2) Osservazioni al microscopio ottico in luce riflesse, ed eventualmente in luce trasmessa per le sezioni sottili.
- 3) Analisi SEM-EDS.
- 4) Analisi EPMA.

- 5) Eventuali analisi con altre tecniche per confronto dati (PIXE per alcuni reperti di Chiusa Pesio, Cap. 3).
- 6) Analisi metallografiche.
- 7) Analisi XRPD effettuate su opportune porzioni di materiale, prelevate dalle sezioni di taglio dei reperti createsi per la preparazione delle sezioni sottili. Le analisi XRPD sono state condotte solo su reperti di Beneceto (Cap. 4).
- 8) Analisi isotopiche, effettuate su piccole porzioni del prelievo iniziale (per una selezione di oggetti da Chiusa Pesio, Cap. 3).

Nei seguenti paragrafi verranno descritte le differenti strumentazioni utilizzate, le condizioni di lavoro e le procedure analitiche.

2.2 Microscopia Ottica (OM, *Optical Microscopy*)

Il microscopio utilizzato per gli studi in luce riflessa e trasmessa delle sezioni lucide, sia prima che dopo gli attacchi metallografici, è un Nikon Eclipse ME600L, operante sia in campo chiaro che in campo scuro. Tramite apposito adattatore è possibile equipaggiare il microscopio con una fotocamera digitale per la ripresa delle immagini; quella utilizzata nella presente tesi è una Nikon Coolpix 990. La strumentazione è collocata nel Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova.

Tutti gli studi sono stati effettuati tramite osservazioni sia in campo chiaro, che in campo scuro, ed utilizzando Nicol paralleli, ortogonali e sfalsati, in funzione dei dettagli che si volevano indagare. Per ovvi motivi di sintesi nella tesi si riporteranno solo le osservazioni e le immagini più significative.

2.3 Fluorescenza a raggi-X (XRF, *X-ray Fluorescence*)

Per lo studio del ripostiglio di Chiusa Pesio, dato l'elevato numero di oggetti metallici (circa 300) e la presenza di alcune classi di reperti particolarmente rilevanti e delicati (quali gli spilloni) su cui non è stato concesso di effettuare dei campionamenti, si è condotta una

vasta campagna di analisi XRF al fine di valutare la composizione dei materiali in modo non distruttivo sul maggior numero di oggetti possibili. Sono state effettuate analisi su circa un centinaio di reperti.

Questa parte del progetto di studio sui reperti di Chiusa Pesio è stato condotta in collaborazione con il Prof. Antonio Longoni, del Dipartimento di Ingegneria Elettronica del Politecnico di Milano, e con due collaboratori del suo gruppo di ricerca: Dott. Tommaso Frizzi ed il Dott. Roberto Alberti. In particolare questi si sono occupati della gestione strumentale, uno spettrometro XRF portatile sviluppato dal loro stesso gruppo di ricerca (Longoni et al. 1998, Longoni e Fiorini 2006), e del trattamento degli spettri acquisiti, per l'ottenimento dei dati quantitativi. La strumentazione EDXRF (*Energy Dispersive X-ray Fluorescence*) da loro creata, già dimostratasi di larga utilità in altri casi di studio applicati al settore di indagine dei Beni Culturali (Longoni et al. 1998, Leutenegger et al. 2000), è stata qui ampiamente testata per le indagini archeometallurgiche e, unitamente al trattamento "convenzionale" dei dati, si è cercato di ottenere analisi non normalizzate che permettessero un controllo della qualità di ogni singolo punto analisi. I risultati ottenuti sono stati oggetto di parte di una recente pubblicazione (Angelini et al. 2007).

Lo spettrometro EDXRF portatile utilizzato è equipaggiato con un rivelatore SDD (Silicon Drift Detector) ad alte prestazioni. Tale rivelatore è incluso nella testa di misura dello strumento, insieme ad un sistema di raffreddamento Peltier termoelettrico e ad un generatore di raggi-X miniaturizzato. Maggiori dettagli e descrizioni delle prestazioni strumentali non vengono qui riportati in quanto esulano dalla competenza della scrivente, e possono essere trovati in: Longoni et al. 1998, Leutenegger et al. 2000 e Longoni e Fiorini 2006.

Le misure sono state effettuate in aria e la testa dello strumento, delle dimensioni di circa 20 x 20 x 10 cm, è stata posizionata alla distanza fissa di 5 cm dalla superficie da analizzare, sia nelle fasi di standardizzazione, che durante le analisi; l'angolo di incidenza sul campione è di 90°. Le condizioni di lavoro utilizzate sono le seguenti: corrente di 300 μA , voltaggio di 30 kV e conteggi effettuati per 300 secondi. Per le standardizzazioni sono stati utilizzati sempre elementi puri, ad eccezione dell'As e dell'Sb che sono stati misurati su minerali a composizione nota (antimonite e Ossido As). Inoltre per la verifica delle

analisi e per la rielaborazione dei dati, al fine di ottenere anche risultati non normalizzati, è stata utilizzata una serie di bronzi con quantità variabile e nota di Sn. La composizione elementale quantitativa è stata ottenuta tramite l'uso degli standard sopra descritti ed il trattamento degli spettri acquisiti (Tertian e Claisse 1982) con un apposito software di elaborazione dati per spettrometria a raggi-X: WinAxil, della Canberra. Nella quantificazione degli elementi si ha un'incertezza dell'ordine di alcune frazioni percentuali, in funzione della specifica composizione del campione.

Le analisi sono state condotte su 2 o 3 diversi punti di ogni reperto, avendo cura di scegliere le superfici che fossero il meno alterate possibili e, al contempo, nelle zone maggiormente planari.

2.4 Microscopia Elettronica a Scansione accoppiata a microsonda a Dispersione di Energia (SEM-EDS)

I campioni di metallo inglobati o le sezioni sottili vengono ricoperte da un sottile ed omogeneo strato di grafite per poter procedere alle analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM), accoppiato a spettroscopia a dispersione di energia (EDS). Le analisi SEM-EDS sono particolarmente utili, oltre che per la visualizzazione delle eterogeneità mineralogiche e composizionali, anche per valutare lo stato di conservazione del metallo ed avere una prima conoscenza della composizione di tutte le fasi presenti.

Lo strumento utilizzato è un CAMBRIDGE stereoscan 360, MICROPROBE OXFORD, con rivelatore Link Pentafet, collocato presso il CNR Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali di Milano, e le analisi sono state effettuate col supporto tecnico del Sig. Agostino Rizzi. Le condizioni di lavoro utilizzate sono: risoluzione 138 eV, tensione di accelerazione 20 kV, distanza di lavoro 25 mm, corrente di fascio 170 pA. La standardizzazione è stata effettuata su una serie di ossidi ed elementi puri ed i dati sono stati corretti col metodo ZAF. La precisione sulla misurazione delle energie è verificata tramite calibrazione su Co e misura sugli standard dei vari elementi. Inoltre nella quantificazione della composizione per ogni singolo elemento, in ogni singola analisi, il software fornisce l'errore statistico per la concentrazione calcolata ($\sigma\%$). Se il dato rilevato

è inferiore a 2σ o viene scartato o, se di particolare rilevanza e dopo verifica sullo spettro ottenuto, viene attribuita all'analisi solo valore qualitativo.

Lo strumento rivela anche l'ossigeno, determinazione estremamente utile per capire lo stato di ossidazione di alcune inclusioni o di eventuali zone d'alterazione, tuttavia bisogna tener presente che per l'ossigeno gli errori di misura sono molto alti ed è più appropriato considerarla una stima semiquantitativa. Il limite di rilevabilità varia da elemento ad elemento e, ad eccezione di alcuni elementi particolarmente problematici, quali ad esempio Pb, Bi, As e O, è dell'ordine dello 0.1-0.5 % in peso.

Tramite SEM-EDS è possibile rilevare la presenza di eventuali alterazioni nel metallo, osservare e mappare le variazioni composizionali, ed avere informazioni preliminari quali la composizione della lega e la presenza di eventuali inclusioni e/o segregazioni in essa contenute (quali ad esempio solfuri, segregazioni di Pb, o altri metalli). Tali analisi sono di estrema utilità e spesso non sono ottenibili con nessun altro metodo analitico; va tuttavia ricordato che in alcuni casi i punti di interesse possono essere di grandezza estremamente ridotta e, date le dimensioni del fascio elettronico (Long 1995), questo compromette la reale natura "quantitativa" delle analisi. Nel corso di questo studio si riporteranno o si farà riferimento spesso ai risultati delle analisi SEM-EDS di segregazioni metalliche a diversa natura presenti all'interno della fase metallica principale, o alla variazione chimica responsabile di zonature composizionali rilevate in inclusioni di solfuri, questi dati sono da considerarsi in alcuni casi realmente quantitativi (quando le inclusioni sono di dimensioni sufficientemente elevate, ed in tal caso sono state analizzate, ove possibile, anche tramite EPMA), in altri casi, se le zone di interesse sono inferiori ai 4-5 μm , la loro composizione va stata dedotta in modo qualitativo confrontando analisi centrate sul punto di interesse con quelle ottenute da zone vicine. Nel corso dell'esposizione, dato l'elevata mole di dati presentati, questa differenza analitica verrà specificata solo se necessario; si riporteranno ove di interesse gli intervalli composizionali registrati durante le analisi, dando per scontato che le analisi di aree di dimensioni micrometriche o sub micrometriche sono da intendersi come semi-quantitative o qualitative.

Per avere una composizione media dei campioni sono state effettuate anche analisi areali, i cui risultati sono riportati in tabelle alla fine dei Capitoli 3, 4 e 5, ed in genere sono ottenuti come media di 2-3 analisi di aree di dimensioni variabili da 50 x 100 μm a 400 x

500 μm , a secondo della grandezza del campione. Si riportano nelle tabelle sia i dati non normalizzati per consentire un controllo della qualità dell'analisi e valutare lo stato di alterazione del metallo, sia quelli normalizzati per meglio facilitare un confronto fra diversi campioni.

2.5 Microsonda Elettronica (EPMA)

Per avere analisi quantitative accurate i campioni, dopo le indagini SEM-EDS, sono stati sottoposti ad analisi in microsonda elettronica (*Electron Probe Micro Analysis*), utilizzando uno strumento in dotazione al CNR Istituto Geoscienze e Georisorse, sezione di Padova, con l'assistenza del Sig. Raul Carampin. La microsonda utilizzata è una CAMECA SX50, operante con quattro spettrometri a dispersione di lunghezza d'onda (WDS) verticali ed uno EDS. Come condizioni di lavoro si è utilizzata una tensione di 20 kV ed una corrente di 20 nA, con tempi di conteggio 10 s sul picco e 5 s sul fondo. Per le standardizzazioni sono stati utilizzati standard metallici o ossidi metallici sintetici per la maggior parte degli elementi, mentre in alcuni casi sono stati impiegati minerali puri: vanadinite (per Cl), galena (per Pb), sfalerite (per S e Zn) e arseniato di Gallio (per l'As). I dati sono stati trattati utilizzando il programma PAP della CAMECA (operante con il metodo ZAF di correzione).

Il limite di rilevabilità è dello 0.1 % in peso per S, Cl, Mn, Fe, Ag e As; mentre arriva ad alcune centinaia di ppm per gli altri metalli, nell'intervallo dei 250-670 ppm rispettivamente per Co e Zn. La determinazione di Pb e Bi è invece più problematica ed i limiti di rilevabilità sono più alti (circa 0.2 e 0.8 % rispettivamente). Le analisi EPMA sono state effettuate su 5-10 punti differenti per ogni fase metallica presente nei campioni, nonché sulle inclusioni e sulle segregazioni di dimensioni sufficientemente grandi. Alla fine dei Capitoli 3, 4 e 5 si riportano le tabelle analisi delle fasi metalliche principali dei campioni, calcolate come media dei diversi punti analisi ed espresse in percentuali in peso. Si è scelto di lasciare tutti i valori così come ottenuti dalla media, anche se in certi casi l'indicazione di 0.01%, dati i limiti di rilevabilità strumentale, ha ovviamente significato nullo, ma, come sopra specificato, alcuni elementi (quali il Co) sono rilevabili fino allo 0.025%, ed inoltre i risultati sono la media di più punti che possono essere espressioni

delle variazioni composizionali intrinseche del materiale. Si è quindi scelto di lasciare indicati tutti i valori fino alla seconda decimale, tenendo ovviamente presente la validità di ogni singolo dato nelle considerazioni finali.

2.6 Analisi metallografiche

Le analisi metallografiche sono state condotte sui frammenti di metallo campionati ed inglobati in resina, al termine di tutta la serie delle analisi chimiche. Le pastiglie sono state pulite dallo strato di grafite e rilucide prima di subire l'attacco chimico. Trattandosi di bronzi l'attacco è stato effettuato, come indicato in letteratura (Scott 1991), utilizzando una soluzione alcolica acida di cloruro ferrico (FeCl_3), ottenuta miscelando 120 ml di etanolo puro, 30 ml di HCl puro con concentrazione uguale a 36,46 M e 10 g di cloruroferrico. Gli attacchi sono stati effettuati per un tempo variabile da 2 a 8 secondi in base al tipo di lega ed allo stato di alterazione del campione; per le sezioni che sembravano particolarmente problematiche si è preferito effettuare attacchi brevi (circa 2 secondi) ed eventualmente ripeterli più volte, in modo da poter controllare al microscopio ottico lo stato del metallo dopo ogni passaggio.

I risultati delle analisi metallografiche sono stati quasi sempre molto buoni, pur trattandosi di campioni di piccole dimensioni e prelevati dai reperti non andando a profondità maggiori di circa 1-1.5 mm dalla superficie (esclusi gli strati delle alterazione carbonatiche esterne). Solo in rari casi infatti la leggibilità della tessitura è risultata parzialmente compromessa dall'ossidazione dei campioni ed, in ogni modo, anche per campioni molto piccoli, si è sempre riusciti ad avere informazioni base sulla lavorazione dei reperti. Il limite di questa metodologia operativa, rispetto alla classica analisi di sezioni metallografiche ottenute tagliando trasversalmente gli oggetti per intero (ad esempio su pendagli circolari simili a quelli di Chiusa Pesio si veda Paulin et al. 2003) o prelevando dai bordi porzioni di circa 4-5 mm x 2-3 mm (ad esempio in recenti lavori: De Ryck et al. 2003, Kienlin 2007), risiede nel non poter seguire la tessitura del metallo su ampie parti dell'oggetto. Le informazioni che si ottengono nel modo di operare da me scelto, sono strettamente legate al punto di campionamento, e ovviamente vanno interpretate anche in funzione di questo. Tuttavia è necessario raggiungere un fondamentale compromesso fra

informazioni ottenute e danneggiamento del reperto; sarebbe infatti impensabile su oggetti di alta rilevanza e alto valore estetico, quali sono molti di quelli qui studiati, asportare sezioni millimetriche da un numero di reperti sufficiente per avere dati anche statisticamente significativi. Inoltre spesso se l'oggetto è esteso, come ad esempio le palette con immanicatura a cannone o la tazza in metallo da Chiusa Pesio, anche sezioni millimetriche sarebbero comunque rappresentative solo di una certa area del reperto e, per comprendere la lavorazione degli oggetti in tutte le diverse parti, sarebbero necessari anche in questo caso più prelievi. A giudizio della scrivente, con un'adeguata sequenza operativa, come quella esposta in questo capitolo, i microcampionamenti sono un ottimo metodo per ottimizzare il rapporto: informazioni chimiche - morfologiche - tessiture ottenibili, rispetto al danneggiamento dei reperti. Questa inoltre è spesso l'unica procedura operativa che consenta di ottenere le necessarie autorizzazioni per le analisi. E' da segnalare anche che già Scott (1991) indica campioni dell'ordine di 1 mm^3 , come di sufficienti dimensioni per gli studi metallografici, suggerendo eventualmente 2 campionamenti in aree diverse del reperto. Naturalmente per reperti di minor rilevanza estetica, quali crogioli e scarti di lavorazione, il problema non sussiste ed è possibile operare su sezioni.

2.7 Diffrazione a raggi-X di polveri (XRPD)

L'analisi delle fasi mineralogiche presenti nei crogioli ed in alcuni scarti di natura non nota, provenienti dalle aree legate ad attività metallurgica del sito terramaricolo di Beneceto, sono stati indagati tramite diffrazione a raggi-X di polveri (XRPD, *X-ray Powder Diffraction*). Piccole quantità di campione, dopo opportuna macinazione in mortaio d'agata, sono state deposte con acetone su vetrini di quarzo, collocati poi nel portacampioni rotante del diffrattometro. Lo strumento utilizzato è un PANalytical X'Pert MRD, operante con geometria θ - 2θ , equipaggiato con tubo a raggi-X al rame ($\lambda = \text{CuK}\alpha$ 1.5418 Å), slitte divergenti programmabili e un detector RTMS X'Celerator. I diffrattogrammi sono stati registrati con 2θ da 0 a 70° , utilizzando 40 kV di tensione e 40 mA di corrente. Lo strumento utilizzato è in dotazione al Dipartimento di Mineralogia e Petrologia dell'Università degli Studi di Milano.

Per l'interpretazione dei diffratogrammi si è utilizzato il programma X'Pert HighScore Plus, versione 2.1b della PANalytical.

2.8 Spettrometria di emissione di raggi-X indotta da protoni (PIXE, *Particle Induced X-ray Emission*)

Le analisi PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) consentono la determinazioni degli elementi con numero atomico maggiore di 11 (Na) attraverso l'analisi dello spettro di energie prodotto dal bombardamento di protoni sul campione. I limiti di rilevabilità dei diversi elementi sono dell'ordine di pochi ppm. Queste caratteristiche rendono il PIXE una buona tecnica per la determinazioni degli elementi maggiori, minori e delle tracce, ampiamente usata anche nel settore archeometrico (se veda ad es. Mandò 1994, Neelmeijer et al. 1996). In particolare si rivela estremamente utile per ottenere l'analisi di *bulk* di campioni eterogenei, quali sono appunto i metalli protostorici. Proprio con questo fine, e soprattutto per poter avere un confronto incrociato con una diversa tecnica analitica dell'attendibilità dei dati SEM-EDS ed EPMA, sono state effettuate un numero limitato di analisi su 9 reperti provenienti da Chiusa Pesio, utilizzando la strumentazione presente al Centre de Recherche et de Restauration des Musee de France (Paris), acceleratore AGLAE. Non potendo disporre degli oggetti per il trasporto a Parigi, le analisi sono state condotte sugli stessi microcampioni utilizzati per le analisi SEM-EDS ed EPMA (prima di effettuare gli attacchi metallografici). Questo in realtà permette ancora meglio di verificare la validità dei risultati delle microanalisi, operando esattamente sullo stesso campione.

In tutti gli esperimenti di misura è stato utilizzato un filtro al Co per il detector delle alte energie, mentre per le basse energie si è usata una finestra di Pb. Le misure sono state ottenute sia operando su aree fisse, che effettuando scansioni su zone di grandezza scelta, in funzione delle dimensioni del campioni, con un'area di scansione massima di circa 250 x 250 μm .

2.8 Analisi isotopiche del Pb tramite spettroscopia di Massa (ICP-MS)

Da alcuni anni è in corso un progetto di ricerca (a cui partecipa anche la scrivente) volto alla caratterizzazione delle mineralizzazioni cuprifere dell'Italia settentrionale tramite analisi isotopiche (isotopi del Pb e del Cu) e degli elementi in traccia, al fine di creare un ampio database di riferimento per le analisi di provenienza dei reperti archeologici. Tale progetto coinvolge diversi gruppi di ricerca, in particolare è curato dal Prof. G. Artioli (Università di Padova) e per la parte di analisi in spettroscopia di Massa e di trattamento chemiometrico dei dati è svolto in collaborazione con il Prof. S. Recchia, la Dott.ssa B. Giussani ed il Dott. M. Marcelli del Dipartimento di Scienze Chimiche e Ambientali dell'Università dell'Insubria. Tale progetto ha dato validi risultati (Colpani et al. 2007, Giussani et al. 2007, Artioli et al. 2008) ed è tuttora in fase di espansione; la mole di analisi e di studi necessari per la creazione del database richiede infatti ampio supporto strumentali ed un lavoro altamente interdisciplinare.

Le analisi isotopiche discusse in questa tesi sono relative ad un ben selezionato set di reperti provenienti da Chiusa Pesio, lo studio è stato effettuato in collaborazione con la Dott.ssa I. Giunti che sta svolgendo, all'interno del progetto di ricerca sopra brevemente esposto, un Dottorato di Ricerca (relatore Prof. Artioli, Università di Padova) su "*Geochemical tracers in copper deposits and ancient artefacts: a database for provenance*". Nell'ambito del progetto di studi dei reperti di Chiusa Pesio era prevista anche una campagna di indagine sulle mineralizzazioni cuprifere delle aree vicine al ritrovamento: la dott.ssa Giunti si è occupata di questa parte del lavoro e delle misure ICP-MS.

Lo strumento utilizzato per l'analisi di massa dei rapporti isotopici del Pb è uno spettrometro MC-ICP-MS Nu Plasma HR della Nu Instruments, dotato di 12 gabbie di Faraday come detectors e zoom ottico, utilizzato presso il laboratorio isotopico dell'Institut für Geologie, Universität Bern. La tecnologia mediante zoom ottico a dispersione variabile permette di governare agevolmente le condizioni strumentali modificando un unico parametro meccanico e mantenendo fissi i rivelatori; ciò semplifica notevolmente la complessità del banco di rivelatori e diminuisce le possibilità di errori strumentali. La

calibrazione è stata effettuata sullo standard NIST SRM 981 ($^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.05904 \pm 0.00004$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91464 \pm 0.00033$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.16810 \pm 0.00080$).

2.9 Analisi d'immagini 2D computerizzata (DIP)

L'analisi d'immagine computerizzata (DIP, Digital Image Processing) è una tecnica da tempo ampiamente utilizzata nei più svariati settori di ricerca e di notevole interesse per gli studi archeometrici. Di recente è stata applicata, anche dalla scrivente, nello studio dei materiali vetrosi dimostrandosi estremamente utile per la loro caratterizzazione e soprattutto per una oggettiva classificazione (Polla et al 2006, Artioli e Angelini c.d.s.). Nella presente tesi l'analisi DIP è stata utilizzata su immagini SEM ottenute da elettroni retrodiffusi per la quantificazione delle diverse fasi metalliche presenti nei campioni a natura eterogenea (ad esempio quando si ha fase α del bronzo con evidenti zonature chimiche, o presenza di fase δ).

Le analisi DIP presentate in questa tesi sono state effettuate tramite il programma Image-Pro Plus, versione 4.5, della Media Cybernetics Inc. Dopo la prima fase di acquisizione d'immagini al SEM, viene effettuata su ogni singola immagine una calibrazione spaziale, al fine di avere una corrispondenza esatta $\mu\text{m} - \text{pixel}$. Le immagini possono poi subire varie elaborazioni, attraverso l'utilizzo di filtri, operatori logici e matematici che permettono una discriminazione più dettagliata dei singoli oggetti all'interno delle immagini, al fine di ottimizzare la differenziazione grafica delle fasi che si vogliono quantificare. Si effettua poi la segmentazione, processo in cui i diversi colori, in questo caso scale di grigi, presenti nell'immagine vengono identificati visivamente ed isolati dal resto dell'immagine, identificando così delle specifiche aree, o classi. A secondo degli obiettivi del lavoro si scelgono quindi i parametri da calcolare; in specifico le aree di ciascuna classe che, rapportate all'area totale dell'immagine, permettono di calcolare la percentuale di ciascuna fase chimica presente nel campione.

CAPITOLO 3

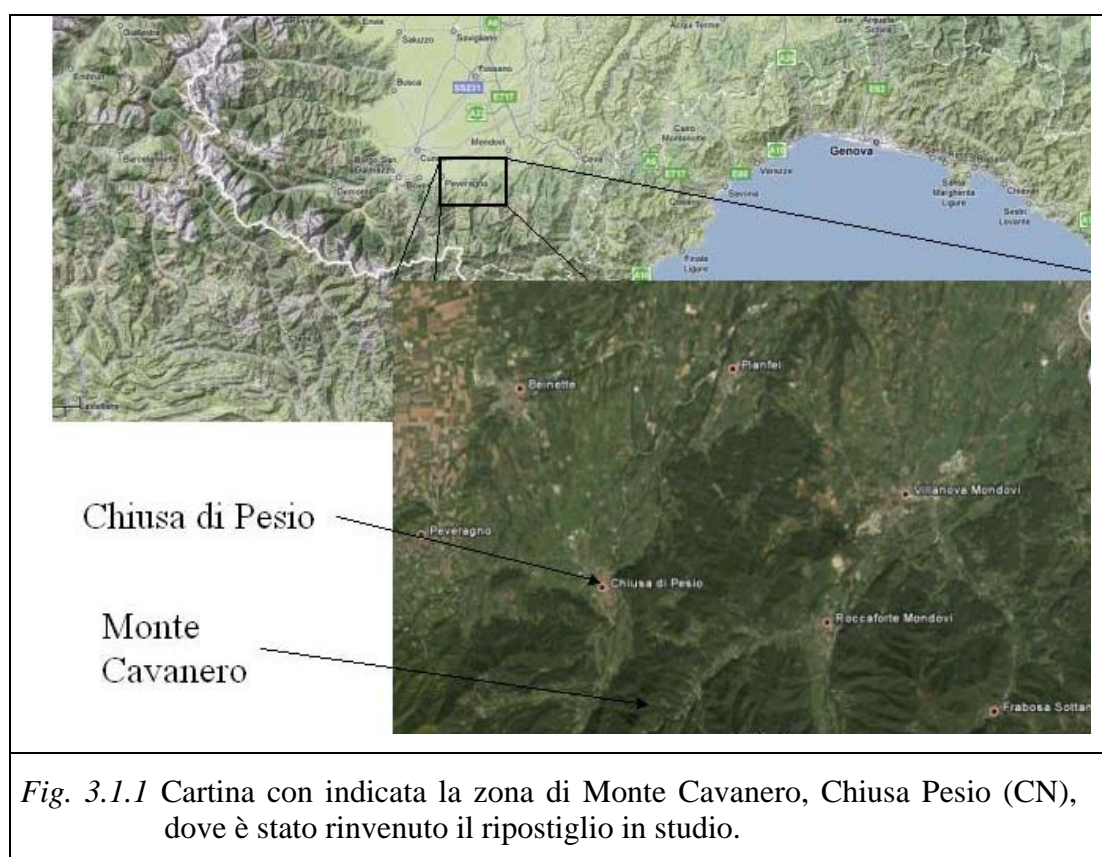
STUDIO ARCHEOMETRICO DEL RIPOSTIGLIO DI FINE ETÀ DEL BRONZO DA CHIUSA PESIO (CN)

3.1 Introduzione e problematiche archeologiche

Il fenomeno della comparsa dei ripostigli, ovvero raggruppamenti di manufatti metallici, si ha in Italia Settentrionale durante il Bronzo Antico (2000-1600 a.C.) e nel corso di questa fase diventano particolarmente diffusi, per poi diminuire e diventare sempre più rari nel Bronzo Medio (1600-1300 a.C.) e nel Bronzo Tardo (1300-1200 a.C.; de Marinis 1982). Essi sono costituiti da reperti ad uguale funzionalità (ad. esempio tutte asce), o da oggetti differenti (ornamenti, pugnali, asce, etc.) e, a volte, anche da frammenti di oggetti, parti di pani di metallo, scorie, etc. I ripostigli sono interpretati in modo differente a secondo degli oggetti che li compongono e del luogo in cui sono stati ritrovati. Alcuni possono essere depositi votivi (in tal caso il luogo di ritrovamento è un elemento particolarmente significativo: ad esempio presso fiumi, sorgenti, alture isolate, etc.), oppure possono essere stati seppelliti per paura di furti, per l'impossibilità momentanea di trasportarli, possono costituire dei tesoretti con valore quasi pre-monetale o semplici depositi di artigiani ambulanti. Nella maggior parte dei casi, l'uniformità di caratteristiche formali, tecniche e composizionali dei rinvenimenti fa ipotizzare, già del Bronzo Antico, l'esistenza di artigiani specializzati dediti esclusivamente all'attività metallurgica che si spostavano di villaggio in villaggio per svolgere la loro attività (de Marinis 1982).

Le problematiche archeologiche che pone lo studio dei reperti metallici di un ripostiglio sono molteplici e simili nei diversi periodi, anche se ovviamente diverse sono la composizione degli oggetti, le tecniche di lavorazione e le conoscenze tecnologiche utilizzate. I reperti in studio in questa tesi provengono da un recente rinvenimento di un ricco ripostiglio composto da più di 300 manufatti metallici e da vaghi in ambra ed in

vetro, avvenuto sulle pendici orientali del Monte Cavanero di Chiusa Pesio, provincia di Cuneo (Fig. 3.1.1). Fra i reperti metallici vi sono: numerosi pendenti di varie forme, armille, spiraline, borchie, anelli, spilloni, una tazza laminata, bottoni, frammenti di una lama di spada, uno scalpello, un maglio, una lesina, un possibile frammento di lingotto ed una scoria metallica. La maggior parte degli oggetti è inquadrabile al X-IX secolo a.C., solo pochi sono riferibili a fasi più antiche e possono essere interpretati come materiali raccolti per eventuale riciclo del metallo (Venturino Gambari 2006). V'è osservata la presenza nel deposito di oggetti a diversa funzionalità infatti, seppure la maggior parte dei reperti è costituita da ornamenti di varia foggia, troviamo anche alcuni attrezzi utilizzati nella lavorazione del metallo (quali il maglio, lo scalpello e la lesina) e alcuni materiali correlabili alle fasi di produzione (lingotto e scoria). Ciò è di particolare interesse per l'interpretazione archeologica del ritrovamento e si rivela estremamente utile per comprendere, a seguito di appropriate indagini archeometriche, il livello di conoscenza tecnologica e metallurgica raggiunto.



E' probabile che il ripostiglio costituisse il deposito di un fonditore ambulante o il tesoretto della comunità che dal Bronzo finale era insediata sul Monte Cavanero. (Venturino Gambari 2006).

L'esistenza di un insediamento è supportata dalla presenza sull'altura del Monte Cavanero di una necropoli ad incinerazione, nota fin dal XIX secolo, e databile al IX-X secolo a.C., e probabilmente ancora attiva nella prima età del Ferro. Le urne cinerarie biconiche rinvenute rimandano tipologicamente all'area transalpina, con confronti a tipologie di Lausanne-Vidy e alla Svizzera occidentale. L'abito associato alla necropoli, che probabilmente giaceva in posizione elevata a controllo della pianura sottostante, è stato indiziato dal rinvenimento di materiali ceramici in giacitura secondaria, ma ad oggi non è nota la sua esatta collocazione. Tipologicamente i reperti ceramici sono riferibili alla fine età del Bronzo e alla prima età del Ferro, testimoniando la frequenza continuata dell'insediamento per alcuni secoli (Venturino Gambari 2006).

Il rinvenimento del ripostiglio di Chiusa Pesio ha rilevanza particolare sia per la quantità dei reperti, sia per aspetti tipologici e cronologico-culturali, infatti i molti elementi metallici di *parure* ritrovati non presentano confronti in Piemonte al di fuori dell'area di Pinerolo, mentre si hanno confronti puntuali con i ripostigli delle Hautes Alps databili al Bronzo Finale IIIB Francese, corrispondente alla metà circa del IX secolo a.C. (Venturino Gambari 2006). In base a prime osservazioni Venturino Gambari (2006) suggerisce che la tipologia di alcuni spilloni e di una tazza laminata rinvenuti in questo deposito possono far pensare anche a contatti con le prime fasi dei centri Villanoviani dell'Emilia, area da cui potrebbero provenire anche le ambre ed i vetri dello stesso contesto.

Data la rilevanza del ritrovamento qui descritto il Comune di Chiusa Pesio e la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Piemonte hanno supportato un progetto di ricerca molto ampio che comprende lo studio archeologico, funzionale ed archeometrico di tutto il contesto. All'interno di questo progetto mi sono occupata della caratterizzazione analitica delle ambre (Angelini c.d.s. 1), dei vetri (Angelini c.d.s. 2) e soprattutto dello studio archeometallurgico sviluppato in questa tesi e che sarà oggetto di una prossima pubblicazione (Angelini et al. c.d.s.).

I materiali presentati in questa tesi sono inediti; le informazioni qui riportate relative a tipologia, età e caratterizzazione archeologica mi sono state gentilmente fornite dalla Dott.ssa M. Venturino Gambari e dal Dott. F. Rubat Borel che, all'interno del progetto di studi della Soprintendenza, si sono occupati di tutto lo studio dei materiali, anch'esso di prossima pubblicazione (Venturino Gambari e Rubat Borel c.d.s.) e cui si rimanda per approfondimenti sulla trattazione archeologica.

Le problematiche presentate dallo studio dei reperti del ripostiglio di Chiusa Pesio alla cui investigazione sono rivolte le indagini archeometriche qui riportate, sono molteplici e in parte già evidenti precedente presentazione del contesto di ritrovamento. In particolare si vuole:

- caratterizzare da un punto di vista chimico tutti i reperti più significativi e le principali classi di oggetti ritrovati;
- determinare i processi di produzione e le lavorazioni utilizzate nei diversi casi;
- avere indicazioni sulle mineralizzazioni utilizzate nella produzione del metallo;
- identificare la provenienza del metallo.

Da un punto di vista analitico inoltre, data l'opportunità di effettuare studi approfonditi su un ampio numero di reperti che, a causa di problematiche specifiche, ha richiesto l'utilizzo di diverse tecniche di analisi, si sono volute confrontare le prestazioni dei diversi metodi di indagine su casi reali di analisi archeometriche: ovvero su reperti archeologici a differente composizione, morfologia, tessitura e stato di conservazione.

3.2 Reperti in studio e campionature

Operando come descritto nel Capitolo 2, tutti i reperti analizzati con XRF e/o campionati, sono stati fotografati, catalogati e sottoposti ad una serie di misurazioni (dimensioni e peso) che vengono riassunte, insieme alla datazione, alla tipologia e al numero d'inventario della soprintendenza Archeologica del Piemonte, in Tabella 3.8.1 che si ritrova in Appendice a questo capitolo. Nel corso della trattazione analitica si farà riferimento per identificare i reperti alla sigla utilizzata nelle analisi, anch'essa esplicitata in Tabella 3.8.1. Inoltre in tale tabella sono esplicitati, in una colonna apposita, i punti di

campionamento, dato molto importante per gli studi metallografici; nei casi più significativi il punto di prelievo verrà riportato anche nel corso della trattazione, ma per brevità si rimanda negli altri casi alla tabella.

Si riporta qui di seguito una breve descrizione delle classi funzionali dei reperti analizzati (non di tutti i materiali rinvenuti nel ripostiglio, la cui trattazione e descrizione esula dagli scopi di questo lavoro) e della loro varietà tipologica. I dati archeologici riportati sono fondamentali anche per lo studio analitico e soprattutto per l'interpretazione dei dati; uno studio archeologico approfondito ed effettuato dalla Soprintendenza Archeologica del Piemonte sarà riportato in una prossima pubblicazione (Venturino Gambari e Rubat Borel c.d.s.).

Torques

Nel ripostiglio sono presenti numerosi *torques* in verga di metallo, a capi aperti ed arrotolati. Vi sono due diverse tipologie: in uno la verga è liscia e decorata con varie incisioni (CP 1, Fig. 3.2.1), e nell'altra nella parte centrale del *torquis* la verga è ritorta su se stessa (CP 4, Fig. 3.2.1). Del primo tipo purtroppo vi è un solo esemplare e, dato che si presentava in ottimo stato di conservazione ed integro, si è scelto di non effettuare il campionamento e si dispone solo delle analisi XRF superficiali. Della seconda tipologia 4 reperti sono stati sottoposti ad analisi XRF e 2 sono stati campionati. Sono cronologicamente riferibili all'età del ripostiglio: X-IX secolo a.C.

Spilloni

Vi sono 4 spilloni a diversa tipologia ed integri, uno solo è frammentato, ma si conservano entrambe le parti. L'interesse per questa classe di reperti è alto, soprattutto perchè, come rilevato dagli studi archeologici, appartengono tutti a 4 differenti tipologie databili a diverse fasi dal XIV al IX sec. a.C. (Tab. 3.8.1 e Fig. 3.2.1). Purtroppo sono sempre presenti patine di alterazione di malachite che ricoprono tutto l'ago rendendolo piuttosto fragile, mentre le capocchie, ben conservate ed aventi in superficie solamente leggeri strati di ossido, sono particolarmente significative da un punto di vista archeologico; per questi motivi non sono stati possibili dei campionamenti di questi reperti e si hanno solamente dati XRF.

Pendenti lanceolati

Pendenti lanceolati singoli, legati ad anelli o a catene, o collegati ad altri elementi, sono presenti in alto numero nel ripostiglio. Vi sono diverse tipologie e varianti in funzione della forma della lama (costolata al centro, piatta, etc), del tipo di gambo (forma anello, lunghezza, etc.) e decorazioni (ad esempio protuberanze sul gambo di CP 45). Alcuni esempi scelti fra i materiali analizzati sono ripostati in Fig. 3.2.1. Sei reperti sono stati analizzati con XRF e 2 di questi sono anche stati campionati, inoltre il campionamento ha riguardato altri 4 pendenti, per un totale di 10 oggetti analizzati (Tab. 3.8.1). Tipologicamente i pendenti lanceolati sono tutti riferibili al X- inizi IX sec. a.C.

Armille

Le armille rinvenute nel ripostiglio sono di 2 tipologie: armille a nastro con capi aperti, battuti e ripiegati, con lamina decorata con 10 costolature orizzontali; e armille a capi aperti e ingrossati, sezione triangolare, con superficie decorata, tipo Zerba (Fig.3.2.1 e Tab. 3.8.1). Della prima tipologia, databile alla fine XI-X sec. a. C., ve ne sono vari esemplari (di cui 4 analizzati da noi), mentre della armille tipo Zerba, a tipologia leggermente più recente: X sec. a.C., vi sono solo 2 reperti (entrambi analizzati).

Le problematiche sollevate da questa classe di oggetti e che si vogliono indagare con le analisi sono: il confronto compositivo fra le 2 classi e le tecniche di lavorazione, particolarmente per quel che riguarda le armille con costolature orizzontali.

Pendenti con sostegno a raggiera

Una particolare classe di pendenti presenti nel ripostiglio, sono quelli con sostegno a raggiera, composti da un anello a cui sono legati 4 raggi, collegati fra loro con vari disegni, e che terminano con altri anelli. Agli anelli presenti nella parte bassa del pendaglio sono a volte legate catene di anelli circolari collegati fra loro da anellini ellissoidali in lamina, alcuni visibili in Fig. 3.2.1. Fra i reperti analizzati vi sono 2 principali varianti tipologiche (Fig. 3.2.1 e Tab. 3.8.1) e sono databili alla seconda metà del X-inizi del IX sec.a.C. In alcuni casi i reperti presentano sui lati e nelle parti interne delle bave di colatura che non sono state eliminate, dovute alla fuoriuscita del metallo fuso durante la colatura in stampo per la fabbricazione degli oggetti; questo fa pensare che questa classe di reperti non abbia subito molte lavorazioni dopo questa operazione. Sono stati analizzati 3 reperti di questa

classe di oggetti (uno con XRF, uno è stato campionato per le microanalisi, ed uno è stato studiato con entrambi i metodi).

Bottoni

Sono presenti nel ripostiglio vari bottoni a calotta sferica, riferibili al XI-IX sec. a.C (Fig. 3.2.1). Di questi ne sono stati analizzati 2 con XRF ed uno di essi, che presentava una calotta già parzialmente lacunosa e corrosa, è stato anche campionato per le minore-analisi.

Placchette in lamina decorate a sbalzo

Fra gli ornamenti sono state rinvenute anche diverse placchette in lamina molto sottile, decorate a sbalzo. Sono molto fragili e ricoperte da patine di alterazione; alcune hanno un'estremità ripiegata e forata (Fig. 3.2.2). Tre sono state analizzate con XRF ed una sola, che presentava un'estremità già molto danneggiata, è stata campionata. Sono reperti riferibili al X-IX sec. a.C.

Anellini circolari con sezione circolare

Numerosi anellini circolari e frammenti di anellini, per un totale di diverse decine di reperti, sono stati rinvenuti singolarmente, o collegati fra loro in catene. Molti di questi presentano delle decorazioni a tacche sulla parte esterna; sono tutti genericamente riferibili all'età del ripostiglio: seconda metà X-inizi del IX sec. a.C. Per le analisi sono stati sacrificati 3 frammenti (uno in Fig. 3.2.2) e si sono potute effettuare delle sezioni sia trasversali che longitudinali. Oltre alla composizione del metallo, un particolare interrogativo è posto dalla tecnica di fabbricazione, dato che poco è noto per la lavorazione di fili metallici ed anelli nell'età del Bronzo.

Spiraline

Qualche decina di spiraline, di varia lunghezza, a sezione genericamente ellittica, sono state rinvenute nel deposito in esame. I reperti sono genericamente riferibili al X-IX sec. a.C (Fig. 3.2.2 e Tab. 3.8.1). Da 5 spiraline è stata tagliata una piccola sezione da un'estremità per le microanalisi (e 4 di queste sono state analizzate anche con XRF), mentre altre 3 sono state analizzate solo tramite XRF.

Anellini in lamina

Piccoli anellini formati da una laminetta avvolta su se stessa sono presenti in vario numero nel ripostiglio, spesso sono elementi che collegano anelli circolari fra loro o pendagli ed anelli (ad esempio si vedono in Fig. 3.2.1 collegati a pendenti con sostegno a raggiera). Sono molto sottili e spesso risultano alterati, uno solo di questi ha dato un campione valido per le analisi.

Laminette tubolari

Sono state rinvenute più di una cinquantina di piccole laminette tubolari, avvolte su se stesse. Sono estremamente sottili, spesso con patine superficiali e a volte il metallo è molto deteriorato. Dei tre campioni presi per le analisi (uno riportato in Fig. 3.2.2) solo due hanno restituito metallo “sano”. Sono genericamente riferibili al X-IX sec. a.C (Tab. 3.8.1).

Pendenti circolari

La classe di oggetti di grosse dimensioni più numerosa nel ripostiglio sono i pendenti circolari, recanti diversi motivi decorativi al loro interno. Sono reperti ben noti in archeologia in quanto diffusi in tutta Europa, quelli di questo ripostiglio sono databili al X-IX sec. a.C. Per facilitare la trattazione e l'esposizione dei numerosi dati, si possono separare in 2 grandi gruppi in base alle dimensioni: pendagli circolari piccoli (diametro intorno ai 2 cm) e pendagli circolari grandi (con diametro fra i 4 e i 5 cm). In base alle dimensioni, al disegno decorativo, e ad altri caratteri di forma sono stati raggruppati fra loro in piccoli sottogruppi (in numero da 1 a 7 elementi), si veda Tab. 3.8.1. Su questa classe di reperti è stata effettuata una campagna di analisi XRF estesa a quasi tutti gli oggetti, mentre per il campionamento è stato prelevato materiale da 1-3 reperti per ogni sottogruppo. In Fig. 3.2.3 si riportano le immagini di un reperto esemplificativo di ciascun sottogruppo indagato, scelto fra quelli analizzati.

Già dalle immagini di Fig. 3.2.3 è evidente la presenza di numerosi difetti di fusione, infatti in molti reperti il motivo decorativo non è completo e alcune braccia delle croci sono lacunose, non per frattura ma, come ben visibile dalle estremità arrotondate, perché lo stampo non è stato pienamente riempito dal metallo fuso durante la fabbricazione degli oggetti. Le indagini archeometriche, oltre alla caratterizzazione della lega, vogliono

verificare anche se esiste un'eventuale correlazione fra la presenza dei difetti ed il tipo di metallo o lega utilizzato.

Oggetti singoli a varia funzionalità

Si riportano brevemente le caratteristiche, i tipi di analisi e le principali problematiche che si vogliono indagare per alcuni oggetti particolarmente significativi (riportati in Fig. 3.2.2):

- *gancio di cintura* (CP 13) in lamina, con forma foliata, e con decorazione ad incisione. Datata alla fine IX-VIII sec. a.C.. Campionato dall'estremità già fratturata.
- *capocchia di spillone* (CP 47) a rotella, decorata con 4 motivi ad M che si appoggiano sulla ghiera esterna. Datata al XII-XI sec. a.C.. Presenta delle bave fra i motivi della decorazione e una di queste è stata presa per il campionamento.
- *punteruolo* (CP 159) a sezione quadrata, con entrambe le estremità appuntite. Questo era probabilmente uno degli attrezzi utilizzato dal metallurgo nelle attività lavorative; è datato al X-IX sec. a.C. Data l'integrità del reperto, con punte ben conservate, non è stato possibile effettuare campionamenti e sono state fatte solo analisi XRF.
- *martello* (CP 160) con corpo e sezione rettangolari, e foro per l'immanicatura rettangolare. Dalla presenza di bave laterali e di bolle dovute alla fusione nella parte dove si innesta l'immanicatura, si deduce che fosse ottenuto per stampo in matrice bivalve, posta verticalmente. Datato, come tutti gli oggetti collegati alla lavorazione del metallo di questo ripostiglio, alla fine IX sec. a.C. Una delle maggiori domande su questo reperto è la compatibilità della lega con la sua presunta funzione, data anche la presenza di una grossa frattura antica superficiale (Fig. 3.2.2).
- *lingotto* (CP 161) frammento a sezione quadrangolare con un lato liscio ottenuto da un taglio, ed uno a cuneo. Datato alla fine IX sec. a.C. Campionato dall'estremità tagliata; lo scopo dell'analisi è anche verificare la funzionalità dell'oggetto poiché, dato lo strato frammentario, l'interpretazione come lingotto è da verificare.
- *scoria* (CP 162) di fusione di forma irregolare, collegata alle fasi di produzione.

- *scalpello lanceolato* (CP 165) a margini convessi, con punta a sezione rettangolare e manico a sezione circolare su cui sono presenti delle sfaccettature, probabilmente dovute a martellatura. Datato alla fine IX sec. a.C., campionato sul manico.
- *punta di spada* (CP 166 e 167) spezzata in 2 frammenti. La sezione è a losanga ed è presente un gradino sul taglio. Datata al X-prima metà del IX sec. a.C. Scopo delle analisi è anche lo studio della lavorazione dell'arma.
- *borchietta* (CP 168) a capocchia emisferica, datata al X-IX sec. a.C.
- *pendente a goccia* (CP 169) in lamina, con perforazione centrale e linguetta arrotolata ad una estremità. È il reperto più antico del ripostiglio, databile al XVI-XIV sec. a.C., per questo l'analisi della composizione della lega è di particolare interesse.
- *tazza* (CP 175) in lamina, con ansa verticale sopraelevata, tipo Chiusa Pesio. L'ansa è fissata al corpo con 4 ribattini. Il reperto è databile alla fine IX-inizi VIII sec. a.C. Data la particolarità della tipologia è di interesse: l'indagine della composizione; l'individuare se l'ansa ed il corpo sono coeve o se si possa trattare di un'aggiunta successiva, e la provenienza del metallo.


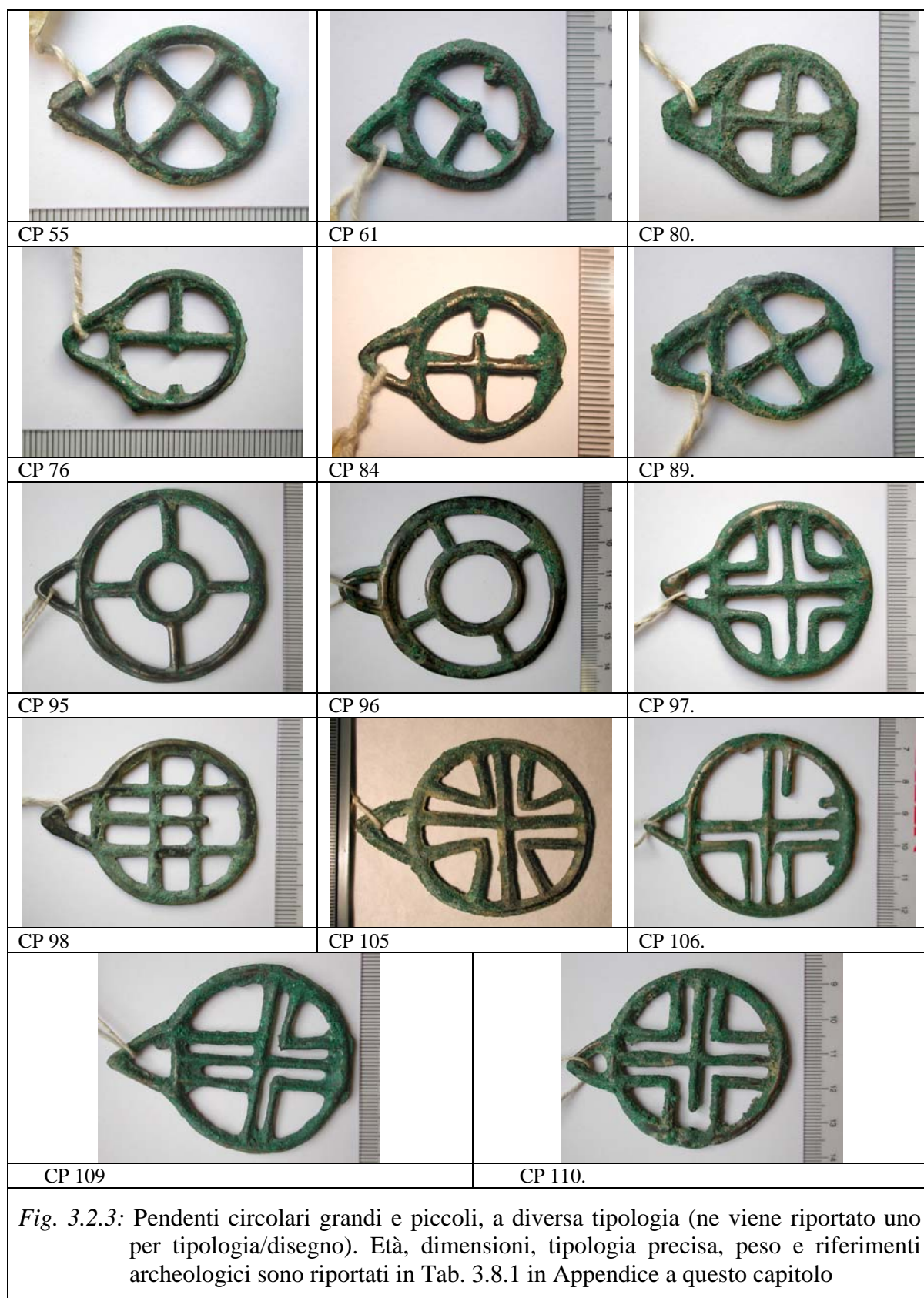
		
CP 1- Torquis con decorazione incisa	CP 4- Torquis in verga ritorta	CP 10- Spillone con capocchia composita tipo Chiusa Pesio
		
CP 11- Spillone con capocchia biconica	CP 12- Spillone con capocchia troncoconica e collo ingrossato	CP 48- Spillone frammentario con capocchia troncoconica
		
CP 34- Pendente lanceolato, lama con costolature mediana	CP 41- Pendente lanceolato	CP 45- Pendente lanceolato, con 3 ingrossamento per lato sul gambo
		
CP 46- Pendente lanceolato con catena a 3 anelli	CP 53- Armilla a nastro con costolature	CP 163- Armilla tipo Zerba
		
CP 91- Pendaglio con sostegno a raggiera Tipo Réllon	CP93- Pendaglio con sostegno a raggiera (ibrido Réllon-Säckingen)	CP 116- Bottone a calotta

Fig. 3.2.1: Reperti da Chiusa Pesio, ognuno appartenente ad una diversa classe tipologica o funzionale. Età, tipologia precisa, dimensioni, peso e riferimenti archeologici sono riportati in Tab. 3.8.1 in Appendice a questo capitolo.

		
CP 153- Placchette in lamina con decorazione a sbalzo (retro forato)	CP 170/2- Laminette tubolare avvolta su se stessa	CP 13- Gancio di cintura in lamina, decorato ad incisioni.
		
CP 47- Capocchia di spillone a rotella	CP 159- Punteruolo a sezione quadrata	CP 160- Martello
		
CP 161- Lingotto (diversamente interpretato dopo le analisi)	CP 162- Piccola scoria	CP 165- Scalpello lanceolato
		
CP 166 e 167- Punta di spada in 2 frammenti	CP 168- Borchiette con capocchia emisferica	CP 169- Pendente in lamina a goccia
		
CP 170/1- Frammento di anellino circolare a sezione circolare	CP 121- Spiralina	CP 175- Tazza in lamina ad ansa verticale sopraelevata (tipo Chiusa P.)
<p><i>Fig. 3.2.2: Reperti da Chiusa Pesio, ognuno appartenente ad una diversa classe tipologica o funzionale. Età, tipologia precisa, dimensioni, peso e riferimenti archeologici sono riportati in Tab. 3.8.1 in Appendice a questo capitolo.</i></p>		



3.3 Dati chimici e tessiturali, presentati e discussi per classi tipologiche dei reperti.

I dati chimici di cui si discute in questo paragrafo sono riassunti nelle relative tabelle in Appendice a fine del capitolo. Le analisi XRF (Tab. 3.8.2) sono riportate sia in modo classico con chiusura normalizzata a 100, che con dati relativi ad analisi non normalizzate (si veda Cap. 2); lo stesso dicasi per le analisi SEM-EDS areali (Tab. 3.8.3), che sono utilizzate per avere la composizione media degli elementi maggiori. In Tab. 3.8.3 sono riassunte in modo schematico anche le osservazioni sulla natura delle inclusioni analizzate all'interno della fase metallica principale di ogni campione.

Le analisi chimiche dettagliate, con quantitativa degli elementi in traccia, sono riportate nella Tab. 3.8.3 che riassume i dati EPMA. Si ricorda, come espresso in modo più dettagliato nel Cap. 2, che i dati EPMA sono ottenuti come media di 5-7 punti analisi misurati per ciascuna delle fasi presenti nel campione.

Inoltre, a tutti i campioni eterogenei che presentavano zonature chimiche molto evidenziate, è stata applicata alle immagini SEM più opportune l'analisi d'immagine computerizzata (DIP) per calcolare la percentuale di ciascuna delle fasi. Questo è stato fatto sia per campioni a relativamente basso tenore di stagno, in cui sostanzialmente la zonatura può essere associata a fasi α a diverso contenuto di alligante, sia per i campioni ad alto tenore di Sn, dove l'eterogeneità è dovuta a strutture dendritiche con zonature chimiche (sempre fasi α a differenti contenuti di Sn), ed anche a fase δ , o eutettoide $\alpha+\delta$. La quantificazione delle percentuali delle diverse fasi con DIP è riportata in Tab. 3.8.6 in Appendice.

Combinando i dati dell'analisi d'immagine con quelli EPMA è possibile calcolare una composizione media dei campioni, che tiene conto della natura eterogenea di queste leghe, restituendo dei valori che si avvicinano molto alla reale composizione "di *bulk*" dei reperti. Questo aspetto verrà ripreso e discusso più a fondo nel paragrafo 3.6, in cui si confronteranno i risultati ottenuti con le diverse tecniche analitiche. Qui si fa presente che i dati di composizione media così ottenuti sono riportati in Tab. 3.8.7, e ad essi si farà riferimento anche nella seguente presentazione dei risultati, quando ci si riferisce alla composizione media di campioni eterogenei.

Dato l'alto numero di reperti analizzati, la loro varietà tipologica e le differenti tecniche analitiche usate, è sembrato molto più chiaro presentare tutti i dati ottenuti (chimici, morfologici, tessiturali) raggruppati per classi funzionali di reperti, piuttosto che per tecnica analitica (ovvero separando i dati delle analisi superficiali XRF, da quelli EPMA, dalle metallografie, etc). Questo anche perché le maggiori similitudini composizionali e di tecniche di fabbricazione, sono attese per oggetti appartenenti alla stessa classe funzionale (e spesso qui anche allo stesso periodo).

Inoltre, nella trattazione non si riporteranno più, per brevità e per rendere più scorrevole il testo, i riferimenti alle tabelle in cui sono riportati i dati, dando per scontate le informazioni esposte qui sopra e nel Cap.2.

3.3.1 Torques

Indagini chimiche

Le analisi XRF sui torques ritorti hanno individuato il metallo costituito da bronzo con livelli di Sn variabili nei diversi oggetti da 5 a 11% in peso, oltre a tracce di Ni, As, Fe, Bi e quantità leggermente più elevate di Pb.

Due torques di questa tipologia sono stati microcampionati per le analisi; in un caso il metallo risulta costituito da bronzo con fase α omogenea avente circa 6.7% di Sn (campione CP 6, Fig. 3.3.1-a) e nell'altro da un bronzo a composizione leggermente eterogenea. Il campione CP 9 ha infatti una fase α più ricca di Sn (6.5%) che costituisce circa il 30% del metallo, e di una fase α più povera in Sn (5.7%) che compone il 70 % del metallo (campione CP 9, Fig. 3.3.1-b). In entrambi i campioni i dati EPMA evidenziano nella fase α solamente tracce minime di As e Fe. Sono inoltre presenti in entrambi i reperti segregazioni di Pb e, a volte, di Pb-Bi, in quantità scarsa: 0.15-0.19% dall'analisi DIP.

In entrambi i campioni si osservano inclusioni di solfuri di Cu e di Cu-Fe (grigio scuro-neri nelle immagini SEM e nella fotografia OM a Nicol incrociati, e grigio-azzurri nelle immagini OM di Fig. 3.3.1). Dalle osservazioni OM i solfuri hanno colorazione simile alla calcocite (Cu_2S); rapporti stechiometrici vicini alla serie calcocite - digenite sono stati registrati anche dalle analisi SEM-EDS ed EPMA. Alcuni solfuri contengono inoltre quantità variabile di Fe da 0.5 a 5% in peso. La forma dei solfuri è in genere piuttosto irregolare,

ma in varie aree si presentano leggermente allungati ed orientati per gli effetti della lavorazione (Scott 1991).

I campioni CP 6 e 9 sono stati analizzati anche tramite PIXE (Tab 3.8.5 in Appendice) e si osserva un ottimo accordo con i dati ottenuti dalle microanalisi. Il PIXE rivela inoltre tracce di Pb e S, non viste o raramente osservate in alcuni punti nelle analisi EDS ed EPMA. Queste sono correlabili alle inclusioni di solfuri e alle segregazioni metalliche analizzate anche con le microanalisi, ma non riportate nella media ottenuta pesando i dati delle composizioni medie con quelli dell'analisi d'immagine, per i motivi che verranno discussi nel paragrafo 3.3.5.

I dati XRF sono relativi a reperti diversi da quelli analizzati con PIXE ed EPMA e quindi non possono essere direttamente correlati, tuttavia sembra evidente che mediamente si sono registrati livelli più elevati sia di Sn che degli elementi in traccia.

L'analisi del torquis liscio e decorato, per i motivi esposti nel paragrafo precedente, è stato analizzato solo tramite XRF. I dati mostrano alte quantità di Sn (circa 22%) poco realistiche per questo tipo di oggetto, soprattutto se confrontate con le analisi dei *torques* in verga ritorta. Più che ad una differenziazione composizionale attribuibile alla diversa tipologia archeologica dei reperti che faccia pensare a diverse provenienze, è probabile che lo Sn risulti arricchito negli strati superficiali per i fenomeni di alterazione che, come noto, sono causa dell'arricchimento e del depleto di vari elementi in aree del reperto a diversa profondità dalla superficie (Tylecot 1985, Robiola et al. 1998, Wadsak et al 2000, Scott 2002). In questo caso sembra plausibile scartare l'arricchimento di Sn dovuto al fenomeno della segregazione inversa (Hanson e Pell-Walwlpole 1951, Tylecote 1985) per il contenuto non troppo elevato di Sn che, anche per confronto con i *torques* ritorti, ci si aspetta nel reperto.

Analisi metallografiche

Il campione CP 6 è piuttosto esteso e permette una sezione metallografica che ricopre buona parte della verga costituente il torquis (Fig. 3.3.1-c). Da questa sezione non si osservano variazioni strutturali significative fra la parte esterna e quella più interna del campione. I grani sono sempre piuttosto grandi, ed è evidente una diffusa corrosione

intragranulare (Fig. 3.3.1-c e 1-d). Per entrambi i reperti si osservano larghi grani regolari, con presenza di molte bande di geminazione (particolare ingrandito in Fig. 3.3.1-f). Vi sono inoltre uno scarso numero di linee di scorrimento in CP 6 (Fig. 3.3.1-d) che risultano invece più abbondanti in CP 9, come evidenziato dall'immagine a Nicol incrociati di Fig. 3.3.1-e. In vari punti di entrambi i campioni si osserva la sovrapposizione di alcune bande di geminazione a linee di scorrimento, questo indica che l'ultima fase della lavorazione è stata un riscaldamento leggero per CP 9, e più spinto per CP 6.

Considerazioni conclusive

I torques a verga ritorta presentano composizione abbastanza uniforme con livelli piuttosto bassi di Sn (5-6.7 %) ed un metallo povero di impurezze; con scarsa presenza di solfuri di Cu-Fe. Tenore di Sn così basso è adeguato per l'oggetto in quanto facilita la lavorazione, essendo il metallo più malleabile e "tortile". Le analisi XRF sembrano indicare una differenziazione del tenore di stagno (misurato al 22%) per l'altra variante tipologica. Al momento però, seppure non si possa escludere a priori una differente composizione per le diverse tipologie, questo sembra più imputabile a problemi di corrosione superficiale che inficiano i risultati di questo tipo di analisi.

La lavorazione degli oggetti ha comportato cicli di battitura e di ricottura, come evidenziato dalle tessiture, e l'ultima fase è stata un riscaldamento più o meno leggero. Questo ben concorda con la tipologia dell'oggetto, che richiede la preparazione di una barra di bronzo (in genere ottenuta per battitura) a diametro piuttosto piccolo e la sua successiva torsione. Un medio-basso tenore di Sn, quale quello riscontrato nei reperti, per questo tipo di lavorazione è quindi particolarmente adeguato.

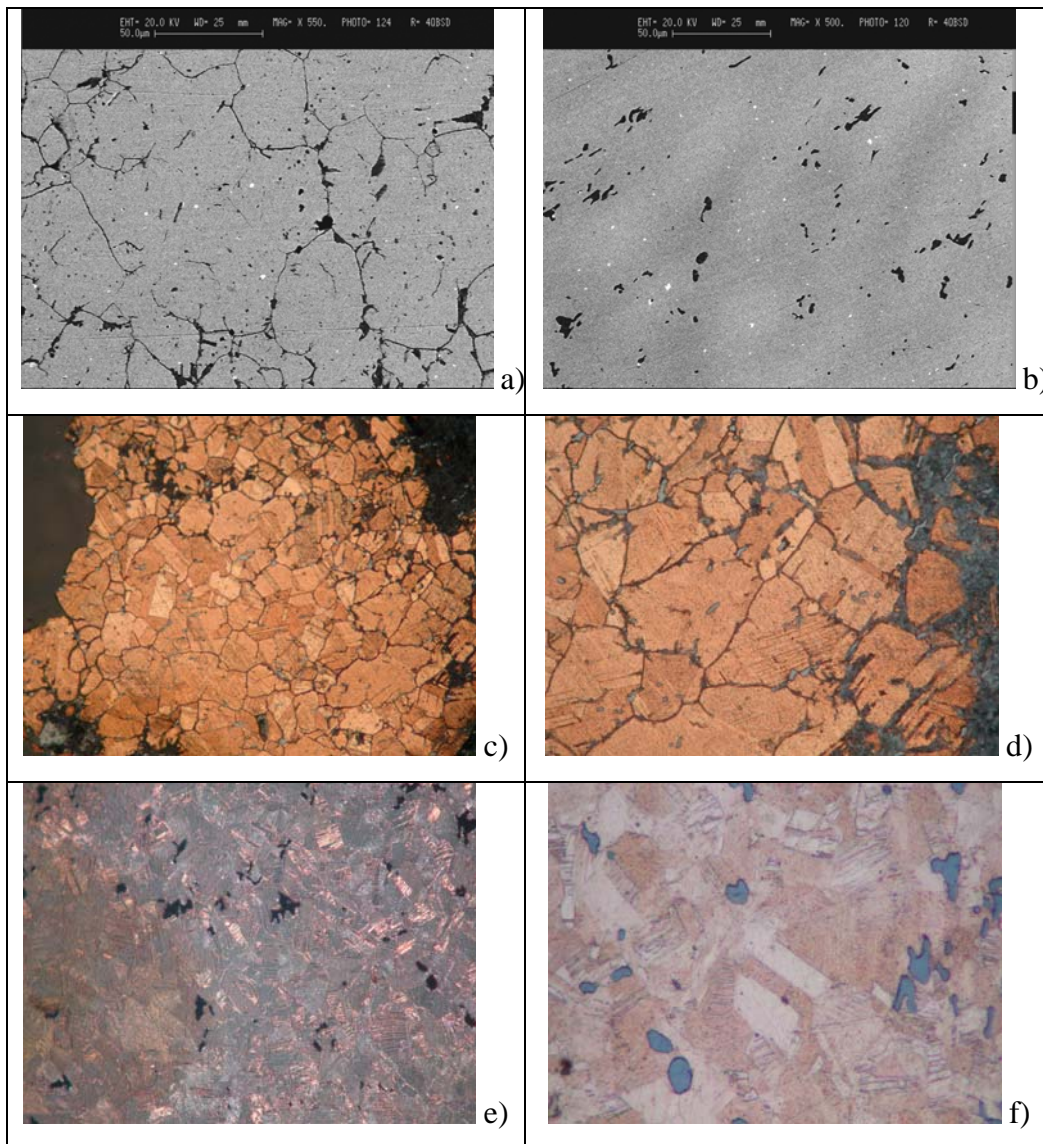


Fig. 3.3.1: Immagini SEM registrate in BSE dei campioni di 2 torques: a) CP 6; b) CP 9. Nelle immagini successive microfotografie registrate dopo gli attacchi metallografici rispettivamente di: c) e d) campione CP 6; e) ed f) campione CP 9. [ingrandimenti: 100X foto c); 200X foto d) ed e); 500X foto f)] [foto e) a Nicol incrociati]

3.3.2 Armille

Indagini chimiche

Sono state condotte micro-analisi su campioni di 3 armille a nastro decorate con costolatura e su tutte e due le armille tipo Zerba. Le analisi EPMA e DIP combinate, così come le analisi SEM areali, evidenziano che un tenore medio di Sn simile e non legato alla

tipologia: Sn fra 7.6 e 9.1% ad eccezione di un'armilla Zerba che ha Sn leggermente maggiore (intorno al 9 %) ed una a nastro con costolature che ha Sn molto più basso (intorno al 4.5%). Tutte presentano una fase α con chiara zonatura chimica, come visibile dai due esempi di Fig. 3.3.2., con un rapporto delle due aree composizionali da 35/65 % fino a circa 50/50%. La zonatura è dovuta ad una variazione di Sn che, in tutti i campioni, si aggira intorno all'1% fra le due aree.

In tutti i campioni si rivelano tracce di As, Ag e Ni, tranne CP 164 in cui non vi è Ag e si trovano maggiori tracce di Bi. In ogni caso si tratta sempre di metallo abbastanza puro e gli elementi rilevati sono nell'ordine dello 0.1-0.2% in peso.

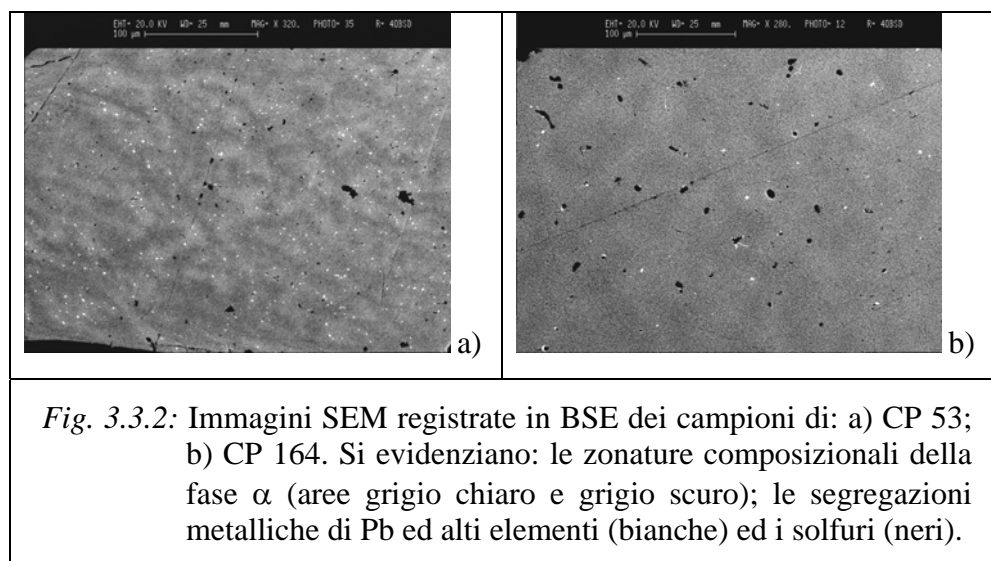
La discreta purezza del metallo è osservabile anche dalle basse quantità di segregazioni di Pb, in alcuni Pb-Bi, che sono dell'ordine dello 0.1-0.6% da analisi DIP.

Sono stati osservati solfuri di Cu, Cu-Fe (con Fe fino al 7%) e a volte con tracce di Zn. In particolare nei campioni CP 52 sono stati osservati solfuri di Cu-Fe e di solfuri di Zn (Zn misurato fino al 13%) la cui esatta stechiometria non può essere determinata a causa delle dimensioni delle zonature submicrometriche; questa osservazione è tuttavia di interesse per la possibile presenza di sfalerite nelle mineralizzazioni utilizzate per l'estrazione del metallo. Da osservare la forma ovale e tondeggiante dei solfuri (neri in Fig. 3.3.2) che non sembrano avere particolari orientazioni.

Le analisi XRF restituiscono livelli di Sn simili a quelli ottenuti con le microanalisi solo per CP 164; invece CP 52 e 53 risultano soprastimati di circa 4 e 6 % di Sn. Un'ulteriore armilla a nastro con costolature: CP 49, analizzata con XRF e non campionata, mostra Sn uguale a 10% circa, e possiamo ritenere che sia comparabile alle altre. La presenza di elementi in traccia osservata in XRF, hanno valori diversi rispetto a quelli rilevati con le microanalisi, come prevedibile. È presente As, ed in più si rileva: Fe, che tuttavia può essere associato a contaminazioni superficiali della patina di alterazione; Pb e Bi, correlabili alle segregazioni metalliche contenute nella fase α predominante; e Ni. In tutte le analisi dei reperti di Chiusa Pesio tracce di Ni sono spesso rilevate con XRF, anche quando invece non si osserva nei microcampioni prelevati. In alcune armille si è trovato anche Zn, in accordo con le inclusioni di solfuri a Zn osservate con le microanalisi.

Da segnalare che inizialmente sul campione CP 163 erano state effettuate solo analisi XRF non distruttive, i risultati sembravano indicare che lo Sn non era presente. Si sarebbe

trattato dell'unico oggetto in rame puro ed, essendo il dato rilevante, si è preferito campionare il reperto. Come evidente dai risultati sopra esposti anche CP 163 è simile alle altre armille, l'errore analitico iniziale è da ricercarsi sempre nelle fasi di alterazione che, se l'analisi deve essere veramente non distruttiva, non possono essere completamente rimosse.



Analisi metallografiche

Una delle problematiche archeologiche indagate in questo studio riguarda il metodo di fabbricazione delle armille a nastro con costolature orizzontali. Le tecniche possibili sono: lo stampo del nastro già con costolature e la successiva lavorazione (più o meno spinta) del pezzo, oppure la fabbricazione di una lamina che poi viene decorata a sbalzo (tecnica già nota al tempo). Al fine di rispondere a questo quesito, dati i limiti esposti dalle metallografie effettuate su microcampioni (come esposto nel Capitolo 2), su due reperti sono stati effettuati prelievi multipli, da 3 diverse aree del reperto: capo aperto all'estremità dell'armilla; "monte" della costolatura; "valle" della costolature. Tutte queste armille hanno lo stesso tipo di tessitura, che espongo in dettaglio per il reperto CP 53.

Il campione prelevato dall'estremità dell'armilla presenta insieme a grani di forma irregolare, un'elevata quantità di grani di piccole dimensioni di forma regolare e con bande di geminazione diffuse. Sono presenti solo poche linee di scorrimento, spesso sovrastate da bande di geminazione (Fig. 3.3.3-a e 3-b).

Sia il campione prelevato sul “monte” della costolature (Fig. 3.3.3-c e 3-d) che quello prelevato sulla “valle” (Fig. 3.3.3-e e 3-f), presentano evidenza di grani dendriti nelle cui zone di contatto si osservano sia grossi grani con evidenza di linee di scorrimento incrociate, che grani dai bordi regolari, di piccole dimensioni, con evidenti bande di geminazione. In alcuni casi le bande di geminazione si sovrappongono alle strutture di scorrimento precedenti: Fig. 3.3.3-d. Come già osservato al SEM i solfuri sono piccoli e di forma ovale o tondeggiante.

Le due armille tipo Zerba presentano invece una tessitura diversa fra loro e diversa da quella delle armille a nastro. Il campione CP 163 (Fig.3.3.3-g) è piuttosto piccolo e di difficile lettura, tuttavia si osservano essenzialmente solo grani irregolari, con molte linee di scorrimento, solfuri di forma ovale leggermente allungata. Il campione CP 164 ha invece grani grandi e regolari, con presenza di bande di geminazione e qualche sistema di linee di scorrimento. I solfuri sono di forma tondeggiante o leggermente ovale, allungata.

Considerazioni conclusive

Composizionalmente tutte le armille sono piuttosto simili, con Sn circa del 7-9% in peso, che in alcuni casi si abbassa a circa 4 o si alza a circa 10%. Il metallo è piuttosto puro, pochi sono gli elementi in traccia e le segregazioni di Pb e/o Pb.Bi. Solfuri di Cu, di Cu-Fe ed, in alcuni casi di Zn, sono stati osservati in tutti i campioni.

I reperti si differenziano invece per le tecniche di produzione. Le armille a nastro con costolature orizzontali venivano prodotte per colatura in stampi già recanti il motivo decorativo delle coste inciso, venivano poi leggermente scaldate e battute per dare forma all’ornamento, senza mai arrivare ad un vero e proprio annealing della lega. Le estremità subivano una lavorazione molto più spinta, che consisteva in vari cicli di battitura e riscaldamento, ed il riscaldamento costituisce l’ultima operazione effettuata sulle estremità (anche se non così spinto da cancellare tutte le linee di scorrimento).

Le armille tipo Zerba in un caso presentano una scarsa lavorazione dopo la formatura in stampo, che consiste solo in una fase di battitura (CP 163); nell’altro hanno struttura

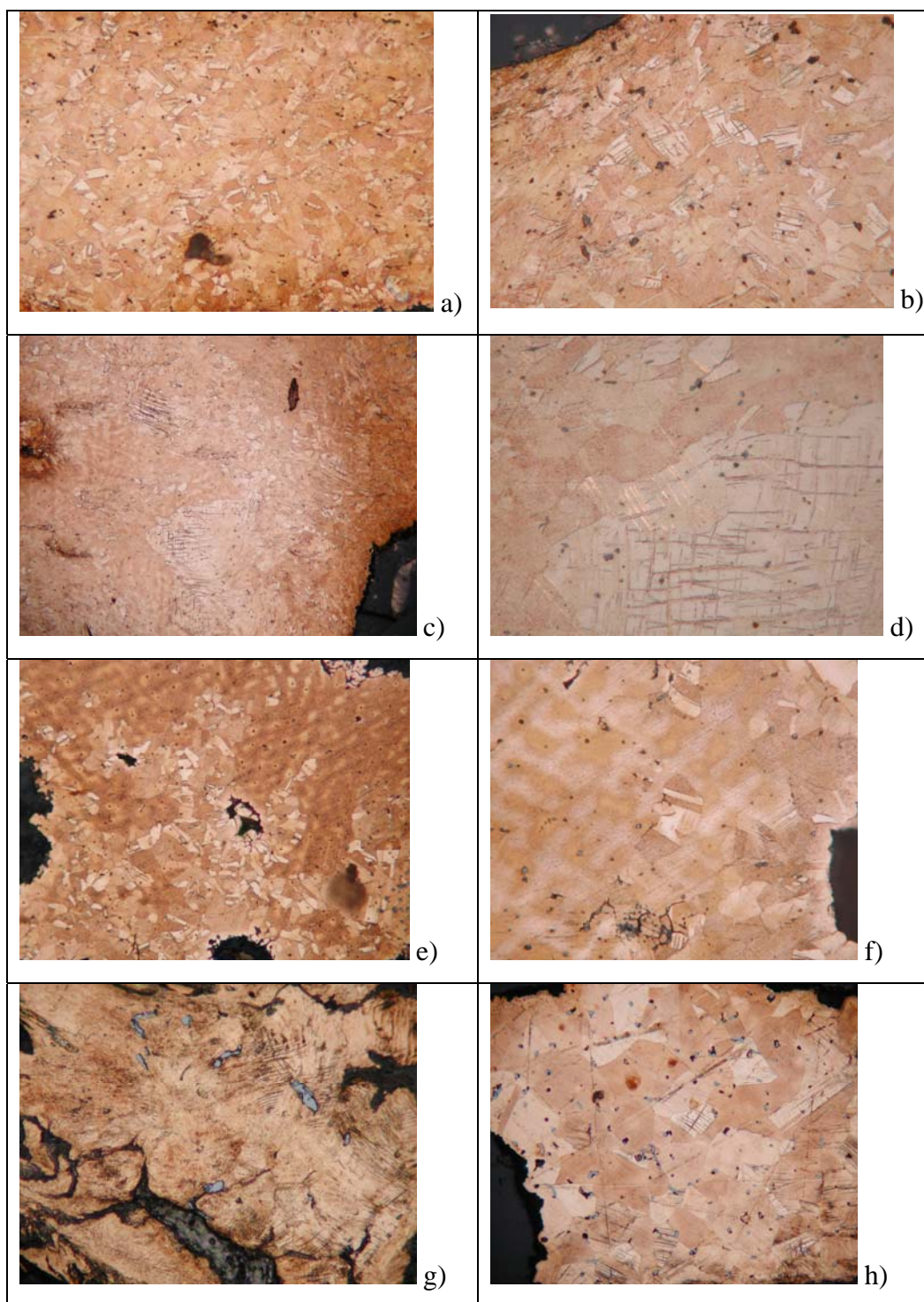


Fig. 3.3.3: Immagini metallografiche dei campioni dai reperti CP 53 (a-b prelievo dall'estremità armilla; c-d prelievo da "monte" della costolatura; e-f prelievo dalla "valle"); CP 163 (g) e CP 164 (h). Descrizione nel testo. [ingrandimenti: 100X foto c) e h); 200X foto a), e) e g); 500X foto b), d) ed f)- – foto d) a Nicol sfalsati]

dovuta chiaramente ad un qualche ciclo di lavorazione a freddo e successiva ricottura (o lavorazione a caldo, la tessitura non è distinguibile (Scott 1991)), come per CP 164, che presenta segni di battitura come ultima fase di lavorazione.

3.3.3 Spilloni

Gli spilloni del ripostiglio di Chiusa Pesio sono 4, hanno diversa tipologia ed appartengono a epoche differenti (si veda Paragrafo relativo agli spilloni in Cap.3.2). Per i motivi esposti nel paragrafo 3.2 sono state possibili solo analisi XRF superficiali.

I dati purtroppo sono affetti da notevoli errori ed hanno basse chiusure, non solo a causa degli starti di alterazione presenti sui reperti, ma anche per fattori geometrici. La superficie da analizzare è, infatti, quasi sempre curva, sferica o di forma irregolare, condizioni ben lontane da quelle di standardizzazione e, più in generale, da quelle ottimali di analisi (Lutz e Pernicka 1996).

Per ciascuno spillone sono state effettuate misure su più aree ed è poi stata calcolata la media dei punti più significativi, riportata in Tab. 3.8.2. Su due zone analizzate del reperto CP 48A, la differenza del contenuto di Sn è altissima (maggiore del 35%), si è quindi scelto di riportate separatamente in tabella entrambe le analisi, per dare la visione dell'ampia variabilità dei dati che si possono ottenere per uno stesso reperto (anche se questo è di certo un caso estremo). In generale sono stati misurati livelli di Sn dal 15 al 40% e Pb da 0.5 a 2% circa. Al momento quindi possiamo solo dire con certezza che tutti gli spilloni sono composti da bronzo e osservare che, percentuali più significative di Ni e Co (raramente rilevato in XRF) sono presenti nel reperto CP 11.

3.3.4 Pendenti lanceolati

Indagini chimiche

Sono stati campionati ed analizzati 7 pendenti lanceolati, aventi diversa tipologia (Cap. 3.2) La composizione è, nella maggior parte dei casi, simile e comunque non è funzione della tipologia degli oggetti; per questo i dati verranno presentati tutti insieme.

Ad eccezione del reperto CP 45, che tratterò separatamente, tutti gli altri pendenti lanceolati hanno contenuti di Sn simili che, nella media, variano da 7.1 a 10.8 % in peso, la

maggior parte tuttavia sono intorno all'8%. I reperti CP 33, 34 e 39 hanno fase α con leggera zonatura chimica, evidenziata nell'immagine SEM-BSE di Fig. 3.3.4-a, dovuta a variazioni di Sn dello 0.6-0.7%. Tutti gli altri campioni sono invece omogenei. In questi, come negli altri casi osservati in precedenza, le variazioni composizionali sono residui delle tessiture dendritiche, non completamente cancellate nelle successive fasi di lavorazione. As e/o Ag sono sempre presenti in traccia (0.1-0.2%). Il campione CP 45 si differenzia sia per il basso tenore di Sn, circa 4.5%, e per la presenza fra gli elementi in traccia di Sb allo 0.3%.

Segregazioni di Pb e Pb-Bi si trovano in tutti i pendenti lanceolati in bassa quantità (0.2-0.4 del totale, dati DIP), ad eccezione di CP 45 dove costituiscono lo 0.9% (Fig. 3.3.4-a e 3.3.4-c). Questo ultimo campione è stato analizzato anche con PIXE ottenendo Sn leggermente più basso, ed un ottimo accordo con i dati delle microanalisi per quanto riguarda gli elementi in traccia, sempre ad eccezione di Fe, S e Pb (come atteso per i motivi già esposti in precedenza); in particolare il Pb risulta uguale al 2.3%.

Inclusioni di solfuri di Cu e solfuri di Cu-Fe (con Fe fino al 7 %) sono presenti in tutti i campioni. Solamente in CP 34 all'interno di solfuri di Cu-Fe (grigio scuri in Fig. 3.3.4-b) sono stati trovati alcuni cristalli di ossidi misti di metallo, Fe e Pb, più Cu e Sn che però possono essere dovuti al materiale circostante (aree nere in Fig. 3.3.4-b). Queste inclusioni possono essere correlabili alla materia usata per la produzione del rame. Come visibile da tutte le immagini di Fig. 3.3.4 i solfuri sono in genere ovoidali, leggermente allungati, ed orientati.

I reperti CP 36, 37 e 41 sono stati analizzati solo con XRF e si sono trovati valori di Sn rispettivamente del 12, 20 e 10%. Rispetto a quanto detto in precedenza per le misure degli elementi in traccia tramite XRF, di interessante qui si può solamente osservare la presenza in tracce di Zn in CP 33 e CP 41.

Analisi metallografiche

Tutti i campioni hanno grani di dimensioni medio grandi e di forma regolare, con diffusa presenza di bande di geminazione (immagini d-h di Fig. 3.3.4) . Linee di scorrimento sono abbondanti in CP 40, abbastanza abbondanti in CP 33 e 34, scarse in CP 39 e 45, del tutto assenti in CP 42. CP 42 presenta inoltre grani di dimensioni maggiori

rispetto agli altri reperti, deve avere quindi subito come ultima fase di lavorazione un annealing piuttosto lungo, che ha cancellato i precedenti stress del metallo. In CP 33 e 34 spesso le bande di geminazione sovrastano le linee di scorrimento (immagini e) e g) di Fig. 3.3.4), indicando che l'ultima fase della lavorazione è stato un leggero annealing. Al contrario in CP 40, le abbondanti linee di scorrimento indicano la battitura come ultima fase di lavorazione.

Considerazioni conclusive

Tutti i pendenti lanceolati, ad eccezione di uno, hanno comparabili livelli di Sn (7-11%) e simili contenuti di elementi in traccia, che per la verità sono molto scarsi e pertanto evidenziano un metallo abbastanza puro. Inclusioni di solfuri di Cu-Fe sono sempre presenti. Il reperto CP 45 si differenzia per il basso Sn (4.5%) e l'alto Pb (2%), oltre che per avere Sb fra gli elementi in traccia.

Tutti pendagli sono stati lavorati con cicli di battitura e annealing, anche se in alcuni casi è ancora presente un "coring" dovuto alle strutture dendritiche. I diversi campioni si differenziano per l'ultima fase della lavorazione che può essere: ricottura prolungata, riscaldamento lieve o battitura, a seconda dei campioni.

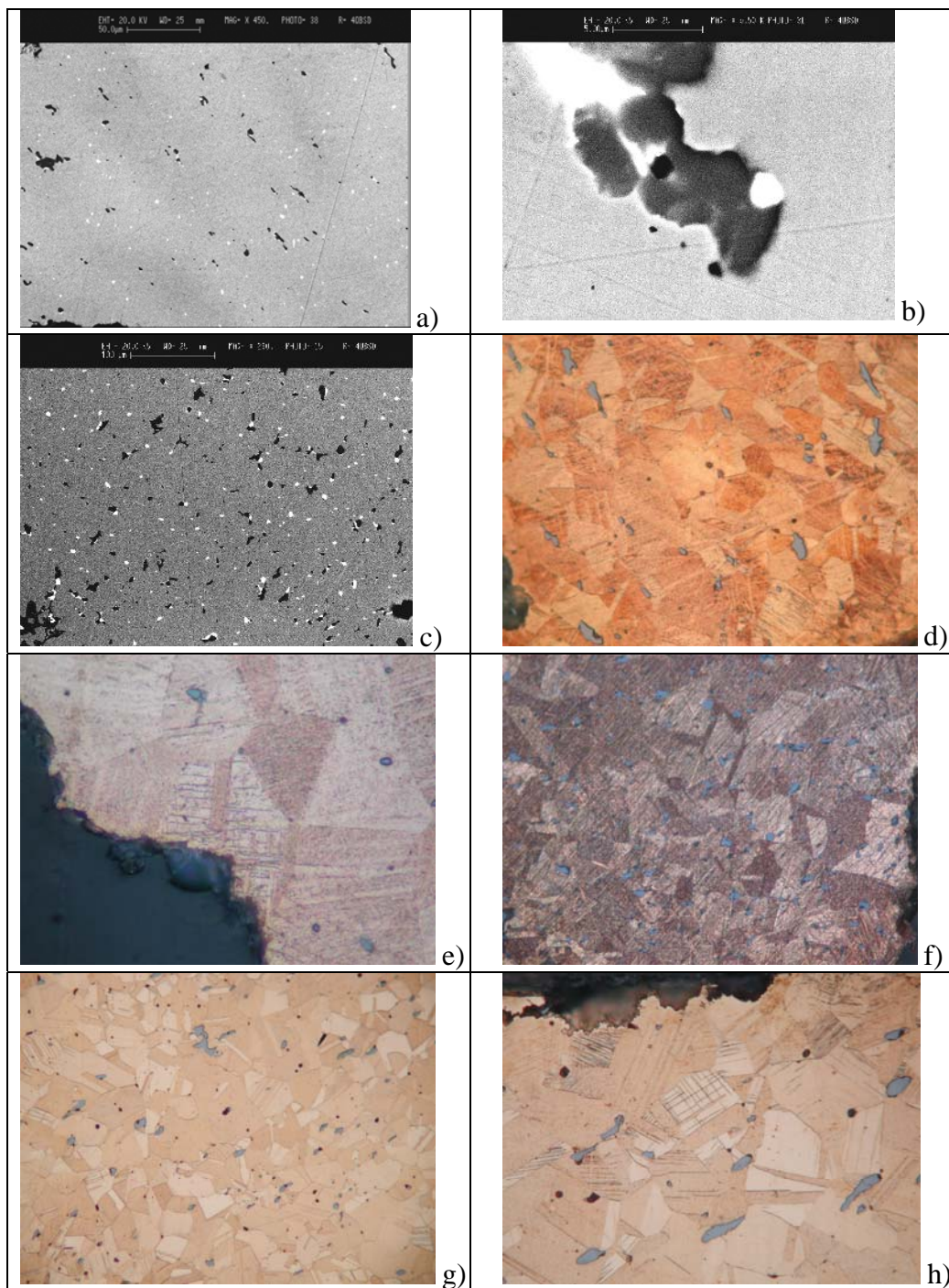


Fig. 3.3.4: Immagini SEM-BSE dei campioni CP33 a); CP34 b); e CP 45 c).
 le microfotografie delle immagini d); e); f); g) e h) sono relative
 ai campioni CP33 (ingrandimento 500X); CP 46 (ingrandimento
 1000X); CP 45 (ingrandimento 200X e Nicol sfalsati) e CP 34
 (ingrandimenti a 200X e 500X).

3.3.5 Bottoni a calotta e borchie

Indagini chimiche

Dei bottoni a calotta e delle borchiette è stato campionato un reperto per ciascuna classe di oggetti. Seppure l'aspetto macroscopico e la funzionalità è simile, il bottone e la borchia hanno composizione chimica differente. Entrambi presentano fase α omogenea, ma con livelli di Sn uno doppio rispetto all'altro, circa 5% il bottone e 11.5% la borchia. Anche gli elementi in traccia sono differenti: il bottone CP117 ha tracce di As, Ag, Sb, Zn, Fe e Ni (da 0.1 a 0.3% ciascuno), mentre la borchiette CP 168 ha elementi in traccia simili, ma non presenta Fe, Zn e Sb.

Le segregazioni presenti nella fase α sono molto più scarse in CP 168: circa 0.5% (composte da Pb e Pb-Bi), mentre risultano alte in CP117: 1,8% (principalmente composte da Pb), come ben evidente anche dalle immagini SEM-BSE di Fig 3.3.5-a e 3.3.5-c.

Nelle stesse immagini è evidente che anche il contenuto in solfuri è molto alto in CP 117, si raggiunge il 5.3% (dati DIP). I solfuri hanno diversa natura nei due reperti: solfuri di Cu, con rare tracce di Ag, in CP168, mentre CP 117 presenta molti solfuri di Cu-Fe, con zonature composizionali, dovute al contenuto di Fe che è stato rilevato fino al 7% in peso e Zn, fino a 8% in peso (Fig. 3.3.5-b).

Con XRF sono stati analizzati i bottoni CP 116 e 117, in cui è stato misurato Sn rispettivamente uguale a 9 e a 14 %. Pur tenendo conto delle problematiche presentate dalle analisi XRF, possiamo ritenere per gli elementi maggiori CP 116 simile al bottone CP117 microcampionato; da osservare che tracce di Zn in CP 117 sono state registrate anche dalle analisi XRF.

Analisi metallografiche

Il bottone CP 117 presenta sia grani dai bordi irregolari, che piccoli grani regolari, con molte linee di scorrimento e bande di geminazione. I solfuri sono di forma tondeggianti (Fig 3.3.5-d).

Invece in CP 168 si vedono solamente piccoli grani dai bordi regolari, con molte bande di geminazione e linee di scorrimento. I solfuri sono molto piccoli e visibili bene solo ad alti ingrandimenti (Fig. 3.3.5-e e 3.3.5-f).

Considerazioni conclusive

Chimicamente il bottone e la borchia differiscono sia per il livello di Sn, 5% nel primo e 11.5% nel secondo, che per gli elementi in traccia. Diverso anche il tipo e l'ammontare di inclusi nella fase α .

Entrambi i reperti sono stati sottoposti a cicli di battitura e di annealing, che però sono stati più intensi per la borchietta, che per il bottone. Curiosamente il reperto più lavorato, la borchia, ha Sn più alto; è però da osservare che il bronzo ha fase α omogenea e non presenta la fase δ , che infragilirebbe la lega durante la battitura (Scott 1991).

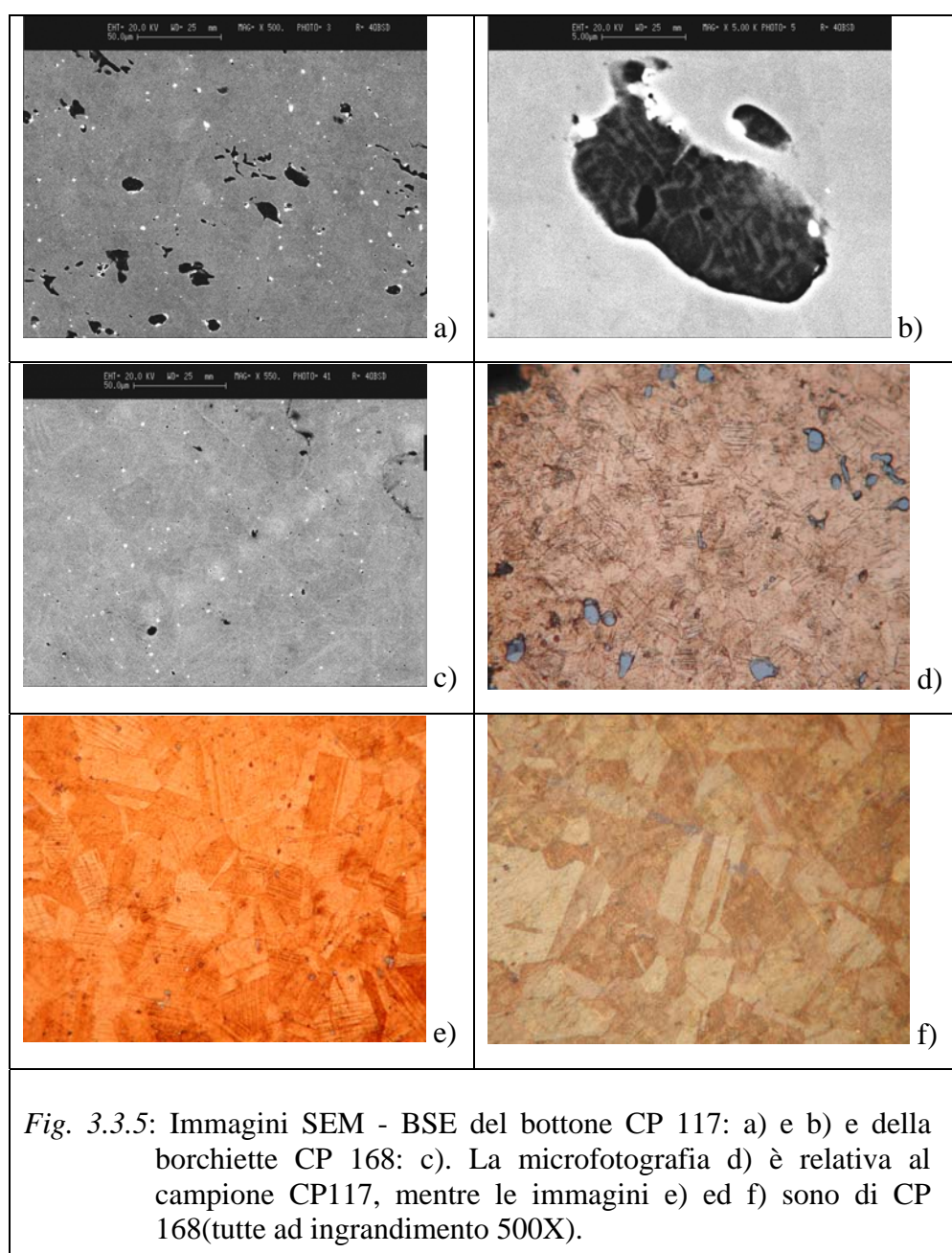


Fig. 3.3.5: Immagini SEM - BSE del bottone CP 117: a) e b) e della borchiette CP 168: c). La microfotografia d) è relativa al campione CP117, mentre le immagini e) ed f) sono di CP 168(tutte ad ingrandimento 500X).

3.3.6 Placchette in lamina decorate a sbalzo

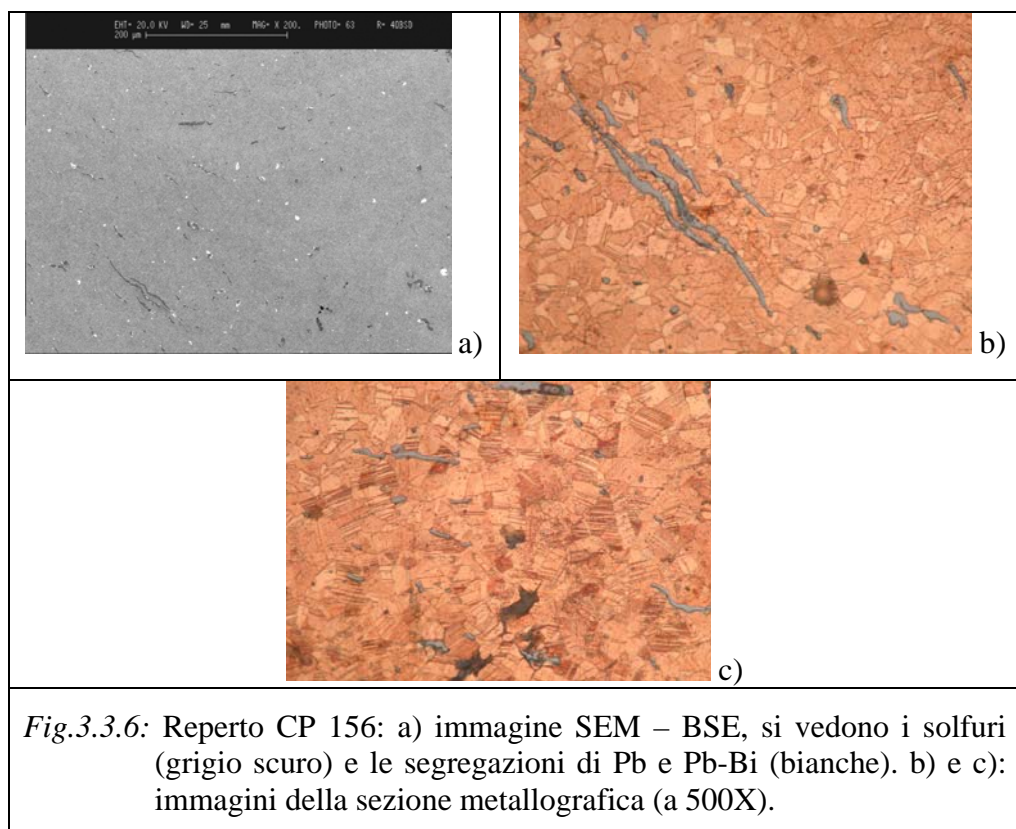
Delle varie placchette in lamina decorate a sbalzo presenti nel ripostiglio una sola è stata campionata per le microanalisi (CP 156), mentre altre due, oltre alla 156 sono state analizzate con XRF.

Il campione 156 è un bronzo con fase α omogenea che contiene bassi livelli di Sn: 4.6% in peso; all'interno della fase α sono disperse segregazioni di Pb e di Pb-Bi, oltre a solfuri di Cu e Cu-Fe, con Fe in tracce: 0.2-0.6% (Fig. 3.36-a). Da notare la forma particolarmente allungata dei solfuri.

In traccia sono presenti As, Ag e Sb (con valori dell'ordine dello 0.1-0.2%).

Le analisi XRF per questa classe di reperti sono particolarmente accurate, con buone chiusure e set di dati uniforme. Le placchette presentano tutte bassi tenori di Sn nell'intervallo di 4.4-4.6% in peso, oltre a tracce di As e Bi. Nel reperto CP 156 inoltre sono rilevate tracce anche di Sb (come in EPMA) e di Zn.

L'attacco metallografico ha evidenziato in CP 156 una struttura composta da grani equiassiali molto piccoli (Fig. 3.3.6-b), che presentano bande di geminazione ed un sistema fitto di linee di scorrimento (Fig. 3.3.6-c). La placchetta è stata sottoposta a numerosi cicli di battitura e successiva ricottura, come deducibile dalla scarsa dimensione dei grani e dai solfuri che sono tutti molto assottigliati, allungati e orientati parallelamente alla superficie esterna. Data l'alta presenza di linee di scorrimento l'ultima fase di lavorazione è stata una battitura, questo aumenta la fragilità delle laminette.



3.3.7 Spiruline

Indagini chimiche

Delle numerosissime spiruline rinvenute 5 sono state campionate per le analisi e 7 sono state analizzate con XRF. Tutti i campioni sono bronzi con fase α omogenea, e composizioni molto simili, con medi tenori di Sn compresi fra 7.5 e 8.4 % in peso. Anche gli elementi in traccia sono gli stessi per tutti i campioni: As, Ag e Ni, v'è tuttavia osservato che le spiruline CP 142 e CP 150 si differenziano per l'alto tenore di As (0.7-0.8%) e di Ni (0.3%). Le segregazioni presenti in fase α sono composte da Pb e Pb-Bi; poiché sono numericamente molto scarse e la composizione del metallo è omogenea, non sono state effettuate le analisi DIP (lo stesso dicasi per gli anellini circolari e le laminette tubolari).

Le inclusioni di solfuri sono numerose, questi si presentano tutte fortemente allungate, assottigliate ed orientate nella medesima direzione (Fig. 3.3.7-a, 3.3.7-e e 3.3.7-f). Le inclusioni sono generalmente date da solfuri di Cu e Cu-Fe, con tenori di Fe misurato fino a 4% in peso. In alcuni campioni nei solfuri si osservano diverse fasi mineralogiche e/o zonature composizionali costituite da: solfuri di Cu o Cu-Fe (aree grigio scure, Fig 3.3.7-

b), zone ricche di Pb (bianche nell'immagine SEM-BSE) e ossidi di Fe-Cu (neri in Fig. 3.3.7-b). La determinazione chimica quantitativa delle diverse fasi è impossibile data le dimensioni trasversali submicrometriche dei solfuri.

Al SEM, nella zona superficiale dei campioni, sono state spesso osservate estese aree di alterazione, che si manifestano con evidente corrosione intragranulare del metallo (Fig. 3.3.7-c). La corrosione, attaccando preferenzialmente le zone difettuali (Scott 1991) tende ad evidenziare l'originaria tessitura del metallo: ad esempio nel campione CP 132 sono ben visibili, per effetto dell'ossidazione, sistemi di linee di scorrimento incrociate (Fig. 3.3.7-d).

Le analisi XRF hanno restituito valori di Sn variabili da circa 5 % a 29 %, oltre alla presenza costante di elementi in traccia quali: As, Pb, Fe e Ni. In 2 spirali, non campionate, è stato osservato anche Zn in tracce.

Analisi metallografiche

Dalle analisi metallografiche si osserva in tutti i campioni, la presenza di grani equiassiali di piccole dimensioni, aventi molte bande di geminazione e qualche sistema di linee di scorrimento parallele. In numerosi punti le bande di geminazione sovrastano le linee di scorrimento (Fig. 3.3.7-g e 3.3.7-h). Forma allungata ed orientazione dei solfuri, già osservate al SEM, sono qui ancora più evidenti.

Considerazioni conclusive

Le spirali rappresentano una classe omogenea di materiali, con quantità di Sn del tutto simili (intorno all'8%), anche se alcune si differenziano per l'alto tenore di As e Ni (che in totale costituiscono circa l'1%). Il bronzo è estremamente ricco di inclusioni di solfuri, fatto che può rendere la lega piuttosto fragile.

Vengono prodotte attraverso cicli di battitura ed annealing del metallo, dove l'ultima fase della lavorazione consiste in un riscaldamento. Questo è molto appropriato in quanto gli stress accumulati nella fase di lavorazione della spirale, o almeno la maggior parte, vengono così eliminati ed il metallo risulta meno fragile.

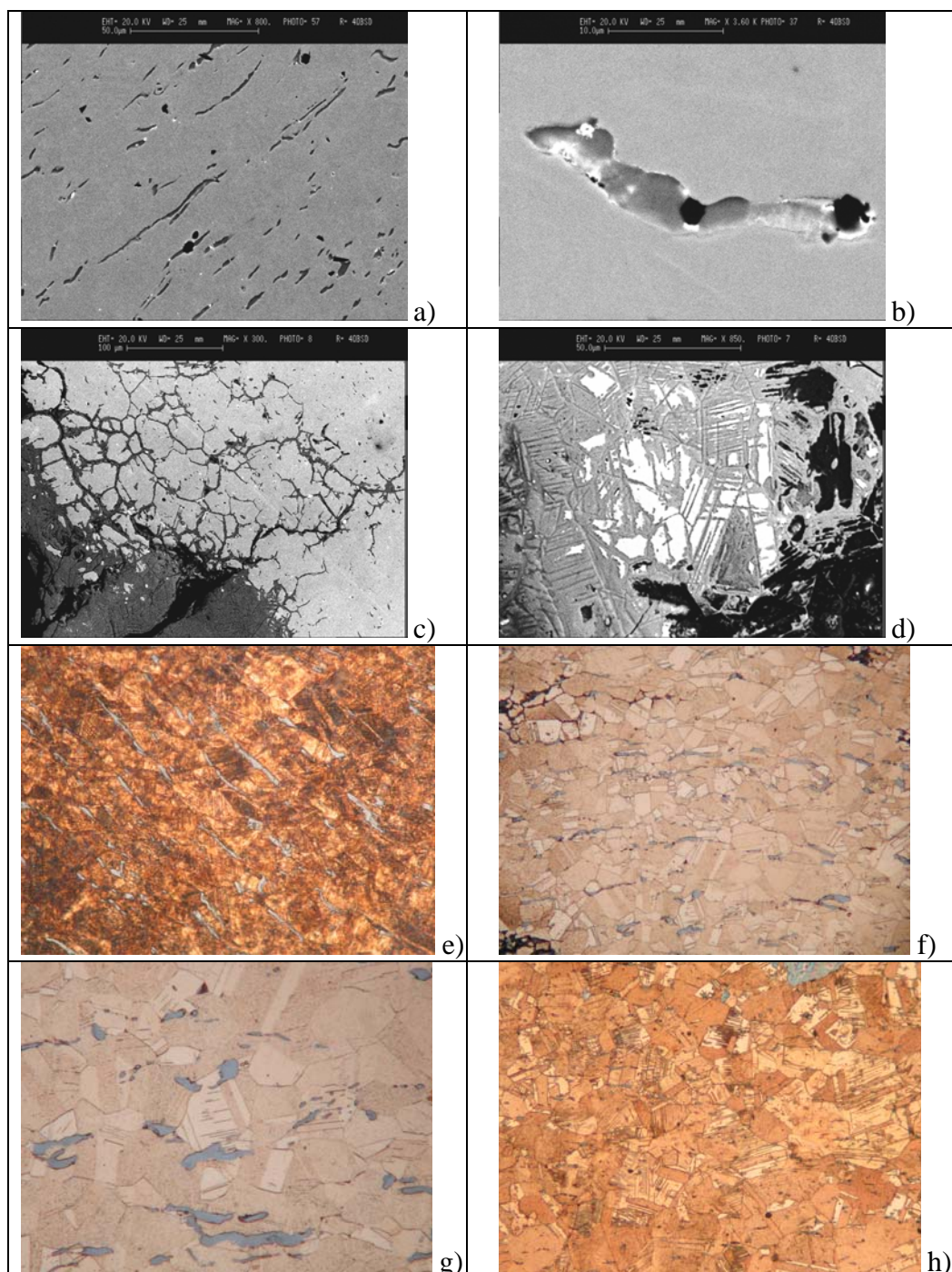


Fig. 3.3.7: Immagini SEM-BSE dei campioni CP142 a); CP 133 b); e CP 132 c) e d). Le microfotografie sono relative ai campioni: CP142 e); CP 133 f) e g); CP 132 h). Ingrandimenti tutti a 200X, eccetto g) che è a 500X. Descrizione del testo.

3.3.8 Anellini a sezione circolare o a D

Indagini chimiche

Gli anellini circolari presenti in gran numero nel deposito di Chiusa Pesio sono stati analizzati solo tramite micro analisi, sono infatti molto piccoli e coperti da patine di corrosione piuttosto spesse, quindi non ci si può aspettare dati attendibili dalle analisi XRF. Quattro frammenti sono stato sezionati per le analisi.

Pur essendo tutti bronzi con fase α omogenea, le composizioni sono molto variabili sia per il livello di Sn, che varia dal 3.6 all'11,8 % in peso, che per l'ammontare di segregazioni presenti in fase α , in genere composte da Pb e, a volte, Pb-Bi (si vedano ad esempio le immagini a) e b) dei due reperti CP 170/1 e 170/3 di Fig. 3.3.8: solfuri grigio scuri e segregazioni di Pb bianche). Nelle stesse immagini è chiaramente visibile anche il tenore diverso, da campione a campione, di solfuri; si tratta di solfuri di Cu e di Cu-Fe. In alcuni campioni questi solfuri hanno zonature composizionali dovute al diverso contenuto di Fe, che è stato misurato fino a tenori dell'11% in peso. La forma dei solfuri è sempre piuttosto tondeggiante, solo in poche particolari aree si sono osservate delle parziali orientazioni di solfuri di forma ovoidale, come esposto più sotto.

Gli elementi in traccia rilevati con le analisi EPMA sono dello stesso tipo per tutti i campioni (As, Ag e Ni) e dello stesso ordine di grandezza (0.1-0.4%).

In 3 dei 4 reperti analizzati sono state inoltre osservate numerose inclusioni di quarzo, visibili come aree nere in Fig. 3.3.8-a e 3.3.8-b.

Analisi metallografiche

In tutti i reperti è presente una struttura con grani geminati, equiassici di medio-grandi dimensioni (Fig. 3.3.8-c). Solo raramente sono visibili linee di scorrimento e spesso vi sono bande di geminazione sovrimposte alle linee di scorrimento (Fig. 3.3.8-d). Da notare, nella maggior parte delle aree, la forma tondeggiante dei solfuri.

In genere la sezione degli anellini è piena, di forma circolare o a D. Uno di quelli analizzati (CP 170/1) presentava un rigonfiamento superficiale, ed il campione è stato appositamente prelevato da quella zona. Come visibili nelle immagini e) ed f) di Fig. 3.3.8, in questo campione è presente una porzione di metallo, esterna rispetto alla parte più consistente che costituisce il corpo dell'anellino. Tale porzione è ripiegata su stessa verso il resto della sezione, come evidenziato dall'orientamento dei solfuri nella zona di piegatura

(Fig. 3.3.8-f), ovvero intorno alla fessura a V. Questa struttura è interpretabile come una bava di fusione che è stata ripiegata per martellatura sopra il corpo principale dell'anello, fino ad unirsi ad esso.

Considerazioni conclusive

Al contrario di quanto osservato per le spiruline, ed al contrario di quanto ci si attendeva, gli anellini circolari sono prodotti con bronzo a composizione variabile, con livelli di Sn da bassi a medio-alti (da circa 4 a 12% in peso).

Dalla tessitura si deduce che erano prodotti probabilmente per fusione, i solfuri infatti non sono schiacciati ed orientati come ci si aspetterebbe per la produzione di piccole verghe di metallo, quali quelle che formano gli anellini. E' evidente comunque che il metallo ha subito una ricottura, e che questa è stata anche l'ultima fase della lavorazione, dato che le rare linee di scorrimento rilevate sono spesso sovrastate da bande di geminazione. E' possibile che il riscaldamento dell'anello fosse collegato all'operazione di incisione delle tacche di decorazione che sono presenti sulla superficie esterna degli anellini. Si ha anche evidenza che le eventuali base di fusione residue venivano ribattute sopra il corpo del metallo, probabilmente per renderlo più robusto.

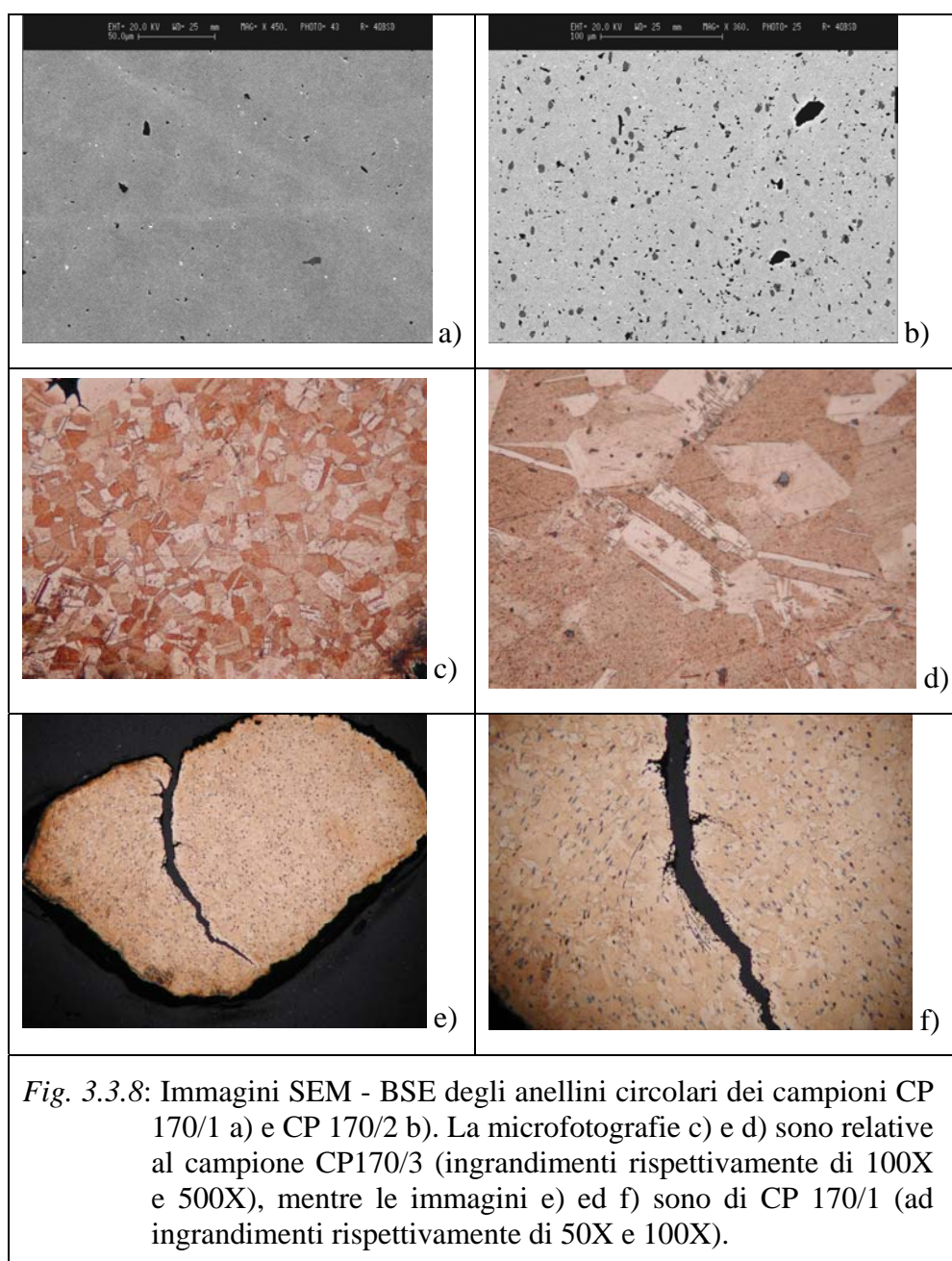


Fig. 3.3.8: Immagini SEM - BSE degli anellini circolari dei campioni CP 170/1 a) e CP 170/2 b). La microfotografie c) e d) sono relative al campione CP170/3 (ingrandimenti rispettivamente di 100X e 500X), mentre le immagini e) ed f) sono di CP 170/1 (ad ingrandimenti rispettivamente di 50X e 100X).

3.3.9 Elementi tubolari in lamina

Indagini chimiche

Delle tre laminette campionate solo due presentavano metallo non alterato. I campioni CP 172/2 e 172/3 analizzati sono bronzi con fase α omogenea (Fig. 3.3.9-a), aventi caratteristiche chimiche molto diverse, sia per il tenore di Sn (rispettivamente del 6.8 e del 9.2 % in peso), che per gli elementi in traccia: in particolare CP 172/2 ha Sb (0.3%), non

presente in CP172/3, e As in quantità di 0.5%. Poche segregazioni di Pb e Pb-Bi si osservano in entrambi i campioni.

Solfuri di Cu, a volte contenenti tracce di Fe, di forma allungata ed orientati parallelamente alla superficie, sono ben evidenti in tutte e due le laminette.

Date le piccole dimensioni dei reperti ed anche per la superficie fortemente alterata e curva, su questi reperti non sono state effettuate analisi XRF,

Analisi metallografiche

La struttura dei campioni è formata da piccoli grani equiassiali, con frequenti geminazioni ed evidenze di linee di scorrimento (Fig. 3.3.9-b). I solfuri sono estremamente assottigliati e parallelizzati (grigio-azzurri in Fig. 3.3.9-b).

Considerazioni conclusive

La laminette tubolari, come gli anellini circolari, sembrano essere una classe di oggetti con composizione variabile: bronzi con Sn da 7 a circa 9% in peso, ed anche differenti elementi in traccia. Gli oggetti hanno subito invece lo stesso tipo di lavorazione: laminazione del metallo tramite cicli di battitura e successiva ricottura. L'ultima fase della lavorazione è ancora una battitura, come evidenziato dalle numerose linee di scorrimento.

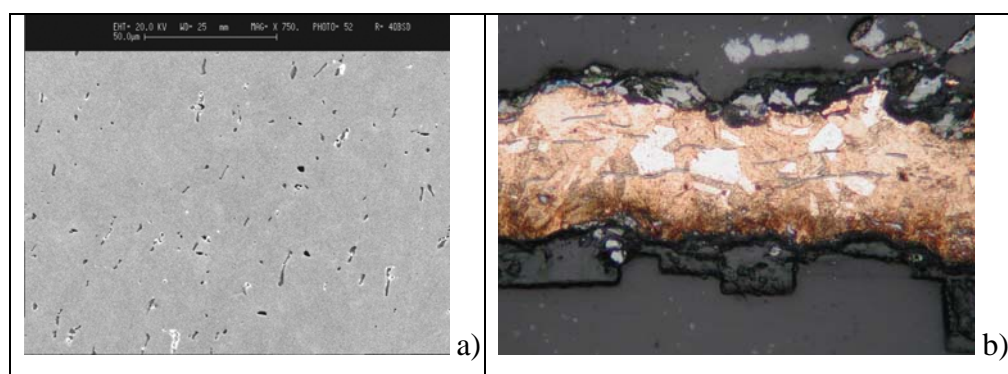


Fig. 3.3.9: a) Immagine SEM - BSE della laminette tubolare CP 172/2. b). La microfotografie del reperto CP 172/3 (ingrandimento 200X).

3.3.10 Pendenti a rotella e pendenti con sostegni a raggiera

Indagini chimiche

Tutti i pendenti a rotella e quelli con sostegni a raggiera presentano tessitura e composizione simile. Sono stati sottoposti a microanalisi 9 pendenti a rotelle piccoli, 7 pendenti a rotella grandi e 2 con sostegni a raggiera, mentre le analisi XRF sono state condotte su un numero molto ampio di reperti, per un totale di 48 pendenti a rotella e 2 con sostegno a raggiera.

Gli oggetti si presentano nello stesso stato così come ottenuto con la colatura in stampo: hanno struttura dendritica, con forti variazioni composizionali fra l'interno del dendrite (*core*) e la parte più esterna delle ramificazioni dendritiche (Fig. 3.3.10-a e 3.3.10-b). Le variazioni composizionale presenti in uno stesso campione sono legate principalmente alla variazione di Sn in lega che, considerando l'insieme di tutti i reperti, possono essere schematizzate in:

- interno dei cristalli dendritici, contenente Sn nell'intervallo di 4.4-11.8 % in peso (grigio molto scuro nelle immagine in BSE a) e b) di Fig. 3.3.10);
- il livello di Sn aumenta progressivamente andando verso l'esterno delle ramificazioni dendritiche, dove è stato misurato un livello di Sn nell'intervallo di 12.6-19.2 % in peso (grigio intermedio in Fig. 3.3.10-a e 3.3.10-b);
- nelle aree interdendritiche si trovano numerose segregazioni di eutettoide $\alpha+\delta$. La fase δ , visibile come grigio molto chiaro nelle immagini BSE di Fig. 3.3.10, è una fase intermetallica con composizione costante, definita come $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ (Scott 1991, Nicodemi 2000), che corrisponde ad un contenuto del 32.6 % di Sn. Le aree di fase δ analizzate nei campioni hanno restituito livelli di Sn inferiori (circa dal 25 al 27%), questo è imputabile al fatto che la fase δ è presente nell'eutettoide $\alpha+\delta$ finemente intermescolata con la fase α (Fig. 3.3.10-b), ne segue che le aree a composizione "pura" δ sono molto piccole, quindi la porzione di volume analizzata dal fascio elettronico può contenere in parte anche fase α .

Data l'alta eterogeneità dei campioni, un calcolo della composizione effettuato tramite media delle analisi EPMA di ciascuna fase è soggetto a notevoli errori, particolarmente per i valori dello Sn. Questa operazione infatti presuppone una uguale distribuzione delle fasi presenti, situazione ben lontana dalla realtà, come verificato in modo quantitativo dalle analisi DIP di Tab. 3.8.6. Per questo motivo, per comparazione dei dati di questi reperti, risulta particolarmente utile riferirsi alle analisi medie ricalcolate pesando i dati EPMA con le percentuali ottenute dalla DIP (Tab. 3.8.7).

Per quanto riguarda la distribuzione di queste fasi a diversa composizione, i dati DIP mostrano che la fase δ può essere presente fino al 40% (campione particolarmente ricco di Sn = 18%), ed è mediamente minore nei pendenti circolari di grandi dimensioni (3-18%) rispetto a quelli di piccole dimensioni (nell'intervallo di 5-43%, in genere intorno a 15-30%). Questo riflette un contenuto di Sn medio leggermente più elevato per pendenti a rotella piccoli: circa 13-18% in peso, rispetto a quelli a rotella grande: 11-15 % in peso. I pendenti con sostegno a raggiera hanno quantità di Sn confrontabili con quelle dei pendenti circolari grandi (10-14.5%). Va osservato che, anche escludendo 2 reperti (CP 101 e 103) non analizzati con DIP per questioni legate a problemi di contrasto della scala di grigi nelle immagini SEM-BSE, i dati delle analisi areali SEM-EDS (Tab. 3.8.3) danno un contenuto medio di Sn maggiore dell'1-2% in peso rispetto a quello calcolato col metodo sopra esposto. Questo può essere in parte dovuto ai diversi errori dei due metodi analitici, ed in parte al contenuto di Sn possibilmente presene nelle segregazioni polimetalliche disperse nella fase α , che non sono incluse (in quanto aventi composizioni non ben definibile quantitativamente) nella media pesata dai dati DIP.

Si osserva che le segregazioni di Pb, e a volte Pb-Bi, normalmente rilevate in tutti i campioni analizzati, si concentrano nella fase δ (aree bianche in Fig.3.3.10-b). Tali segregazioni possono contenere elementi in traccia diversi da campione a campione, come riassunto nella tabella 3.8.3., e costituiscono lo 0.2-0.9 % del metallo (da analisi DIP). Solo un pendente (CP 101) ha un contenuto particolarmente alto di queste segregazioni, uguale a 3 %, questo dato in parte riflette la reale composizione del campione, ricca di Pb, ma dall'altro risente anche di alcuni problemi di misura che si hanno nell'analisi DIP causati da un contrasto simile fra fase δ e segregazioni di Pb (entrambe molto chiare nelle immagini BSE).

Le variazioni maggiori legate agli elementi in traccia, di cui i più significativi sono: As, Ag, Sb, Ni e Zn, permettono di fare dei primi grossolani raggruppamenti:

- a) tenori rilevanti, da 0.3 a 1.6 %, di As, Ag, Sb e Ni (CP 105 e 101);
- b) come il gruppo precedente, ma senza Ag (Cp 103);
- c) tracce di As, Ag e Ni (CP 55, 61, 63, 86 e 91);
- d) tracce di As, Ag (CP 71, 80, 76, 109, 110 e 94);
- e) tracce di Fe, As, Ag e Ni (CP 75, 81, 98 e 107);

E' da sottolineare che, ad eccezione dei gruppi a) e b), gli altri sono effettuati prendendo in considerazione quantità dello 0.1-0.3% in peso di ciascun elemento, le variazioni composizionali sono perciò minime.

In tutti i campioni sono state osservate inclusioni di solfuri di Cu, Cu-Fe e, saltuariamente, Cu-Fe-Zn. In alcuni casi i solfuri presentano zonature chimiche di diversa natura, o sono in realtà composti da diverse fasi mineralogiche: un esempio è riportato nell'immagine BSE di Fig. 3.3.10-c, dove l'area grigia è un solfuro di Cu (a stechiometria simile a Cu_2S), l'area bianca è ricca in Ag e quella nera in O, Fe e Mn.

Nelle analisi XRF le differenze osservate sugli elementi minori ed in traccia sono principalmente correlabili alle inclusioni e segregazioni presenti nei metalli (e non quantificate nella media delle microanalisi); in particolare: Zn e Fe presenti nei solfuri; As, Ag, Pb e Bi presenti nelle segregazioni polimetalliche.

In alcuni casi la concentrazione degli elementi determinata tramite XRF mostra delle notevoli differenze rispetto a quella determinata con le altre tecniche analitiche. La variabilità degli elementi misurati può essere così riassunta: : Sn 9-56 % in peso, Pb 0.3-2.8 %; Ni 0.1-0.4, As 0.1-2.3 %, Ag e Sb sono stati determinati in traccia in alcuni campioni, ma non quantificati. Il motivo principale delle differenze rilevate è imputabile ai cambiamenti composizionali presenti sulla superficie del reperto, che influenzano i risultati di questa tecnica (come già discusso in precedenza). E' esemplificativo il caso dell'analisi del reperto CP 91, su di esso sono state effettuate varie misure XRF su diverse zone: la prima (indicata con 1 in Tab. 3.8.2) su una parte del reperto che aveva superficie pulita e la lega aveva color rosso rame; la seconda (indicata con 3) su un anellino in lamina, attaccato

al pendente stesso e la terza (punto 4) su un'area del reperto che non aveva patine di malachite, ma presentava superficie grigia. Sulla superficie grigia, che normalmente ricopre tutti i pendenti, è stato misurato Sn al 74%, mentre sulla superficie lucida rossa (che possiamo considerare come la composizione della parte interna del reperto), lo Sn ha concentrazione del 15%. Questo incremento di Sn, quasi del 400%, potrebbe essere dovuto sia al fenomeno della segregazione inversa (Hanson e Pell-Walwlpole 1951, Tylecote 1985) spesso osservato in leghe ad alto tenore di Sn, che a fenomeni di corrosione preferenziale (Tylecote 1985, Bianchi e Mazza 2000). Nel nostro caso, come discusso nel paragrafo 3.6, nella maggior parte dei casi le motivazioni di questa eterogeneità chimica sembrano da collegare ai fenomeni di alterazione. L'anellino in lamina ha invece un contenuto di Sn uguale a 6.6, valore comparabile a quello di 7.6 dell'anellino in lamina CP FR-AP analizzato con EPMA:

Analisi metallografiche

Data la tessitura dendritica gli attacchi metallografici non sono stati effettuati. E' infatti ben evidente che l'attacco metallografico, condotto a titolo di esempio solo sul campione CP 101 e riportato in Fig. 3.3.10-d, non dà nessuna informazione aggiuntiva rispetto alle osservazioni rilevabili al microscopio ottico sulle sezioni lucide dove, l'utilizzo Nicol sfalsati e/o incrociati (come in Fig. 3.3.10-e) e l'osservazione in campo scuro (Fig. 3.3.10-f), consentono già una chiara identificazione della fase δ , l'evidenza di zonature nella fase α e la presenza di solfuri.

Considerazioni conclusive

Tutti i pendagli sono caratterizzati da tenori alti di Sn (11-18% in peso), e si raggruppano in varie classi per la diversa presenza di elementi in traccia. Hanno tutti struttura dendritica ed un elevato numero di segregazioni polimetalliche e solfuri dispersi nella lega.

Tali reperti non hanno subito nessuna lavorazione dopo lo stampo, anche le bave di fusione, ancora evidenti nella maggior parte dei reperti, non sono state eliminate. Del resto una così alta presenza di fase δ infragilisce la lega, che quindi difficilmente potrebbe sopportare lavorazioni per battitura.

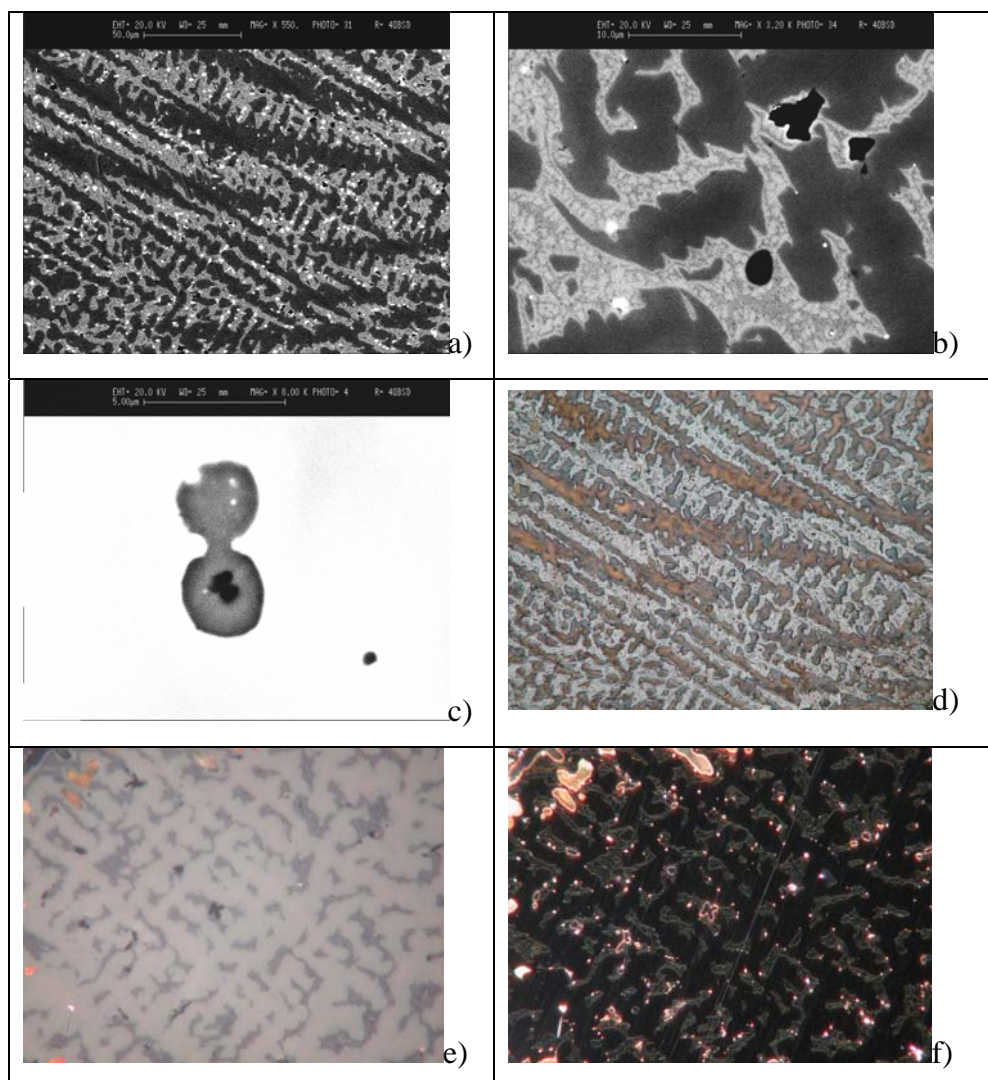


Fig. 3.3.10: Immagini SEM - BSE di: a) campione CP 101; b) particolare dell'eutettoide $\alpha+\delta$ del campione CP 81; c) inclusione di solfuro di CP61. d) Sezione metallografica del campione CP 101 (ingrandimento 500X). e) ed f) immagini al microscopio ottico della sezione lucida del campione CP 91, osservate rispettivamente in campo chiaro a Nicol incrociati e in campo scuro (ingrandimento 500X).

3.3.11 Attrezzi per la lavorazione del metallo: martello, scalpelli lanceolato e punteruolo

Martello

Il martello è caratterizzato dall'aver una superficie grigio scuro che lo ricopre interamente, anche sulla frattura concoide che presenta nella parte bassa (paragrafo 3.2). E' un bronzo ad altissimo contenuto di Sn, intorno al 20% in peso, come evidenziato dalle analisi PIXE e dalle microanalisi, che hanno ottimo accordo. L'alto Sn è la ragione della particolare tessitura osservata al SEM e al microscopio ottico (Fig. 3.3.11-a e 3.3.11-b). L'eutettoide $\alpha+\delta$ (grigio chiaro nell'immagine BSE di Fig. 3.3.11 e bianco in 3.3.11-b) costituisce la struttura principale della lega, in cui sono disperse isole di fase α (grigio scuro in Fig. 3.3.11-a e rosso-arancio in 3.3.11-b). La durezza della lega aumenta all'aumentare della struttura $\alpha+\delta$ (Hanson e Pell-Walwlpole 1951), e una buona durezza, anche a costo di una scarsa duttilità, è una proprietà importante per un martello. Tuttavia la fase δ è anche fragile e può facilmente causare rotture; questo giustifica la frattura presente nel martello e al contempo ne attesta il reale uso nelle attività lavorative.

Nella lega si trovano disperse segregazioni di Pb e Pb-Bi, oltre a numerosi solfuri di forma irregolare o tondeggianti (neri in Fig. 3.3.11-a e grigio-blu in 3.3.11-b), costituiti da solfuri di Cu; Cu-Fe con Fe rilevato fino a tenori del 7% circa; e numerosi solfuri di contenenti Zn, con Zn misurato fino a 31% in peso. Tracce di Zn, Fe, As, Ag e Sb sono state rilevate sia con le analisi PIXE che con quelle XRF. I dati XRF mostrano inoltre un alto contenuto di Fe (1.2 % in peso), probabilmente dovuto all'arricchimento di questo elemento negli strati di corrosione.

Scalpello

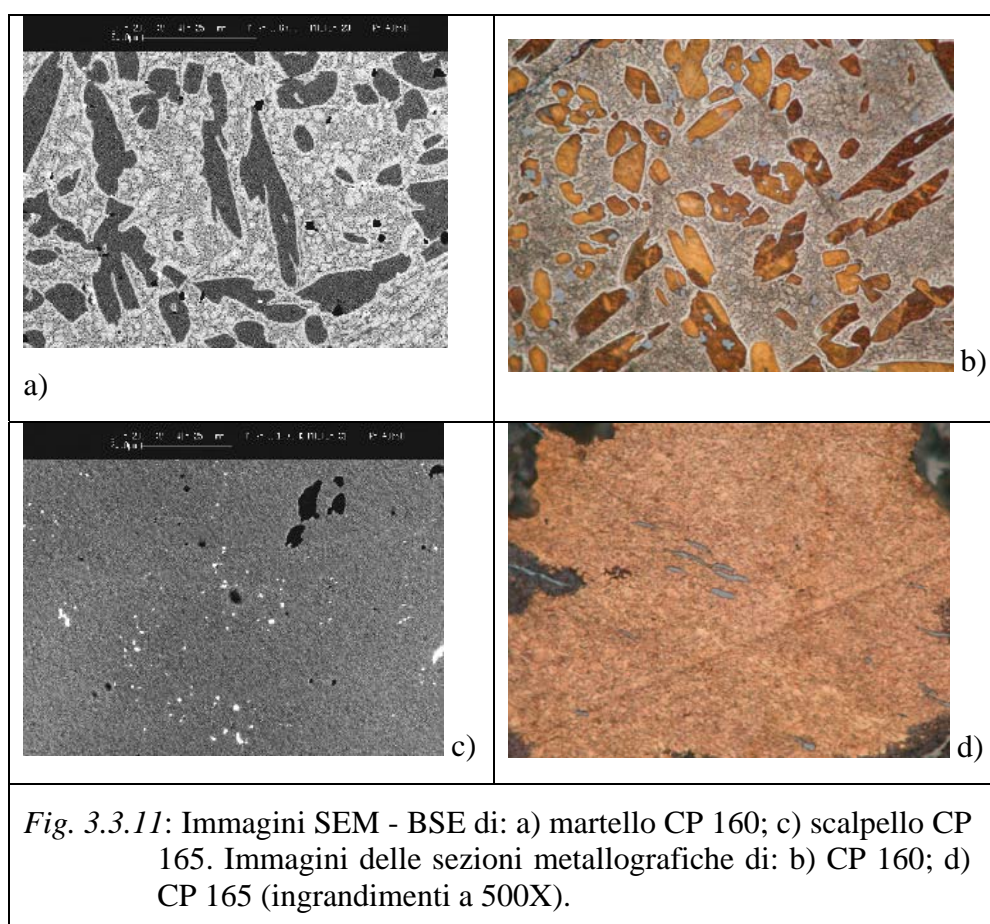
Lo scalpello CP 165 è composto da un bronzo con fase metallica omogenea (Fig. 3.3.11-c): fase α con Sn al 7.6% in peso. Disperse nel metallo sono presenti segregazioni di Pb e solfuri di Cu-Fe e, a volte, contenenti tracce di Zn. Le misure XRF sono affette da alto errore a causa dei fenomeni di corrosione superficiali, misurano infatti Sn al 19%.

Nella sezione metallografica (Fig. 3.3.11-c) si osservano solfuri fortemente allungati ed orientati (grigio-azzurri nell'immagine). La tessitura del campione non è facilmente leggibile, si osservano grani di piccolissime dimensioni dai bordi non ben definiti, con alcune bande di geminazione e vari sistemi di linee di scorrimento. E' evidente che il

reperito è stato lavorato per battitura ed ha subito anche ricottura, probabilmente per diversi cicli, ma non è chiaro quale sia stata l'ultima fase della lavorazione

Punteruolo

Per i motivi esposti nel paragrafo 3.2 sul punteruolo sono state effettuate solo analisi XRF, che purtroppo hanno restituito dati piuttosto dubbi, a causa delle patine che ricoprono la superficie. Possiamo solamente con certezza affermare che il punteruolo è composto da bronzo, anche se la quantità misurata (Sn 18 %) è chiaramente una sovrastima del reale valore.



3.3.12 Scarti/intermedi della lavorazione: una scoria e un lingotto

Lingotto

Il reperto CP 161 è stato identificato dagli archeologi come un possibile frammento di lingotto; le analisi, oltre ad identificarne la composizione, sono volte a capirne la reale funzionalità. Si tratta di un bronzo che ha un contenuto medio di Sn intorno a 8.5 % (8.4% calcolato da analisi EPMA e DIP; 8.7% con PIXE). Il campione ha struttura dendritica con un contenuto di 5-7% di Sn nella zona centrale dei dendriti, 10-13 % di Sn nelle parti più esterne dei dendriti e 15-20 % di Sn nelle aree interdendritiche (rispettivamente grigio scuro, grigio chiaro e bianco nell'immagine BSE di Fig. 3.3.12-a; e rosso scuro, rosso-arancio e grigio chiaro nella microfotografia di Fig. 3.3.12-b).

Le zone interdendritiche sono ricche di segregazioni di Pb, e Pb-Bi in minor quantità, mentre solfuri di Cu-Fe sono presenti in tutta la sezione.

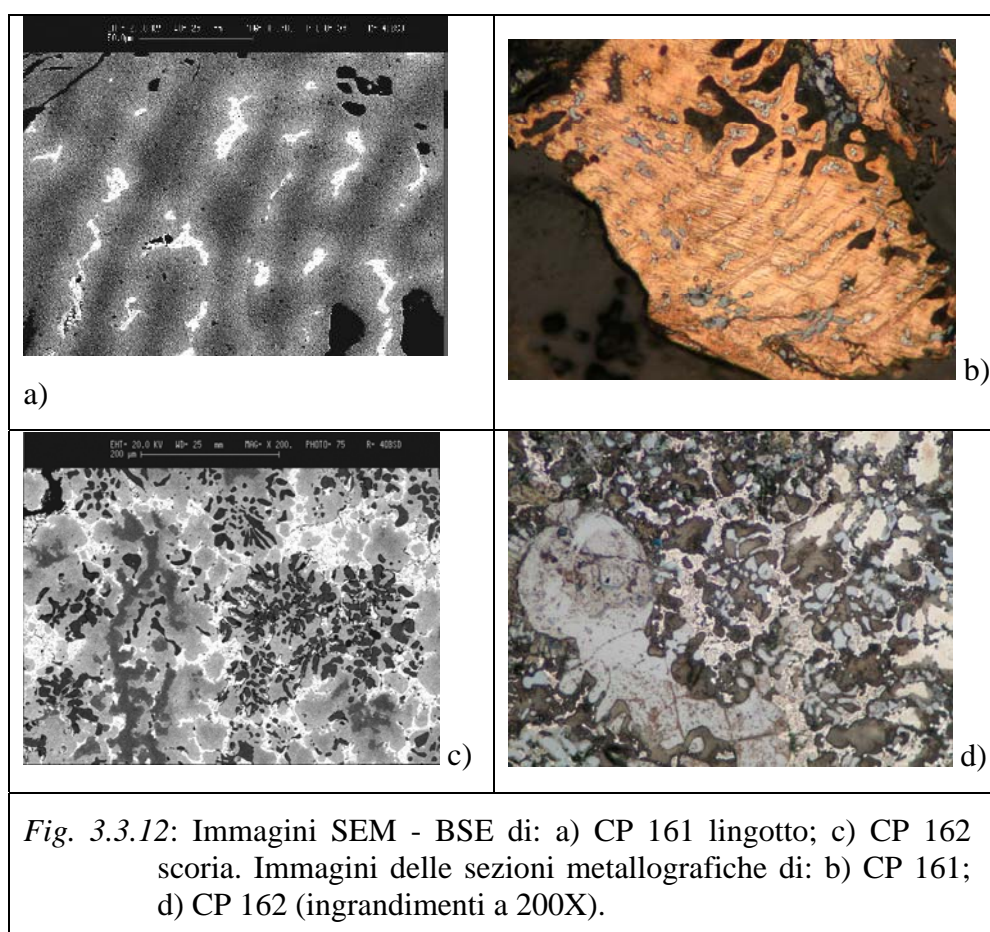
Come osservato per il martello, le analisi XRF restituiscono un alto contenuto in Fe (1.6%).

Nella sezione metallografica si osserva una struttura dendritica con braccia piegate e numerose linee di scorrimento (Fig. 3.3.12-b), da questo si può dedurre che l'oggetto, dopo la sua colatura in stampo, è stato lavorato a freddo per battitura.

Questa tessitura contrasta con l'interpretazione del pezzo come lingotto, e più probabilmente si tratti di un attrezzo a funzionalità ignota, possibilmente collegata alla lavorazione del metallo.

Scoria

Il campione CP 162 ha struttura altamente eterogenea, come visibile dalle immagini di Fig. 3.3.12-c e 3.3.12-d, ed è costituito da numerose fasi differenti, a composizione variabile. L'analisi SEM-EDS areale restituisce una composizione media di: O (3.7%); S (3%); Fe (4.4%); Co (7.6%); Ni (16.3%), Cu (54.7%), As (5.7%); Sb (3%); Pb (0.5%) e Ag (0.3). Sono stati osservati con le analisi puntuali solfuri e solfuri ossidati di: Cu-Fe, Cu-Co-Fe, Cu-Co-Fe-Ni, Fe-Co-Cu-Ni-Ag con i metalli in rapporti variabili (fasi grigio scure in Fig. 3.3.12-c e grigio azzurre in Fig. 3.3.12-d); i solfuri sono immersi in una lega metallica a composizione estremamente variabile da zona a zona, contenente Fe-Co-Ni-Cu-As-Ag-Sb in rapporti variabili (aree grigio chiaro nelle Fig. 3.3.12-c e 3.3.12-d).



3.3.13 Oggetti singoli:

3.2.13.a Gancio di cintura in lamina

Il gancio di cintura in lamina dalla forma a foglia, con decorazione incisa, è l'unico pezzo con questa tipologia e funzionalità presente nel ripostiglio. E' composto da bronzo con fase α omogenea (Fig. 3.3.13-a) ed un contenuto di Sn di 8.6% in peso. In lega sono state rilevate anche tracce consistenti di Ni (0.4%), Ag (0.2) e Pb (circa 0.2), come osservato anche con analisi PIXE e XRF. Inoltre con PIXE sono state viste tracce di S e Sb non rilevate nelle microanalisi, mentre con XRF viene misurato sempre Fe, ed in più Bi. Segregazioni di Pb, a volte di Pb-Bi, e solfuri di Cu-Fe (con Fe fin all'1%) sono dispersi nella fase α (rispettivamente bianchi e neri nell'immagine in BSE di Fig 3.3.13-a).

Le analisi metallografiche evidenziano una struttura con grani di forma regolare, presenza di bande di geminazione e numerosi sistemi di linee di scorrimento (Fig. 3.3.13-

b). Questo testimonia l'utilizzo di ricottura del metallo e di forti battiture; la battitura è anche stata l'ultima fase di lavorazione della lamina.

3.2.13.b Capocchia di spillone a rotella

La testa di spillone a rotella, come evidenziato dalle immagini SEM di Fig. 3.3.13-c e 3.3.13-d, presenta una tessitura dendritica, con dendriti aventi forte zonatura chimica dovuta al diverso tenore di Sn. All'interno dei dendriti lo Sn è circa del 5-6%; sulle parti più esterne raggiunge il 9-13%, mentre le zone interdendritiche sono occupate dall'eutettoide $\alpha+\delta$. La fase δ costituisce il 26.5% del campione (dati DIP) ed il contenuto di Sn medio calcolato risulta del 15.2%, come nelle analisi XRF, mentre i dati PIXE e SEM areali danno valori leggermente inferiori (intorno a 12-13%). Segregazioni di Pb sono presenti nelle aree interdendritiche, disperse nell'eutettoide $\alpha+\delta$ (rispettivamente bianche e grigio chiaro in Fig 3.3.13-d).

As, Fe e Pb sono stati osservati nelle analisi EPMA come elementi in traccia (circa 0,1%); il PIXE inoltre evidenzia Pb e S nell'ordine di 0.4 e 0.2% rispettivamente. Come già detto per altri campioni le analisi XRF danno maggiori contenuti di Fe e di Ni.

Solfuri di Cu-Fe, con Fe fino al 2.8% in peso, sono presenti in tutto il campione.

Data l'evidente struttura dendritica non sono state effettuati attacchi metallografici.

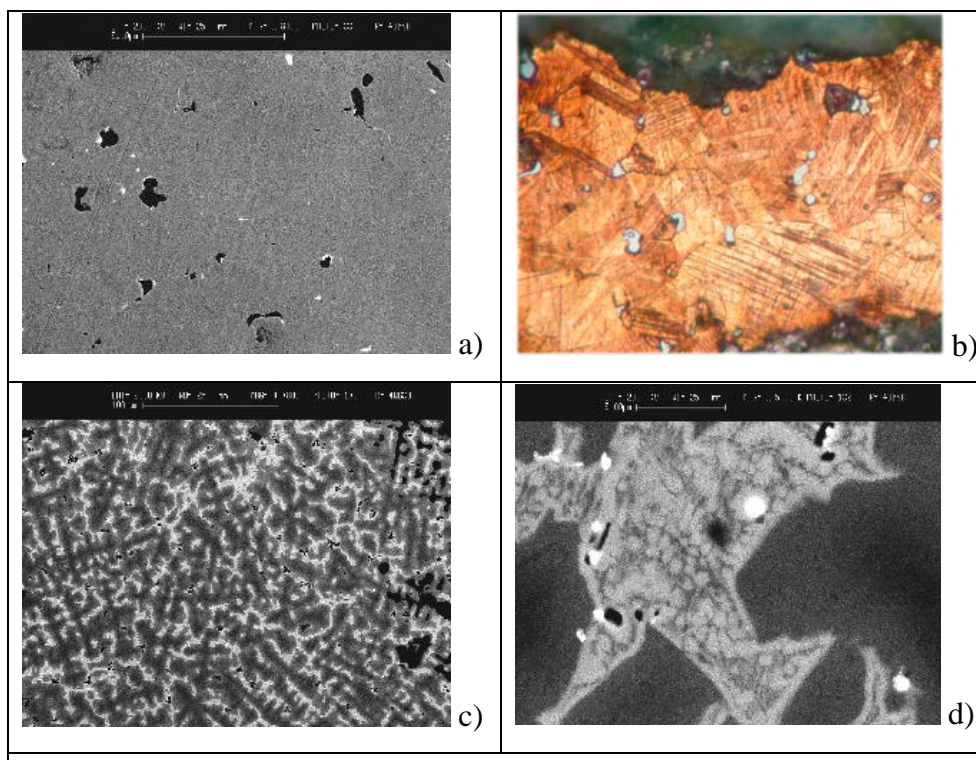


Fig. 3.3.13: Immagini SEM - BSE del gancio di cintura CP 13 (a); e della testa di spillone CP 47 (b) e (c). Sezione metallografica di CP 13 in b); ingrandimento a 200X.

3.2.13.c Punta di spada

Il campione della punta di spada CP 167 è stato prelevato dal centro del corpo della lama, vicino alla superficie esterna, dove questa si presentava già fratturata. E' costituito da bronzo, avente un'evidente struttura dendritica residua, che è il motivo della zonatura composizionale della fase α legate al diverso tenore di Sn. Nell'interno dei dendriti lo Sn è al 4.4% in peso (aree scure delle immagini BSE di Fig. 3.3.14-a e 3.3.14-b), mentre raggiunge l'11.4% nelle aree più esterne (zone chiare delle immagini BSE di Fig. 3.3.14-a e 3.3.14-b). Nella fase α eterogenea sono presenti piccole isole di fase δ (particolare ingrandito in Fig. 3.3.14-b). La fase δ costituisce solamente l'1.4 % del metallo, per questo il contenuto medio di Sn è meglio rappresentato dalla media pesata dei dati EPMA, dove risulta del 7.8 %, piuttosto che dalla media aritmetica che sovrastima il contributo della fase delta e restituisce uno Sn medio del 13.9% in peso; i dati SEM areali danno Sn a 9.6%.

Solfuri di Cu e Cu-Fe (con Fe fino al 2%), e segregazioni di Pb e Pb-Bi sono disperse nella fase α (rispettivamente nere e bianche in Fig. 3.3.14-a e 3.3.14-b). E' da notare che in questo caso l'analisi d'immagine non riesce a distinguere le segregazioni di Pb della fase δ , in quanto le due fasi sono caratterizzate da un contrasto molto simile nelle immagini BSE. Si è scelto quindi di considerare tutte le aree bianche come fase δ , sapendo che si commette un leggero errore di sovrastima dello Sn.

Fra gli elementi in traccia (circa 0.1%) vi sono As, Ag e Ni; con analisi XRF, come sempre, è stato rilevato anche Fe.

L'attacco metallografico evidenzia una struttura complessa (Fig. 3.3.14-c) dove sono presenti: aree con residui di dendriti; zone vicine con grossi grani aventi alcuni bordi dritti ed altri irregolari e, disperse fra le due strutture, qualche piccolo grano dai bordi regolari, che in rari casi presenta delle bande di geminazione (Fig. 3.3.14-d). Ovunque sono evidenti abbondanti sistemi di linee di scorrimento, spesso incrociati fra loro. La tessitura testimonia una lavorazione per battitura molto intensa ed una fase di ricottura minima, che non ha consentito l'eliminazione dei dendriti o la formazione estesa di grani equiassiali.

Sebbene la lavorazione della spada non sia stata molto intensa, la forte battitura finale ha indurito il metallo.

3.2.13.d Pendente in lamina

Il pendente in lamina con forma a goccia è il reperto più antico di tutto il ripostiglio. La forte alterazione superficiale rende poco affidabili le analisi XRF, che infatti danno valori assolutamente non realistici con Sn al 53% in peso.

Il reperto è costituito da un bronzo con fase α omogenea avente Sn all'11 % circa, gli elementi in traccia sono al di sotto dello 0.1 % e quindi non sufficientemente rilevabili con le tecniche qui utilizzate. Sono presenti numerose inclusioni di solfuri di Cu-Fe, mentre le segregazioni di Pb sono assenti.

Lo studio metallografico ha evidenziato la presenza di grandi grani equiassiali, con bande di geminazione, mentre non state mai osservate linee di scorrimento. Se ne deduce che la lamina è stata prodotta tramite cicli di battitura e ricottura e l'ultima fase della lavorazione è stato un prolungato annealing che ha eliminato ogni stress presente nel metallo.

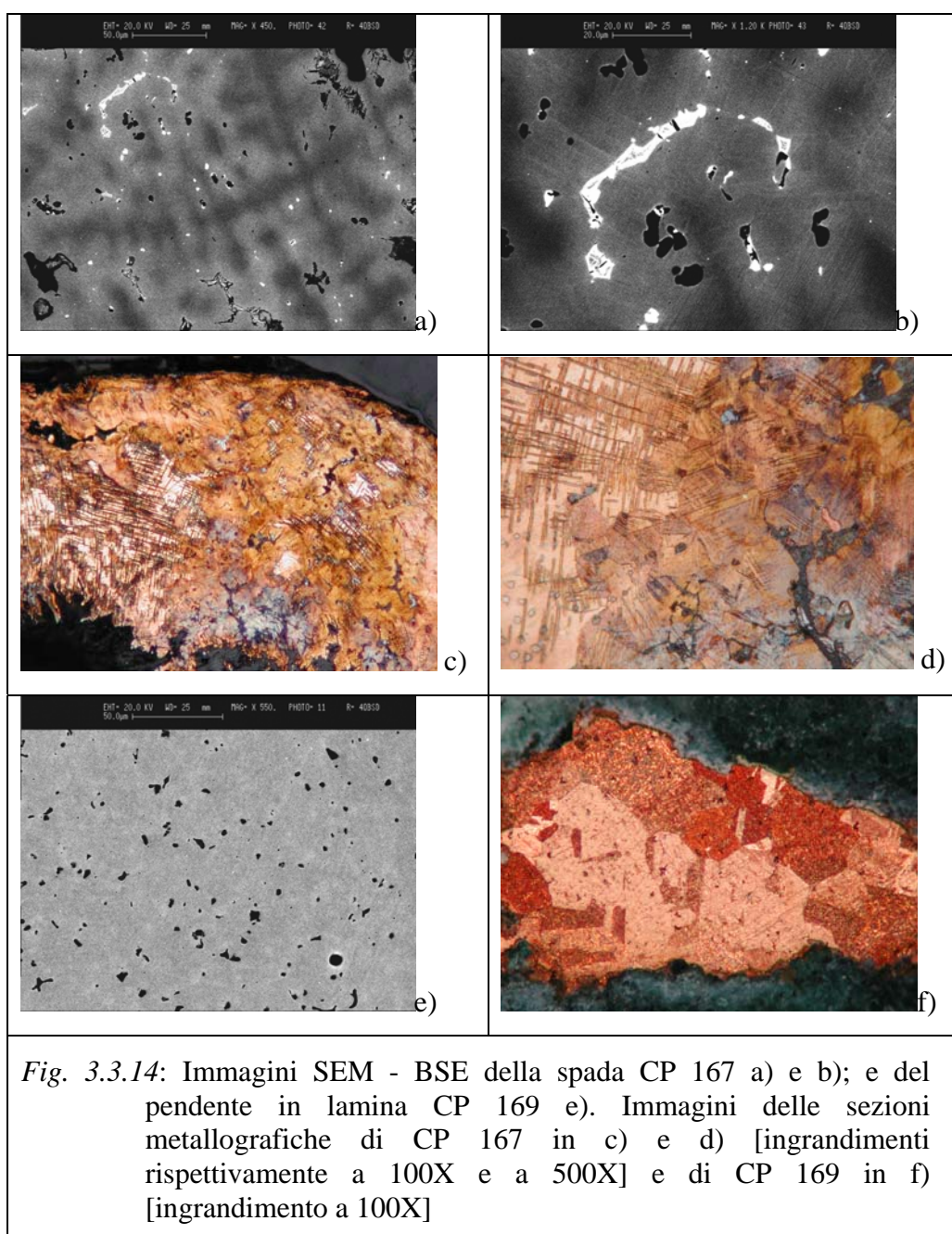


Fig. 3.3.14: Immagini SEM - BSE della spada CP 167 a) e b); e del pendente in lamina CP 169 e). Immagini delle sezioni metallografiche di CP 167 in c) e d) [ingrandimenti rispettivamente a 100X e a 500X] e di CP 169 in f) [ingrandimento a 100X]

3.2.13.e Tazza ad ansa verticale sopraelevata

La tazza in lamina con ansa verticale sopraelevata CP 175, presenta delle lacune sul lato e sul fondo; da queste zone sono stati campionati i materiali per le analisi chimiche ed isotopiche. La lamina è un bronzo eterogeneo con zone a contenuto di Sn di 11.7% (aree chiare in Fig. 3.3.15-a) e zone con minor alligante: Sn uguale a 10.7% in peso (aree grigio scuro in Fig. 3.3.15-a). Le due aree composizionali sono presenti circa in uguale quantità

(analisi DIP) e il tenore medio di Sn è di 11% (valore comparabile anche ai dati ottenuti dalle analisi XRF).

Segregazioni di Pb e di Pb-Bi sono diffuse nella lega insieme a solfuri di Cu-Fe (Fe massimo misurato 14%) e di Cu-Fe-Zn (Zn misurato fino a tenori di 22%). Le segregazioni ed i solfuri sono visibili in Fig. 3.3.15-a rispettivamente come aree bianche ed aree nere. I solfuri in cui è stato osservato lo Zn hanno notevoli eterogeneità strutturali; un esempio è riportato in Fig. 3.3.15-b. All'interno del solfuro le varie scale di grigio sono correlate a differenti ammontari di Fe (approssimativamente da 0.5 a 3% in peso), mentre l'inclusione nera esagonale è un solfuro di Cu-Zn (qui lo Zn rilevato è del 22%); le aree chiare sono solfuri di Cu.

Gli elementi in traccia osservati (0.1-0.2% in peso) sono As, Ag e Ni; nelle analisi XRF sono stati determinati anche Fe, Pb, Bi e Sb (elementi che possono essere presenti nelle segregazioni presenti nella fase α).

La presenza del manico in metallo è un elemento di particolare interesse archeologico, per questo una delle ipotesi che si volevano verificare è la contemporaneità del corpo e del manico, che avrebbe potuto essere stato aggiunto in un secondo tempo. Poiché il manico è integro e considerando che sono presenti superfici piane, prive di patine di alterazione a seguito di una forte pulitura effettuata dal primo scopritore del ripostiglio, che ha lasciato esposte aree di metallo "sano", si è deciso di indagare il problema solo tramite analisi XRF. Sono state effettuate analisi su 4 punti differenti: 1) il corpo della tazza; 2) il manico; 3) e 4) due diversi ribattini (tutte le analisi sono riportate in Tab. 3.8.2). I dati dei punti 1 e 2 sono del tutto comparabili considerando che le uniche differenze riguardano tracce di Ag, spesso rilevato con difficoltà quando in bassi quantitativi, e di Zn che, anche se non misurato nel corpo della tazza dall'XRF ma osservato nel manico, è per certo presente nei solfuri dispersi nel metallo costituente il corpo, come rilevato dalle microanalisi SEM-EDS.

L'indagine metallografica evidenzia una struttura avente grani equiassiali, geminati, con un elevato numero di sistemi di linee di scorrimento (Fig. 3.3.15-c). I solfuri (grigio-azzurro in Fig. 3.3.15-c) in alcune parti del campione sono allungati ed in altri molto larghi, "appiattiti". È interessante osservare che sono state viste alcune piccole isole di

fase δ (grigio chiaro in Fig. 3.3.15-d). Queste possono creare dei problemi in fase di lavorazione della lamina: è infatti evidente dalla tessitura che la lamina è stata prodotta con diversi cicli di battitura e successiva ricottura, la presenza di fase δ , fragile, può creare punti di debolezza. L'ultima fase della lavorazione è stata per certo una battitura, probabilmente per la messa in forma del pezzo.

3.2.13.f Anellino in lamina

Dei due anellini in lamina campionati, uno solo ha restituito materiale utile per le analisi. Questo è costituito da un bronzo che presenta una leggera zonatura chimica della fase α , legata a differenze di Sn minore dello 0.4% (Fig. 3.3.15-e). Lo Sn nelle due aree composizionali è di 7.7 e 8.1 % in peso. Segregazioni di Pb e Pb-Bi ed inclusioni di solfuri di Cu e di Cu-Fe sono presenti in tutto il campione (rispettivamente aree bianche ed aree nere in Fig. 3.3.15-e). Gli elementi in traccia sono sempre in quantità dell'ordine dello 0.1-0.2% in peso e sono Ag, As e Ni.

La metallografia evidenzia la presenza di grossi grani dai bordi regolari, con bande di geminazione e linee di scorrimento (Fig. 3.3.15-f). In tantissimi punti grandi bande di geminazione si sovrappongono alle linee di scorrimento, che tuttavia sono ancora ben visibili. Se ne deduce che la lamina è stata prodotta per successive battiture e ricotture del metallo, e che l'ultima fase della lavorazione è consistita in un trattamento termico abbastanza prolungato (anche se l'annealing non è completo). Questo trattamento è compatibile con la necessità di ripiegare strettamente la lamina su se stessa per creare l'anello; se il metallo non fosse allo stato molle questa operazione potrebbe portare alla rottura della lamina.

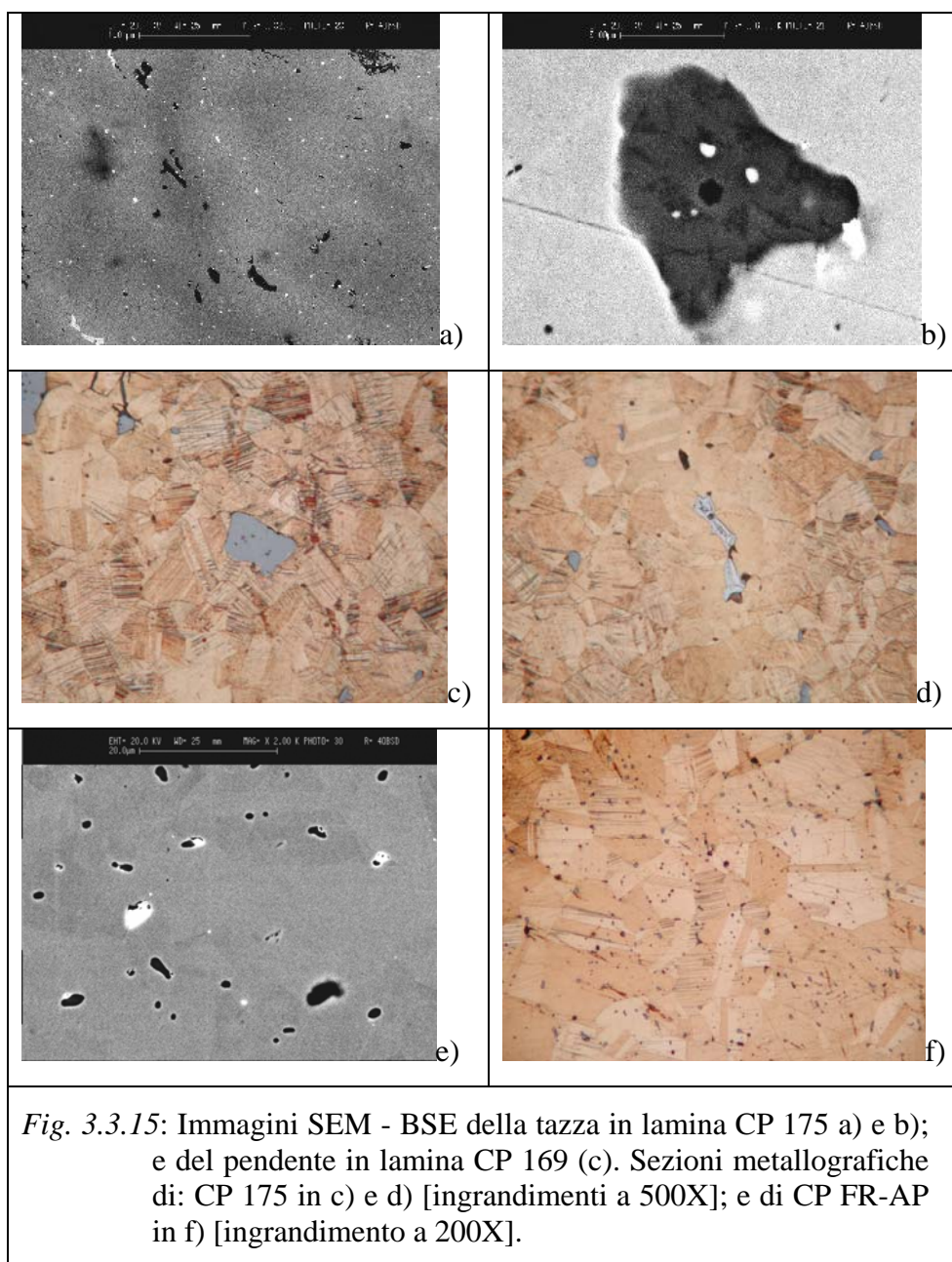


Fig. 3.3.15: Immagini SEM - BSE della tazza in lamina CP 175 a) e b); e del pendente in lamina CP 169 (c). Sezioni metallografiche di: CP 175 in c) e d) [ingrandimenti a 500X]; e di CP FR-AP in f) [ingrandimento a 200X].

3.4 Discussione dei dati isotopici

3.4.1 Introduzione

Negli studi di provenienza degli oggetti di rame o di leghe di rame, un primo fondamentale punto di partenza è la caratterizzazione chimica approfondita del metallo che li compone. Gli elementi maggiori, minori ed in tracce, ed in particolar modo le fasi mineralogiche che si possono individuare all'interno della lega (quali ad esempio i solfuri), permettono di ricavare utili indicazioni sulla possibile composizione del minerale o dell'associazione di minerali da cui proviene il rame. Tuttavia queste indicazioni chimiche e mineralogiche, pur costituendo un punto fondamentale dello studio, non sono sufficienti ad individuare in modo univoco la zona di origine del metallo, in quanto i giacimenti che derivano da uno stesso processo geologico e metallogenico, e che possono anche essere localizzati in aree geografiche diverse, sono caratterizzati dallo stesso tipo di segnale chimico.

Il mezzo principe usato da molti anni negli studi di provenienza è l'analisi isotopica, in particolare sono importanti indicatori i rapporti isotopici del piombo sono di certo quelli più ampiamente diffusi ed utilizzati (Gale e Stos-Gale 2000). La loro validità e la modalità più adeguata con cui applicare questi studi è comunque ancora oggi argomento di discussione (Scaife *et al.* 1999, Gale and Stos-Gale 2000). Anche l'utilizzo combinato delle analisi isotopiche e di quelle chimiche presenta notevoli difficoltà a causa della variabilità dei giacimenti, dell'influenza che le condizioni metallurgiche di *smelting* (temperatura, fugacità di ossigeno, tempo, etc.) hanno sulla composizione finale del metallo e della difficoltà di avere database di riferimento chimici ed isotopici sufficientemente estesi (Pernicka 1999, Pernicka 2004).

Ciò che è certo è che le analogie nei rapporti isotopici sono una condizione necessaria ma non sufficiente per l'interpretazione dei giacimenti di provenienza. Per questo motivo è da tempo in corso un progetto per lo studio delle mineralizzazioni cuprifere dell'Italia Settentrionale per l'applicazioni agli studi archeometrici di provenienza del metallo, che si basa sulla misura dei rapporti isotopici del Pb, del Cu, e sull'analisi statistica della suite degli elementi in traccia (Colpani *et al.* 2007, Giussani *et al.* 2007, Artioli *et al.* 2008).

Con l'idea di applicare una simile strategia anche allo studio dei materiali di Monte Cavanero, si sono iniziati gli studi archeometrici di caratterizzazione dei reperti

archeologici per la determinazione degli elementi maggiori e minori, nonché le analisi degli isotopi del Pb di tali oggetti (argomenti trattati nella presente tesi di dottorato), lasciando ad una fase successiva dello studio la determinazione degli isotopi del Cu.

3.4.2 Campioni giacimentologici di confronto

Per poter interpretare in modo corretto i dati dei campioni di Chiusa Pesio (come in realtà quelli di qualunque ritrovamento), oltre all'utilizzo di quanto disponibile in letteratura per le analisi isotopiche delle mineralizzazioni Europee, è fondamentale avere dati mineralogici, geochimici ed isotopici delle zone minerarie limitrofe.

Basandosi quindi su semplici considerazioni geografiche, in primo luogo la distanza dal Monte Cavanero, le zone con mineralizzazioni cuprifere significative sono limitate a quattro aree principali (Fig. 3.4.2.1):

- (1) la zona francese del Queyras, dove il giacimento principale interessa l'importante mineralizzazione a bornite di Saint Veran (Barge 1997; Rostan et al. 1994) sfruttata a larga scala sin dal Bronzo Antico. San Veran è collegabile da un punto di vista geologico, alle miniere del Pinrolese. [area indicata con Q in Fig. 3.4.2 e 3.4.3]
- (2) la zona del cosiddetto Brianzone Ligure. Qui non sono segnalate mineralizzazioni consistenti di rame, ma piuttosto modeste concentrazioni a Pb-Zn-Ag con subordinate quantità di Cu, Sb, As, (essenzialmente tetraedrite). Una apparente eccezione è quella del giacimento di Murialdo-Pastori, in Val Bormida, dove alla tetraedrite arsenicale (tennantite) si associano e talora predominano i solfuri di Cu-Fe. (Piccoli 2002, Piccoli et al. 2007, Del Lucchese 2004, Del Lucchese – Delfino 2008) [area indicata con BL in Fig. 3.4.2 e 3.4.3]
- (3) la zona dell'Appennino Ligure, dove sono note importanti mineralizzazioni a pirite-rame come quelle delle miniere di Libiola e Monte Loreto, sfruttate sin dalla fine del Neolitico (Maggi - Pearce 1998, Campana *et al.* 1998) [zona indicata con AL in Fig. 3.4.2 e 3.4.3]
- (4) la vasta zona delle mineralizzazioni pirito-cuprifere della Falda Piemontese, con giacimenti localizzati principalmente tra la Valle d'Aosta (Chuc-Servette, Champ

de Praz, Petit Monde, Ollomont) e la Val Grande Piemontese (Chialamberto, Valli di Lanzo) [area indicata con FP in Fig. 3.4.2 e 3.4.3]

Molte di queste zone minerarie sono particolarmente rilevanti per gli studi archeometrici in quanto presentano evidenze di frequentazione antica e sono per questo state indagate anche da un punto di vista archeologico. Ci si riferisce in particolare alla miniera di Saint Veran dove è nota la presenza di scorie di *smelting* databili al Bronzo Antico (Bourgarit *et al.* 2008) e alle miniere liguri che gli archeologi indicano come sfruttate dalla fine del Neolitico o dall'inizio dell'Eneolitico (Maggi e Pearce 1998, Campana *et al.* 1998).

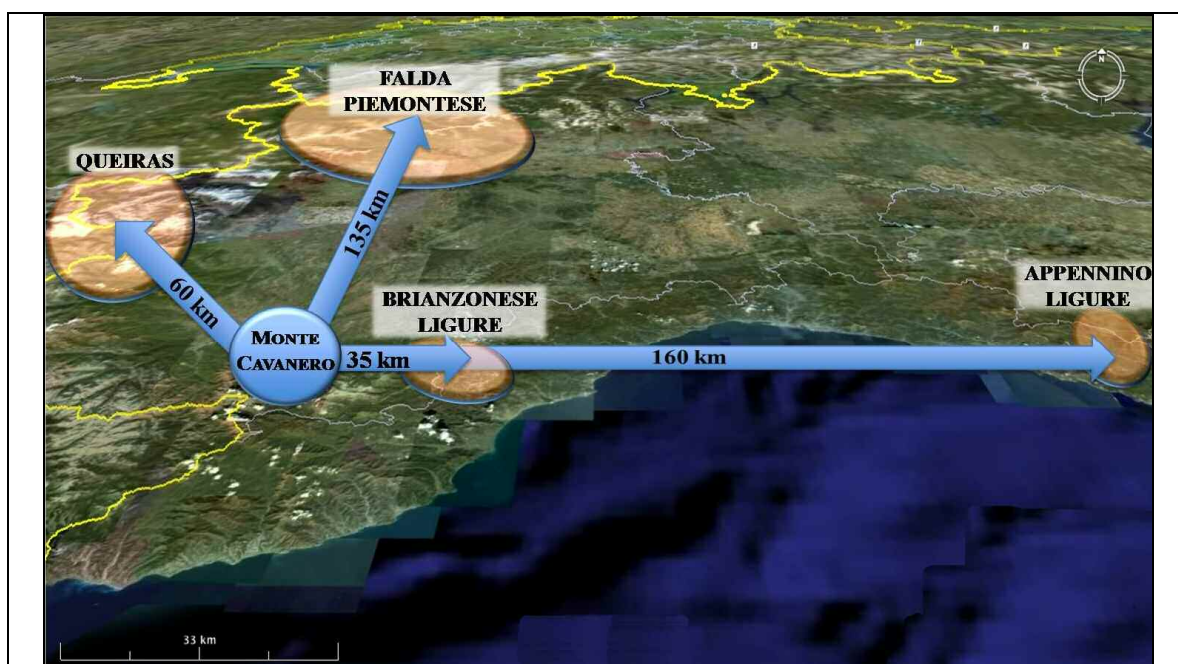


Fig. 3.4.1: Localizzazione geografica di Monte Cavanero e visione generale delle principali mineralizzazioni cuprifere delle Alpi Occidentali e dell'Appennino Ligure.

Minerali primari e secondari delle principali miniere presenti nelle 4 aree sopra elencate, oltre ad alcuni altri campioni di riferimento provenienti da aree limitrofe ed aggiunti per ottenere un quadro completo delle mineralizzazioni a rame delle Alpi occidentali, sono stati caratterizzati dalla Dott.ssa I. Giunti nell'ambito della sua tesi di Dottorato (si veda Cap. 2): dopo uno studio mineralogico al microscopio ottico e in

diffrazione sono state avviate le analisi chimiche ed isotopiche. Come per i campioni di Chiusa Pesio al momento sono stati analizzati solo gli isotopi del Pb, e ad essi ci si riferirà in questa sede per le comparazioni.

3.4.3 Dati e discussione

Dai reperti campionati ed analizzati di Chiusa Pesio sono stati selezionati 18 oggetti da sottoporre ad analisi isotopica. La scelta è avvenuta su criteri chimici (in base ai risultati delle analisi archeometriche esposte nel Cap. 3) ed archeologici (funzionalità, tipologia ed età dei reperti); purtroppo si è dovuto tener inevitabilmente conto anche della quantità di materiale disponibile dal prelievo. Ove possibile si è cercato di avere delle analisi su almeno 2 oggetti dello stessa classe (ad esempio 2 spiruline, 2 torques, etc) in modo da poter verificare anche la costanza dei dati per una stessa classe funzionale.

In Tab. 3.4.1 sono elencati i campioni analizzati ed i risultati delle analisi isotopiche. Si osservi che è stata analizzata anche la scoriotta CP-162, a composizione molto peculiare (si veda paragrafo 3.3.12); i risultati di questo campione saranno discussi separatamente.

Per un confronto più ampio ed appropriato i dati isotopici dei reperti di Chiusa Pesio sono stati diagrammati unitamente, non solo ai dati relativi alle mineralizzazioni delle Alpi Occidentali analizzate in questo progetto, ma congiuntamente ai valori di letteratura disponibili sulle principali mineralizzazioni Alpine (ad es. Köppel 1983, Köppel e Schroll 1983) e mediterranee (Gale e Stos-Gale 2000). Per omogeneità e consistenza dei dati, sono stati inclusi solo i giacimenti principali di rame, ed i dati isotopici si riferiscono a minerali cupriferi, escludendo mineralizzazioni a galena o galena/blenda. Si analizzano i risultati utilizzando i diagrammi dei rapporti isotopici $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 3.4.2) e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Fig. 3.4.3), che sono fra quelli più utilizzati in archeometria per interpretare i campi discriminanti delle diverse aree minerarie.

Dai diagrammi riportati è evidente che la provenienza dei reperti di Chiusa Pesio dai giacimenti appenninici (Libiola, Monte Loreto), da quelli del Gran Paradiso e da quelli della Valsesia può essere sicuramente esclusa, mentre i depositi delle Alpi occidentali hanno rapporti isotopici del tutto comparabili a quelli dei reperti in studio. Anche i valori relativi ai depositi del Queyras-Pinerolese, soprattutto quello del deposito prevalentemente

bornitico di Saint Veran e quelli di Viafiorcia, Salbertrand, e della calcopirite di Saint Veran, sono piuttosto discosti. Le affinità maggiori si hanno con i rapporti isotopici delle mineralizzazioni del Brianzonese ligure, comprese fra la Val Bormida e la Val Corsaglia.

<i>Campioni</i>	<i>Oggetto</i>	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
CP-6	Torquis in verga ritorta	18.158	15.663	38.378
CP-9	Torquis in verga ritorta	18.071	15.67	38.283
CP-34	Pendente lanceolato	18.224	15.685	38.523
CP-40	Pendente lanceolato	18.179	15.675	38.437
CP-45	Pendente lanceolato	18.223	15.640	38.317
CP-51	Armilla con costolatura	18.220	15.664	38.394
CP-53	Armilla con costolatura	18.219	15.664	38.407
CP-63	Pendente circolare piccolo	18.131	15.663	38.353
CP-94	Pendente con sostegno	18.075	15.656	38.276
CP-156	Placchetta decorata a sbalzo	18.053	15.664	38.305
CP-132	Spiralina	18.197	15.654	38.379
CP-133	Spiralina	18.187	15.67	38.414
CP-161	Lingotto (?)	17.916	15.651	38.163
CP-162	Scorietta	18.363	15.684	38.482
CP-167	Spada	18.048	15.662	38.234
CP-170/1	Frammento di anellino	18.188	15.678	38.442
CP-170/2	Frammento di anellino	18.128	15.661	38.352
CP-175CL	Tazza con ansa verticale (corpo)	18.153	15.665	38.385

Tab. 3.4.1: Reperti del ripostiglio di Monte Cavanero analizzati per i rapporti isotopici del Pb.

Diviene rilevante, a questo punto dello studio, unire le informazioni isotopiche con quelle giacimentologiche e quelle chimiche ottenute dalle analisi dei reperti. Dai dati esposti nel paragrafo 3.4 del Cap 3 risulta evidente la chimica degli oggetti esclude a priori la derivazione del rame da mineralizzazioni tipo Fahlerz (tetraedrite), mentre l'elevata quantità di solfuri di Cu-Fe e Cu-Fe-Zn lascia ipotizzare l'uso prevalente di calcopirite con associazione di sfalerite.

Osservando le associazioni mineralogiche dei depositi del Brianzoneese si nota che questi hanno poca calcopirite, con l'eccezione di Murialdo/Pastori, e in genere il rame è presente come tetraedrite. Possiamo quindi escludere che il rame provenga dalle mineralizzazioni dell'area a sud-est di Chiusa Pesio.

Le mineralizzazioni poste a nord mostrano invece l'associazione calcopirite-blenda, e sono quindi quelle da cui più probabilmente deriva il metallo; in particolare l'area mineraria che sia ha partendo dalla valle d'Aosta (Petit Monde, Chuc Servette), e passando dalle valli piemontesi (Colle della Borra, Chialamberto), arriva fino alla zona prossima alla Francia (Bars de l'Ors/Ciabraressa).

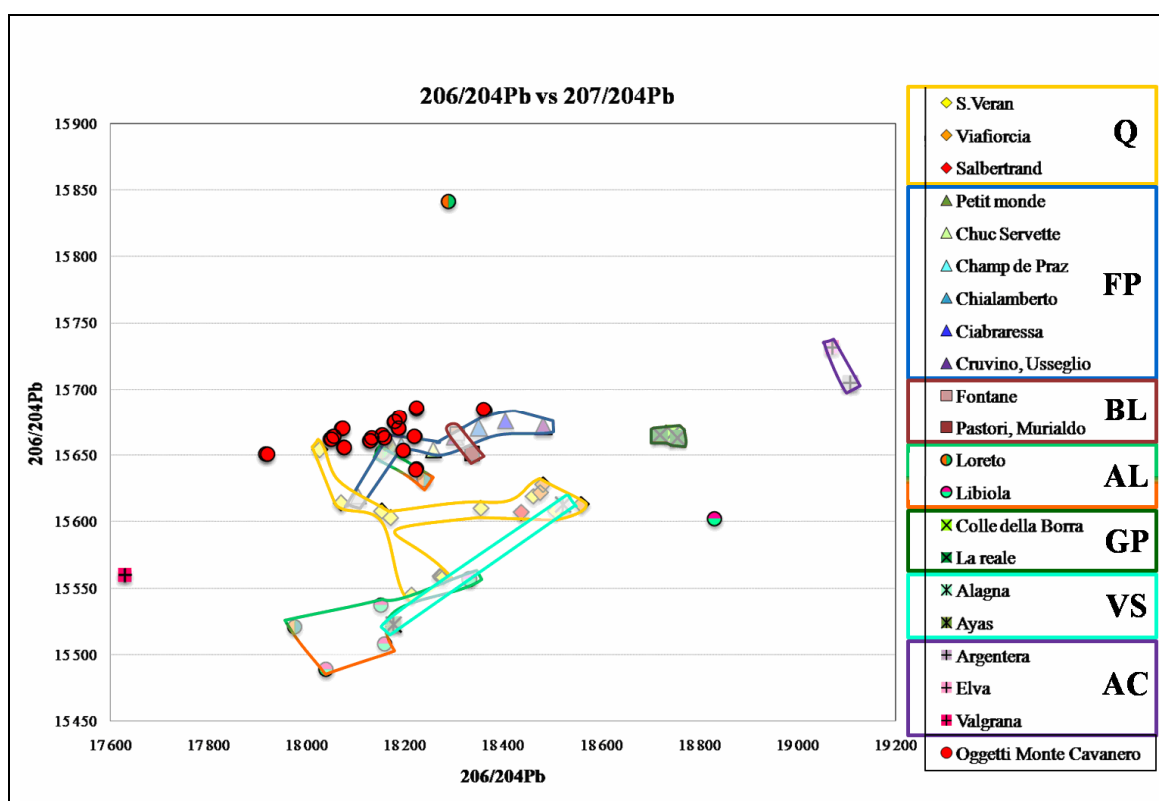
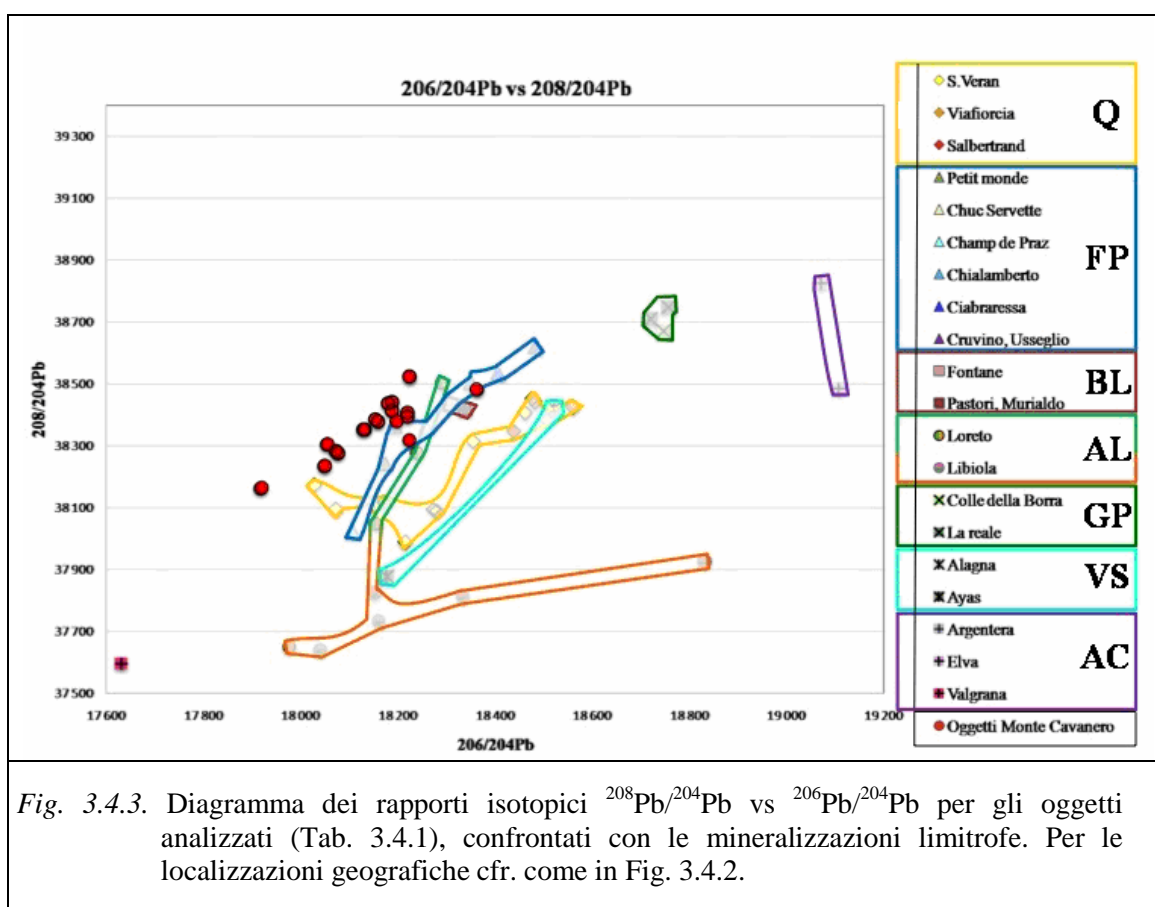


Fig. 3.4.2. Diagramma dei rapporti isotopici $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ per gli oggetti analizzati (Tab. 3.4.1), confrontati con le mineralizzazioni limitrofe.

Sulla destra sono elencate le mineralizzazioni di cui si riportano i punti in tabella, raggruppate per area. L'area di appartenenza è indicata alla sinistra dei simboli con le seguenti sigle: Q = Queyras-Pinerolese; FP = Falda Piemontese (Valli di Lanzo, Val Grande, Valle d'Aosta, Val Pellice); BL = Brianzoneese Ligure (Val Corsaglia, Val Bormida); AP = Appennino Ligure; GP = Gran Paradiso; VS = Valsesia, Val d'Ayas; AC = Argentera Cuneese.



La scoriotta CP 162 ha, rispetto a tutti gli altri reperti, una composizione molto peculiare: Ni (16.33%), Co (7.65%), As (5.75%), e Sb (3.05%). S (3.04%) e Fe (4.38%) in percentuali peso (Cap. 3, paragrafo 3.3.12).

Composizione simile deriva dall'uso di polisolfuri contenenti As, Sb (probabilmente della serie tetraedrite-tennantite), Co (probabilmente skutterudite o minerali analoghi) ed un elevato tenore di Ni. E' evidente che questa scoriotta ha una derivazione completamente diversa rispetto agli altri oggetti, e si deve ricercare un deposito con associazione tetraedrite, tennantite, skutterudite e calcopirite.

L'area del Brianzonese ligure può essere esclusa dalle possibili zone di provenienza in quanto, pur avendo segnale isotopico del Pb compatibile (come prima esposto) e numerose mineralizzazioni di tetraedrite, non mostra mineralizzazioni ricche in nichel.

L'area mineraria di Cabrières (Hérault, France) comprende una ampia zona mineraria sfruttata fin dall'Eneolitico (Ambert 1995, Mille e Bourgarit 1998, Bourgarit e Mille 2005) in cui sono presenti mineralizzazioni a tetraedrite. I rapporti isotopici delle

mineralizzazioni (Prange e Ambert 2005) sono in generale compatibili con quelli misurati per il frammento CP 162, però un alto tenore di tetraedrite porta all'ottenimento di rame molto ricco in antimonio ed argento, e povero di nichel e cobalto (Prange e Ambert 2005). Questo fa escludere anche una provenienza dal sud della Francia.

Assumendo sulla base delle precedenti considerazioni che la grande maggioranza del rame negli oggetti di Monte Cavanero ha un'origine locale, la nostra attenzione si è quindi focalizzata su modeste mineralizzazioni ricche in Ni-Co-As-Sb presenti tra il giacimento cuprifero di Chialamberto e la Val di Susa, presso le località di Cruvino e Bessanetto. Si tratta a nostra conoscenza delle uniche mineralizzazioni delle Alpi Occidentali che contengono skutterudite con alti tenori di Ni, associata a tetraedrite e poca calcopirite. Sono stati analizzati due campioni di queste mineralizzazioni, provenienti da Cruvino e Usseglio, ed i valori dei rapporti isotopici del Pb sono in perfetto accordo con quelli della scoria CP 162, indicando quindi una alta probabilità che le mineralizzazioni di questa zona possano essere state utilizzate per una piccola parte del rame del ripostiglio.

3.4.4 Conclusioni

In base ai dati chimici, isotopici, mineralogici, e giacimentologici disponibili, è possibile affermare che:

- (1) i rapporti isotopici del Pb indicano che, con alta probabilità, il rame utilizzato negli oggetti di bronzo di Monte Cavanero è compatibile con una provenienza dalle miniere prossime al luogo del ritrovamento (Alpi Occidentali).
- (2) Si possono senz'altro escludere su base isotopica le miniere Appenniniche (Libiola e Monte Loreto) e le miniere bornitiche del Queyras (Saint Veran), e su base geochemica quelle tetraedritiche del Brianzese Ligure (Val Bormida, Val Corsaglia).
- (3) La composizione chimica della scoria CP-162 ricca in Ni-Co-As, e in misura minore di Sb-Fe-S, denota un'origine da polisolfuri complessi in cui la calcopirite è solo una fase minoritaria. Si propone che il minerale per l'estrazione di questo rame provenga dalle mineralizzazioni dell'area a nord della Val di Susa, che sono le uniche note nelle Alpi Occidentali con skutterudite ad alto tenore di Ni, e sono inoltre perfettamente compatibili con i dati misurati dei rapporti isotopici del Pb.

3.5 Comparazione delle tecniche analitiche utilizzate

Nel corso del progetto di studio sui reperti di Chiusa Pesio sono state utilizzate diverse tecniche analitiche per rispondere a specifiche necessità di ricerca. La trattazione delle caratteristiche tecniche di ciascun metodo d'indagine utilizzato e la valutazione comparativa degli errori di misura, dei limiti di rilevabilità e dell'accuratezza delle diverse strumentazioni, non è fra gli obiettivi principali di questa tesi. Specifici lavori a riguardo sono stati fatti in passato sia per singole tecniche analitiche (ad es. Lutz e Pernicka 1996), che per la valutazione incrociata di diversi metodi d'indagine (ad es. Bourgarit e Mille 2003), anche al fine di intercalibrare i risultati degli studi di diversi laboratori (Northover J.P. e Rychner 1998). Nel caso presente la necessità di comparare tra loro (e con dati di letteratura) i risultati ottenuti con i diversi metodi di indagine per poter rispondere a mirate domande archeologiche, ha portato inevitabilmente ad una valutazione empirica diretta delle prestazioni e dell'adeguatezza di ciascuna tecnica analitica, quando nello specifico è applicata a reperti preistorici di metallo aventi la variabilità di forme e di composizioni quali quelle presentate dai materiali di Chiusa Pesio.

L'XRF è stato applicato, come già accennato nel Capitolo 2, per effettuare una prima campagna di controllo della natura chimica dei reperti. Gli obiettivi principali che ci si prefiggeva erano tre:

- 1) ricavare informazioni utili per impostare in modo corretto un piano di campionamenti. Dovendo limitare il numero dei prelievi effettuati sui materiali, sia per minimizzare l'invasività delle analisi, sia per ragioni di costi e di tempi, e considerando che il ripostiglio è composto da un'elevata quantità di reperti aventi differenti funzionalità, tipologie ed età, è stato necessario indirizzare i prelievi sui reperti più significativi sia da un punto di vista archeologico sia compositivo. Dalle indagini XRF si è ottenuto un primo screening per caratterizzare i tipi di metallo o di leghe, ed effettuare le campionature in modo mirato.
- 2) Avere il maggior numero possibile di dati chimici quantitativi. Alcune classi funzionali di oggetti, quali ad esempio i pendenti circolari, le spiruline o i pendenti lanceolati, sono composte da un elevato numero di reperti. Analizzando in modo

non distruttivo tramite XRF molti reperti di ciascuna classe e campionando poi alcuni di essi per le analisi EPMA, si è cercata una verifica dell'attendibilità della misura XRF dei singoli elementi, tramite confronto incrociato delle tecniche.

- 3) Ottenere dati quantitativi, il più attendibili possibili, su quei reperti, quali ad esempio gli spilloni, che per varie ragioni non potevano essere campionati.

Alcuni di questi obiettivi sono stati pienamente raggiunti, quali il punto 1, mentre altri solo parzialmente (punti 2 e 3).

E' risaputo che l'XRF è una tecnica d'indagine superficiale (Milazzo 2004) e quindi i risultati risentono fortemente delle patine di alterazioni presenti. Pur consci di questi limiti, e considerando l'impossibilità di effettuare puliture della porzione metallica investigata; per ovvi motivi conservativi si è sempre cercato di scegliere le parti dei reperti che non presentassero evidenti strati di corrosione. I risultati tuttavia mostrano valori di Sn misurato fino a circa il 70% e spesso nell'intervallo 20-30%, conoscendo il tenore di Sn normalmente utilizzato nel Bronzo Finale: circa 4-15% (Giunlia-Mair 2005, Hook 2007), è risultato evidente che i dati XRF non potevano essere tutti quantitativamente affidabili. Da qui la necessità di un metodo di controllo sulla qualità di ogni singolo dato.

La normalizzazione dei dati, sempre utilizzata in XRF, è un fattore che preclude ogni controllo della qualità delle analisi ottenute e, con le problematiche sopra esposte, non permette di valutare quando l'analisi dello specifico reperto si può ritenere quantitativamente attendibile e quando è da considerarsi solo meramente qualitativa. Da qui la necessità ed il tentativo di effettuare analisi non normalizzate utilizzando opportuni standard di bronzo.

I dati non normalizzati hanno permesso di dare significato a tutta una serie di analisi rendendole utilizzabili per lo studio archeometrico. Restano tuttavia ancora questioni aperte anche sull'utilizzo delle analisi così ottenute: in particolare l'aver rilevato in alcuni pendenti circolari valori di Sn molto alti su superfici non alterate, come la buona chiusura delle analisi sembra indicare (cioè non sono presenti elementi leggeri quali O e C), hanno in un primo momento fatto pensare all'esistenza di fenomeni di segregazione inversa; evento che è noto può verificarsi in bronzi ad alto contenuto di alligante (Hanson e Pell-Walpole 1951, Tylecot 1985). Tuttavia le analisi SEM-EDS e gli studi metallografici

hanno evidenziato, nelle aree vicine alla superficie esterna, strutture dendritiche con fenomeni evidenti di corrosione preferenziale della fase α rispetto all'eutettoide $\alpha+\delta$. Questo porta ad ipotizzare che gli arricchimenti di Sn superficiali siano dovuti ad alterazione, piuttosto che a segregazione inversa (si veda paragrafo 3.6).

In parte questa incongruenza potrebbe essere correlabile a fattori geometrici legati alla ripresa dei dati. Nelle analisi si è cercato di tenere la distanza rivelatore-campione fissa, ma la forma degli oggetti ed il posizionamento manuale inevitabilmente comporta errori che implicano chiusure delle analisi sovra o sottostimate.

La valutazione dei dati non normalizzati, unita al confronto delle immagini dei reperti e delle aree analizzate, ha permesso di osservare l'alta influenza della non planarità delle superfici nei risultati ottenuti. La necessità di avere superfici planari per una buona riproducibilità dei dati è un fattore noto (Lutz e Pernicka 1996, Milazzo 2004), tuttavia ricerche di altri gruppi effettuate su metalli indicano che l'influenza di tale fattore è non maggiore al 10% (Lutz e Pernicka 1996, Stankiewicz et al. 1983). Nel nostro caso, in oggetti con forti problemi di geometria (quali ad esempio le spiruline), si sono osservate sistematicamente "chiusure" inferiori al 60 %, anche su superfici non corrose.

Questo aspetto, unito al problema non eliminabile delle alterazioni superficiale, è il motivo per cui gli obiettivi 2 e 3 sopra esposti, si possono considerare solo parzialmente raggiunti.

Le misure PIXE sono state condotte su un numero limitato di reperti al fine di avere, per alcuni campioni con diverse caratteristiche chimiche e tessiturali, dei valori chimici medi di buona qualità da usare come confronto. Lo scopo principale era vagliare le risposte e l'attendibilità delle analisi SEM ed EPMA, da noi sistematicamente utilizzate nelle indagini archeometriche, su casi "reali" di studio di metalli archeologici. Per gli scopi che ci si era prefissi, e nella discussione qui presentata, i dati PIXE vengono presi quindi come riferimento e come dati "veri" (o meglio più attendibili) della composizione dei reperti.

Nel confronto dei risultati ottenuti con le varie strumentazioni si è potuto osservare anche l'attendibilità della misura di ogni specifico elemento nelle diverse tecniche

Il Fe è risultato spesso sopravvalutato nelle analisi XRF in quanto vi è una forte contaminazione da parte del suolo; al contrario il livello di Fe misurato con EPMA o con SEM-EDS (misure puntuali) è invece inferiore rispetto a quello medio “reale” (dati PIXE) in quanto non viene tenuto conto del Fe presente nelle inclusioni disperse nella fase metallica principale (solfuri di Cu-Fe, eventuali ossidi, etc). Tuttavia conoscere a sua volta la quantità di Fe in lega è molto importante per le implicazioni che esso ha nella valutazione dei minerali utilizzati per lo smelting del Cu e per le tecniche di estrazione utilizzate, ovvero efficienza delle fornaci e temperature (Craddock e Meeks 1987, Pernicka 2004).

Il Pb (come il Bi che spesso si trova associato al Pb) nelle segregazioni disperse nella fase metallica principale, è di difficile misura con tutte le tecniche. La sua presenza non uniforme nella lega crea ovvie difficoltà nella quantificazione effettuata con analisi puntuali (EPMA ed EDS). L’XRF è il metodo più attendibile per una sua valutazione media, tuttavia è da tenere presente che negli stati di alterazione il suo tenore è maggiore (o meglio risulta nel totale maggiore per la dissoluzione del Cu) e può quindi essere sovrastimato.

E’ interessante, e al contempo “scoraggiante”, osservare che, a causa dei problemi sopra presentati, in molti casi vari laboratori hanno preferito utilizzare l’EDXRF per l’analisi di metalli archeologici operando su polveri di metallo prelevate per trapanazione dei reperti, piuttosto che lavorare in modo realmente non distruttivo (Lutz e Pernicka 1996, Gale 1997)

Avendo osservato al SEM che molti metalli presentavano alti tenori di Sn ed una struttura fortemente eterogenea, ci si è presentato il problema di come effettuare le analisi EPMA, ed anche come utilizzarle al meglio per avere una composizione realmente rappresentativa della vera natura del campione.

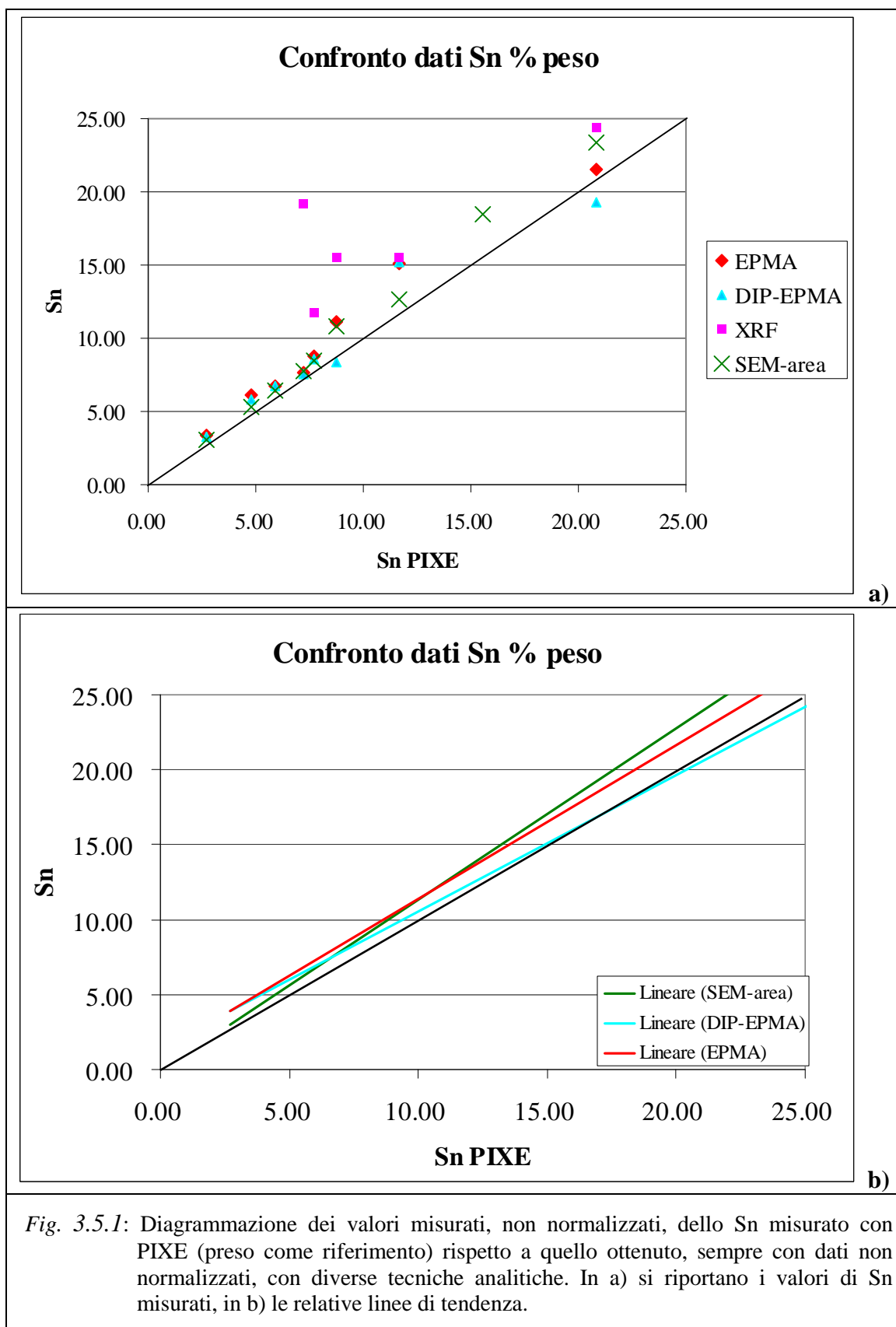
A questo scopo è stata applicata l’analisi d’immagine computerizzata (DIP) alle immagini SEM-BSE, questa tecnica si era infatti già rivelata utile in studi precedenti di materiali archeologici altamente eterogenei quali le faience (Angelini et al. 2002, Polla et al. 2006).

Come già accennato nel Capitolo 2 la DIP è servita per quantificare le diverse fasi presenti nei metalli eterogenei, utilizzando il contrasto in scala di grigi presente nelle immagini SEM-BSE che è correlato alle variazioni composizionali (Tab. 3.8.6). Si sono così quantificate: la fase α del bronzo (o le fasi nel caso ci fosse una zonatura chimica, come ad esempio fra la parte interna e quella esterna dei dendriti); la fase δ , le segregazioni di Pb, i solfuri ed, eventualmente, le inclusioni di altra natura (quale ad esempio il quarzo osservato negli anellini circolari). Con le composizioni determinate per ciascuna fase tramite EPMA (Tab. 3.8.4), si è quindi ricalcolate per tal via la composizione media dei campioni (Tab 3.8.7).

Non essendo possibile una determinazione chimica sufficientemente accurata delle segregazioni e delle inclusioni di Pb, o polimetalliche, presenti nei metalli a causa delle loro piccole dimensioni e dell'ampia variabilità composizionale, si è deciso in prima approssimazione di escluderli, pur sapendo che in questo modo Pb, Bi, S, Fe e a volte Zn, verranno sottostimati.

Per visualizzare le differenze fra i risultati ottenuti con ogni tecnica d'indagine, in Fig. 3.5.1 si è diagrammato lo Sn misurato con le diverse tecniche, rispetto a quello determinato con PIXE, nei nove campioni presi come riferimento.

Non tutti i campioni sono stati indagati con ogni tecnica d'analisi, ma i risultati ottenuti possono già dare utili indicazioni.



Premesso che fra i campioni a basso tenore di Sn diagrammati in Fig. 3.5.1 ve ne sono sia alcuni con fase α omogenea, che altri con zonature composizionali, è evidente che tutte le tecniche (ad eccezione dell'XRF di cui non si hanno dati per questi campioni) danno risultati simili e molto attendibili. All'aumentare del tenore di Sn le variazioni composizionali influenzano i risultati di ciascuna tecnica in modo diverso. Il SEM attraverso le analisi areali fornisce valori medi sempre abbastanza accurati; l'errore commesso è legato alle condizioni strumentali, ai limiti intrinseci della tecnica e allo stato di alterazione del campione e, come evidenziato in Fig. 3.5.1-b, lo Sn risulta sempre leggermente sovrastimato. Per valori di Sn maggiori del 7-8% l'analisi EPMA, con composizione calcolata come semplice media aritmetica, può iniziare a creare discreti errori che portano ad una sovrastima dello Sn (Fig. 3.5.1-b). Questo è dovuto al fatto che, in funzione della diversa storia termica, per tenori di Sn di questo livello, si possono iniziare a formare delle isole di fase δ in lega, che creano disomogeneità composizionali molto forti e ben localizzate.

L'analisi DIP ed EPMA combinate danno buoni risultati, anche se nel grafico non sembrano così diversi da quelli ottenuti con la classica media EPMA. Bisogna però tenere conto che:

- i 3 campioni di Fig. 3.5.1 con Sn > di 7-8% analizzati con tutte le tecniche, hanno casualmente rapporto fra le due principali fasi a diversi tenore di Sn, nell'intervallo di 35/65 e di 45/50 circa. Questo valore non si discosta molto dal 50/50 che si ipotizza con la media aritmetica dei dati EPMA. In altri casi, in cui il rapporto fra le diverse fasi è più squilibrato, si è registrata una sostanziale deriva tra i valori ottenuti con i due metodi di analisi; purtroppo non si dispone per quei campioni di dati PIXE per il confronto.
- Per alcuni reperti le analisi DIP sono state molto problematiche (e quindi è possibile un alto errore nella quantificazione) perché la decisione di effettuarle è stata presa solo in un momento tardo della ricerca, in base alle problematiche riscontrate nella trattazione dei dati. Ciò significa che le immagini registrate al SEM non erano state effettuate ottimizzando, almeno in alcune di esse, il contrasto fra le diverse fasi, quanto piuttosto pensando ad evidenziare gli specifici dettagli di interesse. Questo ha creato problemi in fase di analisi DIP, rendendo a volte impossibili alcune distinzioni. Se le analisi SEM

fossero state effettuate già pensando di registrare alcune specifiche immagini per la DIP, questo avrebbe certamente diminuito l'errore nella quantificazione delle fasi e, di conseguenza, la composizione media calcolata sarebbe stata più attendibile.

La Fig. 3.5.1. mostra anche in modo evidente come l'accuratezza delle analisi XRF sia spesso non adeguata, dipendendo troppo da alcuni specifici fattori (geometria, strati di corrosione più o meno spessi, fenomeni di variazioni composizionali superficiali, etc.), a priori non prevedibili e purtroppo rendendo di fatto impossibile la correzione dei dati.

3. 6 Discussione generale

A dispetto della grande quantità di oggetti, delle numerosi classi funzionali a cui appartengono e della variabilità tipologica, tutti i reperti di Chiusa Pesio sono invariabilmente costituiti da bronzo. Questo aspetto è abbastanza sorprendente in quanto, pur essendo i ripostigli del Bronzo Finale e dell'inizio dell'età del Ferro composti in buona parte da bronzi (Rychner 1993, Veber et al. 2003, Verney e Bocquet 1998), gli oggetti in rame puro sono ancora molto presenti in questa fase (Giumlia-Mair 2005). Si tratta in generi di ribattini, spiruline o anelli (Giumlia-Mair 2005), il cui utilizzo e/o preparazione è facilitato da una composizione a solo Cu (per la malleabilità del metallo); questi oggetti sono presenti in gran numero anche nel ripostiglio di Chiusa Pesio, ma sono sempre composti da bronzo e spesso con contenuti di Sn non bassi (6-9% in peso).

Il tenore medio dello Sn misurato nei reperti analizzati varia da 3 a 19% in peso e, come visibile nell'istogramma di Fig. 3.6.1, presenta una curva di distribuzione bimodale con i due massimi intorno rispettivamente a 7-8% e 15-16% in peso. Considerando l'associazione composizione-funzionalità dei reperti si può facilmente osservare che i due massimi della distribuzione dello Sn non sono associabili ad oggetti appartenenti alla stessa classe funzionale. Infatti, seppure è vero che la maggior parte dei reperti ad uso non ornamentale (quali la spada, lo scalpello, la tazza) hanno Sn nell'intervallo 10-11%, gli ornamenti hanno composizione molto variabile, con Sn dal 3 al 18% in peso.

L'alto tenore di Sn sembra invece correlabile alla tessitura morfologica dei campioni, si è osservato infatti che gli elementi con Sn fra il 15 ed il 18 % presentano sempre un'alta eterogeneità e normalmente hanno struttura dendritica, sono cioè reperti che vengono lasciati nello stesso stato in cui si trovavano dopo la fusione, senza lavorazioni successive. Il maggior numero di tali oggetti è costituito da pendenti circolari, vi sono inoltre altri ornamenti quali i pendenti con sostegno a raggiera e la testa di spillone a ruota. L'unico reperto con alto Sn che ha funzionalità diversa da quella ornamentale è il martello (CP 160). Questo, come descritto nel paragrafo 3.3.11 è caratterizzato dall'aver più del 30% di fase δ (presente come struttura eutettoide $\alpha+\delta$), struttura questa che gli conferisce la durezza necessaria per svolgere le funzioni tecnologiche richiestegli. L'interpretazione degli archeologi, ovvero il suo utilizzo come martello per la lavorazione del metallo, ben si confà con le proprietà fisiche fornite dalla sua peculiare composizione. La fragilità dovuta

alla grande quantità di fase δ , che è sicuramente il motivo della sua fratturazione in antico, sembra un prezzo necessario da pagare per una buona funzionalità dell'oggetto.

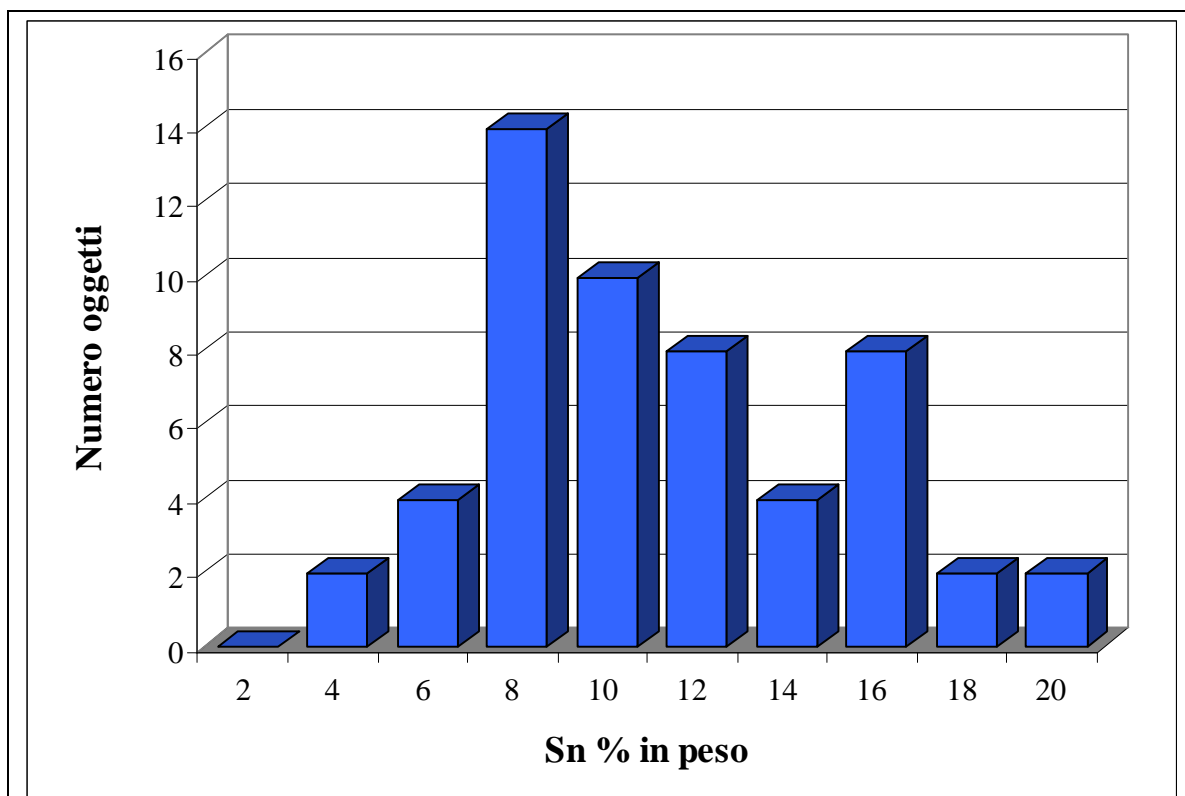


Fig. 3.6.1: Istogramma della concentrazione di Sn misurato nei reperti di Chiusa Pesio. Ogni colonna conteggia il numero di reperti aventi Sn in un intervallo di concentrazione del 2% in peso.

Per valutare la composizione chimica di elementi maggiori ed in tracce dei reperti nel loro insieme è stata fatta un'analisi statistica multivariata, utilizzando il metodo di analisi delle componenti principali (PCA, *Principal Component Analysis*), il software impiegato è il programma PAST, versione 1.98 della Hammer and Harper.

Per avere un insieme di dati uniforme che fosse al contempo anche ragionato in base alla natura dei metalli analizzati ed alle tecniche di analisi impiegate, si sono fatte le seguenti scelte:

- Per materiali fortemente eterogenei a causa della presenza di fasi differenti (fase α , eutettoide $\alpha+\delta$, etc.) o per una zonatura chimica della fase α , sono stati utilizzati i dati EPMA pesati tramite i risultati delle analisi DIP (come esposto in precedenza).
- Per metalli omogenei sono state utilizzate le analisi medie ottenute con EPMA.
- A causa di alcuni problemi operativi il campione CP 101 non è stato analizzato con EPMA, per questo unico campione si usano quindi le analisi PIXE (che sono in ottimo accordo con i dati SEM-EDS).
- Al fine di ottenere risultati attendibili alcuni elementi non sono stati considerati nell'analisi PCA. In particolare si sono scartati:
 - Pb e Bi, perché presenti solamente come segregazioni all'interno dei metalli; la loro determinazione con analisi puntuali è perciò soggetta ad alto errore, particolarmente quando sono in basse quantità come nei campioni di Chiusa Pesio.
 - Mn e Cl in quanto praticamente sempre assenti o al di sotto della sensibilità strumentale. La presenza di Cl inoltre è genericamente associata a fasi di alterazione del metallo (quali ad esempio atacamite e paratacamite, Scott 2002), più che a caratteristiche del metallo stesso.
 - S in quanto in piccole quantità e legato alle inclusioni di solfuri.
 - Il Cu, in quanto dà un'informazione sovrabbondante poiché complementare a 100 allo stagno. Inoltre essendo numericamente molto più elevato degli altri elementi, non consente di avere una matrice-dati consistente.

Con queste scelte la PCA è stata, al fine, effettuata solamente su 8 elementi, considerando: Sn, As, Ag, Sb, Co, Fe, Zn e Ni. Va tuttavia considerato che questi sono gli unici elementi presenti in quantità rilevabili dalle tecniche di analisi utilizzate, e che pertanto danno un'informazione significativa.

In Fig. 3.6.2 si riporta secondo le prime due componenti principali, l'analisi ottenuta per tutti i reperti, insieme ai *loadings*. In Fig. 3.6.3 si riportano i coefficienti dei *loadings* di PC1 (Fig. 3.6.3-a) e di PC2 (Fig. 3.6.3-b). Nel diagramma sono riportate le sigle dei singoli campioni inoltre, per dare una rapida lettura d'insieme, colori uguali corrispondono alla

stessa classe funzionale (verde chiaro per le spiraline, blu scuro per i pendenti lanceolati, rosso per i torques, fucsia per le armille, grigio per i pendenti circolari grandi, verde scuro per i pendenti circolari piccoli, azzurro per i pendenti con sostegno, nero per gli anellini circolari e verde azzurro per le laminette tubolari), ad eccezione degli oggetti a tipologia singola che sono tutti colorati in giallo.

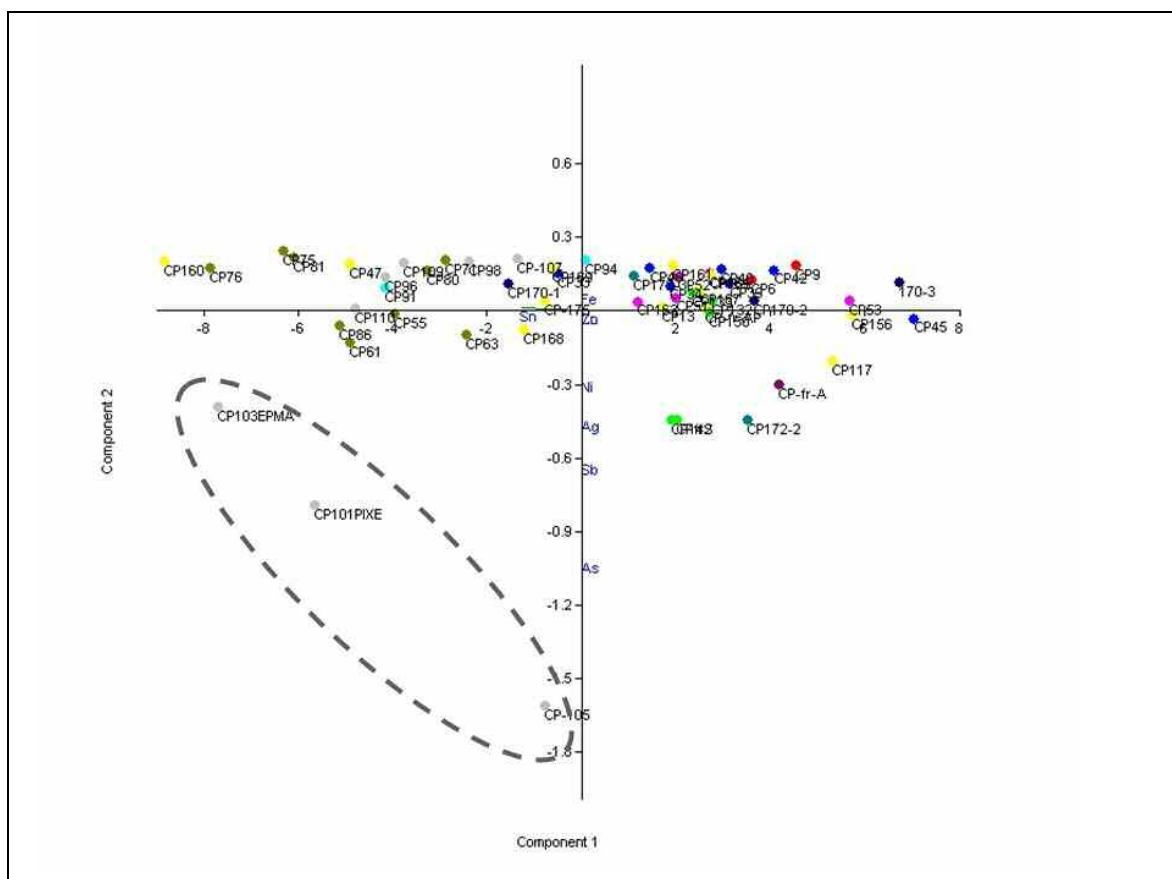


Fig. 3.6.2: Diagramma dei campioni di Chiusa Pesio, riportato in base alla prima e alla seconda componente. La linea tratteggiata evidenzia 3 pendenti circolari a composizione molto differente da tutti gli altri reperti.

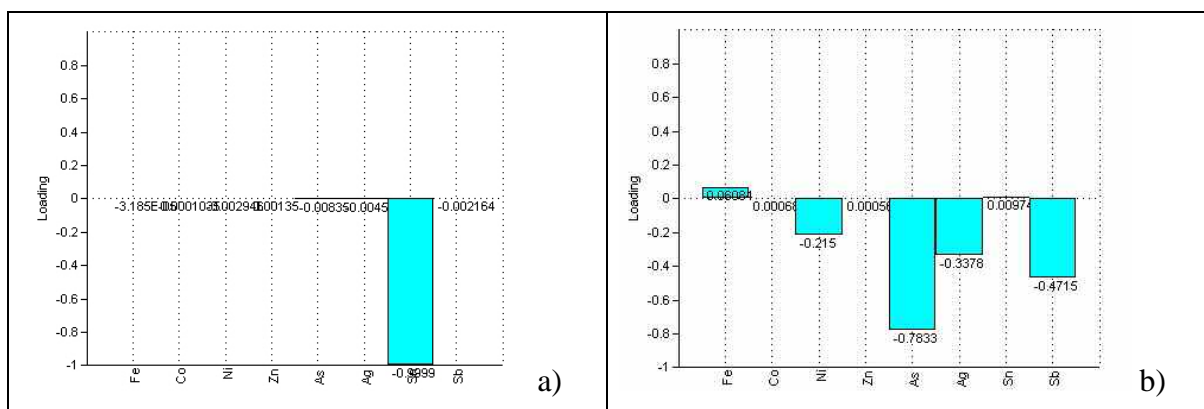


Fig. 3.6.3: Si riportano i coefficienti dei *loadings* di PC1 (a) e di PC2 (b), come calcolati dal programma.

Risulta subito evidente che la maggiore differenziazione si ha in base al contenuto di Sn (PC1), che distingue in modo netto ad ascisse negative tutti i pendenti circolari, i pendenti con sostegno ed alcuni oggetti ad alto contenuto di Sn (di cui già si è parlato in precedenza). In base al contenuto di As, Sb, Ag e Ni (PC2) si differenziano nettamente 3 pendenti circolari (di cui parlerò in seguito), due spirali che cadono sempre vicine in tutte le diagrammazioni fatte e che si distinguono nettamente dal gruppo delle altre 3 spirali, ed alcuni oggetti singoli.

Visti questi primi risultati si è deciso di trattare a parte tutti i pendenti circolari e gli altri oggetti a Sn molto elevato; inoltre, dato che risulta già evidente dal diagramma precedente la differenziazione di 2 spirali e di un anellino per il tenore degli elementi secondari, si è deciso di togliere anche questi dalla matrice dati e di effettuare una nuova analisi multivariata, nella speranza di una miglior leggibilità e differenziazione delle altre classi di reperti. I risultati ottenuti sono riportati in Fig. 3.6.4 (simboli e diagrammazioni come quelle sopra descritte).

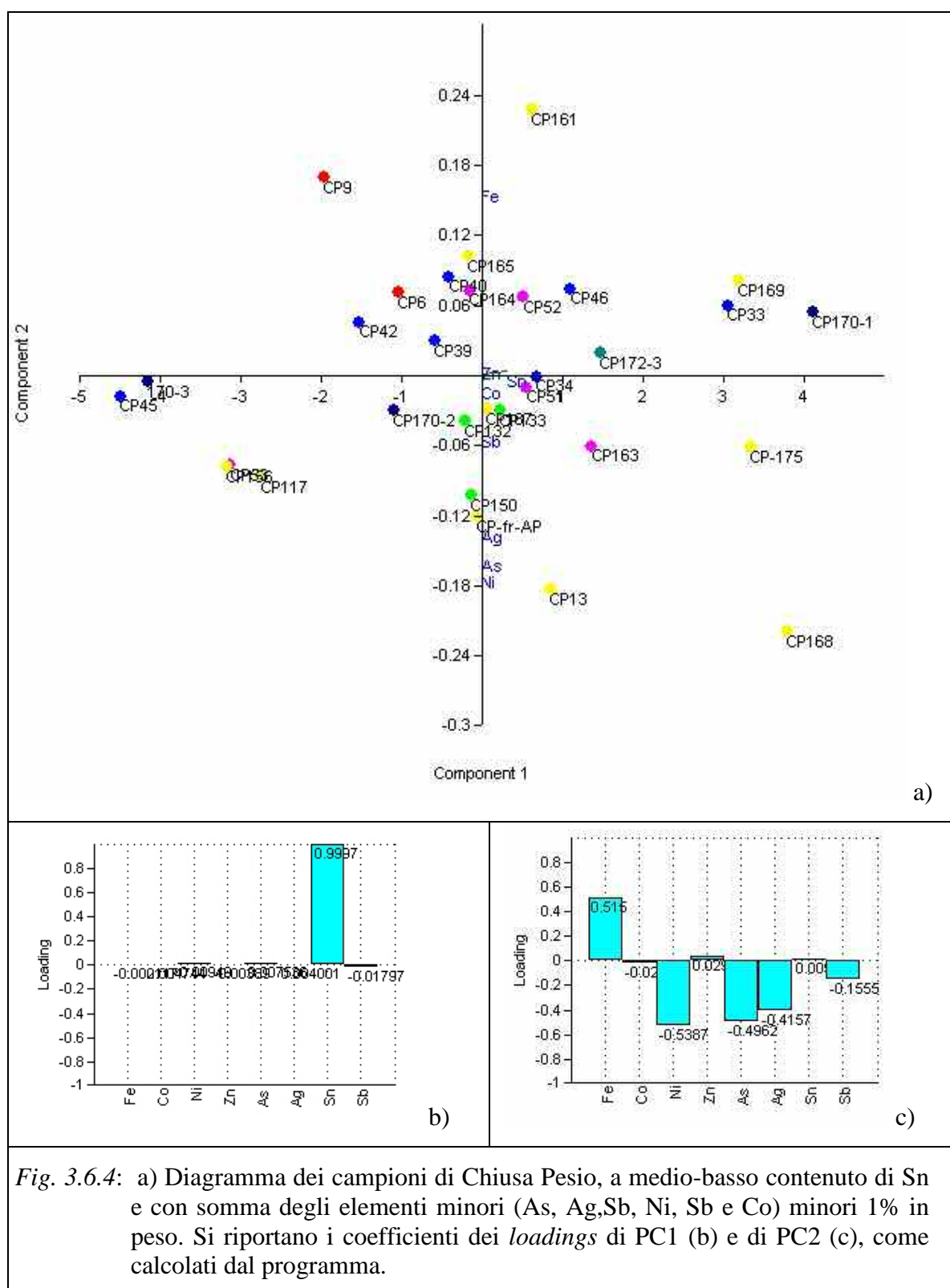
Data la variabilità della tipologia di oggetti ed il loro alto numero, si è scelto per maggiore chiarezza di esposizione di inserire delle brevi conclusioni sulle osservazioni chimiche e sulla lavorazione dei reperti dedotta dalla tessitura metallografica nel capitolo precedente; unitamente alla presentazione dei dati. Vengono ora brevemente schematizzate le principali osservazioni deducibili dall'analisi multivariata, richiamando alcune parti relative alla lavorazione delle diverse classi di materiali precedentemente esposte,

rimandando per i dettagli o per i singoli oggetti che qui non vengono ridiscussi, ai paragrafi relativi.

Dal diagramma di Fig.3.6.4 si osserva che tutti pendenti lanceolati hanno composizione del tutto simile, sono di fatto non distinguibili fra loro, ad eccezione del reperto CP 45 che ha diverso Sn e diversi elementi in traccia. La tipologia di questo reperto è leggermente differente da quelle degli altri pendenti lanceolati analizzati, ma al momento non è possibile fare associazioni composizioni-tipologia univoche in quanto non vi sono confronti analitici in letteratura che possano chiarire se questa sia una caratteristica sistematica. Anche la tecnica di fabbricazione di questi pendenti è molto simile, questi si differenziano leggermente solo per l'ultima fase di lavorazione.

Le spiruline (verdi chiaro nei diagrammi di Fig. 3.6.2 e 3.6.4) mostrano tutte simile basso tenore di Sn e sono prodotte con la stessa tecnica di fabbricazione, ma chimicamente formano due gruppi ben distinti, particolarmente per il tenore di Ni e As. Tessiture simili a quelle qui osservate, con bronzo a basso tenore di Sn, sono note anche per spiruline di altri contesti (Scott 2007).

Un'altra classe di piccoli oggetti presenti in alto numero nel ripostiglio di Chiusa Pesio è quella degli anellini circolari, essi però formano una classe di tutt'altro che uniforme. E' infatti interessante osservare dai precedenti diagrammi (punti neri) che questi presentano una vasta gamma di composizioni, sia per il tenore di Sn che per gli elementi in tracce. Le tecniche utilizzate nella produzione di fili sottili ed anellini sono molteplici (Oddy 2004); purtroppo i casi di studio per simili reperti protostorici sono pochi e in genere si è riscontrata una produzione per battitura (Oddy 2004, Angelini 2004). In questo caso la tessitura suggerisce che, seppure sia evidente l'esistenza di una fase di annealing (forse da correlare alla lavorazione effettuata per la decorazione presente sulla parte esterna), gli anellini sono stati prodotti per colatura in stampo, poi rilavorati per eliminare le bave di fusione; in certi casi queste sono ribattute sul corpo principale. Questa ipotesi non è in contrasto con i dati archeologici in quanto stampi con incisioni di anellini sono noti, ad esempio, dall'abitato del Bronzo Finale di Frattesina (Bellintani 1973).



Un'altra classe di piccoli oggetti con composizione variabile è data dalle laminette tubolari (anche se bisogna ricordare che solo due dei campioni prelevati hanno restituito materiale utile per le analisi).

Le armille sono abbastanza simili composizionalmente, anche se si evidenziano 2 sottogruppi, che non sono comunque funzione della tipologia. La lavorazione invece differisce proprio in base alla tipologia e, in particolare, gli studi metallografici hanno evidenziato per le armille a nastro con costolature orizzontale una lavorazione in più fasi che comprende: la formazione per colatura in stampo (in cui le costolature sono già tracciate) del nastro di bronzo; qualche ciclo di battitura e ricottura degli estremi del nastro per assottigliarli e ripiegarli; battitura, leggero riscaldamento per la messa in forma del nastro.

Caratteristica interessante, comune a tutti i reperti analizzati, è la presenza nel metallo di solfuri di Cu e di Cu-Fe. Dalle microanalisi si è potuto dedurre, con buona approssimazione, che i solfuri presenti hanno stechiometria che ricade nel campo della soluzione solida del sistema calcocite-digenite-bornite, sistema che risulta stabile al di sopra dei 335°C circa (Craig, 1974). Anche le quantità di Fe misurate nei solfuri ben rientrano nel campo di variabilità di questo sistema in cui il contenuto di Fe può variare fino al 15% in peso. La maggior parte dei solfuri ha però stechiometria molto vicina a Cu_2S , che corrisponde al composto a massima temperatura di fusione (1129°C), (Craig, 1974). La maggior parte dei solfuri analizzati contengono Fe, anche se molti hanno una composizione più vicina alla calcocite che alla bornite

In molti reperti sono stati rilevati anche solfuri contenenti Zn. Alcuni campioni, come il bottone CP 117 o il lingottino CP 161 (che in realtà le indagini metallografiche hanno dimostrato essere un oggetto a diversa funzionalità), presentano tracce di Zn nel metallo : Zn 0.1-0.2% in peso. Queste osservazioni indicano la provenienza del metallo da mineralizzazioni a solfuri (quali calcopirite o bornite) che contenevano in associazione anche sfalerite. Le indicazioni così ricavate, come l'individuazione di specifici elementi in traccia osservati nelle leghe, sono state di fondamentale importanza nell'individuare, unitamente alle indagini isotopiche, i siti minerari di provenienza del metallo (si veda paragrafo 3.3.4).

Una classe di reperti molto particolare e rilevante, fra quelli presenti nel ripostiglio, è data dai pendenti circolari. Questi ornamenti sono presenti dal Bronzo Medio (1700-1300 a.C.) e sono molto diffusi in tutta l'età del Bronzo Finale (1200-900 a.C.) fino all'età del Ferro iniziale (Heath et al. 2000). L'areale di distribuzione è ampio e va dall'Italia (Neuroni Catacchio 1977, Heath et al. 2000, Giunlia-Mair 2005 e 2008) a tutta Europa (Heath et al. 2000, Paulin et al. 2003). Lo studio archeometrico di tali reperti è particolarmente interessante in quanto sono state sempre osservate composizioni chimiche molto peculiari, che hanno portato anche ad interpretazioni archeologiche.

I pendenti circolari di Chiusa Pesio sono stati separati sulla base dello studio archeologico (Venturino Gambari e Rubat Borel c.d.s.) in diversi gruppi, in base al motivo decorativo e ad osservazioni di carattere macroscopico. Scopo delle analisi è comparare questi materiali con quelli coevi a simili di altra provenienza (dipendentemente dai dati analitici disponibili in letteratura) ed anche verificare una eventuale correlazione fra composizione e tipologia dei reperti presenti nel ripostiglio.

Dalle figure 3.6.2 e 3.6.3 si individua subito l'esistenza di 3 pendenti circolari (CP 101, 103 e 105) la cui composizione li differenzia fortemente da tutti gli altri reperti di Chiusa Pesio per l'elevato contenuto di As, Sb, Ag e Ni. Questi reperti fanno parte di uno stesso gruppo dedotto su basi macroscopiche.

Su tutti i pendenti circolari, ad eccezione dei tre sopra descritti, è stata effettuata un'analisi multivariata (sempre utilizzando le modalità operative sopra riportate) il cui risultato è presentato in Fig. 3.6.5. La composizione chimica dei pendenti è abbastanza omogenea, con simili livelli di Sn (15-19% in peso), leggermente più alto rispetto a quello osservato in pendenti circolari coevi dell'Italia Nord-Orientale e della Slovenia (10-17%), (Heath et al. 2000, Giunlia-Mair 2005).

Sulla base delle differenze del livello di Sn, ma soprattutto di alcuni elementi in traccia quali Fe, As, Ag e Ni si osservano alcuni raggruppamenti, ben evidenti in Fig. 3.6.5-a. È interessante osservare che molto spesso gli oggetti classificati macroscopicamente in uno stesso gruppo, sono anche composizionalmente riuniti nella stessa area del grafico. Si osserva in più una similitudine composizionale anche fra alcuni pendenti di gruppi macroscopici diversi.

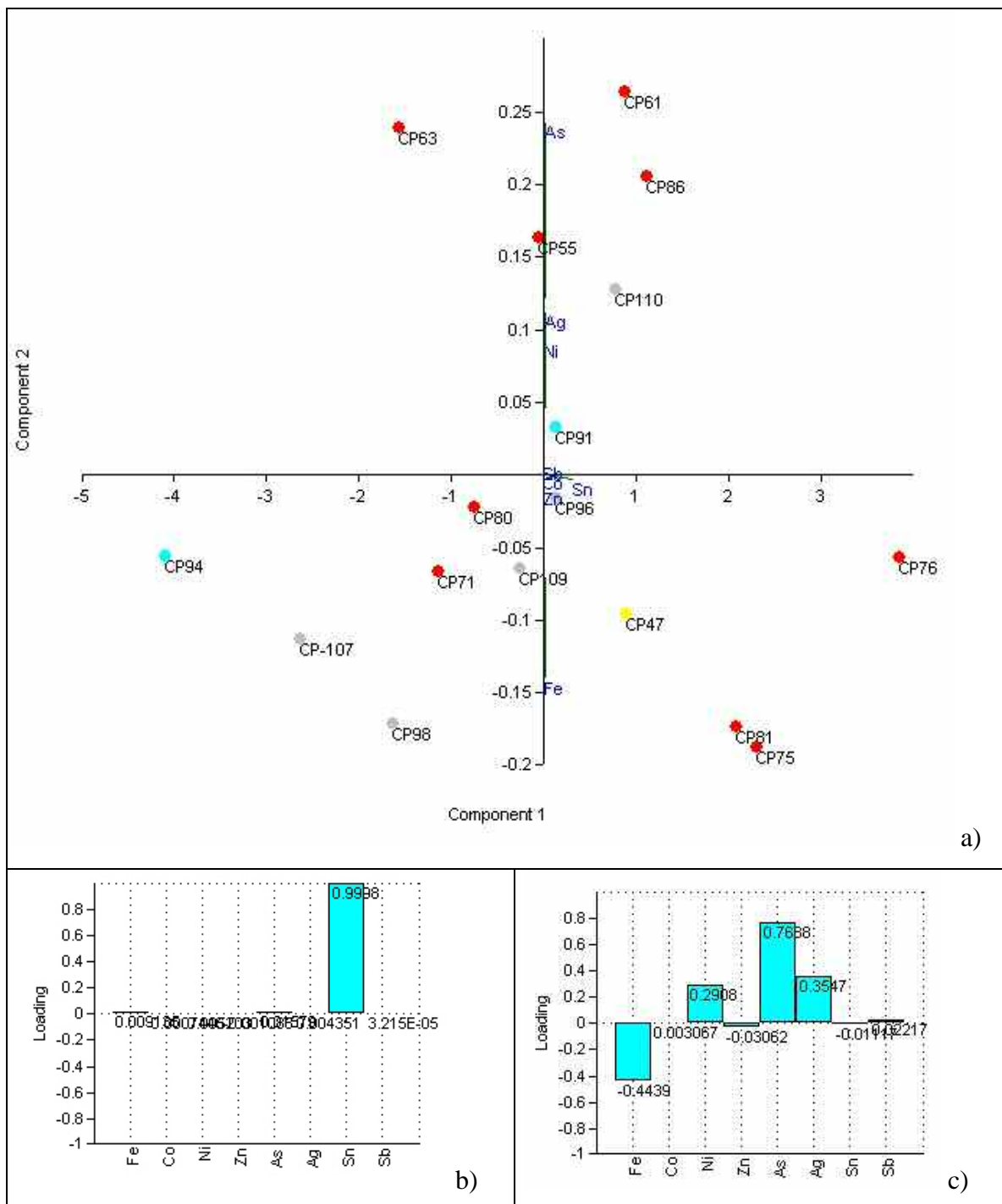


Fig. 3.6.5: a) Diagramma dei campioni di Chiusa Pesio, ad alto contenuto di Sn (grigio = pendenti circolari grandi; rosso = pendenti circolari piccoli; azzurro = giallo = testa di spillone). Si riportano i coefficienti dei *loadings* di PC1 (b) e di PC2 (c), come calcolati dal programma.

Le analisi effettuate su reperti Sloveni e dell'Italia Nord-Orientale (Heath et al. 2000, Giumlia-Mair 2005) evidenziano una presenza di elevati contenuti di As, Sb, Pb, Ni e Co. Tali elementi sono riscontrati, con diverse associazioni, in quantità generalmente dallo 0.3 al 4-5% in peso (ad eccezione del Pb che arriva fino al 15%) e la loro somma all'interno della lega arriva sempre ad almeno alcuni punti percentuali (Heath et al. 2000, Giumlia-Mair 2005); fanno eccezione pochi campioni da Kanalski Vrh ((Heath et al. 2000) che presentano tali elementi nell'intervallo di circa 0.2-0.4 %. Il confronto con i reperti di Chiusa Pesio mostra comunque una netta differenziazione, dato che tali elementi sono presenti in quantità sempre minore e spesso non tutti insieme nei nostri campioni; fanno eccezione i 3 pendenti CP 101, 103 e 105. Per questi ultimi solo le analisi isotopiche (purtroppo non effettuate in questo studio per il poco materiale del prelievo rimasto dopo gli studi chimici) possono dare risposte più definitive relativamente alla provenienza.

Un aspetto interessante dei pendenti circolari, qualunque sia la loro provenienza, è l'esistenza di una superficie grigia che li ricopre interamente e che le analisi invariabilmente mostrano arricchita di elementi alliganti (Heath et al. 2000, Paulin et al. 2003, Giumlia-Mair 2008). Questo arricchimento è stato interpretato o tentativamente interpretato (Heath et al. 2000, Giumlia-Mair 2008), come dovuto al fenomeno della segregazione inversa (Hanson e Pell-Walpole 1951, Tylecot 1985 e 1987), fenomeno che si pensa volutamente cercato dagli antichi metallurgisti per creare delle superfici argentee. Questo aspetto ha interessanti ricadute interpretative visto che i pendenti dall'essere pensati come iniziale simbolo del sole a causa della loro forma, per il colore argento sono stati anche interpretati come collegati al culto della luna (Giumlia-Mair 2008).

Nei pendenti di Chiusa Pesio la segregazione inversa del bronzo, inizialmente ipotizzata in base alle analisi XRF (Angelini et al. 2007), è attualmente da escludersi sulla base delle indagini al SEM e delle microanalisi. Le immagini delle sezioni trasversali di alcune bavette di fusione prelevate dai pendagli (Fig. 3.6.6-a e 3.6.6-c) evidenziano la presenza di cristalli dendritici fortemente corrosi vicino alla superficie esterna dei reperti (neri nelle immagini BSE di Fig. 3.6.6). Gli ingrandimenti effettuati nella zona superficiale (Fig. 3.6.6-b e 3.6.6-d) evidenziano che le aree scure delle immagini BSE non sono lacune, ma sono composte da fasi di alterazione del bronzo (generalmente ossidi di Cu), mentre le aree chiare sono ricche in Sn (Sn misurato dal 25 al 45% in peso, ma con bassa accuratezza

delle analisi a causa di problemi dovuti all'alterazione del metallo). Questa tessitura è chiaramente imputabile alla corrosione selettiva della fase α presente all'interno dei dendriti (ricca di Cu) rispetto all'eutettoide $\alpha+\delta$ ricco di Sn. Tale tipo di corrosione è dovuto a fenomeni elettrochimici ed è ben noto in letteratura (Bianchi e Mazza 2000, Tylecote 1985).

E' interessante osservare che recenti studi analitici svolti su un pendaglio circolare sloveno (contenente As, Ni, Sb, Pb, Ni e Co) hanno portato a simili risultati (Paulin et al. 2003). Al momento l'ipotesi della creazione volontaria di una superficie argentea ottenuta sfruttando il fenomeno della segregazione inversa, sulla base dei dati analitici disponibili, sembrerebbe da escludersi per i pendenti circolari del Bronzo Finale-primario Ferro.

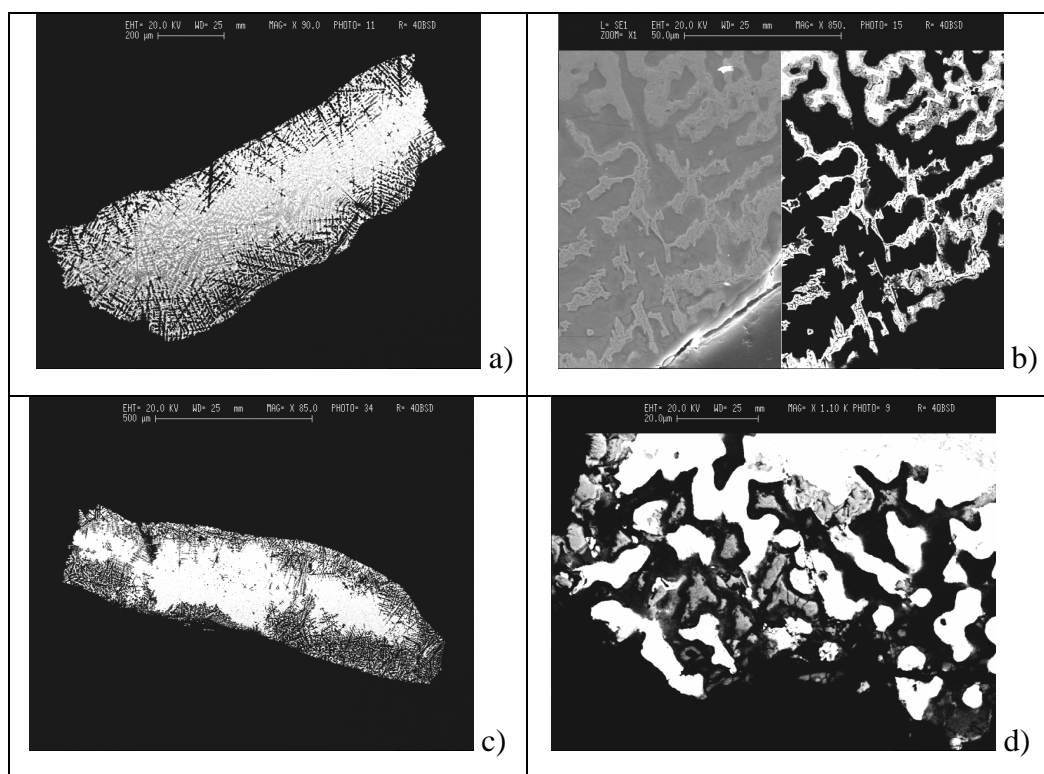


Fig. 3.6.6: Immagini SEM registrate in BSE della sezione dei campioni dei pendenti circolari: a) CP 63; c) CP 86. Dettagli della superficie di: b) CP 63 (immagine in elettroni secondari parte destra, e BSE parte sinistra) e di d) CP 94.

In questi pendenti l'alto contenuto di Sn, o di altri elementi alliganti, è molto probabilmente da interpretare come una necessità, più che una scelta estetica. Lo Sn, così come gli altri alliganti, abbassano il punto di fusione del metallo e ne aumenta la fluidità. Questo aspetto è particolarmente rilevante quando si vogliono preparare per colata del metallo fuso in stampo, oggetti di piccole dimensioni e di decorazione complessa, quali sono appunto i pendenti circolari. Testimonianza dei problemi riscontrati dagli antichi fonditori sono i numerosi difetti di fusione osservati in questi reperti (Fig. 3.2.3), i motivi decorativi sono spesso infatti lacunosi e mancano intere braccia delle croci interne.

3.7 Conclusioni sullo studio dei reperti di Chiusa Pesio

Lo studio archeometallurgico dei reperti di Chiusa Pesio ha permesso di tracciare un ampio ed approfondito quadro della realtà metallurgica dell'Italia Nord-Occidentale nel corso del X-IX secolo a.C.

L'analisi dei reperti ha rilevato un quadro compositivo degli oggetti omogeneo per quanto riguarda la natura principale del metallo, infatti non si sono trovati: rame, rame arsenicale o leghe "tipo Fahlerz" ampiamente presenti, con diverso quadro evolutivo e diffusivo, nelle precedenti età del Bronzo. I bronzi, d'altro canto, sono estremamente variabili nelle quantità di Sn ed, in misura minore, degli elementi in traccia. La comparazione analitica di specifiche classi funzionali di reperti (quali i pendenti circolari) con materiali coevi e tipologicamente comparabili di altra provenienza europea (Heath et al. 2000, Paulin et al. 2003, Giumlia-Mair 2008) ha evidenziato notevoli differenze composizionali delle leghe, che permettono pertanto di distinguere gli areali di provenienza. Va osservato che, anche guardando nell'insieme le composizioni di tutti i metalli studiati, un generale confronto con materiali coevi Francesi evidenzia notevoli differenze, particolarmente per il basso contenuto di Pb, As, Sb, Ni e Co dei reperti di Chiusa Pesio (Rychner 1993, Veber et al. 2003, Verney e Bocquet 1998).

Le provenienze del metallo e l'individuazione di aree con attività mineraria possibilmente collegabili al deposito di Chiusa Pesio sono state ricavate grazie all'analisi comparata di 3 importanti serie di dati:

- rapporti isotopici del metallo;
- composizioni chimiche e mineralogiche dei reperti,
- sviluppo, o nello specifico caso ampliamento, di un database di riferimento di dati isotopici, mineralogici e geochimici delle mineralizzazioni cuprifere, che necessariamente deve comprendere anche i distretti minerari più vicini al sito di ritrovamento.

Solo tramite lo studio di ciascuno di questi aspetti è stato possibile delimitare alle miniere delle Alpi Occidentali prossime a Chiusa Pesio l'area di provenienza del metallo. Questo dato conferma le considerazioni sopra esposte, effettuate su base chimica, della differenziazione esistente fra il metallo utilizzato a Chiusa Pesio ed i materiali di diversa origine Europea

E' di estremo interesse osservare come, seppure su base tipologica dei reperti vi siano chiari richiami ad aree geografiche differenti quali l'Etruria per la tipologia della tazza in metallo, o la Francia per altri ornamenti del deposito (informazioni da Venturino Gambari e Rubat Borel c.d.s.), tutti i dati ottenuti e qui esposti indicano che la produzione metallurgica sia da collegarsi invece ad ambiti regionali locali.

Altro aspetto rilevante, osservato sulla base dei numerosi studi metallografici qui presentati, è l'alta specializzazione dei metallurgisti nella lavorazione del bronzo. La differenza composizionale dei materiali analizzati, in particolare per il tenore in Sn, risulta in genere molto appropriata per le specifiche proprietà fisiche che la funzione dei singoli reperti richiedeva, o comunque in stretta relazione con le tecnologie di lavorazione necessarie per il loro ottenimento.

Da un punto di vista analitico il confronto delle diverse tecniche di indagine utilizzate nel presente studio ha evidenziato una buona accuratezza fra i risultati PIXE, EPMA e, con le dovute differenze per i limiti di rilevabilità, SEM - EDS nello studio di reperti archeologici di metallo; è importante sottolineare che tali risultati si sono ottenuti con una minima invasività sui reperti, in quanto sono stati ricavati da microcampioni di materiale accuratamente prelevati. Anche l'analisi d'immagine computerizzata si è dimostrata

particolarmente utile, integrata con i dati EPMA, per la determinazione della composizione media di metalli altamente eterogenei.

Nell'analisi di reperti archeologici effettuata in modalità "*realmente*" non invasiva, non prevedendo quindi la spatatura degli oggetti, la presenza di strati di alterazione superficiali e la geometria spesso complessa dei reperti analizzati inficia fortemente la qualità dei dati XRF, anche di quelli presentati in questo lavoro. Tuttavia la possibilità di utilizzare analisi non normalizzate permette di vagliare, in modo ragionato punto per punto, la qualità dei dati in modo da impiegare così il metodo non solo per considerazioni qualitative. Rimane tuttavia opportuno mettere nella giusta evidenza la poca affidabilità del metodo XRF qualora utilizzato senza le necessarie precauzioni ed attenzioni.

3.8 APPENDICE CAPITOLO 3

TABELLE DATI

Tabella 3.8.1 Si riportano, elencati in tabella, tutti i campioni analizzati con le relative sigle utilizzate nelle analisi, tipologie archeologiche, età, numeri d’inventario, caratteristiche macroscopiche (peso, dimensioni, colore) e l’elenco delle analisi effettuate.

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
TORQUES									
CP-001	IX	Torquis con estremità a riccio, in verga a sezione circolare, decorata a incisioni a fasci paralleli verticali e a spina di pesce verticali e orizzontali; capi arrotondati a sezione rettangolare.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte alterazioni superficiali.	Øtorquis 15,1cm; Øverga 0,4 - 0,2 cm	Colorazione verde diffusa per le alterazioni, il metallo è piuttosto scuro in superficie.	32,08	N° inv. 88598	XRF superficiale
CP-003	X-IX		XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, alterazioni diffuse su tutta la superficie. Buono stato di conservazione, si vede ancora la tornitura del filo metallico. Manca in un'estremità la ritorzione ad anello. Alterazioni superficiali in alcune zone.	Øtorquis 13,1 cm; Øverga 0,3 cm	Superficie ricoperta da alterazioni verdi.	17,79	N° inv. 88603	XRF superficiale
CP-004	X-IX		XRF superficiale		Øtorquis 14 cm; Øverga 0,4 cm	Qualche patina di alterazione verde, il metallo esposto è lucente e colore rame	23,61	N° inv. 88605	XRF superficiale
CP-006	X-IX	Torques in verga ritorta con estremità a riccio: verga ritorta a spire larghe, originariamente a sezione circolare; non ritorta in prossimità dei capi; capi arrotondati a sezione rettangolare.	Estremità terminale lacunosa	Buono stato di conservazione, manca un'estremità. Alterazioni superficiali piuttosto diffuse.	Øtorquis 15,5 cm; Øverga 0,35 cm	Superficie ricoperta da alterazioni verdi.	19,3	N° inv. 88604	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-008	X-IX		XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, alterazioni diffuse su tutta la superficie.	Øtorquis 15,1 cm; Øverga 0,4-0,2 cm	Superficie ricoperta da alterazioni verdi.	29,00	N° inv. 88599	XRF superficiale
CP-009	X-IX		Nel punto di frattura, sul pezzo più grande	Discreto stato di conservazione, è fratturato verso un'estremità nella zona ancora ripiegata. I capi della frattura sono alterati.	Øtorquis 154,9 cm; Øverga 0,3-0,4 cm	Colorazione verde diffusa per le alterazioni, il metallo è piuttosto scuro in superficie. Nella frattura color rame.	24,2	N° inv. 88606	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
SPILLONI									
CP-010	Fine X-IX	Spillone con capocchia composita tipo Chiusa Pesio, con terminazione a disco soprastante un globetto tra fasci di costolature orizzontali; gambo con decorazione incisa a linee orizzontali e a spina di pesce sul collo.	XRF superficiale	Discreto stato di conservazione, oggetto piuttosto integro, risulta mangiato da alterazioni il corpo dell'ago. Visibile la decorazione superficiale, spessa alterazione verde che ricopre quasi tutto l'oggetto, poche aree di metallo esposte.	Lunghezza 29 cm; Øcapocchia 2,1- 2,2 cm; 0,7 cm -1,4 cm-1,6 cm; Øago 0,4 - 0,3 cm	Alterazione verde diffusa e spessa, in alcune zone crea lacune, il metallo dove visibile è color scuro.	43,04	N° inv. 88610	XRF superficiale
CP-011	Seco metà XI-inizi X	Spillone con capocchia biconica distinta dal collo, collo decorato a incisioni a fasci di linee orizzontali, reticoli, zigzag, spina di pesce, reticoli e triangoli.	XRF superficiale	Discreto stato di conservazione, oggetto piuttosto integro, solo la punta è mangiata da alterazione. Visibile la decorazione superficiale, spessa alterazione verde che ricopre quasi tutto l'oggetto, poche aree di metallo esposte.	Lunghezza 13,4 cm; Øago 0,2 - 0,4 cm; Øcapocchia 1,2 -1,4 cm.	Alterazione verde diffusa e spessa, in alcune zone a più strati di cui i primi mancanti, il metallo dove visibile è color rame scuro (ossidato).	23,72	N° inv. 88608	XRF superficiale

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-012	XIV-XIII	Spillone con capocchia troncoconica e collo ingrossato.	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, oggetto quasi integro, manca la punta. Alterazione superficiale piuttosto diffusa.	Lunghezza 17,8 cm; Øago variabile: 0,3-0,5 cm; Ødecorazione 0,7 cm; Øcapocchia 1cm.	Alterazione verde piuttosto diffusa, spessa solo sul corpo dell'ago verso la punta. Il metallo visibile è color rame, leggermente scuro in alcune aree.	20,10	N° inv. 88607	XRF superficiale
CP-048A		Spillone con capocchia composita, frammentario, probabilmente tipo Chiusa Pesio: capocchia composita con terminazione	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, anche se l'oggetto è spezzato in due. Superficie del metallo scura.	Lunghezza 6,7 cm; Øago 0,4 cm; Øcapocchia composita 0,5 cm e 0,9 cm.	Superficie quasi tutta scura di metallo ossidato, solo piccole aree con color rame.	17,30	N° inv. 88611/1	XRF superficiale
CP-048B	IX	prossimale mancante e globetto tra fasci di costolature orizzontali; gambo ripiegato in due, probabilmente già in antico, e spezzato in due frammenti (A e B).	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, anche se l'oggetto è spezzato in due. Superficie del metallo scura.	Lunghezza 5,9 cm; Øago variabile 0,3-0,2 cm.	Superficie quasi tutta scura di metallo ossidato, solo piccole aree con color rame.	2,59	N° inv. 88611/2	XRF superficiale
PENDAGLI LANCEOLATI									
CP-033	Seco nda metà X- inizi IX (Ha B2/3, Bron ze Final IIIb)	Pendente lanceolato, con anello a sezione lenticolare; gambo a sezione lenticolare con due ingrossamenti per faccia; lama lanceolata ovaleggiante con costolatura mediana.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Graffi superficiali. Quasi integro: piccole lacune sul bordo pendaglio, buono stato di conservazione. Alcune zone presentano alterazione superficiale, molto metallo sano.	Lunghezza max 10,9 cm; spessore da 0,4 a 0,3 cm	Metallo sano lucido, color rame, alcune aree verdi per alterazioni.	20,82	N° inv. 88642	XRF sup./ OM / SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-034		Pendente lanceolato, attaccato tramite un gancio in lamina arrotolata ad un anello a sezione ellittica; gambo a sezione ellittica con due ingrossamenti per faccia; lama lanceolata ovaleggiante con costolatura mediana.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Evidenti segni superficiali di pulitura a spazzola. Buono stato di conservazione, lacuna nella zona della punta. Superficie con molte patine di alterazione, ma il metallo è sano.	Lunghezza max. 13,9 cm; larghezza max lama 2,7 cm, larghezza manico max 0,7 cm.	Metallo sano lucido, color rame, alcune aree verdi per alterazioni.	23,98	N° inv. 88640	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-036		Pendente lanceolato, con anello a sezione romboidale cui è unito un anello tramite un filo in verga con decorazioni avvolto su se stesso; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, lacuna nella zona della punta. Superficie con molte patine di alterazione, ma il metallo è sano.	lunghezza max. 11,7 cm; 2,7 cm larghezza max; spessore da 0,2 a 0,5 cm.	Estesa copertura di patine d'alterazione verdi, in varie aree punti emerge il metallo sano di color rame.	24,39	N° inv. 88641	XRF superficiale
CP-037		Pendente lanceolato, con anello a sezione romboidale cui è unito un anello tramite un filo in verga con decorazioni avvolto su se stesso; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, superficie coperta da leggera patina di alterazione	Lunghezza max 12,3 cm; larghezza max lama 2,9 cm; spessore manico 0,2 cm	Estesa patina verde, colore scuro sulla punta.	20,33	N° inv. 88644	XRF superficiale
CP-039		Pendente lanceolato, con anello a sezione romboidale; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Cattivo stato di conservazione: la forma del pendaglio è tutta lacunosa, superficie coperta da molta alterazione	Lunghezza max 12,0 cm; larghezza max lama 2,4 cm; larghezza max manico 0,5 cm.	Estesa patina verde e beige x l'alterazione.	14,9	N° inv. 88648	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-040		Pendente lanceolato, con anello a sezione romboidale; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Cattivo stato di conservazione, l'anello terminale è spezzato e il perimetro del pendaglio è molto lacunoso. Spessa alterazione che pervade quasi tutta la foglia del pendaglio.	Lunghezza max 10,2 cm; larghezza max lama 2,6 cm; larghezza max manico 0,4 cm.	Estesa colorazione verde per le patine ed incrostazioni di alterazione.	16,00	N° inv. 88650	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia

Tabella dati – Chiusa Pesio

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-041		Pendente lanceolato, con anello a sezione circolare cui è unito un anello tramite un filo avvolto su se stesso; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, superficie coperta da leggera patina di alterazione	Lunghezza max 14,0 cm; larghezza max lama 2,7 cm; larghezza max manico 0,5 cm; spessore anello 0,2 cm; spessore lamina 0,2 cm	Estesa patina verde.	20,92	N° inv. 88643	XRF superficiale
CP-042		Pendente lanceolato, con anello a sezione romboidale; gambo a sezione romboidale; lama lanceolata ovaleggiante.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Discreto stato di conservazione, parte terminale pendaglio lacunosa. Superficie coperta da molte patine di alterazione, lamina quasi completamente corrosa.	Lunghezza max 11,0 cm; larghezza max lama 2,8 cm; larghezza max manico 0,5 cm.	Estesa colorazione verde per le patine ed incrostazioni di alterazione.	16,8	N° inv. 88647	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-045		Pendente lanceolato; anello a sezione lenticolare conservato solamente in prossimità del gambo, gambo a sezione romboidale con tre ingrossamenti per faccia; lama lanceolata ovaleggiante.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Cattivo stato di conservazione, l'anello terminale è spezzato e il perimetro del pendaglio è molto lacunoso. Spessa alterazione che pervade quasi tutta la foglia del pendaglio.	Lunghezza max 9,9 cm; larghezza max lama 2,8 cm; larghezza max manico 0,5 cm.	Estesa colorazione verde per le patine ed incrostazioni di alterazione.	15,2	N° inv. 88652	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-046		Pendente lanceolato con catena a tre anelli; anello a sezione romboidale; gambo a sezione romboidale con tre ingrossamenti per faccia; lama lanceolata ovaleggiante.	Lungo il bordo della zona lanceolata già alterata	Quasi integro: manca la parte vicino alla punta; buono stato di conservazione. Molte patine di alterazione sul pendaglio, manico con metallo sano.	Lunghezza 16,7 cm, spessore lamina da 0,2-0,4 cm; anellini spessore 0,1-0,2 cm	Estesa colorazione verde per le patine di alterazione sul pendaglio, manico color rame	21,26	N° inv. 88651	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
ARMILLE									
CP-049	Fine XI-X	Armilla a nastro a polsino a capi aperti arrotolati, in lamina a dieci costolature orizzontali parallele, di cui le due di margine a spigolo vivo con la superficie decorata a fasci di tratti incisi obliqui.	XRF superficiale	Ottimo stato di conservazione, integro, materiale "sano", visibili le decorazioni.	Altezza 5,1 cm; perimetro ellissoidale di assi: 5, 8 e 4,4 cm; apertura fra le terminazioni 2,7 cm; spessore lamina 0,2-0,3 cm.	Metallo color rame lucido, probabilmente per pulitura (segni di rigature superficiali). Residui di aree ossidate scure, particolarmente tra le costolature.	76,37	N° inv. 88590	XRF superficiale
CP-051			Sull'estremità lacunosa dell'armilla	Parte frammentaria, discreto stato di conservazione, presente 1 sola estremità ritorta.	Altezza 4,4 cm; perimetro ellissoidale di assi: 5, 7 e 4,9 cm; spessore lamina 0,1-0,23 cm.		53,20	N° inv. 88594	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-052			Campionatura nel centro sia su costa della decorazione, che su valle. (x lavorazione)	Buono stato di conservazione, quasi integro: 2 piccole lacune a centro lamina. Tutto metallo sano, visibili le decorazioni.	Altezza 4,5 cm; perimetro ellissoidale di assi: 5, 7 e 4,6 cm; spessore lamina 0,2-0,4 cm.		58,90	N° inv. 88592	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-053			Campionatura sull'estremità lacunosa dell'armilla, nel centro-costa della decorazione e su valle (x lavorazione)	Discreto stato di conservazione, 1 piccola lacuna centrale nella lamina, e mancanze alle estremità.	Altezza 4,6 cm; perimetro ellissoidale di assi: 5,6 e 4,4 - 4,5 cm; apertura bracciale 3,4-4,0 cm; spessore lamina 0,2 - 0,3 cm.		37,42	N° inv. 88593	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-163	X	Armilla a nastro a capi aperti ingrossati tipo Zerba, sezione triangolare, con decorazione incisa.	Sull'estremità dell'armilla	Buono stato di conservazione, il frammento presenta sulla superficie le incisioni delle decorazioni geometriche. Molte alterazioni superficiali.	Lunghezza 7,4 cm; altezza sezione 1,7 cm; spessore max 0,5 cm	Superficie con estese alterazioni verdi. Le aree di metallo esposte sono scure.	59,15	N° inv. 88596	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-164			Dal bordo del nastro, già corrosivo.	Buono stato di conservazione, un bordo leggermente lacunoso, il frammento presenta sulla superficie le incisioni delle decorazioni geometriche. Molte alterazioni superficiali.	Lunghezza 7,2 cm; altezza sezione 1,7 cm; spessore max 0,5 cm	Superficie con estese alterazioni verdi, che smangiano anche il bordo. Le aree di metallo esposte sono scure.	57,72	N° inv. 88597	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
SOSTEGNI TRIANGOLARI									
CP-091	Seconda metà X-inizi IX (Ha B2/3, Bronze Final IIIb)	Pendaglio con sostegno a raggiera tipo Réallon.	Da una zona fratturata degli elementi colleganti i 4 segmenti obliqui	Discreto stato di conservazione, l'oggetto è completo, ma spezzato in due parti	Lunghezza 9,4 cm, larghezza max 4,8 cm, spessore 0,3 cm	Patine superficiali verdi diffuse, poche aree incui affiora metallo grigio scuro.	29,80	N° inv. 88690/ 1	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-093		Pendaglio con sostegno a raggiera tipo Réallon.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte patine superficiali.	Lunghezza 7,8 cm; larghezza max. 7,6 cm; spessore 0,4 cm.	Patine superficiali verdi diffuse, poche aree incui affiora metallo grigio scuro.	27,05	N° inv. 88613	XRF superficiale
CP-094		Pendaglio con sostegno a raggiera, ibrido tra il tipo Réallon e il tipo Säckingen.	Da una zona fratturata degli elementi colleganti i 4 segmenti obliqui	Buono stato di conservazione, molte patine superficiali.	Lunghezza 6,1 cm; larghezza max. 4,2 cm; spessore 0,35 cm.	Diffusa patina di alterazione verde.	8,60	N° inv. 88614	OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
BOTTONI									
CP-116	XI-IX	Bottono a calotta	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, integro, patine di alterazioni in alcune zone.	Assi capocchia ellittica: 2,0 x 2,1 cm, altezza totale 0,4 cm	Patine superficiali di colorazione verde, nella parte inferiore è visibile del metallo, color rame.	1,46	N° inv. 88657/ 6	XRF superficiale
CP-117	XI-IX	Bottono a calotta	Prelievo dal bordo calotta, già lacunosa	Discreto stato di conservazione, lacunoso nei bordi della capocchia, patine di alterazioni in alcune zone.	Assi capocchia ellittica: 2,4 x 1,9 cm; altezza totale 0,6 cm	Leggere patine superficiali di verdi, in varie zone è visibile del metallo color rame.	1,64	N° inv. 88657/ 7	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
PLACCHETTE DECORATE A SBALZO									
CP-153	X-IX	Placchetta in lamina rettangolare con decorazioni a punti a sbalzo, 1 capo ripiegato con fori passanti	XRF superficiale	Discreto stato di conservazione, il campione è un frammento di una lamina più complessa. La superficie è molto alterata e con lacune sui bordi. In superficie è visibile la punzonatura	Lunghezza 5,9 cm; larghezza 1,5 cm; spessore 0,1 cm	Patine di alterazioni verdi diffuse, nella parte superiore è ben visibile il metallo, color rame, e segni di graffiature superficiali (pulizia?).	2,33	N° inv. 88661/ 3	XRF superficiale

Tabelle dati – Chiusa Pesio

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-154	X-IX	Placchetta in lamina rettangolare con decorazioni a punti a sbalzo, 1 capo ripiegato con fori passanti	XRF superficiale	Discreto stato di conservazione, il campione è un frammento di una lamina più complessa. La superficie è molto alterata e con lacune sui bordi. In superficie è visibile la punzonatura	Lunghezza 5,1cm; larghezza 1,4 cm, spessore 0,1 cm	Colorazione verde dovuta a diffuse patine di alterazione, le punzonature lasciano intravedere il metallo sano color rame	1,31	N°inv. 88661/4	XRF superficiale
CP-156	X-IX	Placchetta in lamina rettangolare con decorazioni a punti a sbalzo, parte centrale, mancano le estremità	Campionato su una delle zone terminali, già spazzata	Discreto stato di conservazione, sulla superficie sono ancora visibili i segni della punzonatura. Alterazioni superficiali diffuse.	Lunghezza 0,4 cm, larghezza 0,14 cm, spessore max. 0,1 cm	Diffusa colorazione verde dovuta a patina superficiali, in alcuni punti l'alterazione assume una colorazione marrone	0,82	N°inv. 88661/6	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
OGGETTI SINGOLI									
CP-013	Fine IX-inizi VIII	Gancio di cintura in laminati forma foliata con due linguette laterali ripiegate presso l'estremità prossimale; superficie superiore decorata a incisione con linee incise lungo i margini e l'asse di simmetria.	Terminazione e frammentata, lato interno in cui sono presenti tre linguette ripiegate.	Buon stato di conservazione, sul fronte sono evidenti decorazioni estese. Patine di alterazione superficiali in piccole aree.	Lunghezza 9,5 cm; larghezza lamina 2,0-2,9 cm; spessore 0,2 cm	Superficie color rame lucida, visibili punti di metallo bianco in superficie nell'area decorata. Piccole zone verdi per alterazione.	11,67	N°inv. 88655	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-047	XII-XI	Capocchia di spillone a rotella, con quattro motivi a M si appoggiano alla ghiera a sezione circolare e di questi solo due uniti all'innesto con un segmento a sezione circolare.	Su una bava, in corrispondenza di uno dei bracci della ruota	Ottimo stato di conservazione, metallo lucido e qualche patina di alterazione superficiale.	Ø max 3,9 - 4,1 cm; altezza 2,0 cm, spessore base 0,4 cm; spessore corpo centrale sporgente 0,9-0,7 cm	Metallo lucido color rame e aree con di alterazione verdi.	22,75	N°inv. 88609	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-159	X-IX	Punteruolo a sezione quadrata; entrambe le estremità appuntite.	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, oggetto integro.	Lunghezza 4 cm; larghezza (circa=all'altezza) 0,2-0,4 cm	Diffusa alterazione verde superficiale, è visibile una porzione di metallo color rame.	2,01	N°inv. 88679	XRF superficiale
CP-160	IX-inizi VII	Martello, vacuoli di fusione all'estremità prossimale.	Sul bordo del foro interno del mrtello.	Buono stato di conservazione, l'oggetto è quasi integro, ha una frattura antica sul corpo.	Lunghezza 6,8 cm; larghezza 2,4 - 1,2 cm; altezza 3,7 cm	Superficie metallica grigio molto scuro, presenza di aree con patine verdi di alterazione.	285	N°inv. 88677	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-161	X-IX	Lingotto, frammento. Sezione quadrangolare, un lato liscio ottenuto da taglio per probabile percussione, l'altra estremità smussata.	Prelievo dal bordo largo, sul taglio	Buono stato di conservazione, sembra una porzione di un oggetto a > dimensioni.	Altezza 2,5 cm; sezione trapezoidale di altezza 3,1 cm, e basi 1,6 e 2,2 cm	Superficie di metallo pulito color rame, segni e graffi superficiali. Presenti aree con alterazione verde.	75,33	N°inv. 88680	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-162	X-IX	Scoria di fusione	Sezione sulla parte finale	Pezzo informe con alterazioni superficiali e aree ossidate	Forma irregolare, le 3 dimensioni max sono: 1,9 x 1,0 x 1,4 cm	Superficie con alterazioni verdi e aree nere	6,86	N°inv. 88681	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-165	Fine IX	Scalpello lanceolato a margini convessi, punta a sezione rettangolare; immanicatura a sezione tendenzialmente circolare.	Piccola porzione all'estremità dello scalpello	Ottimo stato di conservazione, l'oggetto è integro con patine di alterazione diffuse.	Lunghezza 15,9 cm; Ømanico 0,9 cm; lama scalpello: larghezza max 1,1 cm-altezze 0,6 cm	Superficie con diffusa colorazione verde per effetto dell'alterazione, visibile un'area di metallo sano color rame che sembra pulita di recente (striature superficiali).	86,47	N°inv. 88678	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ PIXE/ metallografia
CP-166	X- prima metà IX	Punta di spada in due frammenti, con lama a sezione a losanga con gradino lungo il taglio. (167 frammento della lama; 166 frammento della punta).	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, leggere alterazioni superficiali. Visto lateralmente presenta una forte curvatura al centro.	Lunghezza max. 9,5 cm, altezza al centro 0,65-0,1 cm, larghezze max: 2,7 cm.	Patine verdi di alterazione superficiale, si intravede in qualche punto del metallo color rame.	100,1	N°inv. 88676/ 2	XRF superficiale
CP-167	X- prima metà IX		In corrispondenza della frattura della lama, dalla parte non combaciante con la punta	Pur essendo un frammento si presenta in buono stato di conservazione, leggere alterazioni superficiali.	Lunghezza max. 5,8 cm, altezza al centro circa 0,8 cm, larghezze ai due estremi: 2,7 e 3,1 cm	Patine verdi di alterazione superficiale, si intravede in qualche punto del metallo color rame.		N°inv. 88676/ 1	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-168	XI-IX	Borchietta con capocchia emisferica appiattita.	Dal bordo lacunoso	Scarso stato di conservazione, oggetto molto lacunoso nei bordi della capocchia, patine diffuse di alterazioni.	Assi capocchia ellittica: 0,5 x 0,6 cm, altezza totale 0,2 cm	Spesse alterazioni verdi su tutta la superficie.	0,12	N°inv. 88658/ 1	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-169	XVI- XIV	Pendente in lamina, forma a goccia, con perforazione circolare; linguetta arrotola.	Sul bordo, nella zona aperta del disegno circolare	Scarso stato di conservazione, l'oggetto è integro, ma con bordi irregolari. Alterazione spessa che sembra pervadere tutto lo spessore della lamina.	Lunghezza 3,7 cm; larghezza max 1,6 cm; spessore 0,015 cm	Spesse alterazioni verdi su tutta la superficie, verde anche la sezione dell'oggetto nel punto di campionamento.	1,16	N°inv. 88654	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
CP-175	Fine IX- inizi VIII	Tazza in lamina ad ansa verticale sopraelevata tipo Chiusa Pesio: gola svasata, vasca emisferica, fondo ombelicato; ansa a nastro sopraelevata, applicata con quattro ribattini fissanti le due estremità di forma trapezoidale; esterno dell'ansa decorato con motivo a quattro croci di Sant'Andrea tra in due fasce di linee incise.	Tre prelievi: uno lungo il bordo, uno sul fondo della tazza, e uno su un lato dell'oggetto	Discreto stato di conservazione, la forma dell'oggetto è ben comprensibile anche se una porzione del corpo è lacunosa. La patina di alterazione è generalmente verde, ma sembra per la maggior parte rimossa da una pesante pulizia, molte aree metallo sano esposte.	Øcorpo 11,6 cm; altezza 5,4 cm; altezza con manico 8 cm	Metallo color rame, lucido; aree con patine di alterazione verdi.	113,2	N°inv. 88589	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA/ metallografia
ANELLINI CIRCOLARI A SEZIONE CIRCOLARE O A D									
CP-170/1	Seconda metà X- inizi IX (Ha B2/3,	Frammento di anellino circolare, con sezione circolare e decorazione	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione. Sulla superficie, ormai costituita essenzialmente da alterazione, si vedono i resti di una decorazione.	Lunghezza 1,6 cm; Ø 0,2 cm.	Superficie verde per spesse patine di alterazione che invadono quasi tutta la sezione del filo, visibile una zona di metallo color rame nel centro della sezione.	0,27	N°inv. 88637/ 1	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia

Tabelle dati – Chiusa Pesio

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-170/2	Bronze Final IIIb)	Frammento di anellino circolare, con sezione circolare e decorazione	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione. Sulla superficie, ormai costituita essenzialmente da alterazione, si vedono i resti di una decorazione.	Lunghezza 2,1 cm; Ø 0,2 cm.	Superficie verde per spesse patine di alterazione che invadono quasi tutta la sezione del filo, visibile una zona di metallo color rame nel centro della sezione.	0,43	N° inv. 88637/2	OM/ SEM-EDS/ EPMA
CP-170/3		Frammento di anellino circolare, con sezione circolare e decorazione	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione. Sulla superficie, ormai costituita essenzialmente da alterazione, si vedono i resti di una decorazione.	Lunghezza 2,61 cm; Ø 0,2 cm.	Superficie verde per spesse patine di alterazione che invadono quasi tutta la sezione del filo, visibile una zona di metallo color rame nel centro della sezione.	0,64	N° inv. 88637/3	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-FR-A		Frammento di anellino circolare, con sezione circolare e decorazione	Sezione da estremità	Scarso stato di conservazione, frammento alterato alle estremità e con spesse patine corrosione in superficie.	Lunghezza 1,1 cm; Ø 0,125 cm.	Superficie verde per presenza di spesse patine di alterazione.	n.d.	Piccolissimo frammento sparso	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
SPIRALINE									
CP-121	X-IX	Spiralina	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, patine di alterazione scarse, presenti solo in alcune aree. Ben visibile il metallo sano (probabilmente per pulitura e rimozioe delle alterazioni).	Lunghezza 5,0 cm; Ø 0,4 cm	Metallo di color rame lucido. Poche patine di alterazione verdi in alcune aree.	2,12	N° inv. 88659/1	XRF superficiale
CP-123	X-IX	Spiralina	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, patine di alterazione diffuse, poco metallo ossidato visibile.	Lunghezza 6,0 cm; Ø 0,4 cm	Molte patine di alterazione verdi, metallo di colore rame scuro-grigio (ossidato).	1,36	N° inv. 88659/3	XRF superficiale
CP-131	X-IX	Spiralina	XRF superficiale	Discreto stato di conservazione, patine e incrostazioni di alterazione diffuse.	Lunghezza 3,9 cm; Ø 0,5 cm	Diffuse patine e incrostazioni verdi dovute a alterazione. In una terminazione: metallo affiorante con colorrame.	1,33	N° inv. 88659/11	XRF superficiale
CP-132	X-IX	Spiralina	Prelievo da un'estremità	Discreto stato di conservazione, patine e incrostazioni di alterazione diffuse.	Lunghezza 2,7 cm; Ø 0,4 cm	Diffuse patine e incrostazioni verdi dovute a alterazione. In alcuni punti il metallo affiorante con colorazione scura, quasi nera.	1,02	N° inv. 88659/12	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-133	X-IX	Spiralina	Prelievo da un'estremità	Buono stato di conservazione, patine di alterazione diffuse, una terminazione corrosa.	Lunghezza 2,7 cm; Ø 0,4 cm	Molte patine di alterazione verdi, metallo di colore rame scuro-grigio (ossidato).	0,57	N° inv. 88659/13	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-142	X-IX	Spiralina	Prelievo da un'estremità	Buono stato di conservazione, patine di alterazione soprattutto fra le spire, metallo esposto scuro (potrebbe esserci stata una parziale rimozioe delle alterazioni).	Lunghezza 1,6 cm; Ø 0,4 cm	Metallo di colore grigio scuro (color rame ossidato). Patine di alterazione verdi presenti fra le spire.	0,24	N° inv. 88659/22	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-150	X-IX	Frammento di spiralina	Prelievo da un'estremità	Frammento in discreto stato di conservazione, patine superficiali di alterazione.	Lunghezza 0,7 cm; Ø 0,3 cm	Molte patine di alterazione verdi; metallo, ove visibile, di colore nero.	0,10	N° inv. 88659/27	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-FR-S	X-IX	Frammento di spiralina	Sezione da estremità	Scarso stato di conservazione, con molte patine di corrosione e lamina molto quasi completamente corrosa.	Altezza 0,1 cm; lunghezza 0,8 cm.	Superficie verde per presenza di spesse patine di alterazione.	n.d.	Piccolissimo frammento sparso	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
ANELLINI IN LAMINETTA									
CP-FR-AP	X-IX	Frammento di anellino circolare in lamina	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione, con forti patine corrosione in superficie.	Altezza 0,1 cm; Ø 0,3 cm.	Superficie verde per presenza di spesse patine di alterazione, nella parte spezzata si vede il metallo sano color rame.	n.d.	Piccolissimo frammento sparso	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
LAMINETTE TUBOLARI									
CP-172/1	X-IX	Parte di un elemento tubolare in lamina avvolta su se stessa.	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione, alterazione diffusa che sembra pervadere quasi tutta la lamina.	Lunghezza 1,6 cm; Ø 0,2 cm	presentano una colorazione verde rame	0,04	N°inv. 88660/1	Solo OM, nessun residuo di metallo
CP-172/2	X-IX	Frammento di un elemento tubolare in lamina avvolta su se stessa.	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione, alterazione diffusa che sembra pervadere quasi tutta la lamina.	Lunghezza 0,9 cm; Ø 0,5 cm, spessore lamina 0,01 cm.	presentano una colorazione verde rame, in un punto si individua del metallo sano color rame	0,10	N°inv. 88660/2	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
CP-172/3	X-IX	Parte di un elemento tubolare in lamina avvolta su se stessa.	Sezione da estremità	Discreto stato di conservazione, alterazione diffusa che sembra pervadere quasi tutta la lamina.	Lunghezza 0,7 cm; Ø 0,3 cm	presentano una colorazione verde rame, in alcuni punti la patina di alterazione presenta una colorazione marrone	0,12	N°inv. 88660/3	OM/ SEM-EDS/ EPMA/ metallografia
PENDAGLI CIRCOLARI PICCOLI									
CP-055			Bava del gancio del pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,3 cm			N°inv. 88672/1	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-056			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,3 cm			N°inv. 88672/2	XRF superficiale
CP-057			XRF superficiale	Due braccia della croce interna sono interrotte (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,3 cm			N°inv. 88672/3	XRF superficiale
CP-058	X-IX	Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si imposta tra due bracci; sezione lenticolare.	XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,3 cm	Patine di alterazioni verdi diffuse, dove affiora il metallo è grigio scuro.	Peso medio 3,7	N°inv. 88672/4	XRF superficiale
CP-059			XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,3 cm			N°inv. 88672/5	XRF superficiale
CP-060			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,3 cm			N°inv. 88672/6	XRF superficiale
CP-061	X-IX	Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si imposta tra due bracci; sezione lenticolare; traccia della colata in corrispondenza del quadrante opposto al gancio, in prossimità di un braccio.	Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno	Due braccia della croce interna sono interrotte (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,6 cm	Patine di alterazioni verdi diffuse, dove affiora il metallo è grigio scuro.	Peso medio 4,5	N°inv. 88670/1	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-062			XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, con patine di alterazioni.	Ø 2,6 cm	Patine di alterazioni verdi, il metallo è grigio scuro.		N°inv. 88670/2	XRF superficiale
CP-063			Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato esterno	Integro, buono stato di conservazione, leggere patine di alterazioni.	Ø 2,6 cm	Qualche patina di alterazione verde, il metallo è grigio scuro.		N°inv. 88670/3	XRF sup./ OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA

Tabelle dati – Chiusa Pesio

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-064			XRF superficiale	Due braccia della croce interna sono interrotte (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,6 cm			N° inv. 88670/4	XRF superficiale
CP-065			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, con patine di alterazioni .	Ø 2,6 cm	Patine di alterazioni verdi diffuse, dove affiora il metallo è grigio scuro.		N° inv. 88670/5	XRF superficiale
CP-066			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,6 cm			N° inv. 88670/6	XRF superficiale
CP-067			XRF superficiale	Due braccia della croce interna sono interrotte (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,6 cm			N° inv. 88670/7	XRF superficiale
CP-068			XRF superficiale	Integro, discreto di conservazione, qualche difetto di fusione sulla croce e sul bordo esterno. Moltissime patine di alterazioni .	Ø 2,2 cm			N° inv. 88671/1	XRF superficiale
CP-069			XRF superficiale	Integro, discreto stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,2 cm			N° inv. 88671/2	XRF superficiale
CP-070		Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si imposta a cavallo tra due quadranti; sezione lenticolare.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, qualche patina di alterazioni .	Ø 2,2 cm	Patine di alterazioni verdi diffuse, dove affiora il metallo è grigio scuro.	Peso medio 3,7	N° inv. 88671/3	XRF superficiale
CP-071	Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno		Integro, buono stato di conservazione, moltissime patina di alterazioni .	Ø 2,2 cm	N° inv. 88671/4			XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA	
CP-072	XRF superficiale		Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, qualche patina di alterazioni .	Ø 2,2 cm	N° inv. 88671/5			XRF superficiale	
CP-080			Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno	Integro, buono stato di conservazione, moltissime patina di alterazioni .	Ø 2,2 cm			N° inv. 88671/6	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-073		Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si imposta tra due quadranti; sezione lenticolare.	Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno	Integro, ma con una frattura lungo la circonferenza esterna, in prossimità del punto di prelievo. Discreto stato di conservazione, diffuse patine verdi di alterazione.	Ø 2,7 cm	Patine di alterazioni verdi molto diffuse, il metallo è grigio scuro.	Peso medio 4,9	N° inv. 88675/1	XRF superficiale
CP-074	XRF superficiale		Integro, discreto stato di conservazione, moltissime patine di alterazioni .	Ø 2,7 cm	N° inv. 88675/2			XRF superficiale	
CP-076	Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato esterno		Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, diffuse alterazione superficiale.	Ø 2,7 cm	N° inv. 88675/3			XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA	
CP-077			XRF superficiale	Integro, ma con una frattura lungo il bordo del gancio e due braccia della croce interna è interrotte (difetti fusione), buono stato di conservazione. Qualche patina di alterazione.	Ø 2,7 cm			N° inv. 88675/4	XRF superficiale

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-078			XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,7 cm			N° inv. 88675/5	XRF superficiale
CP-075			Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, qualche alterazione superficiale.	Ø 2,5 cm	Qualche patina di alterazione verde, buona parte dell'oggetto ha superficie colore scuro. In una piccola area danneggiata è visibile il metallo interno di color rosso rame.		N° inv. 88674/1	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-081		Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si	Bava dalla circonferenza a del pendaglio, lato interno	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, qualche alterazione superficiale.	Ø 2,5 cm	Qualche patina di alterazione verde, buona parte dell'oggetto ha superficie grigiastra, molto lucido.		N° inv. 88674/3	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-082	X-IX	imposta a cavallo tra due quadranti; sezione lenticolare.	XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto e presenta un difetto di fusione anche sul bordo esterno, buono stato di conservazione, qualche patina di alterazioni .	Ø 2,5 cm	Qualche patina di alterazione verde, buona parte dell'oggetto ha superficie colore grigiastra lucida.	Peso medio 3,0	N° inv. 88674/4	XRF superficiale
CP-083			XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, diffuse alterazione superficiale.	Ø 2,5 cm	Patine di alterazioni verdi piuttosto diffuse, il metallo è grigio scuro.		N° inv. 88674/5	XRF superficiale
CP-084			XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, qualche alterazione superficiale.	Ø 2,5 cm	Qualche patina di alterazione verde, buona parte dell'oggetto ha superficie grigiastra, molto lucido.		N° inv. 88674/6	XRF superficiale
CP-085			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,2 cm			N° inv. 88673/1	XRF superficiale
CP-086			Bava del gancio del pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni .	Ø 2,2 cm			N° inv. 88673/2	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-087		Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce; gancio a triangolo che si	XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,2 cm	Molte patine di alterazioni verdi diffuse, in poche zone affiora il metallo grigio scuro.	Peso medio 3,7	N° inv. 88673/3	XRF superficiale
CP-088	X-IX	imposta tra un braccio e un quadrante; sezione lenticolare.	XRF superficiale	Un braccio della croce interna è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 2,2 cm			N° inv. 88673/4	XRF superficiale
CP-089			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, con patine di alterazioni.	Ø 2,2 cm			N° inv. 88673/5	XRF superficiale
CP-090			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, qualche patina di alterazioni .	Ø 2,2 cm	Qualche patina di alterazioni verdi diffuse, metallo affiorante è grigio scuro.		N° inv. 88673/6	XRF superficiale
PENDAGLI CIRCOLARI GRANDI									

Tabelle dati – Chiusa Pesio

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-095	X-IX	Pendente a rotella di forma circolare; quattro bracci a croce che sostengono un anello interno; gancio triangolare in corrispondenza di un braccio; sezione romboidale.	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, qualche patina di alterazione .	Ø 5cm	Metallo grigio scuro, poche patine di alterazione verdi.	17,20	N° inv. 88668	XRF superficiale
CP-096	X-IX	Pendente a rotella di forma circolare; quattro bracci a croce che sostengono un anello interno; gancio triangolare in corrispondenza di un braccio; sezione lenticolare.	Bava dalla circonferenza del pendaglio, lato interno	Integro, in buono stato di conservazione, con molte patine di alterazione piuttosto diffuse.	Ø 5,7 cm	Superficie del metallo grigia e lucida, con patine verdi di alterazione diffuse.	21,00	N° inv. 88669	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-097	X-IX	Pendente a rotella di forma circolare; motivo interno a croce e triangoli rettangoli dal vertice smussato con cateti paralleli ai bracci della croce all'interno di ogni quadrante; gancio a triangolo; sezione lenticolare.	Bava dalla circonferenza del pendaglio, lato interno	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 4,5 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è grigio scuro	19,10	N° inv. 88666	XRF superficiale
CP-098	X-IX	Pendente a rotella di forma circolare; motivo interno a reticolo formato da tre bracci verticali e due orizzontali; gancio a triangolo; sezione lenticolare.	Bava del gancio del pendaglio	Un braccio della croce interna del reticolo è interrotto (difetto fusione), buono stato di conservazione, diffuse alterazione superficiale.	Ø 3,9 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è grigio e lucido	8,11	N° inv. 88667	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-099			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/1	XRF superficiale
CP-100			XRF superficiale	Due braccia della croce esterna sono interrotte (difetti fusione), buono stato di conservazione, molte patine di alterazioni.	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/2	XRF superficiale
CP-101		Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce (il braccio in corrispondenza del gancio è disassato) e	Bava del gancio del pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/3	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ metallografia
CP-102	X-IX	triangolo acuto all'interno di ogni quadrante; gancio a triangolo che si	XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è grigio scuro.	Peso medio 24,3	N° inv. 88662/4	XRF superficiale
CP-103		imposta tra un braccio e la decorazione triangolare interna.	Bava del gancio del pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/5	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ EPMA
CP-104			XRF superficiale	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/6	XRF superficiale
CP-105			Bavetta in corrispondenza di un braccio della croce interna al pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,3 cm			N° inv. 88662/7	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-106	X-IX	Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce e triangoli rettangoli con cateti paralleli ai bracci della croce	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, molti difetti di fusione nel disegno interno. Alcune aree con alterazioni superficiali.	Ø 5,7 cm	Metallo grigio e lucido, con diffuse patine di alterazione verdi.	Peso medio 25,7	N° inv. 88663/2	XRF superficiale

Appendice Capitolo 3

Sigla	Data sec. a.C	Funzione	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Forma e Dimensioni	Colore a Vista	Peso (g)	N° inventario	Analisi Effettuate
CP-107		all'interno di ogni quadrante; gancio a triangolo che si imposta in corrispondenza del braccio.	Bava dalla circonferenza del pendaglio, lato interno	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5,7 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è grigio scuro		N° inv. 88663/1	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-108	X-IX	Pendenti a rotella di forma circolare; motivo interno a croce, con braccio a tre segmenti in corrispondenza del gancio, e triangoli rettangoli con cateti paralleli ai bracci nei due quadranti opposti al gancio; gancio a triangolo; sezione lenticolare.	XRF superficiale	Buono stato di conservazione, grosso difetto di fusione: mancano due braccia della croce esterna. Molte aree con alterazioni superficiali.	Ø 5 cm	Metallo grigio scuro e lucido, con diffuse patine di alterazione verdi.	Peso medio 39,8	N° inv. 88664/2	XRF superficiale
CP-109		Pendente a rotella forma circolare; motivo interno a croce e triangoli rettangoli con cateti paralleli ai bracci della croce all'interno di ogni quadrante; gancio a triangolo; sezione lenticolare.	Bavetta in corrispondenza di un braccio della croce interna al pendaglio	Integro, buono stato di conservazione, con molte patine di alterazioni .	Ø 5 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è scuro e opaco.		N° inv. 88664/1	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA
CP-110	X-IX	Pendente a rotella forma circolare; motivo interno a croce e triangoli rettangoli con cateti paralleli ai bracci della croce all'interno di ogni quadrante; gancio a triangolo che si imposta tra i cateti di due dei triangoli interni; sezione romboidale.	Bava dalla circonferenza del pendaglio, lato interno	Discreto stato di conservazione, la croce interna al pendaglio ha una lacuna (difetto fusione), diffuse alterazioni superficiali.	Ø 5,1 cm	Diffuse patine di alterazioni verdi, il metallo esposto è scuro e opaco.	21,0	N° inv. 88665	XRF sup./OM/ SEM-EDS/ DIP/ EPMA

Tabella 3.8.2 Dati delle analisi XRF dei campioni analizzati; i risultati delle analisi dei pendenti circolari piccoli e quelli dei pendenti circolari grandi sono riportati separatamente rispettivamente in Tab. 3.8.2.A e 3.8.2.B. Le colonne in grigio chiaro sono relative ai valori normalizzati, quelle bianche ai valori come da misura. I dati sono espressi come % peso.

Classi	Sigla	Cu	Cu	Ni	Ni	Fe	Fe	As	As	Sn	Sn	Bi	Bi	Pb	Pb	Zn	Zn	Co	Co	Ag	Ag	Sb	Sb		TOT.
Torques	CP 1	75.24	75.22	0.30	0.30	0.40	0.40	1.30	1.30	21.91	21.90	0.00	0.00	0.85	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.97
	CP 3	86.97	82.24	0.45	0.42	0.24	0.23	0.50	0.47	11.23	10.62	0.12	0.11	0.50	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	94.56
	CP 4	84.80	79.53	0.28	0.26	0.27	0.25	0.19	0.18	13.89	13.03	0.23	0.22	0.34	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	93.78
	CP 8	92.76	73.03	0.29	0.23	0.22	0.18	0.22	0.17	5.36	4.22	0.00	0.00	1.16	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	78.73
Spiloni	CP 10	61.24	61.22	0.26	0.26	0.43	0.43	0.98	0.98	35.81	35.80	0.16	0.16	1.12	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.96
	CP 11	64.60	46.68	0.59	0.42	0.34	0.23	0.70	0.49	32.60	22.90	0.12	0.09	0.86	0.60	0.00	0.00	0.19	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	71.55
	CP 12	53.57	30.06	0.24	0.13	0.35	0.20	0.53	0.30	43.84	24.60	0.13	0.07	1.35	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	56.12
	CP 48A_1	83.00	35.00	0.30	0.13	0.59	0.25	0.19	0.08	15.34	6.47	0.11	0.05	0.47	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	42.17
	CP 48A_2	43.88	33.41	0.17	0.13	0.51	0.39	0.49	0.37	52.93	40.30	0.11	0.08	1.92	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	76.15
	CP 48B_1	57.67	23.24	0.24	0.10	1.41	0.57	0.45	0.18	38.78	15.63	0.13	0.05	1.32	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	40.30
Pendenti Lanceolati	CP 33	79.63	79.59	0.00	0.00	0.20	0.20	0.36	0.36	18.91	18.90	0.15	0.15	0.48	0.48	0.28	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.96
	CP 34	78.63	78.60	0.23	0.23	0.09	0.09	0.27	0.27	20.01	20.00	0.17	0.17	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.96
	CP 36	86.85	86.74	0.25	0.25	0.11	0.11	0.21	0.21	11.77	11.76	0.18	0.18	0.62	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.87
	CP 37	79.66	66.54	0.00	0.00	0.26	0.22	0.27	0.23	18.96	15.89	0.14	0.12	0.71	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	83.60
	CP 41	88.42	88.31	0.00	0.00	0.28	0.28	0.19	0.19	10.21	10.20	0.18	0.18	0.42	0.42	0.29	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.87
	CP 46	72.69	72.63	0.25	0.25	0.15	0.15	0.36	0.36	25.82	25.80	0.15	0.15	0.58	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	99.92
Armil le	CP 49	83.81	64.33	0.31	0.24	0.39	0.30	0.73	0.55	13.67	10.49	0.15	0.12	0.52	0.40	0.42	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	76.74
	CP 52	76.69	65.52	0.32	0.28	0.52	0.44	0.29	0.25	20.79	17.71	0.12	0.11	1.09	0.93	0.18	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	85.37

Classi	Sigla	Cu	Cu	Ni	Ni	Fe	Fe	As	As	Sn	Sn	Bi	Bi	Pb	Pb	Zn	Zn	Co	Co	Ag	Ag	Sb	Sb		TOT.
	CP 53	87.78	87.78	0.30	0.30	0.11	0.11	0.28	0.28	10.68	10.68	0.22	0.22	0.29	0.29	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	CP 163_1	97.27	83.47	0.50	0.42	0.46	0.39	0.26	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	85.80
	CP 164_1	89.86	83.49	0.00	0.00	0.36	0.34	0.18	0.17	6.55	6.09	0.19	0.18	0.56	0.52	0.00	0.00	2.28	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	92.91
Pendenti con sostegni	CP 91_1	83.28	68.26	0.26	0.22	0.19	0.16	0.39	0.32	14.92	12.23	0.15	0.12	0.81	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	81.97
	CP 91_3	92.00	67.90	0.28	0.21	0.23	0.17	0.36	0.26	6.65	4.91	0.16	0.12	0.33	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	73.81
	CP 91_4	20.43	15.27	0.12	0.09	1.03	0.77	1.67	1.25	73.99	55.30	0.35	0.26	2.41	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	74.74
	CP 93	72.79	66.90	0.25	0.23	0.44	0.40	0.30	0.28	25.13	23.10	0.13	0.12	0.96	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	91.91
Bottoni	CP 116	88.77	79.51	0.27	0.24	0.37	0.33	0.41	0.37	9.49	8.50	0.14	0.13	0.55	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	89.57
	CP 117	83.16	80.22	0.00	0.00	0.77	0.74	0.61	0.59	13.95	13.46	0.15	0.14	0.90	0.87	0.46	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	96.46
Placchette	CP 153	94.36	87.88	0.31	0.29	0.12	0.11	0.17	0.16	4.41	4.11	0.19	0.18	0.43	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	93.13
	CP 154	94.10	94.10	0.34	0.34	0.12	0.12	0.17	0.17	4.61	4.61	0.23	0.23	0.43	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
	CP 156	93.03	84.61	0.00	0.00	0.18	0.17	0.18	0.16	4.54	4.13	0.13	0.12	0.56	0.51	0.31	0.28	0.00	0.00	0.31	0.28	0.77	0.70	100.00	90.95
Gancio di cintura	CP 13	86.73	73.71	0.67	0.57	0.17	0.15	0.31	0.27	11.76	10.12	0.14	0.12	0.21	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	85.11
Testa di spillone	CP 47	82.58	76.70	0.27	0.25	0.69	0.64	0.27	0.25	15.53	14.42	0.13	0.12	0.53	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	92.88
Punte ruolo	CP 159	81.11	51.25	0.42	0.27	0.53	0.34	0.23	0.15	17.34	11.08	0.12	0.08	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	63.31
Martello	CP 160	72.63	66.63	0.34	0.31	1.22	1.12	0.30	0.28	24.43	22.40	0.09	0.08	0.61	0.56	0.39	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	91.73
Lingotto	CP 161	81.09	62.81	0.29	0.22	1.60	1.24	0.10	0.08	15.51	12.01	0.11	0.09	0.83	0.64	0.47	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	77.46
Scoria	CP 162	64.16	36.87	5.69	3.27	14.13	8.12	14.62	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.65	0.27	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	57.47

Classi	Sigla	Cu	Cu	Ni	Ni	Fe	Fe	As	As	Sn	Sn	Bi	Bi	Pb	Pb	Zn	Zn	Co	Co	Ag	Ag	Sb	Sb		TOT.
Scal pello	CP 165	78.62	78.66	0.32	0.32	0.63	0.64	0.47	0.47	19.19	19.20	0.16	0.16	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.05
Spada	CP 166	77.98	74.23	0.18	0.17	0.16	0.15	0.24	0.23	20.54	19.55	0.00	0.00	0.90	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	95.19
	CP 167	85.27	85.27	0.18	0.18	0.14	0.14	0.22	0.22	13.45	13.45	0.00	0.00	0.74	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Borchia	CP 168	36.35	26.74	0.18	0.13	0.68	0.50	1.78	1.31	59.14	43.50	0.23	0.17	1.63	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	73.56
Pendente a gancio	CP 169	43.88	39.60	0.20	0.18	0.94	0.84	0.39	0.36	53.44	48.05	0.00	0.00	1.05	0.96	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	90.07
Tazza	CP 175_1	85.98	85.98	0.35	0.36	0.15	0.15	0.27	0.27	11.49	11.49	0.18	0.18	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.18	0.90	0.90	100.00	100.00
	CP 175_2	84.02	84.02	0.34	0.34	0.21	0.21	0.39	0.39	13.17	13.17	0.18	0.18	0.47	0.48	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.92	100.00	100.00
	CP 175_3	88.10	46.91	0.34	0.18	0.20	0.11	0.37	0.20	9.28	4.94	0.08	0.04	0.43	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.15	0.92	0.49	100.00	53.25
	CP 175_4	81.35	58.67	0.30	0.21	0.12	0.09	0.32	0.23	15.86	11.44	0.08	0.06	0.51	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	1.05	100.00	72.12
Spirali ne	CP 121	81.18	62.34	0.28	0.21	0.59	0.45	0.45	0.34	16.88	12.92	0.11	0.09	0.22	0.17	0.29	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	76.73
	CP 123	84.11	54.90	0.32	0.21	0.34	0.22	0.29	0.19	13.84	9.03	0.15	0.10	0.63	0.41	0.33	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	65.26
	CP 131	94.02	67.10	0.29	0.21	0.36	0.26	0.15	0.11	4.74	3.38	0.12	0.09	0.32	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	71.37
	CP 132	91.46	47.59	0.33	0.17	0.52	0.27	0.21	0.11	6.90	3.59	0.12	0.06	0.46	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	52.03
	CP 133	87.26	42.99	0.30	0.15	0.78	0.39	0.18	0.09	10.05	4.95	0.09	0.05	1.34	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	49.27
	CP 142	77.33	32.43	0.58	0.24	0.40	0.17	1.43	0.60	19.74	8.28	0.00	0.00	0.52	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	41.94
	CP 150	68.01	43.18	0.29	0.18	0.48	0.31	0.61	0.39	29.14	18.50	0.00	0.00	1.46	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	63.49

Tabella 3.8.2.A Dati delle analisi XRF dei pendenti circolari piccoli.

Sigla	Pb	Pb	Sn	Sn	As	As	Fe	Fe	Cu	Cu	Ni	Ni	Tot.	Tot.
CP 55	0.44%	0.21%	5.50%	2.59%	0.24%	0.11%	0.44%	0.21%	92.90%	44.10%	0.26%	0.13%	100%	47%
CP 56	0.60%	0.48%	23.80%	19.10%	0.67%	0.53%	0.53%	0.42%	74.00%	59.30%	0.35%	0.28%	100%	80%
CP 57	0.51%	0.43%	26.90%	22.70%	0.69%	0.58%	0.84%	0.71%	70.80%	59.70%	0.26%	0.22%	100%	84%
CP 58	0.98%	0.74%	30.00%	22.50%	1.02%	0.76%	1.30%	0.97%	65.50%	49.10%	0.28%	0.21%	100%	75%
CP 59	0.44%	0.37%	24.10%	20.20%	0.64%	0.53%	0.55%	0.46%	74.00%	61.90%	0.29%	0.24%	100%	84%
CP 60	0.45%	0.32%	34.40%	24.10%	0.71%	0.50%	0.30%	0.21%	63.90%	44.80%	0.33%	0.23%	100%	70%
CP 61	0.33%	0.30%	21.30%	19.40%	0.50%	0.45%	0.33%	0.30%	77.30%	70.30%	0.27%	0.25%	100%	91%
CP 62	0.54%	0.49%	29.30%	26.70%	0.66%	0.60%	0.39%	0.36%	68.80%	62.70%	0.27%	0.25%	100%	91%
CP 63	0.64%	0.55%	28.60%	24.50%	0.68%	0.59%	1.01%	0.87%	67.90%	58.20%	0.29%	0.24%	100%	86%
CP 66	1.57%	1.23%	33.60%	26.40%	0.91%	0.71%	0.85%	0.67%	62.80%	49.30%	0.32%	0.25%	100%	79%
CP 67	0.76%	0.52%	17.50%	12.10%	0.59%	0.41%	1.15%	0.79%	79.60%	55.10%	0.24%	0.17%	100%	69%
CP 68	0.64%	0.43%	18.10%	12.30%	0.20%	0.14%	0.28%	0.19%	80.70%	55.10%	0.15%	0.10%	100%	68%
CP 69	0.37%	0.29%	20.20%	15.60%	0.09%	0.07%	0.76%	0.59%	78.50%	60.72%	0.14%	0.11%	100%	77%
CP 70	0.48%	0.36%	15.40%	11.40%	0.07%	0.05%	0.67%	0.49%	83.20%	61.38%	0.17%	0.12%	100%	74%
CP 71	0.34%	0.28%	11.50%	9.60%	0.13%	0.11%	0.53%	0.44%	87.20%	72.60%	0.13%	0.11%	100%	83%
CP 72	0.57%	0.33%	15.70%	9.20%	0.12%	0.07%	0.27%	0.16%	83.20%	48.54%	0.14%	0.08%	100%	58%

Sigla	Pb	Pb	Sn	Sn	As	As	Fe	Fe	Cu	Cu	Ni	Ni	Tot.	Tot.
CP 73	0.36%	0.31%	20.40%	17.60%	0.14%	0.12%	0.19%	0.17%	78.69%	67.71%	0.18%	0.15%	100%	86%
CP 74	0.56%	0.45%	9.90%	7.90%	0.28%	0.22%	0.58%	0.46%	88.40%	70.50%	0.16%	0.13%	100%	80%
CP 75	0.41%	0.29%	18.00%	12.50%	0.11%	0.08%	0.86%	0.60%	80.20%	55.96%	0.17%	0.12%	100%	70%
CP 76	0.44%	0.44%	55.80%	55.80%	0.35%	0.35%	0.75%	0.75%	42.11%	42.11%	0.11%	0.11%	100%	100%
CP 77	0.28%	0.14%	15.70%	7.70%	0.12%	0.06%	0.32%	0.16%	83.30%	41.00%	0.14%	0.07%	100%	49%
CP 78	0.37%	0.29%	2.90%	2.22%	0.12%	0.09%	0.24%	0.19%	96.20%	74.20%	0.17%	0.13%	100%	77%
CP 79	0.55%	0.41%	25.80%	19.40%	0.22%	0.17%	0.33%	0.25%	73.00%	54.97%	0.13%	0.10%	100%	75%
CP 80	0.42%	0.36%	13.20%	11.20%	0.12%	0.10%	0.57%	0.49%	85.40%	73.00%	0.14%	0.12%	100%	85%
CP 81	0.33%	0.29%	19.50%	16.70%	0.12%	0.10%	0.53%	0.46%	79.28%	67.72%	0.20%	0.17%	100%	85%
CP 82	0.47%	0.39%	21.90%	18.10%	0.09%	0.08%	0.54%	0.45%	76.79%	63.54%	0.18%	0.15%	100%	83%
CP 83	0.43%	0.38%	13.70%	12.00%	0.11%	0.10%	0.62%	0.54%	85.01%	74.63%	0.16%	0.14%	100%	88%
CP 84	0.46%	0.42%	33.20%	30.30%	0.13%	0.12%	0.29%	0.27%	65.78%	60.09%	0.18%	0.16%	100%	91%
CP 85	1.15%	0.90%	21.70%	16.90%	0.86%	0.67%	0.35%	0.28%	75.66%	59.15%	0.30%	0.23%	100%	78%
CP 86	0.78%	0.53%	26.80%	18.20%	0.80%	0.54%	0.71%	0.48%	70.60%	47.76%	0.32%	0.22%	100%	68%
CP 87	0.59%	0.28%	13.90%	6.53%	0.64%	0.30%	0.39%	0.18%	84.20%	39.60%	0.29%	0.14%	100%	47%
CP 88	0.47%	0.37%	19.60%	15.60%	0.66%	0.52%	0.41%	0.32%	78.54%	62.32%	0.28%	0.22%	100%	79%

Tabella 3.8.2.B Dati delle analisi XRF dei pendenti circolari grandi.

Sigla	Pb	Pb	Sn	Sn	As	As	Fe	Fe	Cu	Cu	Ni	Ni	Zn	Zn	Tot	Tot
CP 95	0.47%	0.47%	28.65%	28.65%	0.20%	0.20%	0.23%	0.23%	70.26%	70.26%	0.23%	0.23%			100%	100%
CP 96	0.30%	0.30%	29.55%	29.55%	0.25%	0.25%	0.22%	0.22%	69.25%	69.25%	0.43%	0.43%			100%	100%
CP 97	0.45%	0.45%	16.75%	16.75%	0.49%	0.49%	0.40%	0.40%	81.65%	81.65%	0.23%	0.23%			100%	100%
CP 98	1.12%	0.96%	25.30%	21.70%	0.11%	0.10%	1.60%	1.37%	71.75%	61.56%	0.14%	0.12%			100%	86%
CP 99	1.56%	1.04%	21.10%	14.00%	0.53%	0.35%	1.63%	1.08%	74.40%	49.42%	0.28%	0.19%	0.51%	0.34%	100%	66%
CP 100	2.28%	1.75%	13.40%	10.30%	0.43%	0.33%	0.66%	0.51%	83.00%	63.78%	0.20%	0.15%			100%	77%
CP 101	2.11%	1.38%	7.90%	5.18%	0.46%	0.30%	0.63%	0.41%	88.70%	57.96%	0.20%	0.13%			100%	65%
CP 102	2.75%	2.18%	11.50%	9.10%	0.32%	0.26%	0.65%	0.52%	84.40%	66.95%	0.43%	0.34%			100%	79%
CP 103	0.95%	0.62%	9.20%	6.03%	0.64%	0.42%	0.46%	0.30%	88.50%	58.00%	0.25%	0.16%			100%	66%
CP 104	0.71%	0.59%	12.50%	10.30%	1.53%	1.26%	0.36%	0.30%	84.60%	69.56%	0.33%	0.27%			100%	82%
CP 105	0.25%	0.18%	13.00%	9.40%	2.29%	1.66%	0.63%	0.45%	83.30%	60.28%	0.52%	0.37%			100%	72%
CP 106	0.39%	0.34%	11.50%	10.00%	0.14%	0.12%	0.24%	0.21%	87.60%	76.58%	0.15%	0.13%			100%	87%
CP 107	0.56%	0.34%	17.40%	10.40%	0.14%	0.08%	0.83%	0.50%	81.00%	48.45%	0.11%	0.07%			100%	60%
CP 108	0.24%	0.24%	26.50%	26.50%	0.11%	0.11%	0.38%	0.38%	72.65%	72.65%	0.12%	0.12%			100%	100%
CP 109	0.76%	0.61%	32.00%	25.80%	0.18%	0.14%	0.68%	0.55%	66.24%	53.41%	0.12%	0.10%			100%	81%
CP 110	0.33%	0.33%	22.75%	22.75%	0.36%	0.36%	0.17%	0.17%	76.23%	76.23%	0.14%	0.14%			100%	100%

Tabella 3.8.3 Elenco delle analisi SEM-EDS areale (media di 2-3 analisi di aree differenti). Sono inoltre riportati le inclusioni osservate nella fase metallica principale di ogni campione. Dati espressi in percentuali peso. (Sf = solfuri; Q=quarzo).

Classi	Sigla	O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Pb	Pb	Tot	Sf Cu	Sf Fe	Sf Zn	Q	Pb	Altro
Torques	CP 6			0.3	0.2					92.6	83.3					7.2	6.5			89.9	xx	xx			xx	
	CP 9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2			93.0	86.5					5.7	5.3			93.0		xx	x		xxx	Nei solfuri a volte pocoPb/Bi (dati EPMA)
Pendenti Lanceolati	CP 33			0.1	0.1					89.0	85.0					10.9	10.4			95.5		xx	x		xxx	
	CP 34	0.6	0.6	0.3	0.3					90.4	87.0					8.7	8.4			96.3	xx	x		xxx	Ossidi di Fe-Cu-Pb (esagonali, nei solfuri); in un solfuro tracce Se. Solfuri Cu-Fe-Pb (dati EPMA); in generali nei solfuri tracce Ag.	
	CP 39	0.4	0.3	0.4	0.4					90.7	88.9					8.5	8.4			98.0		xx	x		x	Solfuri Cu-Fe-Pb; segregazioni Pb-Bi
	CP 40	0.5	0.5	0.4	0.4					91.2	85.6					7.9	7.4			93.8		xx			x	Solfuri Cu-Fe-Pb (dati EPMA)
	CP 42	0.2	0.2	0.0	0.0					93.3	91.1					6.5	6.3			97.6	x	x		xx		Saltuariamente nei solfuri tracce As/Pb/Ag/Bi (dati EPMA), poche segregazioni Pb-Bi
	CP 45	0.9	0.9	0.3	0.3	0.2	0.2			93.7	90.3					3.2	3.1	1.7	1.7	96.4		xx	xx		xxx	Nei solfuri a volte pocoPb/Bi (dati EPMA)
	CP 46	0.2	0.2							91.1	85.5					8.7	8.2			93.9	x	xx		xx		Saltuariamente nei solfuri tracce Pb e a volte Bi (dati EPMA)
Armille	CP 51	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1			91.2	87.9					8.3	8.0			96.3		xx	x		xx	Nei solfuri tracce As e Pb (dati EPMA), segregazioni Pb e Pb-Bi sempre con tracce Ag e As (e Co-Fe min).
	CP 52-V			0.3	0.3	0.4	0.3			89.1	86.0					10.3	10.0			96.5		xx	x	xx	xxx	Nei solfuri a volte Pb e a volte tracce Ag, Co (EPMA)
	CP 53	0.4	0.4							95.2	92.0					4.4	4.3			96.6	xx		xx		xxx	Segregazioni Pb-Cu-Ni-Sn; SnO ₂ . Nei solfuri ossidati presenza di Zn+tracce Ag, Ni e Cl (EPMA). Segregazioni Pb e 1 di Pb-Bi, tutte + tracce Ag, As e Ni.
	CP 163									91.5	86.7					8.2	7.8			94.5	xx	xx			x	Segregazioni Pb-Bi + tracce Ag e As (EPMA). Nei solfuri anche Fe, Cl e Pb bassi (EPMA).

Classi	Sigla	O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Pb	Pb	Tot	Sf Cu	Sf Fe	Sf Zn	Q	Pb	Altro
	CP 164	0.7	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1			90.9	85.0					8.2	7.7			93.6	xx		x	xx		Nei solfuri Cu-Fe-Pb e a volte tracce Bi (dati EPMA)
Pendenti con sostegni	CP 91	0.7	0.7	0.1	0.1					81.9	77.2					17.3	16.3			94.3	xx			xxx		Fase δ. Inclusi Pb-Bi con tracce Ag e As sempre, a volte anche Co (EPMA)
	CP 94	0.2	0.2							87.6	85.6					12.3	12.0			97.7	x	x				Molte segregazioni polimetalliche Pb-Bi + tracce Ag (EPMA); fase δ. Nei solfuri Cu-Fe-Pb + tracce di Ag e a volte Co (EPMA)
Gancio di cintura	CP 13	0.1	0.1	0.1	0.1			0.2	0.2	90.6	85.1					9.0	8.5			93.9	xx	xx		xx		Nei solfuri anche tracce Pb-Bi (dati EPMA); segregazioni Cu-Sn-Ni
Testa di spillone	CP 47	0.8	0.8	0.2	0.2					85.1	78.6					13.8	12.7			92.3	xx		x	xxx		Fase δ. Nei solfuri Cu-Fe + tracce Pb, Bi e a volte As (EPMA).
Bottone	CP 117	0.1	0.1	0.7	0.7	0.5	0.5			93.4	89.3					5.2	5.0			95.7	x	xx	xx	xxx		Nei solfuri Cu-Fe-Zn-Pb sembra Zn sia legato a Pb circa proporzionali+tracce Ag, As e Sb ; altri inclusi: (Pb-Cu-Sn-S-O); (Cu-Pb-Fe-O)
Placchetta	CP 156	0.1	0.1							94.7	92.5					5.2	5.1			97.8	xx	xx		x	xx	Varie: (Pb-Ag-Cu-SO); (Pb-Cu-ossidati); (Pb-Cu-S-O). Da EPMA: Pb-Bi + tracce Ag; nei solfuri tracce di Ag, Sb e Ni.
Martello	CP 160	3.0	3.0	0.3	0.3	0.3	0.3			73.0	72.9					23.4	23.4			99.8			xx	x		Tutti solfuri con Zn, fino a 31% + tracce Pb, Bi e a volte Co. Vari inclusi: (Pb-Cu-Sn-Zn); nelle segregazioni Pb a volte c'è anche Bi tracce (dati EPMA)
Lingotto	CP 161	1.9	1.9	0.7	0.7	0.6	0.6			85.8	84.5					11.0	10.8			98.5	xx		x	xx		Fase δ; nelle segregazioni chiare Pb con Bi (dati EPMA)
Scoria	CP 162*	3.7	3.7	3.0	3.0	4.4	4.4	16.4	16.3	55.1	54.7							0.5	0.5	82.6	xx	xx				Solfuri Cu-Fe-Co-Ni-As-Ag-Pb
Scalpello	CP 165	0.5	0.5			0.1	0.1			91.0	85.7					8.2	7.7	0.2	0.2	94.2	xx		x	xxx		A volte Pb è leggermente ossidato. Nei solfuri a volte tracce Pb (EPMA).
Spada	CP 167	0.3	0.3	0.3	0.2					89.9	88.1					9.6	9.4			98.1	x	xx		xxx		Fase δ; segregazioni Pb-Bi (con Cu-Sn); nei solfuri tracce Pb e Ag (dati EPMA)

Classi	Sigla	O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Pb	Pb	Tot	Sf Cu	Sf Fe	Sf Zn	Q	Pb	Altro
Borchia	CP 168	1.1	0.9							87.1	71.5					11.3	9.3	0.5	0.4	82.1	x	x		xxx		Segregazioni (Pb-Bi con tracce Ag-Ni-As e Fe, dati EPMA)
Pendente a gancio	CP 169									88.6	84.0					11.3	10.7			94.7	xx	xx		xx		I solfuro Cu-Fe con zonatura Fe-Mn. Segregazioni piccolissime (Pb con tracce Bi, dati EPMA)
Tazza	CP 175	0.4	0.4	0.4	0.4					88.8	88.2					10.4	10.3			99.3	xx	x	xx	xxx		Nei solfuri Cu-Fe-Zn con tracce Ag e Co (EPMA). Segregazioni (Pb-Bi) + tracce Ag.
Spiraline	CP 132			0.1	0.1	0.1	0.1			91.0	88.6					8.1	7.9	0.6	0.6	97.4	xx	xx		xxx		Segregazioni (Pb-Bi con tracce Ag e a volte Co, dati EPMA)
	CP 133	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1			91.6	87.5					7.7	7.4			95.5	xx	xx		xx		Nei solfuri: tracce Pb, Ag e Co (EPMA) e (ossidi di Fe dentro solfuri Cu-Fe); segregazioni Pb- Bi+ tracce Ag, Ni (EPMA).
	CP 142			0.6	0.6					90.6	88.9					8.8	8.7			98.2	xx	xx	x	x		Dati EPMA: Segregazioni Pb e Pb-Bi, sempre con tracce As (0.6-0.7%), Ni e Co. Nei solfuri ALTO As (0.5-1.4%)+ tracce Fe, Ag, Ni e Co.
	CP 150			0.4	0.4					91.8	85.1					7.8	7.1			92.6	xx	xx		xx		Inclusi PbBi. Dati EPMA: in Pb + Bi, a Ag + saltuarie tracce As o Ni. Nei solfuri Pb e tracce As.
	CP FR-S	0.0	0.0	0.5	0.5					90.9	85.8					8.6	8.1			94.4	xx	x		xx		Segregazioni Pb-Bi + tracce Ni, Co, As e Ag (EPMA). Nei solfuri tracce Pb, Ni, Co, As e Ag (EPMA).
Anellini in lamina	CP FR-AP			0.2	0.2					93.7	87.8					6.1	5.7			93.7	x	xx		xx		Segregazioni Pb-Bi + tracce Ni (EPMA). Nei solfuri a volte tracce As e Ag (EPMA).
Anellini Circolari	CP 170/1	0.1	0.1	0.7	0.7	0.1	0.1			86.9	81.1					12.2	11.4			93.4	xx	x		xx	xx	Nei solfuri tracce di Pb e Ag; nelle segregazioni Pb tracce As, Ag (EPMA).
	CP 170/2	0.3	0.3			0.1	0.1			92.8	89.1					6.8	6.5			96.0	xx			x		Segregazioni Pb-Bi. Nei solfuri rare segregazioni ossidi di Fe; inoltre tracce Pb e Ag (EPMA).
	CP 170/3					0.0	0.0			96.0	96.6					3.9	4.0			100.6	x			xx	x	Solfuri molto rari e piccolissimi. Segregazioni Pb-Bi

Classi	Sigla	O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Pb	Pb	Tot	Sf Cu	Sf Fe	Sf Zn	Q	Pb	Altro
	CP FR-A	0.2	0.2							93.7	87.8					6.1	5.7			93.7	xx	xx			xx	Segregazioni Pb-Bi + tracce Sb, As, Ag e Ni (EPMA). In 1 solfuro tracce Zn, Co e As (EPMA).
Laminett e tubolari	CP 172/2									93.2	91.2					6.8	6.6			97.8		xx			xx	Segregazioni Pb; Pb-Bi e Pb-Ag (quelle Pb-Ag a volte leggermente ossidate). Solfuri di Cu-Fe e Pb, con tracce Ag da EPMA.
	CP 172/3	0.7	0.7	0.3	0.3					89.2	86.3					9.8	9.5			99.6	xx	x			x	Segregazioni di Pb e Pb-Bi, con tracce di Ag in entrambi. Nei solfuri tracce di Pb e Ag (EPMA).
Pendentt i circolari piccoli	CP 55			0.2	0.2					83.6	79.7					16.2	15.5			95.4	xx				xx	Segregazioni di Pb e Pb-Bi, con tracce di Ag, As e Ni in entrambi. Nei solfuri Pb e Fe + tracce di Ni, As e Ag (EPMA).
	CP 61	0.0	0.0	0.2	0.2					83.4	80.4					16.4	15.8			96.4	xx	x			xx	Segregazioni di Pb, a volte leggermente ossidati con tracce di Bi, Ag, As e Ni. Nei solfuri a volte zonature di solfuri Cu-Fe-Mn (leggermente ossidati), contracce di Pb, Ni, As e Ag (EPMA). In alcuni solfuri segregazioni Solfuri Ag.
	CP 63	0.3	0.3	0.3	0.3					83.0	80.1					16.4	15.9			96.6	x	xx	x		xx	Segregazioni di Pb e Pb-Bi, con tracce di Ag, As e Ni in entrambi. Nei solfuri Pb (fino a 5% wt) e Fe (0.5-0.8% wt) + tracce di Ni, As e Ag (EPMA).
	CP 71	0.2	0.2							84.4	78.6					15.4	14.3			93.2	xx x				xx	Nei solfuri tracce di Fe, in 1 solfuro ossidato: zonatura di Cu-Fe (13%)-Co (1,7).
	CP 80			0.1	0.1					84.5	82.6					15.4	15.0			97.7	xx	xx			xx	Nei solfuri presenza di Pb e tracce di Ag e Co (EPMA). Nelle segregazioni tracce di Ag e As, rare volte tracce Bi (EPMA).
	CP 76	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1			81.1	79.2					18.5	18.0			97.7		xx	x		xx	Nelle segregazioni di Pb tracce Ag e As (EPMA). Nei solfuri di Cu-Fe tracce di Pb e Ag (EPMA).
	CP 75	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2			82.7	80.2					16.8	16.3			96.9		xx			xx	Nelle segregazioni di Pb presente Ag e a volte tracce Bi. Nei solfuri di Cu-Fe tracce di Pb (EPMA); in alcuni zonature di solfuri ossidati di Cu-Fe. 1 solfuro con Zn.

Classi	Sigla	O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Pb	Pb	Tot	Sf Cu	Sf Fe	Sf Zn	Q	Pb	Altro
	CP 81	0.4	0.4	0.0	0.0	0.3	0.3			79.9	78.5					19.3	19.0			98.2	xx			xx		Nelle segregazioni di Pb tracce Fe, Ag e As (EPMA). Nei solfuri di Cu-Fe tracce di Pb (EPMA).
	CP 86	0.4	0.4	0.2	0.2					82.6	79.4					16.7	16.1			96.2	x	xx		xx		Solfuri di Cu e di Cu-Fe con Pb e tracce di Ag, As e Ni (EPMA). Nelle segregazioni di Pb tracce di Ag, As, Ni e Fe; solo in 1 tracce Bi (EPMA).
Pendenti circolari grandi	CP 96	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1			81.0	77.9					18.6	17.9			96.2				xx	xx	Solfuri di Cu-Fe con Pb e tracce di Ni e Co (EPMA). Nelle segregazioni di Pb tracce di Fe, Ni e Co (EPMA).
	CP 98	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5	0.5			87.4	85.9					11.1	10.9	0.4	0.4	98.2	xx x	x		xx		Solfuri di Cu-Fe e zonature di Fe-Zn, con tracce Pb. Segregazioni di Pb con tracce Ag e As, solo in 1 caso di Bi (EPMA).
	CP 101	1.2	1.2							76.9	78.2	0.9	0.9			18.2	18.5	2.8	2.8	101.6	xx	x		xxx		Solfuri di Cu-Fe e Cu-Fe-Zn zonati. Tracce di As nelle segregazioni.
	CP 103	0.8	0.7							81.2	75.3	0.6	0.6			14.6	13.6	2.8	2.6	92.8	xx			xxx		Segregazioni Pb e Pb-Bi, a volte anche con Ag.
	CP 105	0.3	0.3	0.1	0.1			0.3	0.3	84.7	83.0	2.2	2.2	1.3	1.3	11.1	10.9			98.0	xx			xx		Segregazioni polimetalliche di Pb-Sb-As-Ag-Ni in diverse quantità e a volte Bi . Solfuri di Cu-Fe e di As-Ag-Ab-Cu con tracce di Pb e Ni.
	CP 107			0.5	0.4					87.8	83.0					11.8	11.1			94.5	xx x			xx		Solfuri di Cu-Fe con zonature a Fe alto, sempre tracce di Pb (EPMA). Segregazioni di Pb e di Pb-Bi, sempre con tracce Ag e Fe (EPMA).
	CP 109			0.2	0.2					83.3	82.5					16.5	16.4			99.0	xx x			xx		Nei solfuri di Cu-Fe sempre Pb e tracce Ag. Segregazioni di Pb e, più rare, Pb-Bi, sempre con tracce Ag e a volte As (EPMA).
	CP 110	3.8	3.5	0.2	0.2					80.9	76.0					15.1	14.2			93.9	xx			xx		Nei solfuri tracce di Fe. Segregazioni di Pb e di Pb-Bi.
		O		S		Fe		Co		Ni		Cu		As		Sb		Pb								Tot.
Scoria	CP 162*	3.7	3.7	3.0	3.0	4.4	4.4	7.7	7.6	16.4	16.3	55.1	54.7	5.8	5.7	3.1	3.0	0.5	0.5	0.3	100				99.3	0

Tabella 3.8.4 Composizione chimica determinata tramite EPMA delle fasi metalliche principali di ogni campione, ciascuna calcolata come media di 5-7 punti analisi ed espressa in % peso

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
Torques	CP 6	α	0.01	0.00	0.01	0.10	0.04	0.03	93.02	0.00	0.11	0.00	6.77	0.00	0.09	0.03	100.21
		α_1	0.01	0.00	0.01	0.22	0.08	0.02	92.73	0.00	0.05	0.00	6.47	0.00	0.00	0.00	99.58
	CP 9	α_2	0.01	0.01	0.01	0.23	0.07	0.00	93.51	0.01	0.04	0.00	5.72	0.00	0.07	0.00	99.67
		media	0.01	0.00	0.01	0.22	0.07	0.01	93.12	0.01	0.04	0.00	6.10	0.00	0.03	0.00	99.63
Pendenti Lanceolati	CP 33	α_1	0.02	0.01	0.01	0.02	0.08	0.02	87.77	0.00	0.14	0.00	11.29	0.00	0.10	0.05	99.51
		α_2	0.01	0.01	0.00	0.04	0.05	0.05	88.17	0.00	0.10	0.00	10.68	0.00	0.38	0.25	99.75
		media	0.02	0.01	0.00	0.03	0.07	0.03	87.97	0.00	0.12	0.00	10.99	0.00	0.24	0.15	99.63
	CP 34	α_1	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	91.43	0.00	0.17	0.16	9.04	0.00	0.00	0.00	100.88
		α_2	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	92.05	0.00	0.09	0.09	8.34	0.00	0.00	0.00	100.69
		media	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03	91.74	0.00	0.13	0.12	8.69	0.00	0.00	0.00	100.78
	CP 39	α_1	0.02	0.01	0.01	0.11	0.05	0.07	90.88	0.01	0.11	0.06	7.78	0.00	0.15	0.00	99.25
		α_2	0.04	0.01	0.01	0.09	0.04	0.07	91.36	0.01	0.08	0.09	7.10	0.00	0.07	0.01	98.97
		media	0.03	0.01	0.01	0.10	0.04	0.07	91.12	0.01	0.10	0.08	7.44	0.00	0.11	0.00	99.11
	CP 40	α	0.01	0.00	0.00	0.11	0.04	0.08	91.21	0.01	0.06	0.00	7.58	0.00	0.05	0.05	99.20
	CP 42	α	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.01	93.07	0.01	0.00	0.12	6.27	0.00	0.11	0.03	99.70
	CP 45	α	0.06	0.01	0.00	0.05	0.03	0.02	95.78	0.07	0.10	0.00	3.37	0.29	0.09	0.11	99.98
CP 46	α	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	90.26	0.01	0.07	0.00	8.91	0.00	0.07	0.00	99.45	
Armille	CP 51	α_1	0.03	0.01	0.01	0.09	0.05	0.05	90.57	0.01	0.16	0.14	8.78	0.00	0.05	0.00	99.94

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot	
	CP 52-M	α_2	0.01	0.01	0.01	0.11	0.05	0.04	91.50	0.02	0.18	0.12	7.77	0.00	0.04	0.00	99.87	
		media	0.02	0.01	0.01	0.10	0.05	0.05	91.03	0.02	0.17	0.13	8.28	0.00	0.04	0.00	99.91	
		α_1	0.01	0.18	0.00	0.15	0.06	0.11	79.99	0.00	0.06	0.08	8.97	0.00	0.08	0.00	89.69	
		α_2	0.01	0.20	0.01	0.16	0.06	0.10	75.25	0.01	0.08	0.04	7.72	0.00	0.07	0.00	83.71	
		media	0.01	0.19	0.01	0.16	0.06	0.11	77.62	0.00	0.07	0.06	8.35	0.00	0.07	0.00	86.70	
		CP 53	α_1	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.05	92.21	0.01	0.10	0.23	6.69	0.02	0.08	0.02	99.47
	α_2	0.01	0.03	0.01	0.00	0.02	0.07	96.61	0.02	0.07	0.07	2.19	0.03	0.04	0.00	99.17		
	media	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.06	94.41	0.01	0.09	0.15	4.44	0.03	0.06	0.01	99.32		
	CP 163	α_1	0.00	0.26	0.01	0.03	0.04	0.09	89.65	0.02	0.17	0.21	9.74	0.00	0.00	0.00	100.22	
		α_2	0.01	0.22	0.00	0.05	0.04	0.07	90.94	0.01	0.16	0.14	8.86	0.00	0.04	0.00	100.54	
		media	0.00	0.24	0.00	0.04	0.04	0.08	90.30	0.02	0.17	0.17	9.30	0.00	0.02	0.00	100.38	
	CP 164	α_1	0.04	0.02	0.01	0.08	0.03	0.04	91.45	0.03	0.07	0.00	8.19	0.00	0.09	0.22	100.27	
		α_2	0.05	0.00	0.01	0.07	0.04	0.05	92.99	0.03	0.10	0.00	6.91	0.00	0.06	0.31	100.61	
		media	0.05	0.01	0.01	0.08	0.04	0.05	92.22	0.03	0.09	0.00	7.55	0.00	0.07	0.26	100.44	
	Pendente con sostegno	CP 91	α interno dend.	0.01	0.01	0.00	0.05	0.10	0.02	92.22	0.00	0.09	0.06	8.37	0.00	0.03	0.00	100.96
			α esterno dend.	0.01	0.00	0.01	0.03	0.09	0.00	86.59	0.01	0.25	0.09	13.21	0.00	0.23	0.00	100.52
			δ	0.11	0.05	0.02	0.04	0.11	0.01	66.89	0.00	0.09	0.22	29.03	0.00	0.38	0.28	97.22
			media	0.04	0.02	0.01	0.04	0.10	0.01	81.90	0.00	0.14	0.12	16.87	0.00	0.21	0.09	99.57
CP 94		α interno dend.	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.04	87.00	0.01	0.02	0.09	11.80	0.00	0.11	0.00	99.12	
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	94.64	0.01	0.00	0.02	4.26	0.00	0.00	0.00	99.03	
		δ	0.02	0.01	0.00	0.01	0.05	0.07	73.14	0.00	0.00	0.29	26.31	0.00	0.30	0.00	100.19	
		media	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	84.93	0.01	0.01	0.14	14.12	0.00	0.13	0.00	99.45	

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
Gancio di cintura	CP 13	α	0.02	0.00	0.01	0.01	0.08	0.40	87.79	0.02	0.17	0.00	8.75	0.00	0.08	0.05	97.39
Testo di spillone		CP 47	α interno dend.	0.02	0.01	0.00	0.17	0.07	0.03	91.99	0.02	0.01	0.00	6.62	0.00	0.00	0.03
	α esterno dend.		0.02	0.00	0.01	0.13	0.05	0.03	86.73	0.01	0.16	0.00	11.72	0.00	0.22	0.06	99.14
	δ		0.05	0.01	0.01	0.09	0.07	0.03	72.81	0.02	0.17	0.00	26.92	0.00	0.22	0.08	100.45
	media		0.03	0.00	0.00	0.13	0.06	0.03	83.84	0.02	0.11	0.00	15.09	0.00	0.15	0.06	99.52
Bottono	CP 117	α	0.01	0.00	0.00	0.25	0.04	0.09	93.54	0.20	0.33	0.13	5.39	0.27	0.02	0.00	100.27
Placchetta	CP 156	α	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.07	95.55	0.00	0.10	0.11	4.63	0.17	0.08	0.00	100.75
Martello	CP 160	α	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.04	82.13	0.03	0.19	0.00	15.57	0.00	0.03	0.06	98.12
		δ	0.03	0.01	0.00	0.02	0.06	0.10	70.52	0.05	0.11	0.00	27.54	0.00	0.02	0.04	98.50
		media	0.02	0.01	0.00	0.03	0.05	0.07	76.32	0.04	0.15	0.00	21.56	0.00	0.02	0.05	98.31
Lingotto	CP 161	α interno dend.	0.00	0.01	0.01	0.39	0.03	0.04	92.39	0.14	0.08	0.00	5.75	0.00	0.03	0.19	99.06
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.01	0.30	0.03	0.04	88.28	0.12	0.06	0.00	10.47	0.00	0.05	0.14	99.53
		δ	0.01	0.01	0.00	0.19	0.01	0.06	81.83	0.07	0.03	0.00	17.04	0.00	0.26	0.00	99.51
		media	0.01	0.01	0.01	0.29	0.02	0.04	87.50	0.11	0.06	0.00	11.09	0.00	0.11	0.11	99.37
Scorie	CP 162		Analisi diverse per ogni area in base alla fase analizzata														
Scalpello	CP 165	α_1	0.02	0.01	0.01	0.14	0.05	0.08	90.74	0.01	0.11	0.00	8.45	0.00	0.09	0.07	99.78
		α_2	0.01	0.02	0.01	0.26	0.05	0.10	91.96	0.00	0.07	0.00	6.92	0.00	0.00	0.03	99.43
		media	0.02	0.01	0.01	0.20	0.05	0.09	91.35	0.00	0.09	0.00	7.69	0.00	0.05	0.05	99.60
Spada	CP 167	α interno dend.	0.02	0.01	0.00	0.05	0.03	0.07	95.14	0.01	0.04	0.07	4.40	0.00	0.09	0.00	99.92
		α esterno dend.	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.08	87.49	0.00	0.22	0.12	11.38	0.00	0.14	0.00	99.52
		δ	0.01	0.02	0.01	0.00	0.05	0.18	72.97	0.01	0.00	0.35	25.97	0.00	0.14	0.00	99.71

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
		media	0.01	0.02	0.00	0.02	0.04	0.11	85.20	0.01	0.09	0.18	13.92	0.00	0.12	0.00	99.72
Borchia	CP 168	α	0.03	0.00	0.01	0.03	0.08	0.28	86.77	0.02	0.27	0.20	11.58	0.00	0.10	0.00	99.38
Pendente a gancio	CP 169	α	0.03	0.00	0.01	0.07	0.02	0.05	89.66	0.02	0.08	0.04	11.19	0.00	0.01	0.00	101.18
Tazza	CP 175	α_1	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.12	88.05	0.03	0.22	0.15	11.71	0.00	0.03	0.00	100.44
		α_2	0.02	0.02	0.00	0.04	0.04	0.10	89.49	0.00	0.16	0.14	10.66	0.00	0.07	0.03	100.78
		media	0.02	0.02	0.00	0.04	0.05	0.11	88.77	0.02	0.19	0.14	11.19	0.00	0.05	0.02	100.61
Spiraline	CP 132	α	0.03	0.01	0.01	0.06	0.07	0.09	91.14	0.01	0.18	0.07	7.53	0.00	0.05	0.00	99.25
	CP 133	α	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.06	91.53	0.00	0.13	0.12	7.96	0.00	0.08	0.00	99.94
	CP 142	α	0.02	0.01	0.01	0.01	0.14	0.26	91.18	0.00	0.74	0.12	8.40	0.00	0.03	0.00	100.93
	CP 150	α	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.08	92.25	0.00	0.21	0.14	7.60	0.00	0.15	0.00	100.51
	CP FR-S	α	0.04	0.00	0.00	0.04	0.14	0.27	89.97	0.02	0.76	0.08	8.29	0.00	0.06	0.01	99.68
Anellini in lamina	CP FR-AP	α_1	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.17	91.28	0.00	0.24	0.14	8.15	0.00	0.05	0.00	100.10
		α_2	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.14	91.90	0.00	0.16	0.11	7.69	0.00	0.06	0.00	100.11
		media	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.16	91.59	0.00	0.20	0.12	7.92	0.00	0.06	0.00	100.10
Anellini Circolari	CP 170/1	α	0.03	0.00	0.01	0.10	0.09	0.01	87.52	0.01	0.14	0.14	11.85	0.00	0.08	0.00	99.99
	CP 170/2	α	0.01	0.00	0.01	0.06	0.06	0.04	93.72	0.02	0.16	0.12	6.65	0.00	0.04	0.00	100.87
	CP 170/3	α	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	96.83	0.01	0.04	0.09	3.58	0.00	0.16	0.00	100.80
	CP FR-A	α	0.02	0.00	0.00	0.03	0.06	0.25	93.07	0.01	0.41	0.25	6.13	0.11	0.00	0.05	100.39
Laminette tubolari	CP 172/2	α	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.07	91.95	0.00	0.52	0.34	6.80	0.27	0.04	0.00	100.09
	CP 172/3	α	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.05	91.27	0.00	0.07	0.10	9.21	0.00	0.04	0.00	100.81
Pendenti	CP 55	α interno dend.	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.15	90.79	0.00	0.19	0.14	8.07	0.00	0.02	0.00	99.43

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
Circolari Piccoli		α esterno dend.	0.00	0.00	0.02	0.01	0.05	0.16	85.55	0.00	0.27	0.16	12.64	0.00	0.02	0.00	98.88
		δ	0.05	0.00	0.00	0.01	0.05	0.24	73.74	0.00	0.28	0.44	24.59	0.00	0.27	0.10	99.78
		media	0.02	0.00	0.01	0.01	0.05	0.18	83.36	0.00	0.25	0.25	15.10	0.00	0.10	0.04	99.36
	CP 61	α interno dend.	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.15	91.93	0.02	0.15	0.08	7.53	0.00	0.02	0.05	100.02
		α esterno dend.	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.15	86.68	0.00	0.43	0.20	12.58	0.00	0.20	0.03	100.36
		δ	0.00	0.01	0.00	0.02	0.05	0.23	73.13	0.03	0.41	0.43	25.57	0.07	0.14	0.00	100.09
		media	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.18	83.91	0.01	0.33	0.24	15.23	0.02	0.12	0.03	100.16
	CP 63	α interno dend.	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.15	87.42	0.01	0.22	0.17	10.74	0.00	0.04	0.00	98.85
		α esterno dend.	0.01	0.02	0.00	0.03	0.05	0.15	83.61	0.01	0.42	0.23	13.97	0.00	0.15	0.00	98.63
		δ	0.02	0.02	0.01	0.02	0.06	0.25	71.50	0.01	0.30	0.44	25.05	0.00	0.37	0.00	98.05
		media	0.01	0.02	0.01	0.02	0.05	0.18	80.84	0.01	0.31	0.28	16.59	0.00	0.19	0.00	98.51
	CP 71	α interno dend.	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	77.16	0.00	0.00	0.10	10.53	0.00	0.39	0.02	88.28
		α esterno dend.	0.01	0.00	0.02	0.01	0.04	0.02	72.27	0.00	0.01	0.18	13.88	0.00	0.37	0.00	86.82
		δ	0.16	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	69.10	0.00	0.03	0.27	19.67	0.00	0.36	0.00	89.70
		media	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	72.84	0.00	0.02	0.18	14.69	0.00	0.37	0.01	88.27
	CP 80	α interno dend.	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	90.49	0.00	0.08	0.13	9.74	0.00	0.05	0.03	100.58
		α esterno dend.	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	87.26	0.00	0.05	0.18	13.17	0.00	0.08	0.00	100.84
		δ	0.09	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03	74.62	0.00	0.08	0.34	24.96	0.00	0.33	0.00	100.52
		media	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	84.12	0.00	0.07	0.22	15.96	0.00	0.15	0.01	100.65
	CP 76	α interno dend.	0.02	0.01	0.01	0.07	0.04	0.03	90.52	0.00	0.05	0.04	9.69	0.00	0.08	0.04	100.61
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.04	86.51	0.00	0.14	0.12	13.39	0.00	0.07	0.00	100.37
		δ	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.01	74.03	0.01	0.12	0.23	25.68	0.00	0.20	0.05	100.44
		media	0.01	0.01	0.01	0.06	0.03	0.03	83.69	0.01	0.10	0.13	16.25	0.00	0.12	0.03	100.47

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
	CP 75	α interno dend.	0.01	0.01	0.00	0.29	0.03	0.07	90.58	0.00	0.01	0.06	8.23	0.00	0.01	0.00	99.29
		α esterno dend.	0.04	0.01	0.01	0.22	0.04	0.07	84.66	0.01	0.05	0.09	14.29	0.00	0.08	0.00	99.56
		δ	0.10	0.00	0.00	0.20	0.02	0.10	73.64	0.00	0.00	0.18	25.76	0.00	0.35	0.27	100.63
		media	0.05	0.01	0.00	0.24	0.03	0.08	82.96	0.00	0.02	0.11	16.09	0.00	0.15	0.09	99.83
	CP 81	α interno dend.	0.01	0.00	0.03	0.29	0.03	0.08	88.98	0.00	0.04	0.05	11.50	0.00	0.02	0.04	101.07
		α esterno dend.	0.00	0.01	0.02	0.26	0.04	0.06	85.96	0.00	0.10	0.06	14.08	0.00	0.09	0.03	100.72
		δ	0.00	0.01	0.00	0.16	0.05	0.09	72.62	0.02	0.10	0.16	27.42	0.00	0.20	0.00	100.83
		media	0.00	0.01	0.02	0.24	0.04	0.08	82.52	0.01	0.08	0.09	17.67	0.00	0.10	0.02	100.87
	CP 86	α interno dend.	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.15	88.82	0.02	0.14	0.13	9.82	0.00	0.05	0.05	99.29
		α esterno dend.	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.18	83.53	0.02	0.32	0.23	15.20	0.00	0.06	0.00	99.63
		δ	0.05	0.02	0.00	0.01	0.05	0.27	69.47	0.00	0.35	0.48	24.18	0.00	0.47	0.20	95.54
		media	0.04	0.01	0.01	0.02	0.04	0.20	80.61	0.01	0.27	0.28	16.40	0.00	0.19	0.08	98.15
Pendenti Circolari Grandi	CP 96	α interno dend.	0.00	0.00	0.02	0.11	0.10	0.27	86.66	0.00	0.08	0.03	11.79	0.00	0.04	0.00	99.12
		α esterno dend.	0.00	0.01	0.01	0.09	0.10	0.27	84.63	0.02	0.19	0.08	13.96	0.00	0.11	0.02	99.49
		δ	0.07	0.00	0.00	0.06	0.10	0.42	70.77	0.01	0.04	0.11	27.59	0.00	0.22	0.13	99.53
		media	0.02	0.00	0.01	0.09	0.10	0.32	80.68	0.01	0.11	0.07	17.78	0.00	0.13	0.05	99.38
	CP 98	α interno dend.	0.02	0.01	0.00	0.50	0.08	0.05	95.74	0.06	0.04	0.06	4.44	0.00	0.05	0.00	101.05
		α esterno dend.	0.01	0.00	0.01	0.31	0.06	0.03	87.68	0.08	0.07	0.09	12.59	0.00	0.04	0.00	100.97
		δ	0.03	0.01	0.02	0.24	0.07	0.07	73.94	0.00	0.05	0.19	25.66	0.00	0.23	0.19	100.71
		media	0.02	0.01	0.01	0.35	0.07	0.05	85.79	0.04	0.05	0.11	14.23	0.00	0.11	0.06	100.91
	CP 103	α interno dend.	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.18	88.71	0.01	0.35	0.00	9.95	0.00	0.09	0.07	99.41
		α esterno dend.	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.25	77.73	0.00	0.94	0.00	19.25	0.29	0.08	0.02	98.60
		δ	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.35	72.03	0.00	0.72	0.00	24.95	0.57	0.40	0.40	99.50

Classi	Sigla	Fasi analizzate	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
		media	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.26	79.49	0.00	0.67	0.00	18.05	0.29	0.19	0.16	99.17
	CP 105	α interno dend.	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00	0.34	88.99	0.02	1.36	0.60	7.86	0.51	0.06	0.00	99.83
		α esterno dend.	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.37	86.38	0.01	1.30	0.63	10.02	0.51	0.06	0.00	99.35
		δ	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.78	70.17	0.00	2.28	2.13	21.56	3.21	0.04	0.08	100.30
		media	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.50	81.84	0.01	1.65	1.12	13.15	1.41	0.06	0.03	99.83
	CP 107	α interno dend.	0.00	0.00	0.01	0.17	0.05	0.02	92.84	0.02	0.06	0.07	5.24	0.00	0.01	0.00	98.50
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.01	0.11	0.04	0.02	86.64	0.01	0.01	0.11	12.72	0.00	0.08	0.12	99.88
		δ	0.01	0.00	0.01	0.06	0.05	0.03	73.12	0.02	0.00	0.25	27.08	0.00	0.15	0.00	100.77
		media	0.01	0.00	0.01	0.11	0.05	0.03	84.20	0.02	0.02	0.14	15.01	0.00	0.08	0.04	99.72
	CP 109	α interno dend.	0.01	0.01	0.00	0.06	0.04	0.04	91.88	0.01	0.05	0.04	7.89	0.00	0.02	0.00	100.05
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.02	87.57	0.00	0.08	0.06	12.60	0.00	0.09	0.00	100.53
		δ	0.04	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	73.22	0.02	0.09	0.20	26.71	0.00	0.24	0.00	100.64
		media	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05	0.03	84.22	0.01	0.07	0.10	15.74	0.00	0.12	0.00	100.40
	CP 110	α interno dend.	0.27	0.00	0.01	0.04	0.03	0.04	89.02	0.00	0.27	0.14	9.97	0.00	0.09	0.05	99.94
		α esterno dend.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	79.25	0.03	0.28	0.21	15.14	0.00	0.61	0.00	95.63
		δ	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07	77.02	0.00	0.18	0.23	21.44	0.00	0.40	0.00	99.43
		media	0.10	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	81.76	0.01	0.25	0.19	15.52	0.00	0.37	0.02	98.33

Tabella 3.8.5 Analisi PIXE, dati espressi in % peso. Le colonne in grigio si riferiscono ai dati normalizzati, quelle bianche ai dati come da misura.

Sample	Fe	Fe	Cu	Cu	As	As	Ag	Ag	Sn	Sn	Sb	Sb	Pb	Pb	S	S	Ni	Ni	Zn	Zn	Tot	Tot
CP 13	0.03	0.03	89.93	87.42	0.26	0.25	0.15	0.14	7.94	7.71	0.25	0.25	0.68	0.66	0.26	0.25	0.41	0.40	0.10	0.10	100.00	97.21
CP 161	0.44	0.43	89.26	86.77	0.06	0.06	0.07	0.07	9.02	8.77	0.06	0.05	0.58	0.57	0.34	0.33	0.04	0.04	0.13	0.13	100.00	97.21
CP 160	0.21	0.20	76.84	74.87	0.21	0.20	0.15	0.14	21.38	20.83	0.38	0.37	0.40	0.39	0.29	0.28	0.07	0.07	0.08	0.08	100.00	97.43
CP 47	0.18	0.18	86.68	84.21	0.23	0.22	0.13	0.12	12.03	11.68	0.10	0.09	0.37	0.36	0.23	0.22	0.04	0.04	0.02	0.02	100.00	97.15
CP 165	0.28	0.28	90.95	88.76	0.29	0.28	0.13	0.13	7.37	7.19	0.20	0.20	0.40	0.39	0.22	0.21	0.08	0.08	0.07	0.06	100.00	97.59
CP 45	0.11	0.10	93.48	90.94	0.15	0.14	0.09	0.09	2.77	2.69	0.39	0.38	2.40	2.33	0.48	0.46	0.01	0.01	0.13	0.12	100.00	97.28
CP 101	0.06	0.06	79.04	77.19	0.68	0.67	0.41	0.40	15.96	15.59	0.84	0.82	2.75	2.69	0.07	0.07	0.17	0.16	0.01	0.01	100.00	97.66
CP 9	0.32	0.32	93.76	91.46	0.08	0.08	0.08	0.08	4.91	4.79	0.02	0.02	0.17	0.16	0.62	0.61	0.02	0.02	0.02	0.02	100.00	97.54
CP 6	0.12	0.12	93.06	90.77	0.19	0.19	0.08	0.08	6.03	5.89	0.04	0.03	0.20	0.20	0.26	0.25	0.02	0.02	0.00	0.00	100.00	97.55

Tabella 3.8.6 Percentuale delle diverse fasi metalliche presenti in ogni campione, determinata tramite DIP delle immagini SEM-BSE.

Classi	Sigla	Fase α scura	Fase α chiara	Fase δ	Solfuri	Segregazioni	Tot
Torques	CP- 006	0.0	99.0	0.0	0.8	0.2	100
	CP- 009	70.2	27.1	0.0	2.5	0.1	100
Pendenti Lanciolati	CP- 033	54.1	44.5	0.0	1.2	0.3	100
	CP- 034	72.4	26.4	0.0	0.8	0.4	100
	CP- 039	65.2	32.5	0.0	2.0	0.3	100
	CP- 040	0.0	96.8	0.0	3.0	0.2	100
	CP- 042	0.0	99.3	0.0	0.4	0.3	100
	CP- 045	0.0	96.7	0.0	2.4	0.9	100
	CP- 046	0.0	99.2	0.0	0.6	0.2	100
Armillè	CP- 051	31.4	66.7	0.0	1.6	0.3	100
	CP- 052	47.3	51.4	0.0	1.2	0.1	100
	CP- 053	44.8	54.4	0.0	0.3	0.6	100
	CP- 163	44.1	53.4	0.0	2.3	0.1	100
	CP- 164	34.6	63.5	0.0	1.6	0.3	100
Pendente con sostegno	CP- 091	10.1	75.1	12.7	1.2	0.9	100
	CP- 094	35.4	55.3	8.4	0.2	0.8	100
Gancio di cintura	CP- 013	0.0	98.0	0.0	1.7	0.2	100
Testo di spillone	CP- 047	8.2	64.2	26.5	0.6	0.4	100
Bottone	CP- 117	0.0	92.9	0.0	5.3	1.8	100
Placchetta	CP- 156	0.0	98.6	0.0	0.8	0.6	100
Martello	CP- 160	0.0	65.6	32.4	1.7	0.3	100
Lingotto	CP- 161	51.3	43.7	4.9	0.0	0.0	100
Scalpello	CP- 165	35.8	60.2	0.0	2.1	1.9	100
Spada	CP- 167*	51.9	45.2	1.4	1.6	0.0	100
Borchia	CP- 168	0.0	99.4	0.0	0.1	0.5	100
Pendente a gancio	CP- 169	0.0	97.7	0.0	2.3	0.0	100
Tazza	CP- 175	41.7	56.7	0.0	1.0	0.6	100
Anellino in laminetta	CP-FR-AP	69.2	29.0	0.0	0.6	0.8	100
Pendenti	CP- 055	13.7	63.2	21.0	1.4	0.7	100

Appendice Capitolo 3

Circolari Piccoli	CP- 061	7.1	64.1	25.8	2.8	0.2	100
	CP- 063	28.0	56.4	13.8	1.5	0.3	100
	CP- 071	21.3	72.1	4.8	1.2	0.6	100
	CP- 080	27.8	55.6	14.2	2.0	0.4	100
	CP- 076	6.7	48.2	43.1	1.4	0.5	100
	CP- 075	12.0	57.0	29.0	1.0	0.9	100
	CP- 081	27.7	47.4	23.9	0.7	0.3	100
	CP- 086	7.2	81.4	9.8	1.0	0.7	100
Pendenti Circolari Grandi	CP- 096	62.4	19.7	15.8	1.9	0.2	100
	CP- 098	31.1	63.7	2.9	2.0	0.3	100
	CP 101	10.1	67.3	18.9	0.5	3.1	100
	CP- 105	13.6	73.2	12.4	0.4	0.3	100
	CP- 107*	24.4	64.7	8.0	2.8	*	100
	CP- 109	20.2	71.0	6.8	1.7	0.2	100
	CP- 110*	19.3	76.1	3.9	0.7	*	100

* segregazioni non distinguibili dalla fase δ

Tabella 3.8.7 Composizione media dei campioni calcolata pesando le composizioni medie di ogni fase determinate tramite EPMA (Tab. 3.8.4) con quelli ottenuti dalle analisi DIP (Tab. 3.8.6).

Classi	Sigla	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
Torques	CP 6	0.01	0.00	0.01	0.10	0.04	0.03	92.09	0.00	0.11	0.00	6.70	0.00	0.09	0.03	99.21
	CP 9	0.01	0.00	0.01	0.22	0.07	0.01	90.79	0.01	0.04	0.00	5.77	0.00	0.05	0.00	96.98
Pendenti Lanciati	CP 33	0.02	0.01	0.00	0.03	0.07	0.04	86.70	0.00	0.12	0.00	10.80	0.00	0.25	0.16	98.18
	CP 34	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.03	90.74	0.00	0.11	0.11	8.42	0.00	0.00	0.00	99.48
	CP 39	0.03	0.01	0.01	0.10	0.04	0.07	89.11	0.01	0.09	0.08	7.16	0.00	0.10	0.00	96.80
	CP 40	0.01	0.00	0.00	0.11	0.04	0.08	88.28	0.01	0.05	0.00	7.34	0.00	0.05	0.05	96.02
	CP 42	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.01	92.43	0.01	0.00	0.12	6.22	0.00	0.11	0.03	99.01
	CP 45	0.06	0.01	0.00	0.05	0.03	0.02	92.67	0.07	0.10	0.00	3.26	0.28	0.09	0.11	96.73
	CP 46	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.03	89.58	0.01	0.07	0.00	8.85	0.00	0.07	0.00	98.69
Armilli	CP 51	0.02	0.01	0.01	0.09	0.05	0.05	89.14	0.02	0.16	0.13	8.30	0.00	0.04	0.00	98.02
	CP 52-M	0.01	0.19	0.01	0.15	0.06	0.10	76.72	0.00	0.07	0.06	8.26	0.00	0.07	0.00	85.72
	CP 53	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.06	93.40	0.01	0.09	0.16	4.62	0.03	0.06	0.01	98.49
	CP 163	0.00	0.24	0.00	0.04	0.04	0.08	87.99	0.02	0.16	0.17	9.11	0.00	0.02	0.00	97.87
	CP 164	0.04	0.01	0.01	0.08	0.03	0.05	90.28	0.03	0.08	0.00	7.59	0.00	0.08	0.25	98.52
Pendente con sostegno	CP 91	0.02	0.01	0.01	0.03	0.09	0.00	82.87	0.01	0.21	0.10	14.46	0.00	0.22	0.04	98.07
	CP 94	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.04	87.72	0.01	0.01	0.08	10.23	0.00	0.09	0.00	98.24
Gancio di cintura	CP 13	0.02	0.00	0.01	0.01	0.08	0.39	86.08	0.02	0.17	0.00	8.58	0.00	0.08	0.05	95.49
Testo di spillone	CP 47	0.03	0.00	0.01	0.12	0.06	0.03	82.54	0.02	0.14	0.00	15.21	0.00	0.20	0.06	98.41
Bottone	CP 117	0.01	0.00	0.00	0.23	0.04	0.08	86.86	0.18	0.31	0.12	5.00	0.25	0.02	0.00	93.11
Placchetta	CP 156	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.07	94.23	0.00	0.10	0.11	4.57	0.17	0.08	0.00	99.36
Martello	CP 160	0.01	0.01	0.00	0.03	0.04	0.06	76.73	0.03	0.16	0.00	19.14	0.00	0.02	0.05	96.29
Lingotto	CP 161	0.00	0.01	0.01	0.34	0.03	0.04	90.03	0.13	0.07	0.00	8.36	0.00	0.05	0.16	99.24
Scalpello	CP 165	0.02	0.01	0.01	0.18	0.05	0.08	87.52	0.00	0.09	0.00	7.56	0.00	0.06	0.05	95.64
Spada	CP 167	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.08	89.88	0.01	0.12	0.10	7.79	0.00	0.11	0.00	98.17
Borchia	CP 168	0.03	0.00	0.01	0.03	0.08	0.28	86.27	0.02	0.27	0.20	11.52	0.00	0.10	0.00	98.81
Pendente a gancio	CP 169	0.03	0.00	0.01	0.07	0.02	0.05	87.61	0.02	0.08	0.04	10.93	0.00	0.01	0.00	98.87
Tazza	CP 175	0.01	0.02	0.00	0.04	0.05	0.11	87.19	0.02	0.19	0.14	11.08	0.00	0.05	0.01	98.91
Anellino in laminetta	CP FR-AP	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.15	90.05	0.00	0.18	0.12	7.68	0.00	0.06	0.00	98.29
Pendenti	CP 55	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.17	81.99	0.00	0.25	0.21	14.26	0.00	0.07	0.02	97.06

Appendice Capitolo 3

Circolari Piccoli	CP 61	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.16	80.92	0.01	0.39	0.24	15.20	0.02	0.16	0.03	97.22
	CP 63	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.16	84.76	0.01	0.34	0.19	12.75	0.01	0.14	0.03	98.48
	CP 71	0.02	0.00	0.02	0.01	0.03	0.02	71.87	0.00	0.01	0.17	13.19	0.00	0.37	0.00	85.72
	CP 80	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	84.25	0.00	0.06	0.19	13.57	0.00	0.10	0.01	98.28
	CP 76	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.03	79.70	0.01	0.12	0.16	18.18	0.00	0.13	0.02	98.46
	CP 75	0.05	0.00	0.00	0.22	0.03	0.08	80.57	0.01	0.03	0.11	16.62	0.00	0.15	0.08	97.96
	CP 81	0.00	0.01	0.02	0.25	0.04	0.07	82.72	0.01	0.08	0.08	16.41	0.00	0.10	0.03	99.81
	CP 86	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.18	81.15	0.01	0.31	0.24	15.44	0.00	0.10	0.02	97.55
Pendenti Circolari Grandi	CP 96	0.01	0.00	0.02	0.10	0.10	0.29	81.92	0.00	0.10	0.05	14.46	0.00	0.09	0.02	97.15
	CP 98	0.01	0.00	0.01	0.30	0.05	0.03	85.27	0.07	0.07	0.09	12.68	0.00	0.05	0.01	98.64
	CP- 105	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.41	84.06	0.01	1.42	0.81	11.08	0.84	0.06	0.01	98.77
	CP- 107*	0.01	0.01	0.01	0.12	0.04	0.02	84.61	0.01	0.02	0.11	11.68	0.00	0.07	0.07	96.78
	CP 109	0.02	0.01	0.00	0.03	0.04	0.02	81.38	0.01	0.08	0.08	14.07	0.00	0.11	0.00	95.85
	CP 110*	0.05	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	79.70	0.02	0.27	0.20	15.10	0.00	0.51	0.01	95.96

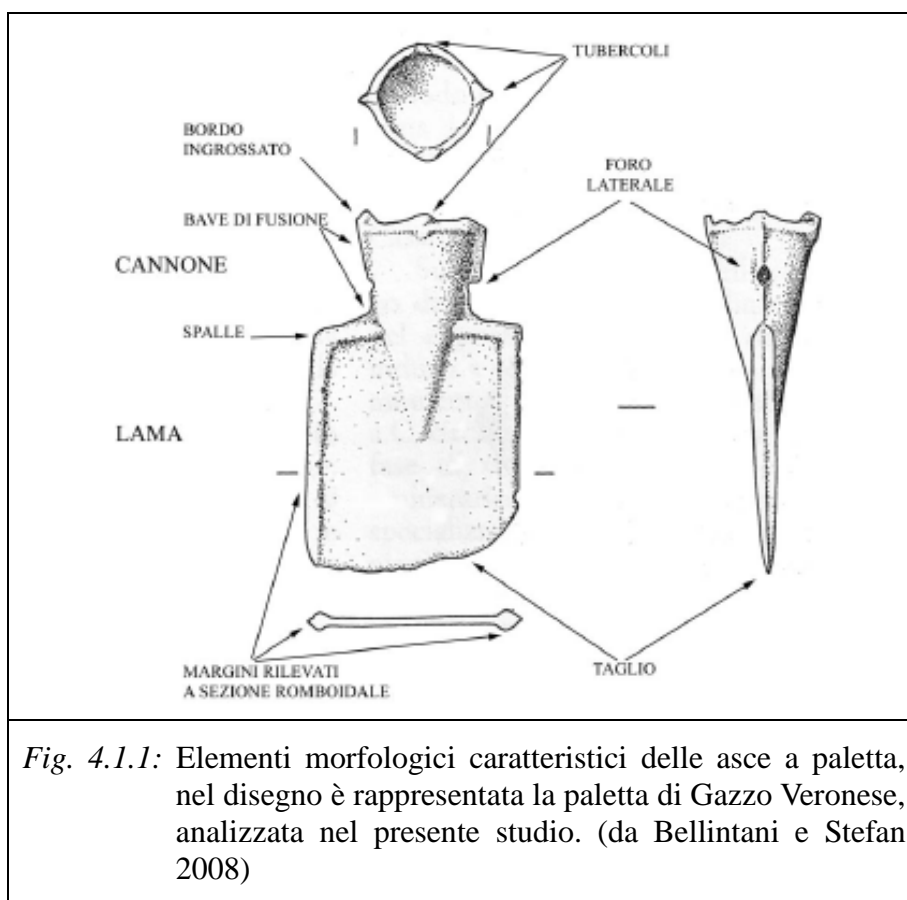
* segregazioni non distinguibili dalla fase δ

CAPITOLO 4

ANALISI ARCHEOMETRICHE DI ALCUNE PALETTE CON IMMANICATURA A CANNONE DI AREA VENETA

4.1 Introduzione e problematiche archeologiche

Le palette con immanicatura a cannone sono oggetti metallici formati da una lama, generalmente quadrata o rettangolare, e da un'immanicatura a cannone (Fig. 4.1.1). Dal punto di vista archeologico rivestono un alto interesse perché hanno tipologie specifiche, legate a differenti fasce cronologiche e con areale di distribuzione geografica ben definito.



Lo studio di questi materiali e le problematiche ad esso associate, sono argomento di molteplici pubblicazioni archeologiche dagli anni '70 ad oggi; in questa sede se ne darà solo una breve panoramica finalizzata all'introduzione agli studi archeometrici rimando alle pubblicazioni più recenti ed alla letteratura ivi citata per un maggiore approfondimento, in particolare: Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008.

Le asce a paletta più antiche presentano spalle strette, lama allungata e leggermente svasata, margini rilevati laterali (costolatura), cannone di notevole sviluppo che penetra nella lama. Sono definite anche "tipo Fondo Paviani" dal nome della località in cui sono state ritrovate per la prima volta. Il loro numero è molto esiguo, sono stati rinvenuti solo 5 esemplari (di cui 3 analizzati in questo studio) ritrovati in 4 differenti siti in Italia e due reperti da due diverse località in Ungheria (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008). La distribuzione geografica dei siti di rinvenimento è riportata in Fig. 4.1.2 (Bellintani Stefan 2008).

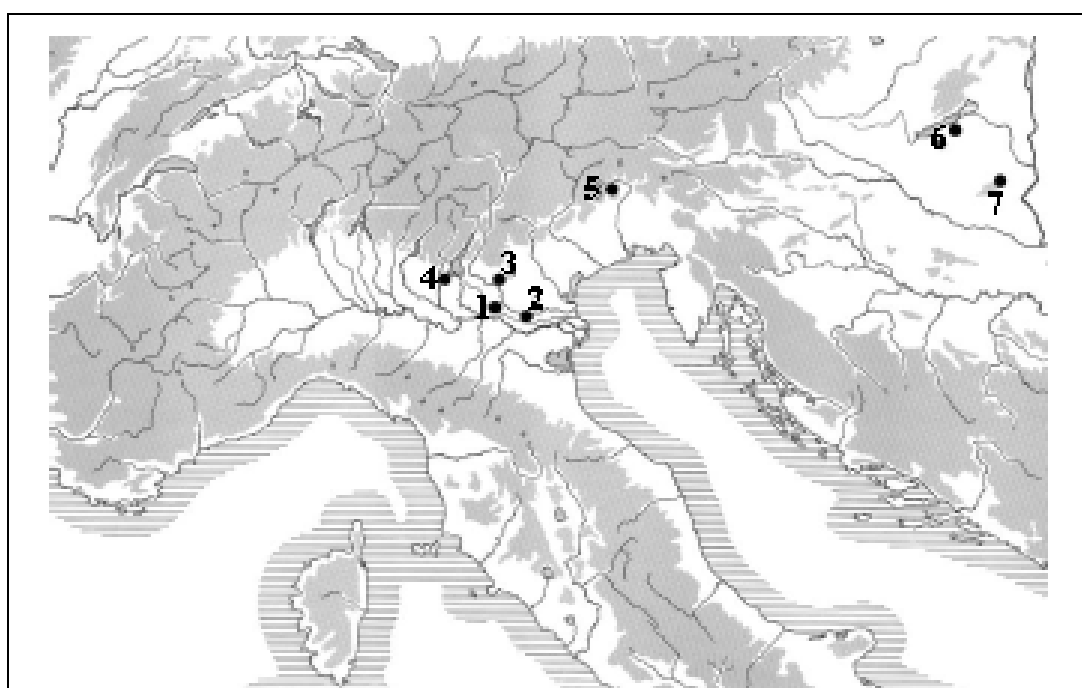


Fig. 4.1.2: Cartina di distribuzione delle palette tipo Fondo Paviani: 1)Fondo Paviani; 2) Frattesina (matrice); 3) Sabbionara di Veronella; 4) Ponte San Marco di Calcinato; 5) Celò; 6) Lengyeltöti ; 7) Pécs-jakabhegy (da Bellintani e Stefan 2008). Le palette di questa tipologia analizzate nel presente studio provengono da 1) e 3).

Dalla distribuzione dei ritrovamenti è evidente una maggior concentrazione dei reperti nell'area della Pianura Veneta, da cui proviene anche l'unico frammento di matrice di stampo per questa tipologia di palette (da Frattesina); questa area è quindi identificata come quella di probabile produzione (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008).

Le palette Ungheresi provengono da due ripostigli appartenenti all'orizzonte cronologico di Kurd; sono tipologicamente simili a quelle italiane e presentano in più, oltre ai due fori sul cannone usati per il fissaggio del manico, un foro aggiuntivo nella parte centrale del cannone, la cui funzione non è chiara. Poiché all'interno dei ripostigli sono gli unici materiali non locali, queste palette sono considerate un'importante evidenza di contatti fra il bacino Carpatico e l'Italia Nord-Occidentale (Jankovits 1999).

Le palette italiane sono tutte spezzate circa a metà della lunghezza ed i reperti sono costituiti o da un frammento di lama (Celò) o dalla parte superiore della paletta contenente il cannone; un solo esemplare da Fondo Paviani (analizzato in questa ricerca) è integro. All'interno di uno studio più ampio relativo a tutti i reperti del deposito di Celò, in un recente lavoro, Borgna ipotizza una frammentazione rituale (anche con fasi di riscaldamento degli oggetti per la frammentazione) *“in un contesto di attività funzionali alla raccolta e alla frammentazione degli oggetti e preliminari al trasporto o allo scambio o anche alla deposizione.....senza escludere aspetti propriamente culturali”* (Borgna 2007).

La datazione delle palette tipo Fondo Paviani è stata in passato attribuita al Bronzo Recente-Bronzo Finale (Fasani e Salzani 1975), e più recentemente alla fine del XIII-inizi del XII sec. a.C. (Bronzo recente 2) da Santi e Leonardi (2007), mentre Bellintani e Stefan (2008) ne propongono la datazione al Bronzo Finale 1.

Le palette con immanicatura a cannone e spalle larghe, definite in letteratura archeologica come tipo “fra Manciano e Samprugnano” o tipo “Frattesina”, sono più tarde rispetto a quelle tipo Fondo Paviani, e sono attribuite da quasi tutti gli studiosi al Bronzo Finale 2 (fine XI e fase piena del X sec. a.C.). Dal punto di vista morfologico sono molto differenti rispetto a quelle più antiche: la lama è larga, rettangolare ed il cannone è più corto e si prolunga solo nella parte iniziale della lama (Fig. 4.1.1).

In base all'angolo fra il cannone e le spalle se ne distinguono due varianti principali, ed altri sottogruppi sono stati identificati in basi a leggere differenze morfologiche sul cannone (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008).

Il numero di reperti aventi questa tipologia è piuttosto significativo: fra esemplari integri e frammenti se ne contano più di 150 e, ad eccezione di un esemplare in Germania ed tre in Francia, sono tutti concentrati in un'area di distribuzione compresa fra l'Etruria e la Pianura Padana (Bellintani e Stefan 2008, Fig. 4.1.3).

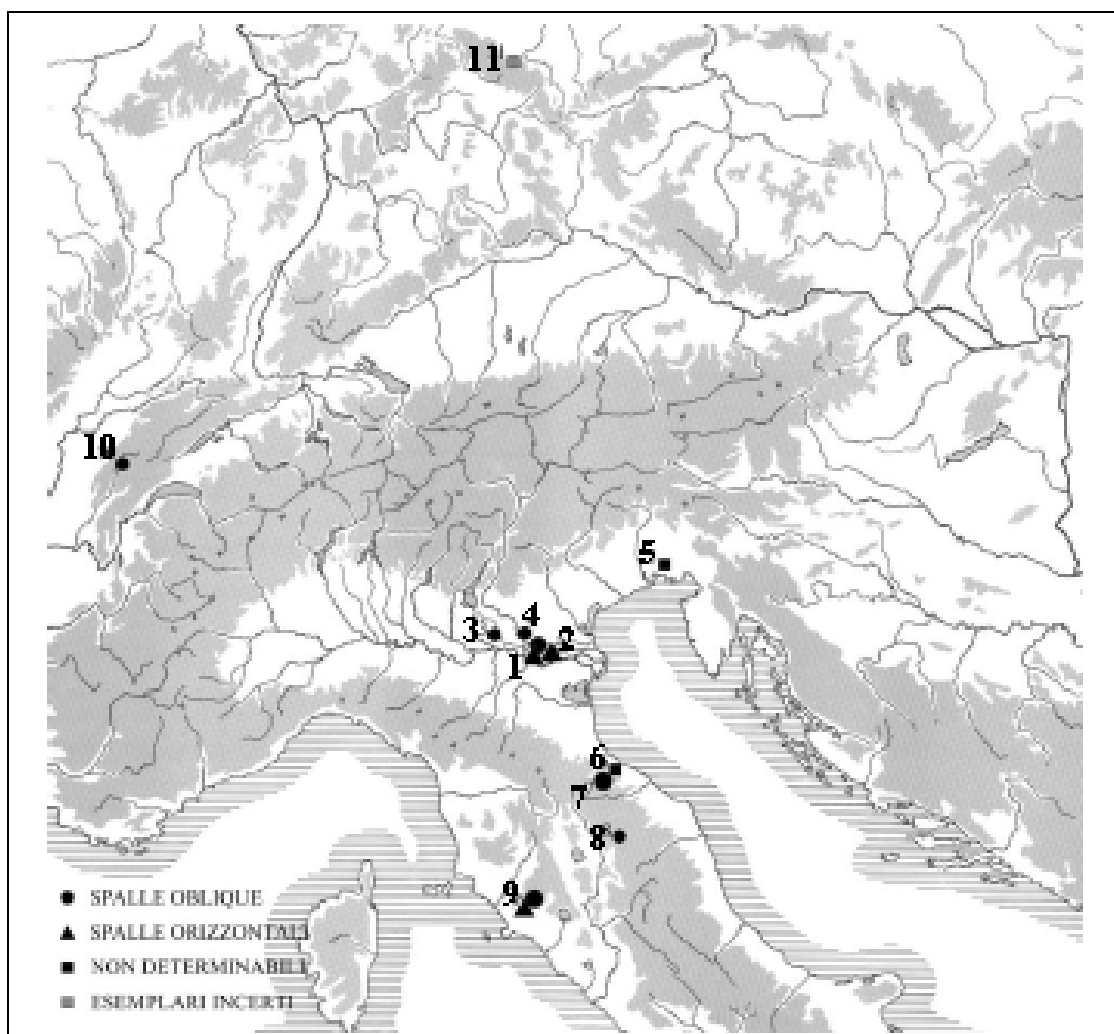


Fig. 4.1.3: Distribuzione delle palette a cannone tipo “tra Manciano e Samprugnano”: 1) Frattesina di Fratta Polesine; 2) Villamarzana; 3) Gazzo Veronese; 4) Montagnana; 5) corpetto; 6) Poggio Berni; 7) San Marino; 8) Gubbio; 9) Manciano-Samprugnano; 10) Larnaud; 11) Stockheim. (da Bellintani e Stefan 2008). Le palette di questa tipologia analizzate nel presente studio proviene da 3).

Il numero di reperti al di fuori della penisola Italiana è esiguo, ma sufficiente a fare ipotizzare, anche congiuntamente alla carta di distribuzione dei pani a piccone (una tipologia di pani metallici frequentemente trovata in associazione con queste palette) delle vie di scambio e commercio che dalla Pianura Veneto si diffondevano al Nord e verso l'Etruria (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008, e letteratura lì riportata).

La pianura Veneta, ed in particolare il sito di Frattesina, è l'area in cui sono state ritrovate il maggior numero di palette a spalle larghe, ed è anche il sito da cui provengono diverse matrici o frammenti di matrici di fusione per questa tipologia di reperti (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008); l'unica altra evidenza di produzioni fuori da questa area è il frammento di matrice da Scarceta di Marciano (GR), (Santi e Leonardi 2007).

E' evidente già dal breve quadro sopra esposto, che le problematiche legate allo studio di questi materiali sono molteplici. Considerando che i dati archeometrici riferibili a questi materiali presenti in letteratura sono molto pochi e solo di tipo qualitativo (Casagrande et al. 1993, Pellegrini 1995), è importante una caratterizzazione chimica accurata delle asce a paletta delle due diverse tipologie, anche per investigare eventuali relazioni fra esse. Inoltre, al fine di capire se esisteva un unico centro di produzione, sono auspicabili analisi comparabili su reperti di diversa provenienza, ed ovviamente analisi isotopiche per identificare la provenienza del metallo.

Un'altra importante questione da investigare, del tutto non risolta e molto dibattuta, è la funzionalità di queste palette.

Sulla tipologia più antica poco si sa, anche perché come detto esiste una sola paletta integra ed 1 frammento terminale di lama; un'analisi delle lame ha evidenziato uno scarso o inesistente utilizzo delle palette italiane (Santi e Leonardi 2007), mentre in quelle Ungheresi l'intera lama risulta consumata (Jankovits 1999, Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008) e ne è stato ipotizzato l'uso in qualche fase della lavorazione del metallo (Jankovits 1999).

Sulle palette del Bronzo Finale le ipotesi di utilizzo sono molteplici: uso come scalpello o raschiatoio; generico strumento da taglio, zappa per il terreno, utilizzo non ben

identificato nella lavorazione dei metalli, lingotto (Bellintani e Stefan e letteratura li riportata).

Nel presente studio archeometrico, in base alla disponibilità dei reperti, ai permessi per le analisi e soprattutto alle tempistiche a volte lunghe necessarie per ottenerli, si sono potute analizzare solo 4 palette con immanicatura a cannone: 3 della tipologia più antica, tipo Fondo Paviani, e provenienti da Fondo Paviani (VR) e Sabbionara di Veronella (VR), ed una di tipologia più recente proveniente da Gazzo Veronese (VR).

4.2 Breve descrizione dei contesti di rinvenimento

Si riporta qui di seguito una breve descrizione dei contesti di ritrovamento dei reperti..

Gazzo Veronese

Il reperto proviene dalla collezione Giovanni Sabbadini e non conserva il contesto di associazione. I reperti della collezione di Giovanni Sabbadini, recuperati principalmente nel territorio di Gazzo Veronese, furono consegnati nel 1988 alla Sovrintendenza Archeologica del Veneto. Il nucleo più consistente risulta quello della necropoli del Turbine, da cui si pensa provenga la paletta, che si trova immediatamente a sud degli insediamenti protostorici di Coazze e dei Copi Romani, a poche centinaia di metri a nord della necropoli della Vallona. Le prime segnalazioni di rinvenimenti risalgono al 1929, quando fu scoperta una parte di una necropoli con scheletri e urne cinerarie. Scavi più recenti sono stati condotti agli inizi degli anni '70 in occasione dei lavori di rettifica del nuovo alveo del Tione e durante gli spianamenti per l'impianto di un pioppeto.

Dall'analisi tipologica dei materiali si può ipotizzare una durata della necropoli protostorica dalla fine dell'età del Bronzo al V secolo a.C. La paletta con immanicatura a cannone documenta le fasi iniziali della necropoli e può essere attribuita all'età del Bronzo Finale (X secolo a.C.). Desta, inoltre, particolare interesse che la paletta provenga da una necropoli (e probabilmente da un corredo funerario), poiché tutte le altre palette provengono da abitati o da ripostigli. (Salzani 1989).

Sabbionara Veronella

L'abitato di Sabbionara si trova a qualche centinaio di metri a ovest rispetto alla necropoli di Desmontà alla quale è riferibile. Occupa un grande dosso sabbioso che domina un'area valliva, nella zona in cui l'Alpone si immette nell'Adige. L'abitato protostorico è situato sull'estremità occidentale del dosso.

Molti materiali, fra cui la palette qui studiata, provengono da raccolte di superficie; i materiali archeologici furono trovati sparsi in almeno una decina di ettari in quanto furono portati alla luce dai lavori agricoli. Scavi regolari dell'abitato sono stati condotti dalla Soprintendenza Archeologica del Veneto nel 1989 (Salzani 1993).

Fondo Paviani

Il sito è noto dal 1974 e i materiali derivanti da raccolte in superficie, messi in luce dai lavori agricoli, sono relativi ad un abitato piuttosto esteso. Le palette analizzate provengono da questi ritrovamenti di superficie (Fasani e Salzani 1975). Nel 1989 fu effettuata una campagna di scavo di un transetto connettivo dei siti congiunti Fondo Paviani e Fabbrica dei Soci, e fu effettuato anche un survey di bassa intensità.

Tra i ritrovamenti rilevanti del sito si segnalano: un frammento di ceramica micenea IIIc1/IIIc2, alcuni vaghi d'ambra, frammenti di pasta vitrea, l'attestazione di lavorazione dell'osso, matrici di fusione, frammenti di pani ed oggetti in bronzo. Il ritrovamento di questi materiali è di particolare interesse poiché lega culturalmente l'insediamento di Fondo Paviani con quello protoveneto di Frattesina.

4.3 Reperti in studio, campionature e tracce d'uso.

Il campionamento delle palette con immanicatura a cannone è stato effettuato secondo la procedura già descritta nel Capitolo 2 e per i reperti di Chiusa Pesio.

Le caratteristiche macroscopiche (peso, colore e dimensioni), l'età, la provenienza e le sigle utilizzate nelle analisi sono riportate in modo schematico nella Tabella 4.6.1 che è inserita in appendice a fine capitolo.

Si descrivono di seguito i materiali analizzati per sito di provenienza.

Paletta di Gazzo Veronese

Reperto rinvenuto in località Ponte Nuovo di Gazzo Veronese, con possibile provenienza dalla Necropoli della Turbine, ed è databile tipologicamente al Bronzo Finale, recentemente è stata proposta una datazione al X sec. a.C. (Santi e Leonardi 2007). E' una paletta a spalle larghe, perpendicolari e a cannone costolato, tipologicamente definito come "tipo tra Manciano e Samprugnano".

La paletta si presenta integra, con lama corta e fortemente asimmetrica per forte usura. Il campionamento è stato effettuato su un'estremità dell'immanicatura a cannone (area cerchiata in rosso in Fig. 4.3.1-a). Sui lati della paletta sono visibili bave di fusione (Fig. 4.3.2 b-d) che fanno ipotizzare ad un'assenza di lavorazione dopo la fase di colatura in stampo. Su entrambi i lati del cannone sono presenti dei fori (Fig. 4.3.2 b) possibilmente usati per il fissaggio del manico (Santi e Leonardi 2007, Bellintani e Stefan 2008).

L'analisi delle tracce d'uso ha evidenziato una lama fortemente asimmetrica, un profilo irregolare, la presenza di rientranze e tacche ricoperte da patine di alterazione che permettono di dedurre un uso intenso dell'oggetto (Kienlin e Ottaway 1998, Roberts a Ottaway 2003).

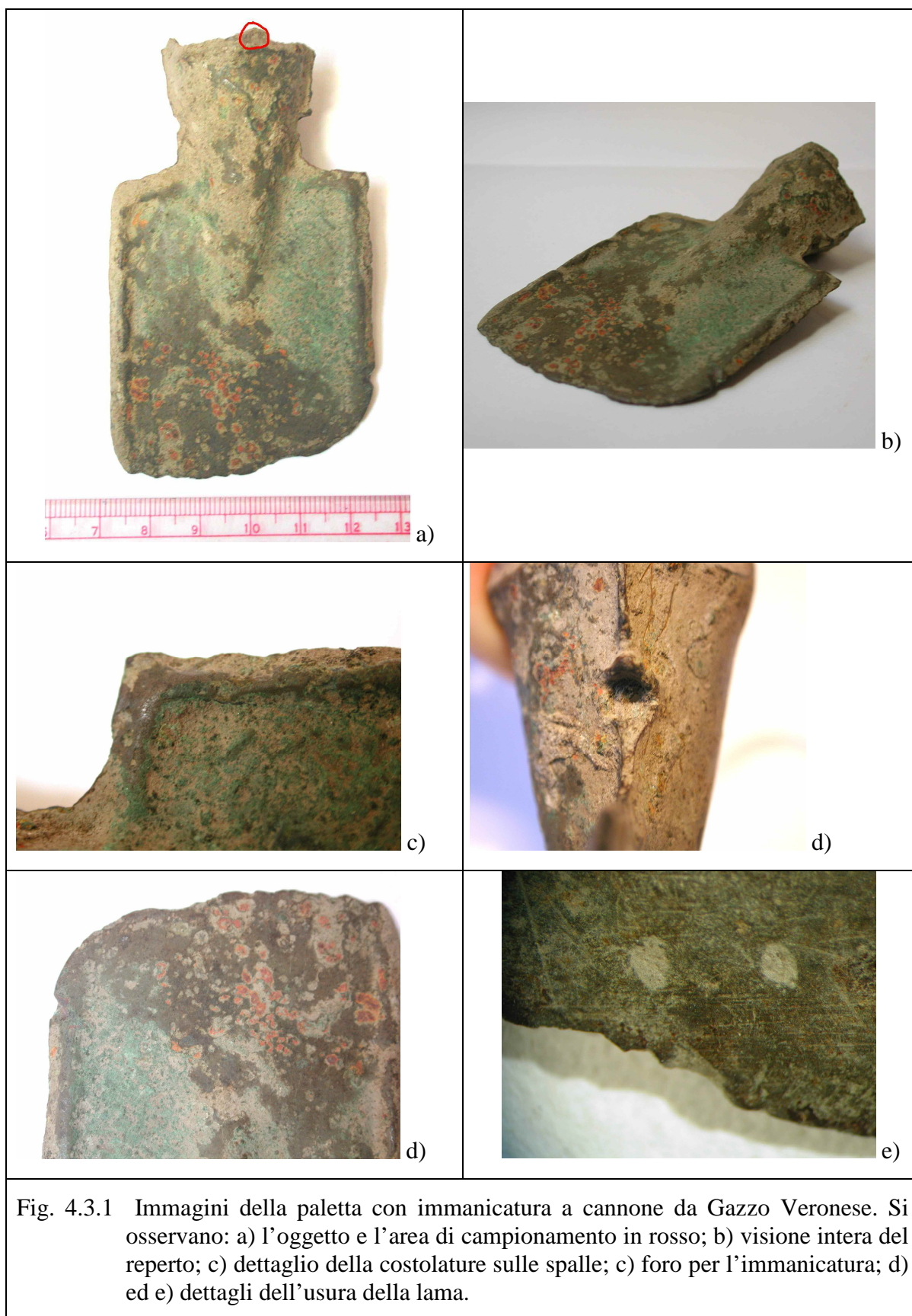


Fig. 4.3.1 Immagini della paletta con immanicatura a cannone da Gazzo Veronese. Si osservano: a) l'oggetto e l'area di campionamento in rosso; b) visione intera del reperto; c) dettaglio della costolature sulle spalle; c) foro per l'immanicatura; d) ed e) dettagli dell'usura della lama.

Paletta di Sabbionara Veronella

Il reperto proviene da raccolte di superficie dell'abitato di Sabbionara Veronella (Salzani 1993), ed è datato al Bronzo Recente. Tipologicamente descrivibile come paletta con immanicatura a cannone a spalle strette, lama allungata, "tipo Fondo Paviani". L'oggetto è frammentario in quanto la lama è spezzata, inoltre il cannone si presenta fortemente schiacciato (Fig. 4.3.2-b e 4.3.2-c). Da una visione frontale della lama si osserva che questa presenta una forte torsione (Fig. 4.3.2), possibilmente collegabile e sforzi d'uso o alla rottura.

Sono presenti anche su questo campione delle bave sulla parte laterale. Il campionamento in questo caso è stato fatto sul bordo della costolature, dove la lama si presenta spezzata.

Anche in questo reperto sono presenti fori laterali per l'immanicatura.

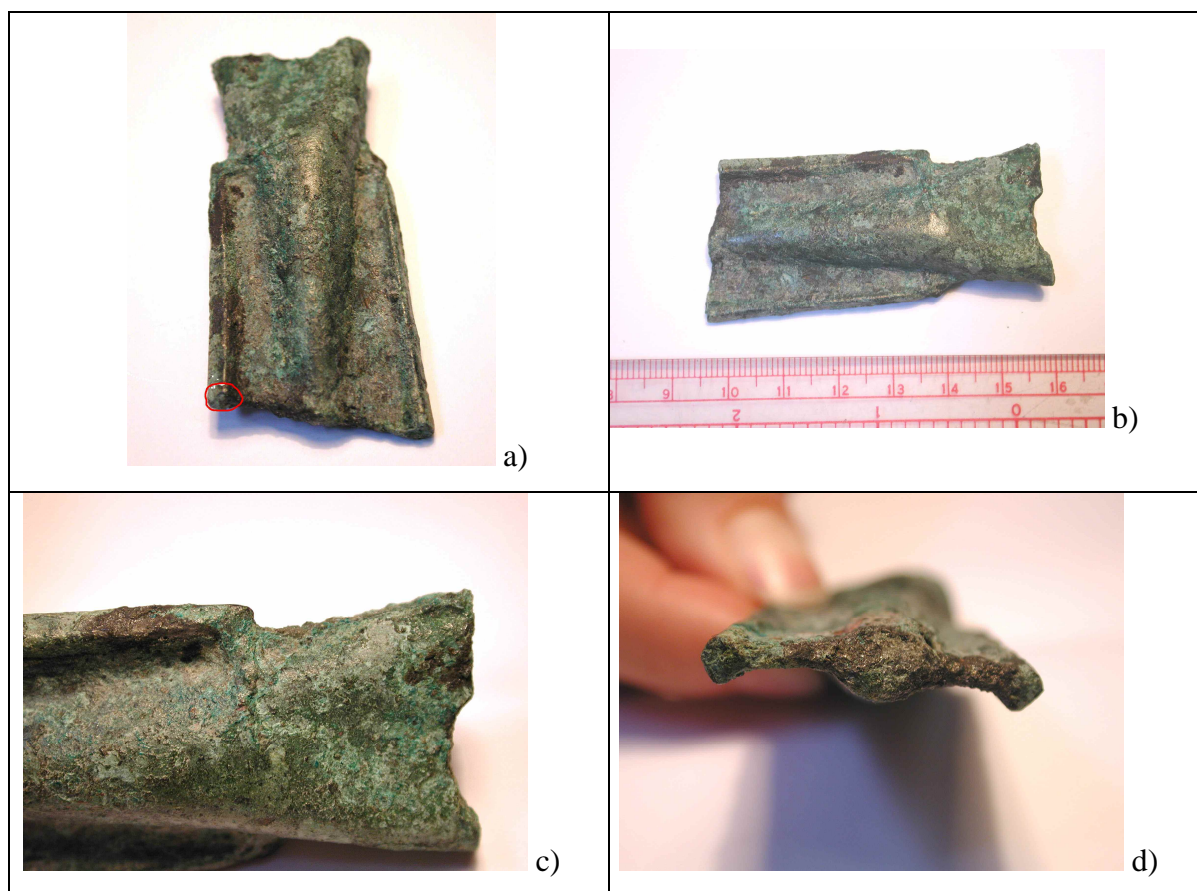


Fig. 4.3.2 Immagini della paletta con immanicatura a cannone SV PP da Sabbionara di Veronella. Si osservano: a) l'oggetto e l'area di campionamento in rosso; b) visione laterale; c) dettaglio della costolature sulle spalle e del cannone schiacciato; c) visione frontale della lama spezzata e ritorta.

Palette di Fondo Paviani

Dalla località di Fondo Paviani, Legnago, provengono due palette con immanicatura a cannone, tipologicamente datate al Bronzo Recente.

Campione FP-PL

E' una paletta con immanicatura a cannone a spalle strette, con lama allungata, cannone e lama costolate, "tipo Fondo Paviani". Il campionamento è stato effettuato sulla zona dove la lama è spezzata, vicino all'immanicatura. La lama risulta spezzata in modo asimmetrico e anche il cannone ha delle lacune evidenti. Sono sempre presenti i fori laterali per l'immanicatura e le bave di fusione sul bordo.



Fig. 4.3.3 Immagini della paletta con immanicatura a cannone FP PP da Fondo Paviani. Si osservano: a) l'oggetto e l'area di campionamento in rosso; b) visione del retro del reperto; c) dettaglio della costolature sul manico; d) foro laterale e della linea asimmetrica dell'oggetto.

Campione FP-PPL

Paletta con immanicatura a cannone a spalle strette, lama allungata, “tipo Fondo Paviani”. Questo è l’unico reperto che presenta la lama ancora integra; va tuttavia evidenziata la presenza di una frattura incipiente a metà della lama, verso la fine del cannone (Fig. 4.3.4-e).

La campionatura è stata effettuata sul bordo del cannone, dove vi era già una lacuna evidente.

Il cannone risulta molto lungo ed è fratturato nella parte superiore. Sul cannone è presente, inoltre, una costolatura che lo attraversa all’altezza dell’inizio della lama (Fig. 4.4.4-b). Sui lati della bave laterali che proseguono fino quasi alla zona di taglio.

La lama ha forma semicircolare e presenta una netta usura asimmetrica; sono evidenti, inoltre delle tacche che, almeno in alcuni casi, sembrano imputabili ad un uso avvenuto in antico (Fig. 4.4.4-d).



4.4 Dati chimici e tessiturali

Paletta di Gazzo Veronese

Il metallo presenta una tessitura dendritica, con zonature chimiche principalmente legate al tenore di Sn (Fig. 4.4.1-a). L'interno dei dendriti ha Sn di media a 3.9%, e sulla parte esterna aumenta progressivamente fino a 12.3%. Vi sono anche elementi minoritari in quantità considerevoli, che variano con la zonatura composizionale, Il Fe è maggiore nell'interno del dendrite (0.45) rispetto all'esterno 0.2; mentre Ni, Co As e Ag hanno andamento inverso e sono più abbondanti nelle parti esterne. E' presente anche fase δ che, dall'analisi DIP, costituisce circa il 10% del campione. L'analisi media calcolate tramite DIP ed EPMA restituisce Sn al 10.7%, Ag 0.2, Ni 0.8%, Co 0.2 e Fe 0.3%.

Sono state osservate numerose segregazioni di Pb, Pb-Bi e altri metalli in minor misura. Inoltre sono abbondanti le inclusioni di solfuri di Cu-Fe, e solfuri di Zn (misurato fino al 21%). In Fig. 4.4.1-b è riportata l'immagine BSE di un solfuro di Cu-Fe (grigio), unito ad un solfuro di Zn (nero), mentre le parti bianche sono aree povere di Fe.

Le analisi metallografiche hanno meglio evidenziato la struttura dendritica (Fig.4.4.1-c) e le fasi di alterazione. In particolare in alcune zone si osserva la presenza di Cu rideposto, fenomeno presente in alcuni stati di corrosione e legato a cambiamenti del valore di Eh e pH dell'ambiente esterno (Scott 1991 e 2002, Bianchi e Mazza 2000).

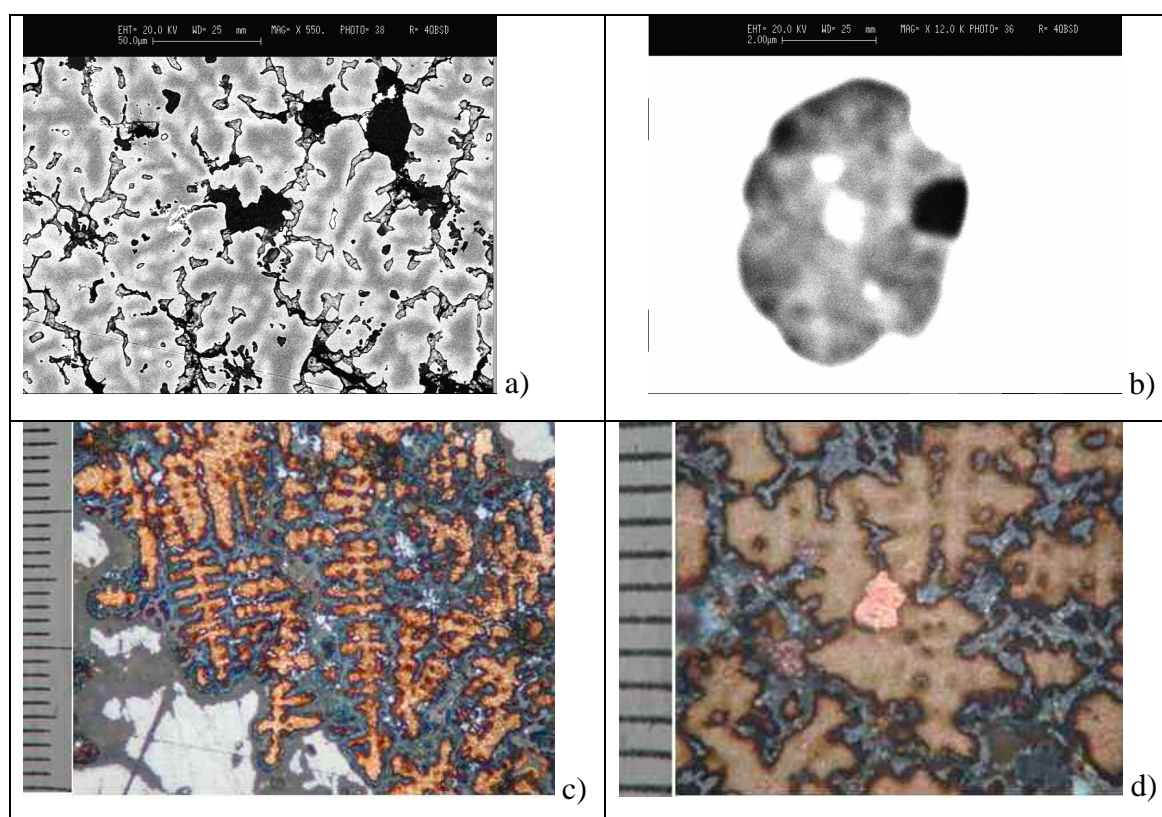


Fig. 4.4.1: Campione della paletta di Gazzo Veronese GZ PP: Immagini BSE della tessiture del campione a); e di un solfuro incluso b). Nelle microfotografie si osservano c) strutture dendritiche (ingrandimento 200X); d) segregazione di Cu puro (ingrandimento a 500X).

Paletta di Sabbionara Veronella

Anche questo campione presenta una forte eterogeneità, ma con struttura dendritica meno pronunciata (Fig. 4.4.2-a). Lo Sn varia da 2.7 a 10.3% in peso fra l'interno del dendrite e la zona esterna; si nota anche presenza di fase δ , che tuttavia non è estesa (Fig. 4.4.2-b), ma forma delle "isole" che non costituiscono più dello 0.1% del totale (analisi DIP). L'elemento in traccia più rilevante in questo campione è l'Ag (0.3%), mentre gli altri sono dell'ordine del limite di rilevabilità strumentale. L'analisi media calcolata tramite DIP ed EPMA restituisce un valore medio di Sn piuttosto basso, del 5.9% in peso.

Costante invece, come per GZ PP, la presenza di inclusioni di solfuri di Cu, solfuri con Zn e, in alcuni casi, con Ag.

L'analisi metallografica ha evidenziato una struttura di grani irregolari, varie aree corrose e residui di tessitura dendritica (Fig. 4.4.2-c).

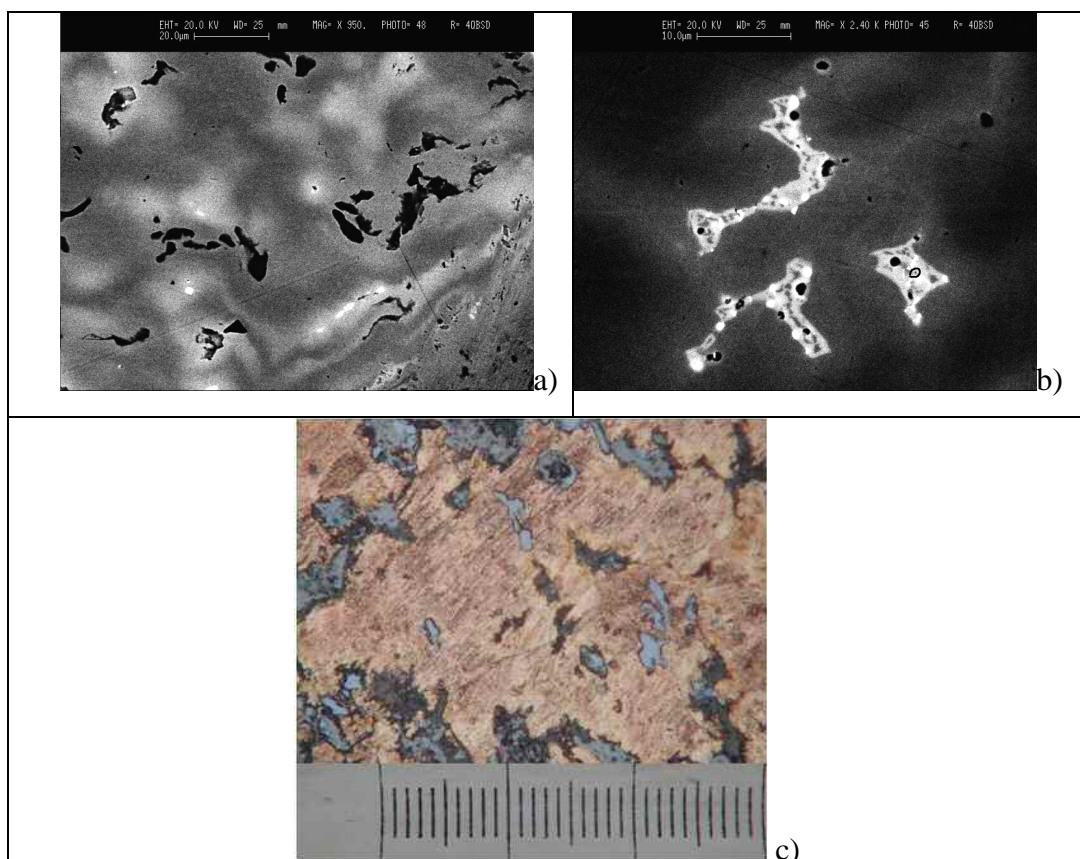


Fig. 4.4.2: Immagini BSE del reperto SV PP , si osservano: a) la zonatura chimica presente nel reperto; b) eutettoide $\alpha+\delta$ (grigio chiaro), con segregazioni di piombo (bianche); c) sezione metallografica a ingrandimento 200X.

Palette di Fondo Paviani

Campione FP-PP

Il reperto FP PP è l'unico dei campioni studiati ad essere costituito da fase α omogenea (Fig. 4.4.3 a-b), avente Sn piuttosto alto, intorno a 10.3% in peso, e nessun elemento in traccia particolarmente significativo. Sono presenti numerosi solfuri di grosse dimensioni, di Cu, Cu-Fe e di Zn (neri nelle immagini BSE di Fig. 4.4.3). Vengono osservate anche segregazioni di Pb, P-Bi a volte con tracce di Ag e Ni.

Per questo reperto risulta particolarmente interessante la tessitura cristallina. E' l'unico campione ad avere grani regolari, con bande di geminazione e qualche sistema di linee di scorrimento. Da questo si deduce che il reperto ha subito battitura e successivo

riscaldamento termico, anche se l'annealing non è stato completo in quanto si osservano ancora varie linee di scorrimento.

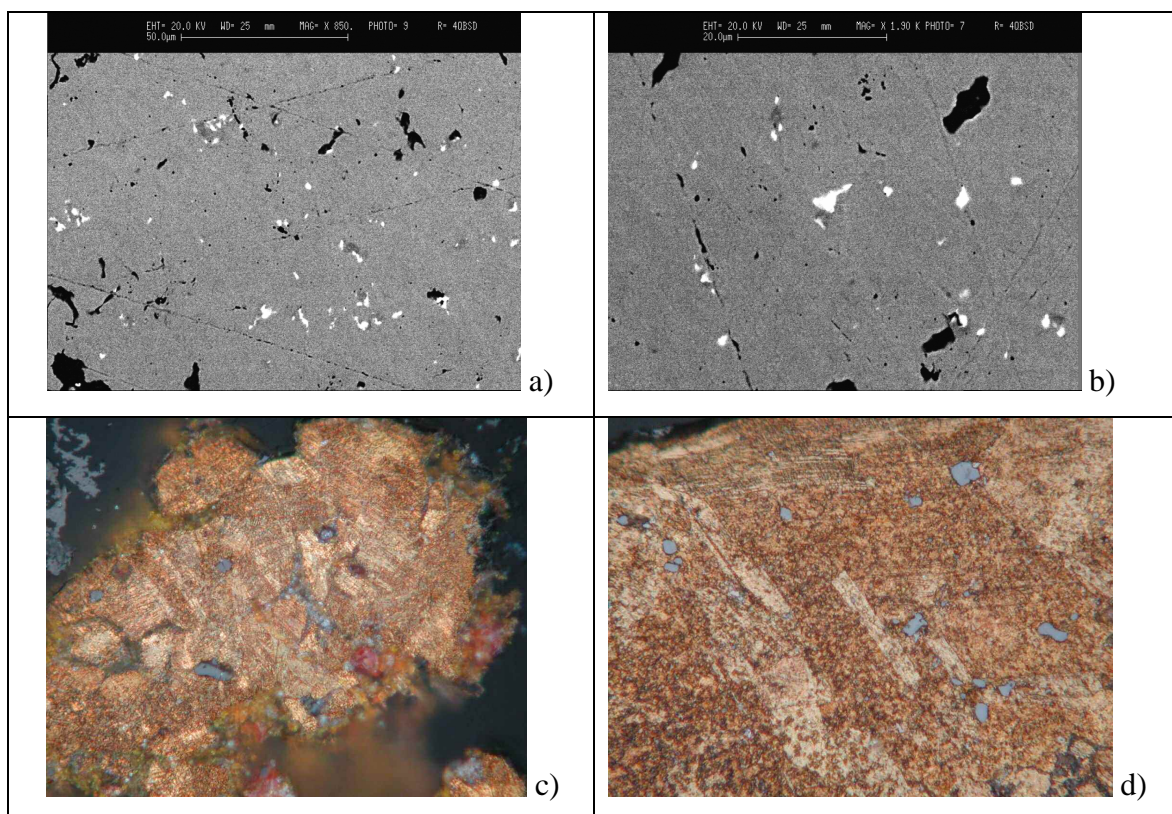
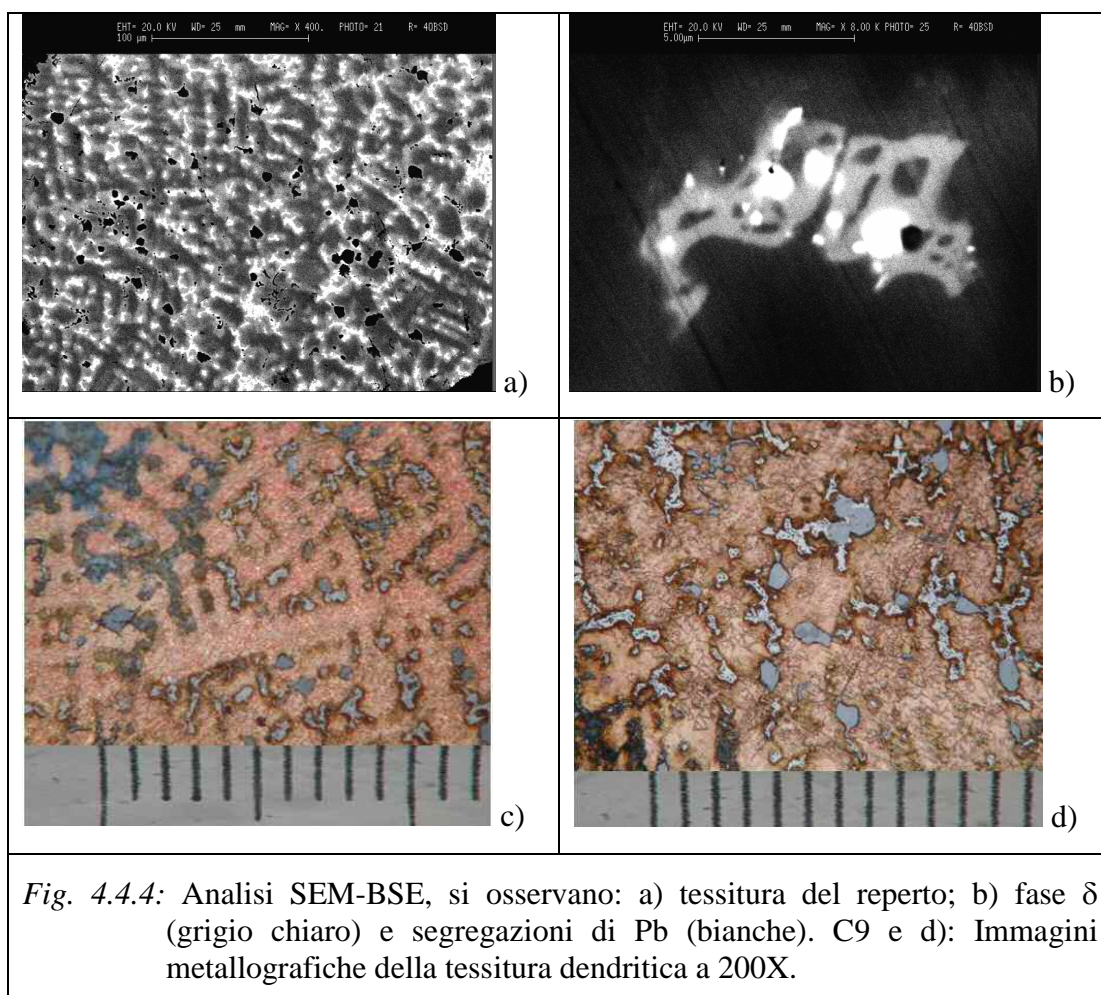


Fig. 4.4.3: Analisi SEM-BSE del campione FP PP, si osservano: la tessitura omogenea della fase α a) e le numerose inclusioni di Pb (bianche) e di solfuri (neri). Immagini metallografiche dei reperti a 200X e 500X rispettivamente.

Campione FP-PPL

Come i primi due campioni studiati anche FP PPL presenta una struttura dendritica (Fig.4.4.4-a) con fortissime variazioni di Sn fra l'interno del dendrite (Sn 3.0%) e la parte più esterna (Sn 12.6%). Sono presenti alcune isole di fase δ (grigio chiaro in Fig.4.4.4-b) in cui si osserva un'elevata concentrazione di segregazioni di Pb (bianchi nell'immagine BSE di Fig. 4.4.4). La fase δ è molto poco abbondante (circa 0.2% %), ed il tenore medio di Sn, calcolato con DIP ed EPMA è del 7.1%. Si osservano alcune tracce di Ni e Ag, di non particolare rilevanza.

L'attacco metallografico ha evidenziato, nelle zone di bordo, strutture dendritiche con corrosione delle parti interne dei dendriti (diverse zonature di grigio scuro in Fig. 4.4.4 c e d).



4.5 Discussione e conclusioni sullo studio delle palette con immanicatura a cannone di area Veneta.

I reperti qui in studio appartengono a due diverse fasi cronologiche, associabili alla loro diversa tipologia. La prima osservazione che si può trarre dai dati ottenuti è che sembra esserci una differenza composizionale fra le asce a paletta più antiche e quelle più recenti.

Sono tutti invariabilmente bronzi il cui contenuto di Sn varia dal 6.9 al 10.7 % in peso. La percentuale più alta di Sn si ha per il reperto GZ PP che è quello più recente; ad eccezione di FP PP le altre palette a spalle strette (le più antiche) sembrano avere Sn in quantità inferiore, ma dato il basso numero statistico di campioni non si possono fare osservazioni assolute. Altro fattore di differenziazione è la relativa purezza dei bronzi delle palette più antiche; solo FP PPL ha tenori interessanti di Ni e Ag, mentre tutti gli altri elementi sono sempre non rilevanti. La paletta di Gazzo invece (GZ PP, la più recente) ha quantità rilevanti di Ni, Ag, As, Sb, Co e Fe per un totale dell'ordine del 2 %.

Per un confronto più esteso i dati di letteratura sono purtroppo poco utili, si tratta per lo più di analisi qualitative in cui è stato solo verificato che le palette sono bronzo (Casagrande et al. 1993, Antonacci et al 1992). Un'informazione utile, che sembra avvalorare quanto visto per i nostri campioni, è che in palette simili a quelle di Frattesina, ovvero del tipo più recente, nelle analisi qualitative superficiali hanno riscontrato presenza significativa di Ni e Sb, oltre che solfuri di varia natura (Casagrande et al. 1993).

Le notizie più interessanti ai fini di questo studio provengono dalle analisi di un discreto numero di palette con immanicatura a cannone provenienti da Frattesina, e tipologicamente simili a quella di Gazzo Veronese (cioè le più recenti). Sono dati facenti parte di un più ampio lavoro relativo alla tesi di dottorato del Dott. F. Zaghis (relatore G. Molin, Università di Padova). I dati sono ancora inediti e quindi non sono stati estesamente trattati, se ne riporta un riassunto in 4.5.1. Osservando le composizioni relative si nota la presenza di leghe a composizioni del tutto particolari, non riscontrate in nessuna altra classe di materiali del periodo, a volte contenenti Ni, Pb, As e/o Sb nell'intervallo di 5-25% in peso. Al momento non è chiaro come interpretare questi dati, potrebbe trattarsi di oggetti ottenuti dalla rifusione di altri materiale (ma anche in questo caso è difficilmente spiegabile la composizione del materiale d'origine) o, come più probabile, di composizioni

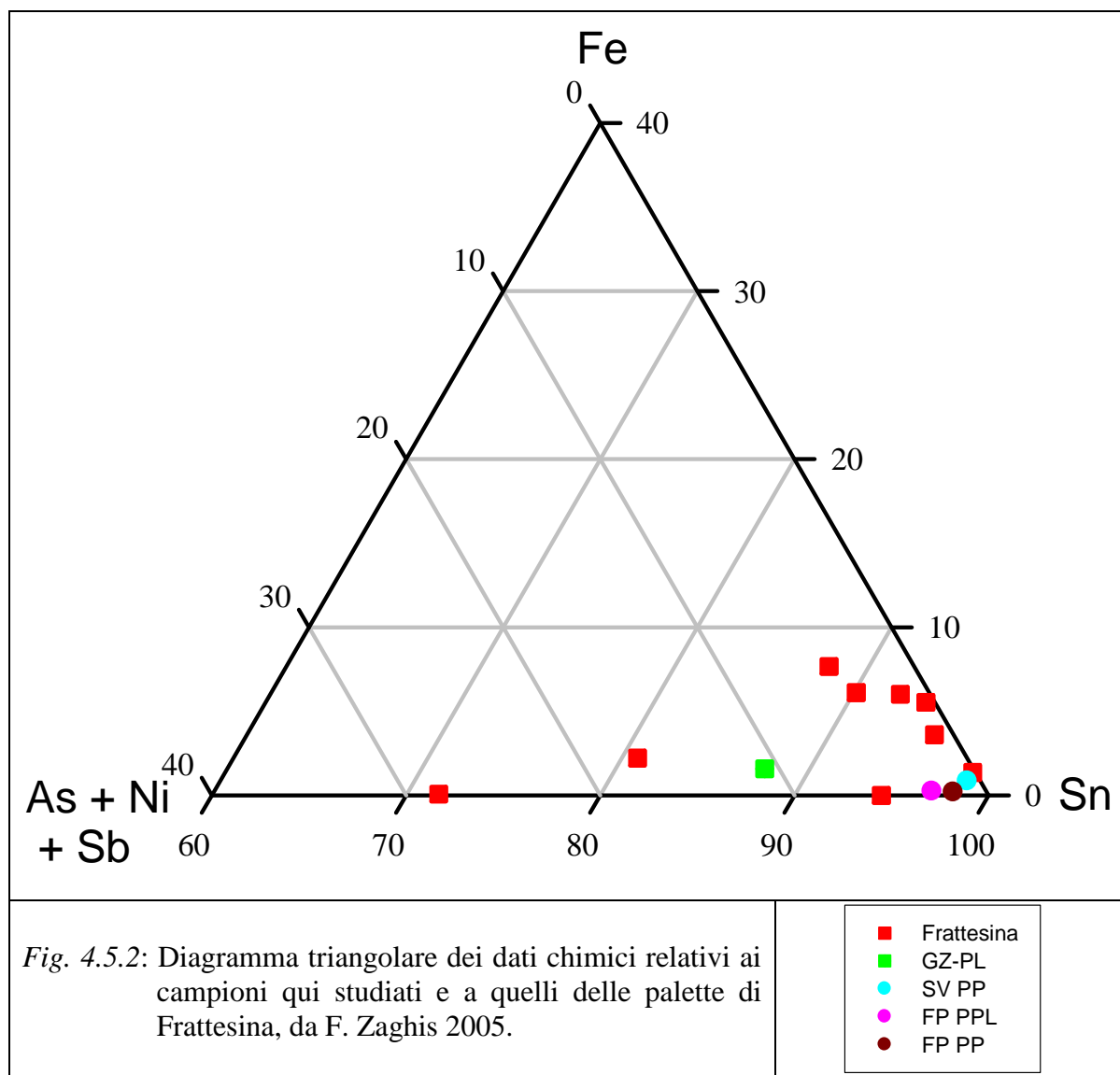
determinate secondo un metodo di valutazione areale non comparabile a quanto qui proposto.

Sample	Draw N°	Type of artefacts	Sampling location	Cu	Sn	Fe	Ni	Pb	S	Zn	As	Sb	tot
30	3	Socketed shovel	Shovel	84.90	10.13	0.01	0.15	0.04	0.03	0.02	1.16	2.69	99.12
31	4	Socketed shovel	Shovel	84.08	12.62	1.10	0.48	0.10	0.01	0.04	0.15	0.00	98.99
32	5	Socketed shovel	Socket	81.53	12.42	0.34	0.65	0.41	0.00	0.04	1.26	0.70	97.36
33	8	Socketed shovel	Shovel	19.01	0.19	1.76	18.46	8.42	0.28	0.05	16.14	22.99	87.29
34	6	Socketed shovel	Socket	85.54	9.91	0.00	0.16	0.26	0.15	0.05	0.24	0.18	96.48
35	9	Socketed shovel	Shovel	84.48	11.90	0.70	0.04	0.04	0.01	0.26	0.01	0.01	97.45
36	10	Socketed shovel	Shovel	87.96	1.08	0.76	3.88	0.10	0.12	0.01	2.31	0.10	96.31
37	7	Socketed shovel	Shovel	88.12	8.85	0.60	0.24	0.02	0.01	0.08	0.12	0.01	98.05
65	No draw	Socketed shovel	Shovel	93.36	6.52	0.09	0.01	0.17	0.01	0.00	0.00	0.00	100.16
66	No draw	Socketed shovel	Shovel	25.63	0.55	0.70	18.86	2.96	0.11	0.03	15.52	26.28	90.53
70	No draw	Socketed shovel	Shovel	91.60	5.99	0.39	0.02	0.03	0.00	0.10	0.03	0.00	98.17
80	No draw	Socketed shovel	Shovel	85.13	12.44	0.47	0.40	0.02	0.01	0.00	0.08	0.00	98.64

Fig. 4.5.1: Dati relativi ad analisi EPMA delle palette con immanicatura a cannone di Frattesina. Dati calcolati come media di 5-10 punti analisi sul campione. Da F.Zaghis 2005.

Dalle descrizioni riportate si deduce che i dati di Frattesina sono stati ottenuti come media di 5 punti analisi per campione; date le problematiche riscontrate nel determinare la composizione di metalli altamente eterogenei (quali sono appunto le palette con immanicatura a cannone che presentano quasi sempre struttura dendritica) è molto probabile che alcuni dati vadano rivisti. Per un primo confronto si sono scartate le composizioni più problematiche e si sono utilizzati, per i campioni qui studiati, le medie aritmetiche delle analisi EPMA sulle diverse fasi (metodo di calcolo che, seppure meno appropriato rispetto all'uso di medie pesate DIP-EPMA, appare più comparabile ai dati di Frattesina).

I dati, diagrammati nel diagramma ternario di Fig.4.5.2, sembrano supportare le prime osservazioni. Le palette del Bronzo Finale (simboli quadrati) si disperdono in un'area piuttosto ampia, ma sono in genere caratterizzati da alto As, Ni, Sb ed anche Fe; le palette del Bronzo Recente invece sembrano composizionalmente molto più simili fra loro e con minori elementi in traccia.



Risultato interessante del presente studio è anche l'aver rilevato in una paletta evidenze di lavorazione per battitura e successivo annealing termico. Questa è l'unica evidenza di una tessitura diversa da quella dendritica in questi materiali, e, insieme alle tracce d'uso, può far scartare almeno una delle ipotesi esistenti sull'utilizzo di questi materiali: ovvero il loro uso come lingotti, o materiali per la tesaurizzazione del metallo

Anche nelle palette tipo Fondo Paviani la presenza di tracce d'uso sulla lama evidenziano lo scopo funzionale dell'oggetto. Inoltre la presenza di fase δ che può rendere fragile il metallo, e l'evidenza di una frattura incipiente a metà lama (all'incirca all'altezza

del cannone dove si sono spezzate tutte le altre palette di questa tipologia), fa propendere per l'ipotesi di una frattura degli oggetti a seguito dell'uso fattone. L'ipotesi di una fratturazione culturale o rituale sarebbe da escludersi, tanto più se associata ad un eventuale riscaldamento (come proposto, Brogna 2007) di cui non è presente traccia nella tessitura cristallina del metallo.

Dato il piccolo numero di reperti studiati non è possibile al momento tracciare un quadro conclusivo, tuttavia le prime osservazioni quantitative effettuate hanno permesso di rilevare alcune caratteristiche distintive delle diverse tipologie, che richiedono ora di essere confermate a scala più estesa.

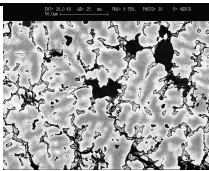
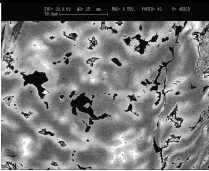
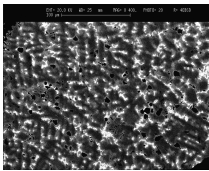
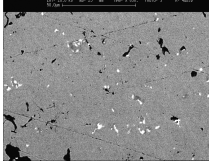
4.6 APPENDICE CAPITOLO 4

TABELLE DATI


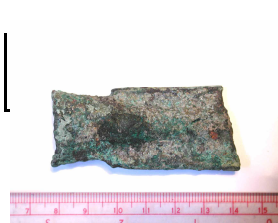


Tab. 4.6.1 Vengono riportati in tabella i campioni di palette con immanicatura a campione studiati, con le relative sigle, provenienza, età, tipologia e caratteristiche macroscopiche.

Sigla	Età	Tipologia	Area Prelievo	Stato di Conservazione	Dimensioni (in mm)	Colore a Vista	Peso (g)	Provenienza	Catalogazione
GZ-PL	Bronzo Finale	Paletta quadrangolare a spalle larghe, orizzontali, e cannone costolato. Tipo tra "Maricano e Samprugno"	Parte superiore dell'immanicatura, in centro	Reperto integro, la lama presenta una forte usura asimmetrica.	h max lama:60; h cannone:28; diametro maggiore cannone:31,4; diametro minore cannone:28,44; base cannone:25,2	Patine di alterazione verdi e ossidi di ferro. Aree con metallo grigio scuro.	82	Gazzo Veronese, località Ponte Nuovo (VR)	
SV-PP	Bronzo Recente	Paletta a spalle strette e lama allungata. Tipo "Fondo Paviani"	Margine esterno della parte fratturata, verso l'estremità più corta	La lama spezzata. Segni di torsione e schiacciatura del cannone.	h max lama:45,5; h cannone:18,7; base lama:29,6; base cannone:21,7; diametro maggiore cannone:25,7; diametro minore cannone:9,7	Patine verdi estese che ricoprono tutto l'oggetto.	42	Sabbionara di Veronella (VR)	
FP-PP	Bronzo Recente	Paletta a spalle strette e lama allungata con cannone e lama costolati. Tipo "Fondo Paviani"	Margine esterno, nella parte centrale	Lama spezzata e lacuna sul bordo superiore del cannone.	h maggiore lama:59,2; h cono:79,5; base lama:32; base cannone:19,1; diametro maggiore cono:25,6; diametro minore cono:23,1	Patine verdi presenti maggiormente su un solo lato.	59	Legnago, località Fondo Paviani (VR)	N°inv. 60129
FP-PPL	Bronzo Recente	Paletta a spalle strette e lama allungata e svasata, con cannone e lama costolati. Tipo "Fondo Paviani"	Nella zona fratturata dell'immanicatura	Lacune sul cannone, lama integra con segno di incipiente frattura a metà lama.	h lama:91,9; h cannone:39; h totale:132,1; base maggiore lama:39; base minore lama:29; base cannone:16,2; diametro cannone:19,6	Patine verde estese, ed aree beige scuro.	71	Legnago, località Fondo Paviani (VR)	N°inv. 123556

4.6.2 Analisi chimiche areali SEM-EDS, calcolate come media di 2-3 analisi d'area, ed espresse in % peso. Si riportano per ogni campione anche le inclusioni e le segregazioni presenti nella fase metallica principale. (Sf = solfuri).

Sigla	SEM	Analisi SEM Areali Medie (elementi maggiori)												Analisi inclusioni SEM-EDS					Altro	
		O	O	S	S	Fe	Fe	Ni	Ni	Cu	Cu	Sn	Sn	Tot	Sf.Cu	Sf.Cu-Fe	Sf.FeZn	Pb		
GZ-PL				0.4	0.4	0.2	0.2	0.8	0.8	86.8	79.7	11.7	10.8	100	91.8	xx	xx	x	Segregazioni di Pb + altri metalli in diverse % (Bi-Sb-As-Ni-Co) / nei solfuri di Fe anche tracce di Pb-Ni-Co-Ag-As	
SV-PP		0.1	0.1	0.6	0.5	0.1	0.1			91.3	83.7	8.0	7.3	100	91.7	xx		xx	x	Segregazioni di Pb / Solfuri di Ag
FP-PPL				0.5	0.4	0.1	0.1			89.6	84.3	9.8	9.2	100	94.0	xx		xx		Segregazioni di Pb / quarzo / nei solfuri di Fe anche tracce di Pb- Zn-Ni-Co / Nelle segregazioni di Cu-Pb-Sn anche tracce di Ni-Ag-As-Co
FP-PP				0.2	0.2					89.6	84.7	10.2	9.7	100	94.6	x	xx	x	xx	Segregazioni di Pb-Bi con tracce Ag-Ni / quarzo

4.6.3 Tabella dati analisi EPMA, calcolate su ogni fase come media di 5-7 punti analisi ed espresse come percentuali peso.

Sigla	Immagine	Fase	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot.
GZ-PL		Interno dend.	0.01	0.01	0.01	0.45	0.25	0.79	93.22	0.03	0.13	0.07	3.91	0.00	0.04	0.03	98.96
		Esterno dend.	0.01	0.01	0.00	0.23	0.19	0.67	84.74	0.02	0.69	0.21	12.28	0.06	0.08	0.00	99.18
		Fase δ	0.01	0.00	0.00	0.11	0.27	1.54	67.34	0.00	0.55	0.46	27.42	0.91	0.42	0.00	99.04
		Media	0.01	0.01	0.01	0.26	0.24	1.00	81.77	0.01	0.46	0.25	14.54	0.32	0.18	0.01	99.06
SV-PP		Interno dend.	0.03	0.02	0.00	0.19	0.05	0.03	96.65	0.02	0.03	0.04	2.67	0.00	0.02	0.00	99.77
		Esterno dend.	0.00	0.01	0.00	0.10	0.06	0.06	90.24	0.00	0.05	0.09	10.28	0.00	0.06	0.00	100.95
		Fase δ	0.01	0.04	0.03	0.02	0.06	0.09	68.70	0.01	0.00	0.30	24.20	0.00	6.04	0.16	99.66
		Media	0.01	0.02	0.01	0.11	0.06	0.06	85.20	0.01	0.03	0.14	12.38	0.00	2.04	0.05	100.13
FP-PPL		Interno dend.	0.00	0.01	0.01	0.05	0.05	0.26	95.63	0.01	0.01	0.01	2.98	0.00	0.05	0.09	99.16
		Esterno dend.	0.00	0.01	0.01	0.03	0.06	0.27	86.68	0.03	0.14	0.10	12.64	0.00	0.09	0.00	100.06
		Fase δ	0.02	0.01	0.00	0.02	0.06	0.49	72.39	0.02	0.04	0.20	26.23	0.00	0.51	0.00	100.00
		Media	0.01	0.01	0.01	0.04	0.06	0.34	84.90	0.02	0.07	0.11	13.95	0.00	0.22	0.03	99.74
FP-PP		Fase α	0.01	0.01	0.00	0.02	0.04	0.10	89.21	0.00	0.09	0.13	10.33	0.00	0.02	0.00	99.96

1.6.4 Si riassumono in tabella le quantità delle diverse fasi presenti in ogni campione, calcolate tramite analisi d'immagine computerizzata (DIP).

Sigla	Fase α scura	Fase α chiara	Fase δ	Solfuri	Segregazioni	Tot
GZ- PP	35.65	52.29	10.41	0.60	1.05	100.00
SV-PP	56.02	42.56	0.08	0.38	0.95	100.00
FP-PPL	56.02	42.56	0.18	0.38	0.85	100.00

4.6.4 In Tabella sono riportate le composizioni dei campioni calcolate come media dei dati EPMA pesata sulla percentuale delle fasi presenti, determinata tramite DIP.

	Fase	S	Cl	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Totale
GZ PP	DIP-EPMA	0.01	0.01	0.01	0.29	0.22	0.79	84.56	0.02	0.46	0.18	10.67	0.13	0.10	0.01	97.45
SV PP	DIP-EPMA	0.02	0.02	0.00	0.15	0.05	0.04	92.61	0.01	0.04	0.06	5.89	0.00	0.04	0.00	98.94
FP-PPL	DIP-EPMA	0.00	0.01	0.01	0.04	0.05	0.26	90.60	0.02	0.07	0.05	7.09	0.00	0.07	0.05	98.32
FP PP	Fase α (EPMA)	0.01	0.01	0.00	0.02	0.04	0.10	89.21	0.00	0.09	0.13	10.33	0.00	0.02	0.00	99.96

CAPITOLO 5

INDAGINI ARCHEOMETRICHE DEI REPERTI LEGATI AD ATTIVITÀ METALLURGICA PROVENIENTI DAGLI STRATI DEL BRONZO RECENTE DELLA TERRAMARA DI BENECETO, FORNO DEL GALLO (PR)

5.1 Contesto archeologico e problematiche indagate

Un'esteso scavo archeologico ha interessato il sito di Beneceto, Forno del Gallo (PR) durante le campagne di emergenza indotte dai lavori della linea ferroviaria ad alta velocità nel periodo 2001-2005 (Bernabò Brea et al. 2003, 2004, Bianchi et al. 2002). I lavori di scavo e la fase di studio sono stati curati dalla Soprintendenza Archeologica dell'Emilia Romagna sotto la direzione della Dr.ssa M. Bernabò Brea e della Dr.ssa M. Miari per quanto riguarda l'Età del Bronzo e della Dr.ssa M. Catarsi per quanto riguarda l'Età del Ferro e Età Romana. Il lavoro interdisciplinare ha coinvolto un gran numero di specialisti di diverse istituzioni, che hanno curato i diversi aspetti della ricerca: organizzazione spaziale, attività metallurgiche, cronologia e tipologia dei materiali (attività di Dottorato di Ricerca di P. Bianchi, Università di Roma La Sapienza), studi archeometrici (attività di Dottorato di Ricerca di P. Frontini e I. Angelini, Università di Padova; S. Giovannini e A. Cardarelli, Università di Modena e Reggio Emilia).

La descrizione del sito, delle stratigrafie di scavo e la datazione dei reperti archeologici sono relative al lavoro della Dott.ssa P. Bianchi e della Dott.ssa M. Bernabò Brea; il breve resoconto che si riporta qui, per poter inquadrare i materiali dello studio archeometrico, è estratto dalle loro pubblicazioni, qui citate.

Il villaggio terramaricolo di Beneceto (Figure 5.1.1 e 5.1.2) comprende una parte centrale di circa 1 ettaro con una terrapieno esterno. Questo sito è stato probabilmente distrutto nel XIX secolo durante lo sfruttamento di una cava di marna (*Carta topografica delle terramare e delle palafitte preromane del parmigiano*) e corrisponde all'abitato

denominato *Vicopò* da L. Pigorini e P. Strobel nel 1864 (Bernabò Brea et al. 2004, Mutti 1993). Gli scavi archeologici e le trincee esplorative hanno coinvolto il “Villaggio Grande” lungo una striscia di circa 650 m che si snoda da ovest a est. I limiti esterni non sono ben identificabili dalle foto aeree, ma il confine orientale sembra coincidere con l’antico corso del Canale Beneceto. Le campagne di scavo hanno identificato parte del villaggio, della necropoli del Bronzo Recente, ed alcuni edifici lignei esterni.

Lo scavo ha evidenziato una limitata fase di occupazione dell’abitato relativa al Bronzo Antico I-II (XXIII-XVII sec a.C.) ed una vasta area terramaricola sviluppatasi durante l’ultima parte Bronzo Medio ed abitata in modo continuativo per tutto il Bronzo Recente (dal BM3 –Bronzo Medio 3- al BR2 – Bronzo Recente 2-: dalla fine del XV al XII secolo a.C.). Il villaggio palafitticolo costruito verso la fine del XV secolo a.C. era situato su terreno solido e asciutto, posizionato nell’area centrale fra i due paleo-alvei fluviali B-C (Fig. 5.1.1). Il villaggio ha subito profonde modifiche nel BR (dalla fine del XIV sec. alla metà del XII sec. a.C.), con la costruzione di capanne ed aree di attività domestica ed artigianale con nuove orientazioni e nuove modalità costruttive. Il sistema abitativo del BR1 comprende un’area centrale con capanne lignee rettangolari ad orientazione NW/SE. Gli edifici utilizzavano tecniche costruttive diverse: palafitte su suolo solido e asciutto, strutture di incannucciato, edifici con fossati di fondazione. Nel BR2 il nuovo villaggio è stato costruito su una superficie di terra spianata. La parte principale dell’abitato area situata nella zona a nord-est dello scavo, e ha conosciuto almeno tre fasi principali di attività abitative. Gli edifici e le altre strutture avevano un’orientazione NE/SW, erano fondamentalmente basati su tecniche costruttive palafitticole, e sono stati in seguito sostituiti nella fase finale da capanne lignee e strutture ancillari ancorate direttamente al terreno.

Nella prima metà del XII sec. a.C. il villaggio del Bronzo Medio e Recente era abbandonato ed in seguito è stato sigillato da una sequenza di eventi alluvionali. Tracce successive di attività si ritrovano poi nell’Età del Ferro (fine VI - V sec. a.C.) e nell’Età Romana.

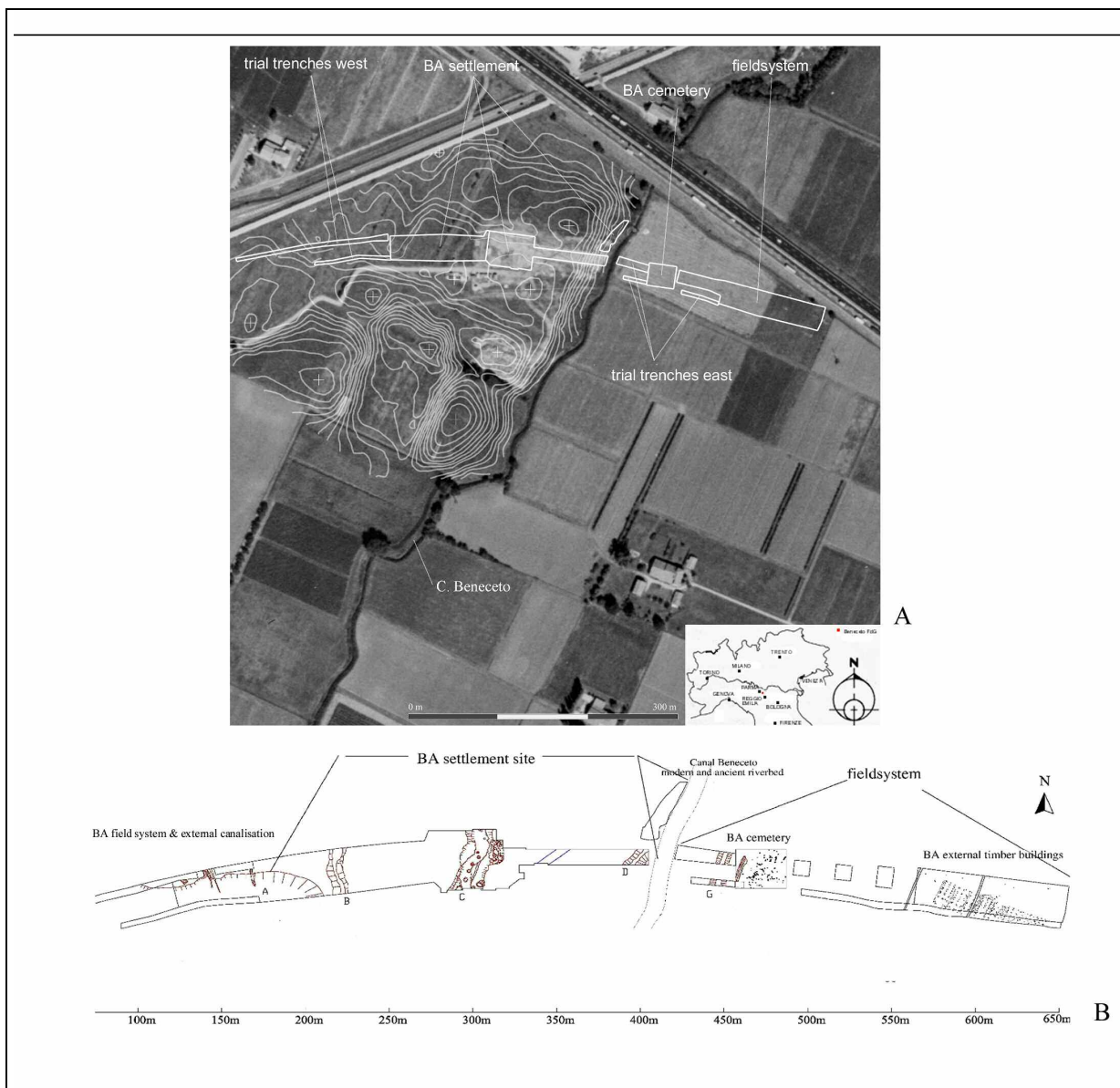


Fig. 5.1.1: Foto area del sito di Beneceto, Forno del Gallo (PR). Sulla foto (A) sono segnate le principali strutture morfologiche e le posizioni degli scavi e delle trincee. Il diagramma (B) presenta il piano generale del sito con le strutture principali della terramara dell'Età del Bronzo. (da Angelini et al. 2007)

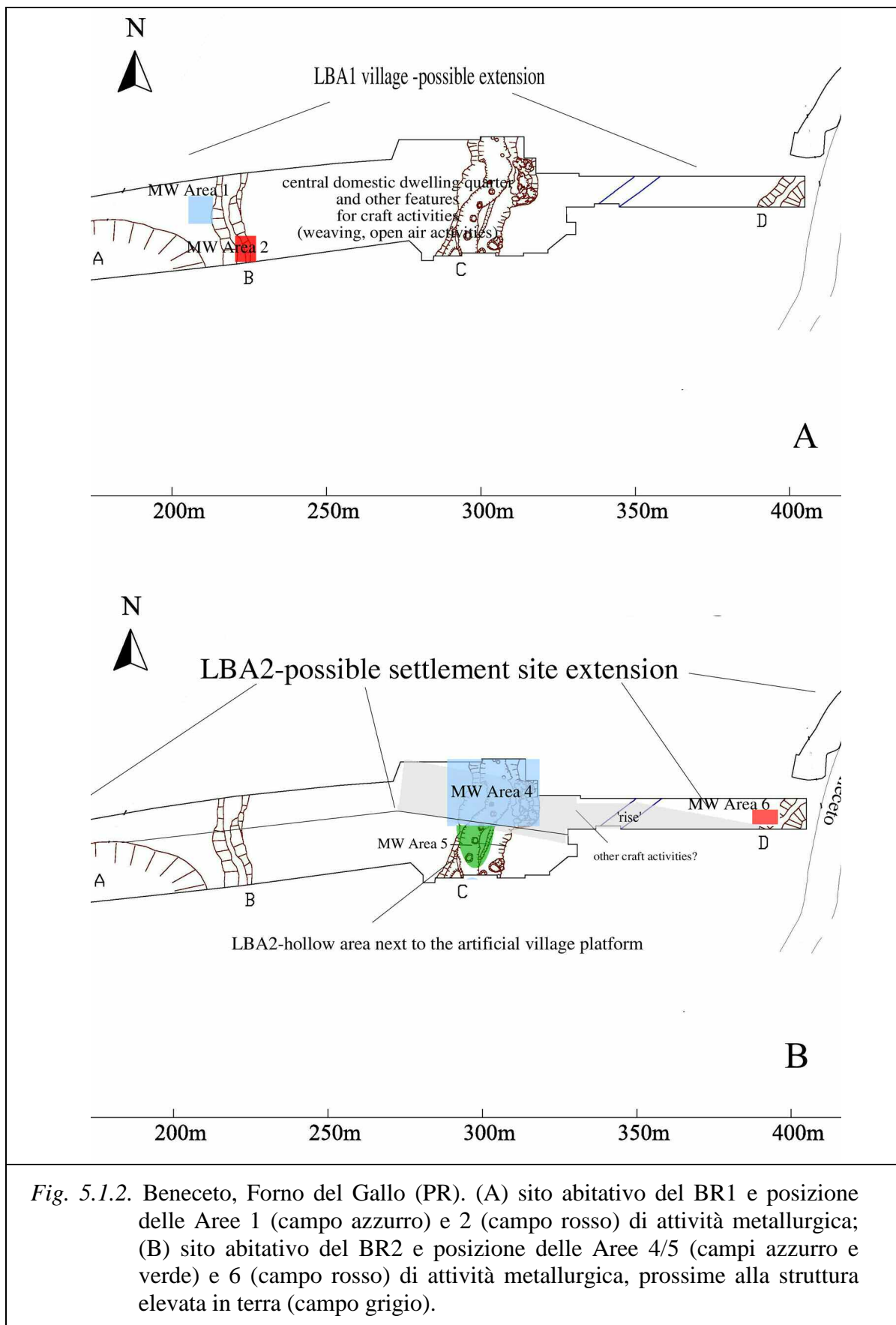


Fig. 5.1.2. Beneceto, Forno del Gallo (PR). (A) sito abitativo del BR1 e posizione delle Aree 1 (campo azzurro) e 2 (campo rosso) di attività metallurgica; (B) sito abitativo del BR2 e posizione delle Aree 4/5 (campi azzurro e verde) e 6 (campo rosso) di attività metallurgica, prossime alla struttura elevata in terra (campo grigio).

La parte della ricerca da noi svolta riguarda lo studio dettagliato dei reperti collegati all'attività metallurgica rinvenuta nel contesto del villaggio dell'Età del Bronzo Recente. Il villaggio presenta particolare interesse per l'organizzazione spaziale dei reperti e la distribuzione delle evidenze sia domestiche che di produzione metallurgica secondaria. Queste ultime sono distribuite in un ampio areale, in particolare nelle Aree 1-2 (riferite al Bronzo Recente 1, BR1), situate lungo il confine occidentale, e nelle Aree 4/5 e 6 (riferite al Bronzo recente 2, BR2) situate lungo il bordo sud-orientale dell'abitato. I reperti riferiti agli strati al periodo BR11 sembrano essere gli stadi iniziali dell'atelier metallurgico, mentre i reperti provenienti dagli strati riferiti al periodo BR2 rappresentano uno stadio avanzato del processo produttivo e culturale. Tutte le aree metallurgiche sembrano essere riferite a quartieri periferici non-abitativi e prossimi a limiti esterni del villaggio. Tutte le strutture sono in associazione spaziale diretta con i frammenti metallici e gli scarti del supposto processo di alligazione, che comprendono gocce metalliche, oggetti sporadici di leghe di rame, e strumenti metallurgici (tuyères, crogioli, stampi di colata ed altri oggetti litici).

5.2 Reperti in studio e campionature

Circa 25 campioni rappresentativi di ogni classe di oggetti (crogioli, scarti, gocce, frammenti metallici, etc.) sono stati selezionati per ciascuna delle aree interessate dall'attività metallurgica.

Area 2: si tratta di un'area rettangolare posizionata in prossimità del confine occidentale del villaggio del BR1 (Fig. 5.1.2.A). La struttura copre un'area di circa 5 m² ed è composta da una sequenza di sedimenti e colluvio che riempiono le ampie e poco profonde depressioni collegate al paleo-alveo del fiume B. La sequenza stratigrafica contiene strati di argilla gialla piuttosto pura, materiali terrosi bruno-rossicci, e spessi strati di residui di carbone mescolati a frammenti alterati di metallo, argille cotte, gocce metalliche, etc. I materiali utilizzati per l'attività metallurgica includono due larghi tuyères con decorazione a cordoni, uno dei quali conservato quasi completamente, un crogiolo a beccuccio con decorazione a cordoni, 12 frammenti di stampi di pietra, oltre a numerosi

frammenti e strumenti litici. I quattro campioni selezionati (BN 4MC, BN 5MC, BN 6MC, BN 7MC) sono descritti in appendice: Tabella 5.5.1.

Area 4/5: in prossimità dell'area artificialmente rialzata (Area 4) diverse evidenze metallurgiche sono state trovate lungo le rive e all'interno della depressione formata dal paleo-alveo del fiume C. Anche in questo caso la sequenza stratigrafica mostra aree rettangolari di argilla gialla pura, tracce di terra bruciata bruno-rossiccia, e frammenti di carbone. Gli oggetti dispersi nella zona sono frammenti di metallo alterato, scarti con frammenti di argilla o ceramica attaccati, argilla cotta, e gocce e scarti di metallo. Gli strumenti metallurgici includono un grosso frammento forse di un tuyère cilindrico, almeno quattro crogioli con beccuccio e decorazione a cordoni, diversi frammenti di stampi in pietra, e altri strumenti litici. Sono anche stati rinvenuti numerosi frammenti in osso traforati e lisciati, anche se non è possibile fare collegamenti diretti con usi specifici o con l'attività metallurgica. Due campioni di crogiolo (BN 2C, BN 3C) sono stati selezionati per le analisi (Tabella 5.5.1).

Area 6: quest'area, localizzata circa 80 m verso est rispetto alle coeve aree 4/5, si trova in prossimità della parte nord del terrapieno posto a NW/SE. L'area ha un perimetro rettangolare e mostra tracce di argilla gialla, argilla cotta rossiccia, ed evidenze di suolo sabbioso riportato su un terrazzo artificiale impostato sul paleo-alveo fluviale D. Quest'ultimo è stato lentamente e completamente riempito da materiali alluvionali e dai prodotti della disgregazione delle strutture antropogeniche, che includono carbone, cenere, e frammenti di oggetti. Questo deposito complesso ha prodotto una quantità limitata di metallo alterato, scarti con concrezioni di ceramica o argilla, argilla cotta, e gocce metalliche. Gli strumenti metallurgici comprendono alcuni piccoli frammenti di stampi in pietra, due larghi tuyères, di cui uno a forma di L con decorazione a cordoni, e diverse piccole pietre per levigare. I campioni BN 1C e BN 8MC provengono da quest'area (Tabella 5.5.1).

5.2.1. I crogioli

I tre crogioli selezionati per le analisi (BN 1C, BN 2C, e BN 3C: Figura 5.3.1, Tabella 5.5.1) hanno alcune caratteristiche particolari. I frammenti sono debolmente incurvati, anche se l'esiguità dei frammenti non permette una ricostruzione della forma originale.

All'interno del crogiolo sono presenti straterelli di incrostazioni con spessore variabile e colorati di verde, grigio e nero. La superficie esterna dei frammenti (Fig. 5.3.1 a, b, e, f) è generalmente chiara e non mostra segni di fuoco. Il corpo ceramico ha spessore irregolare da 2-3 mm a 1 cm anche nello stesso campione (Fig. 5.3.1. b, f). Tra la parte ceramica esterna di colore rosa-arancio e gli strati interni di incrostazioni verdi-nerastre c'è sempre uno strato intermedio di spessore variabile e di colore crema o grigiastro (Fig. 5.3.1 b, d, e, f). In alcuni casi la parte ceramica esterna è persa e solo lo strato grigiastro rimane (Fig. 5.3.1 c, d, e, i).

I campioni compositi dei crogioli, formati da diversi strati, sono stati analizzati in modo separato nei diversi componenti, al fine di distinguere la natura e la funzione di ciascuno.

5.3.2 Possibili scarti

Nelle aree di lavorazione metallurgica sono stati ritrovati numerosi frammenti di forma irregolare e di difficile interpretazione. Cinque di questi frammenti sono stati selezionati per le analisi archeometriche (BN 4-8 MC: Fig. 5.3.1 g-p). Una od entrambe le superfici di questi frammenti sono simili agli strati grigiastri interni dei crogioli, sebbene la loro eterogeneità non permetta una univoca classificazione sulla base delle evidenze macroscopiche. Come discusso in seguito, risulta invece relativamente semplice distinguere la natura del reperto su base analitico-tessiturale.

Parti di questi campioni sono state preparate come sezioni sottili per le analisi, al fine di controllare la loro natura microscopica in confronto con i frammenti di crogiolo.

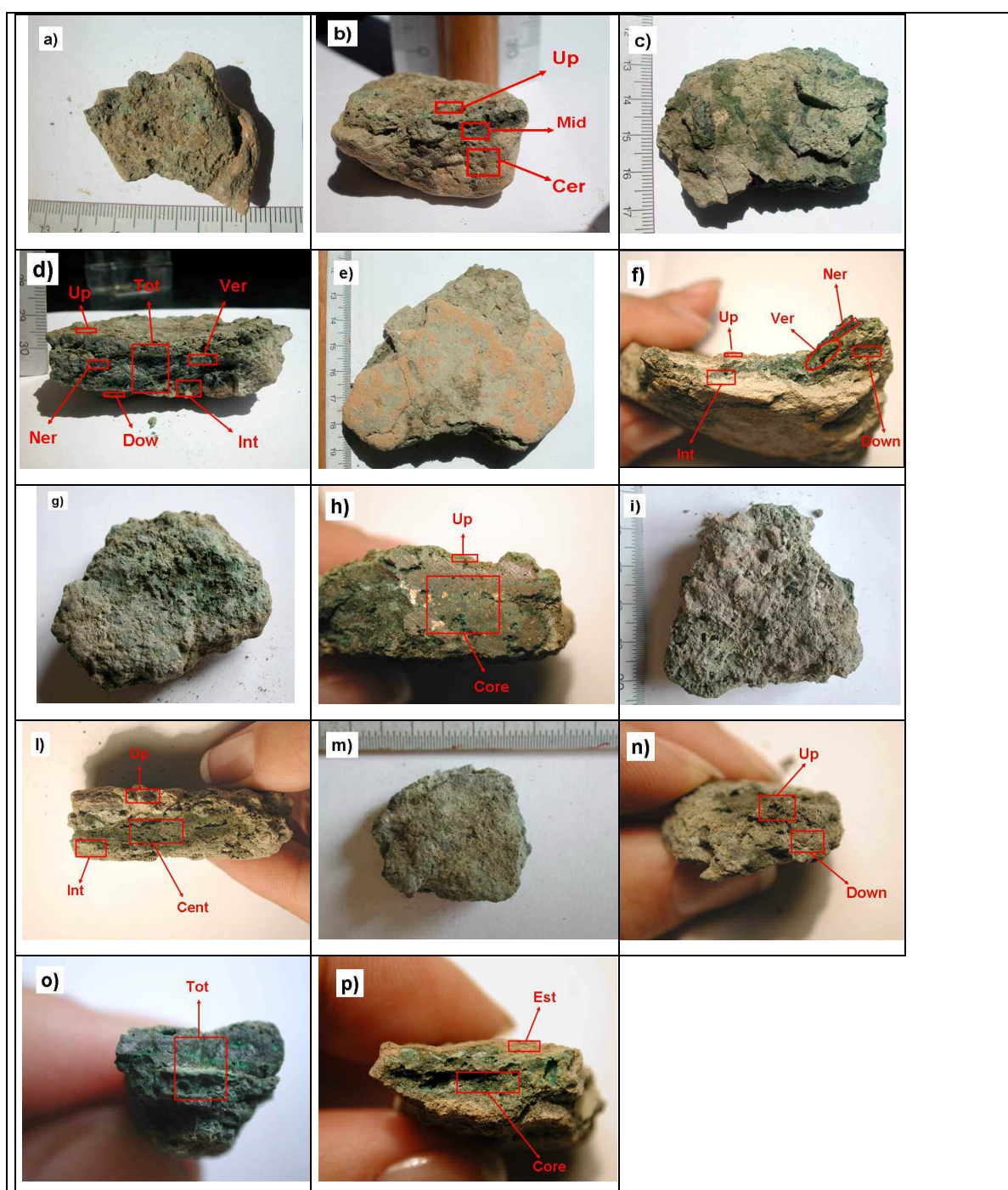


Fig. 5.3.1: Immagini dei campioni studiati: (a,b) parte superiore e sezione del crogiolo BN 1C; (c,d) parte inferiore e sezione del crogiolo BN 2C; (e,f) parte inferiore e sezione del crogiolo BN 3C; (g,h) parte superiore e sezione del campione BN 4MC; (i,l) parte inferiore e sezione del campione BN 5MC; (m,n) parte inferiore e sezione del campione BN 6MC; (o) campione BN 7MC; (p) campione BN 8MC.

Campioni per le analisi XRD:

Up = Est = Parte superiore (con suolo a argilla); **Mid = Core = Cent** = parte centrale dei campioni; **Int** = strato di interazione fra la ceramica o l'argilla, e il materiale verde/nero; **Ner** = strato nero; **Ver** = strato verde; **Down** = parte bassa del campione; **Tot** = campione totale.

5.4. Discussione e conclusioni

Tutti i campioni analizzati contengono significative quantità di elementi metallici, soprattutto Cu e Sn, il che testimonia e conferma le attività metallurgiche. Il metallo è normalmente più concentrato negli strati di incrostazione interna dei crogioli ed in alcuni dei frammenti irregolari, anche se la distribuzione è molto eterogenea. A volte gli elementi metallici sono concentrati in particolari livelli, altre volte sono dispersi nella matrice polifasica, che per la maggior parte è formata da una miscela di silicati (quarzo, feldspati, pirosseni, wairakite), carbonati (calcite, malachite) e ossidi (cuprite, cassiterite). La presenza di fasi complesse di rame e stagno (malayaite, chrysocolle) indica una interazione sostanziale e prolungata fra i componenti silicatici e metallo.

Le segregazioni ad alto tenore di Cu,Sn hanno forma variabile e dimensioni comprese fra alcuni μm ed 1 mm e sono generalmente immerse in una matrice di fasi secondarie e prodotti di alterazione. L'analisi puntuale degli inclusi ricchi in metallo (Tab. 5.5.2) effettuato con EPMA fornisce delle indicazioni precise sulla natura delle operazioni metallurgiche effettuate nel crogiolo: si tratta di una alligazione di Cu e Sn per la preparazione di bronzo per colata. L'interpretazione dei reperti e dei dati analitici viene quindi effettuata nell'ambito dei processi e delle operazioni di metallurgia secondaria: raffinazione del rame dai solfuri residui per ossidazione, eliminazione di tenori troppo alti di cuprite per riduzione, alligazione con Sn per la preparazione della lega, eventuale riciclo di metallo.

Dal punto di vista della tecnologia metallurgica utilizzata, si possono fare alcune considerazioni generali:

- (1) Le evidenze indicano che il materiale nel crogiolo veniva riscaldato con flusso di aria dall'alto o inclinato e con il carbone posto sopra il metallo o la miscela per ottenere il massimo della temperatura al centro della carica. I frammenti di carbone inglobati nel campione BN 5MC ne sono una prova. Una ulteriore conferma è derivata dalla presenza di minore porosità e maggior quantità di vetro nella parte interna della ceramica, indice di temperature maggiori raggiunte rispetto alla parte esterna. In queste condizioni il rapporto fra flusso di aria insufflato attraverso gli ugelli (tuyères) e la quantità di carbone posto o aggiunto sul materiale determina sia la temperatura massima raggiunta, sia le condizioni di ossidoriduzione del metallo,

anche se queste possono venire in parte modificate variando il contenuto di fasi ossidate nella carica insieme al metallo. Simili tecniche di fusione, raffinazione, ed alligazione in crogiolo con riscaldamento dall'alto non solo erano la norma nella antica metallurgia secondaria (Mohen e Walter 1994), ma erano anche ampiamente utilizzate per l'estrazione primaria del rame, ad esempio in Spagna e Francia (Rovira e Ambert 2002, Sàez et al. 2003), Cipro (Hein et al. 2007), Giordania (Hauptmann 2003, Hauptmann et al. 1996), o Iran (Hauptmann et al. 2003).

- (2) I crogioli utilizzati a Beneceto non sembrano essere frutto di scelte pirotecniche particolarmente felici. In genere infatti la resistenza termica della ceramica utilizzata ad alta temperatura viene ottimizzata mediante l'aggiunta di alti tenori di quarzo nell'impasto, aumentandone quindi il carattere refrattario (Tylecote 1987, Hein et al. 2007, Mohen e Walter 1994). Inoltre si utilizzano spesso crogioli con corpi spessi almeno qualche cm (Tylecote 1987), per avere una sufficiente resistenza meccanica. Nessuna di queste due condizioni sembra essere stata utilizzata sistematicamente a Beneceto: alcuni dei crogioli sono spessi solo qualche mm (Fig. 5.3.1) ed il quarzo appare spesso come fase minoritaria dell'impasto (Tabella 5.5.3), anche se in qualche campione l'abbondanza di pirosseno diopsidico e plagioclasio anortitico di neoformazione possono aver fornito un sufficiente carattere refrattario. La compresenza delle due fasi indica inoltre temperature di reazione di circa 1200 °C (Sàez et al. 2003 e referenze citate).

Per quanto riguarda il contenuto dei crogioli, i materiali incrostanti presenti all'interno sono notevolmente eterogenei e porosi. Sono essenzialmente composti da fasi secondarie (malachite, wairakite, cuprite, chrysocola, calcite) presenti soprattutto negli interstizi e nei pori. Nelle sezioni sottili mediante microscopia ottica e nelle mappe SEM-EDS di elettroni retrodiffusi si notano numerose aree di cuprite, cristallizzata con diverse tessiture (Fig. 5.4.1 e 5.4.2). La cuprite può formarsi in materiali eterogenei di questo tipo per tre diversi processi: (1) per la maggior parte la cuprite si trova come piccole segregazioni sferiche nelle zone metalliche (ad es. campione BN C2: Fig. 5.4.1 c), quale risultato della dissoluzione di ossigeno nel rame fuso alla temperatura di liquidus (Scott 2002); (2) la cuprite può comunque formarsi a più bassa temperatura durante la cristallizzazione primaria da fuso (Fig. 5.4.1 e), per la coesistenza di rame metallico ed ossido in condizioni

redox limitate (Sàez et al. 2003, Hauptmann et al. 1994, Hauptmann et al. 2003); infine (3) la cuprite può formarsi a temperatura ambiente durante i processi di corrosione e si trova quale fase comune dei prodotti di alterazione di rame e bronzo (Tylecote 1987, Scott 2002) (Fig. 5.4.1. b, f; Fig. 5.4.2 c).

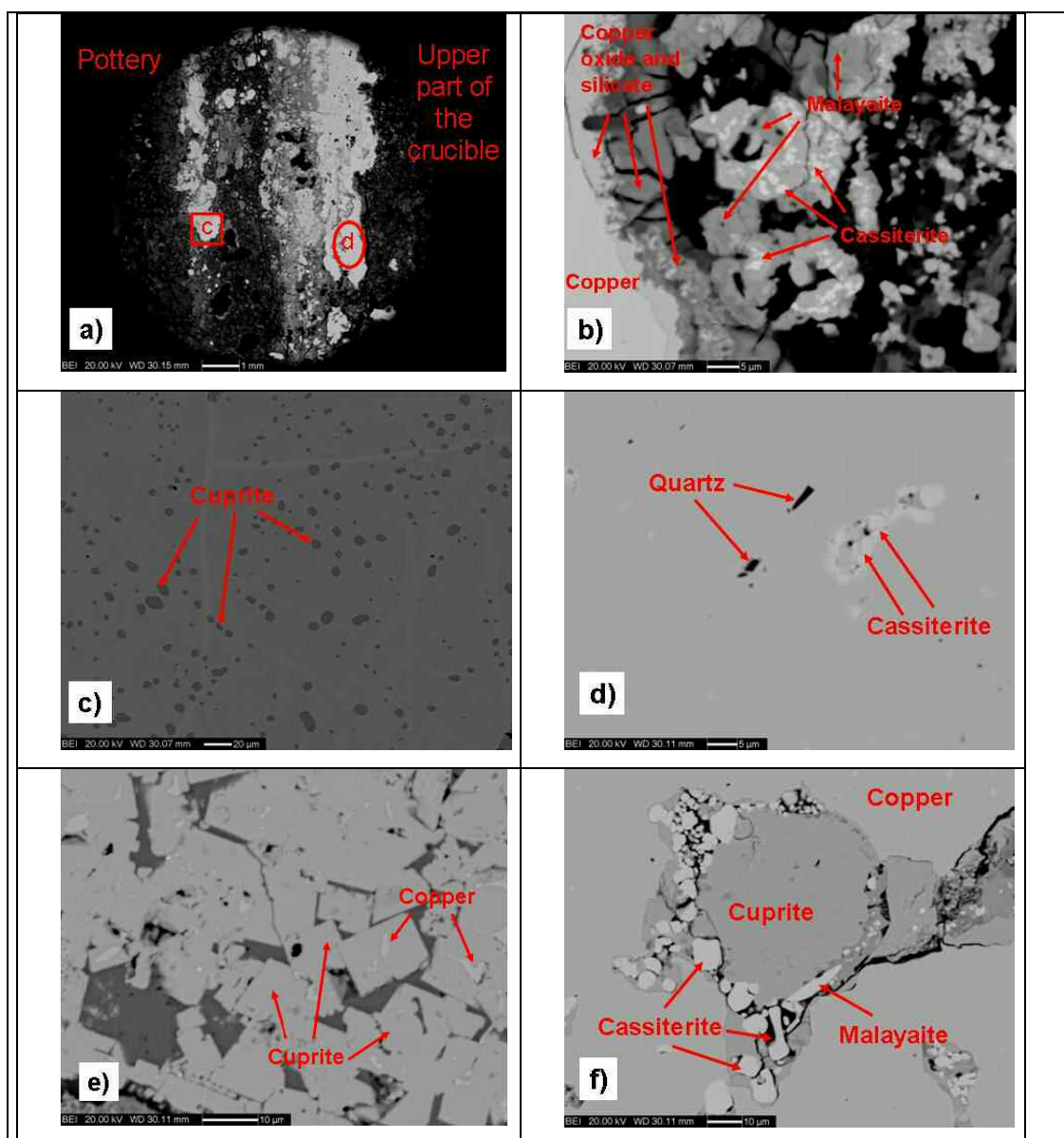


Fig. 5.4.1: Immagini SEM-BSE del crogiolo BN 2C. (a) sezione intera del campione; (b) ingrandimento della zona con cristalli di cassiterite; (c,d) ingrandimento delle zone delineate nella figura (a).

Il metallo che si trova nelle incrostazioni dei crogioli è sempre rame puro (Tabella 5.5.2). A volte ci sono piccolissime segregazioni polimetalliche (As, Ag, Sb, Ni, Pb, Bi), generalmente derivate dai minerali accessori della mineralizzazione cuprifera, e che rimangono quali microscopiche inclusioni nel metallo anche dopo ripetuti utilizzi e rifusioni. La proporzione variabile di questi elementi nelle inclusioni metalliche osservate in crogioli diversi potrebbe indicare l'utilizzo di rame proveniente da sorgenti diverse.

Inoltre, la sistematica assenza di stagno nelle segregazioni di metalli indica che l'alligazione partiva sempre da rame puro e non da bronzo riciclato. Lo stagno è presente sotto forma di cassiterite (SnO_2) e/o malayaite (CaSnSiO_5). Ci si deve quindi chiedere se l'alligazione del rame venisse effettuata partendo da stagno metallico o da cassiterite. Il problema è stato largamente dibattuto in letteratura e non è di facile soluzione (Tylecote 1987, Mohen e Walter 1994, Zwicker et al. 1985). La questione riguardo alla forma originale in cui veniva aggiunto lo stagno rimane non risolto, anche se si deve ricordare che la cassiterite naturale presenta sistematicamente alti tenori di Fe presente come minerali ferrosi accessori. Poiché l'energia libera di riduzione del Fe e dello Sn sono simili ad alta temperatura, ci si aspetterebbe che l'aggiunta di cassiterite direttamente nel rame fuso produrrebbe riduzione del Fe insieme allo Sn e di conseguenza la presenza di tenori di Fe in soluzione nel bronzo notevolmente maggiori di quelli osservati (Tabella 5.5.2). Si propende quindi per un utilizzo di stagno metallico quale aggiunta diretta al rame per l'alligazione. Questo concorda inoltre con le evidenze archeologiche, che mostrano la presenza e la circolazione di lingottini di stagno nell'Italia del Nord durante l'Età del Bronzo (filo di Alba: Venturino Gambari et al. 1995; lingotto della Terramara di Parma: Bernabò Brea pers. comm.; frammento di stagno di Bric Tana: Franceschi et al. 1997).

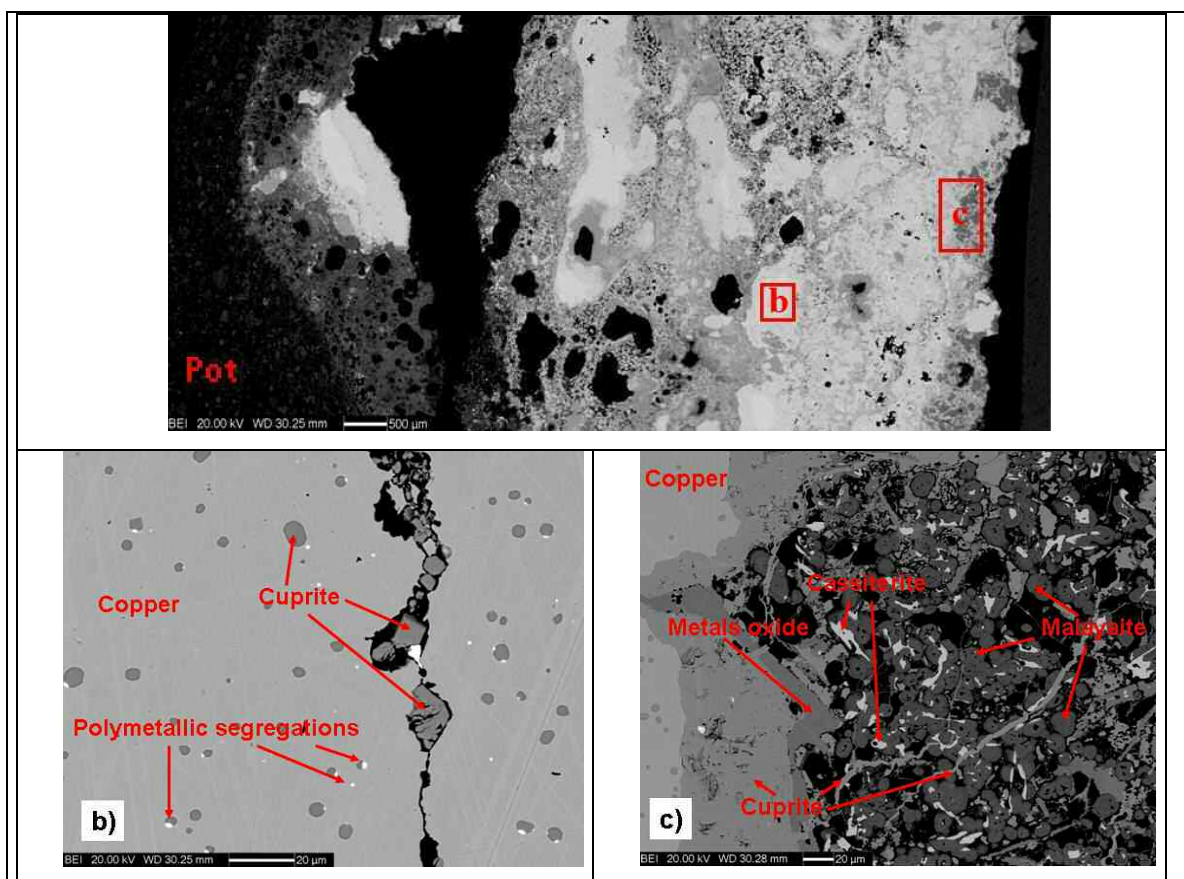
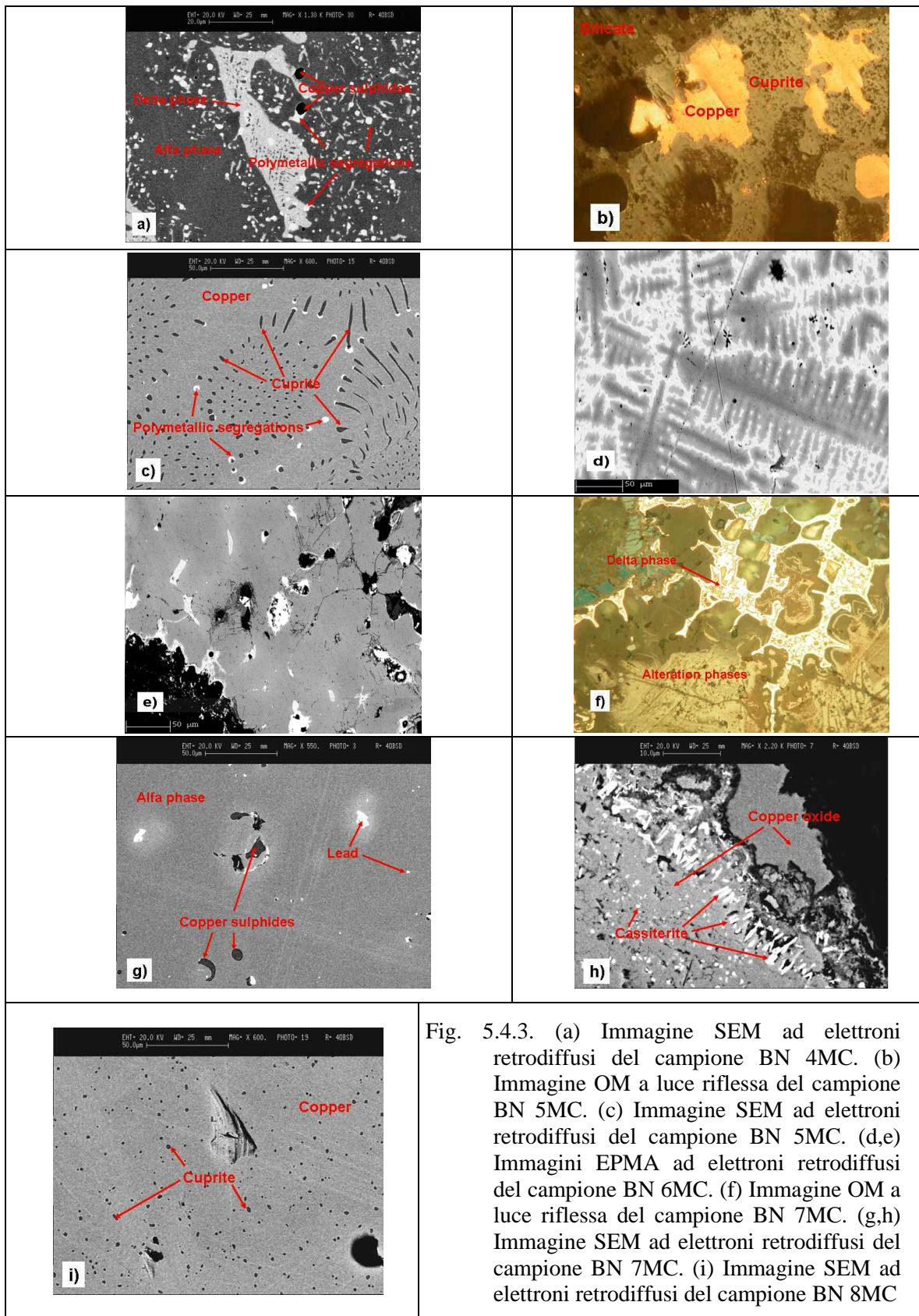


Fig. 5.4.2: Immagini SEM ad elettroni retrodiffusi del frammento di crogiolo BN 3C. (a) sezione del campione con la parte ceramica all'estrema sinistra. I residui metallici (bianchi nell'immagine) sono concentrati nella parte opposta, vicino alla superficie delle incrostazioni. (b) ingrandimento di una segregazione di rame con inclusioni di cuprite e segregazioni polimetalliche; (c) fasi di neoformazione nella zona di alterazione.

Il metallo contenuto nei frammenti irregolari è di due tipi. Alcuni (i.e.: campioni BN 5C, BN 8MC; Tabella 5.5.2) presentano rame puro con microsegregazioni di cuprite e inclusioni polimetalliche, esattamente come i crogioli: questi frammenti sono interpretati come porzioni staccate di incrostazioni di crogioli.



Altri (i.e.: campioni BN 4MC, BN 6 MC, BN 7MC; Tabella 5.5.2) presentano residui metallici fortemente eterogenei, ma invariabilmente composti da bronzo stannato. Le tessiture sono varie, e vanno da aree di rame puro coesistenti con fase α e piccole isole di fase δ (campione BN 4MC: Fig. 5.4.3 a), a larghe aree di fase α che mostrano ampi effetti di “coring” composizionale nei dendriti (Scott 1991) (campione BN 6MC: Fig. 5.4.3 d), ad isole relitte di fase δ disperse nella matrice di fasi di alterazione, soprattutto cuprite e cassiterite (Fig. 5.4.3 h,i), ma anche fasi più complesse di tipo cuprospinello, già identificate fra i prodotti di alterazione in altri oggetti (Angelini e Artioli 2006). Questi oggetti sono interpretati come frammenti di bronzo alterato, possibilmente residui di lavorazione o incrostazioni dei crogioli dopo un’alligazione avanzata.

In conclusione, lo studio archeometrico dei frammenti di Beneceto ha permesso di identificare la composizione del metallo come elemento discriminante fra due classi di oggetti: crogioli utilizzati nel trattamento del rame puro o nelle prime fasi dell’alligazione, e frammenti inerenti alla fase avanzata del processo di alligazione e colatura del bronzo.

Inoltre, l’analisi dettagliata delle caratteristiche chimiche, mineralogiche, morfologiche e tessiturali delle fasi presenti ha permesso una ricostruzione preliminare dei processi metallurgici che si svolgevano nell’abitato di Forno del Gallo, incluse ipotesi di estremo interesse quali: (a) la provenienza diversificata del rame utilizzato nei processi, (b) la non raffinata tecnologia ceramica utilizzata per i crogioli. Queste ipotesi preliminari dovranno essere avvalorate da osservazioni effettuate su un numero maggiore di reperti da Beneceto, ed eventualmente confermate con dati ottenuti da altri contesti analoghi.

5.4 APPENDICE CAPITOLO 5

TABELLE DATI

5.4.1: Si riportano in tabella le sigle dei campioni analizzate, le datazioni, le caratteristiche fisiche principali (dimensioni e peso), ed i dati di scavo.

<i>Sigla</i>	<i>Età</i>	<i>Reperto</i>	<i>Dimensioni (mm)</i>	<i>Peso(g)</i>	<i>Dati di scavo</i>
BN 1C	BR 2	Frammento di crogioli con incrostazioni interne.	$L_1 = 21 \div 28$; $L_2 = 19 \div 30$; $H = 13$	8	Area 6; U.S. 1739; DA 320; RR 741
BN 2C	BR 2	Frammento di crogioli con incrostazioni interne.	$L_1 = 37$; $L_2 = 44 \div 62$; $H = 13 \div 18$	51	Area 4/5; U.S. 119; DF 405; RR 244
BN 3C	BR 2	Frammento di crogioli con incrostazioni interne.	$L_1 = 41 \div 72$; $L_2 = 35 \div 41$; $H = 9 \div 17$	134	Area 4/5; U.S. 219; CP 410; RR 120
BN 4MC	BR 1	Metallo alterato con incrostazioni di argilla (resto di crogiolo?)	$L_1 = 31 \div 49$; $L_2 = 30 \div 40$; $H = 8 \div 11$	42	Area 2; U.S.5049; CH 481; 4
BN 5MC	BR 1	Metallo alterato con piccolo frammento di ceramica attaccata	$L_1 = 37 \div 52$; $L_2 = 42 \div 44$; $H = 10$	43	Area 2; U.S.5035; CH 491 RR 1330
BN 6MC	BR 1	Metallo alterato	$L_1 = 24$; $L_2 = 11 \div 22$; $H = 10$	7	Area 2; U.S.5034; CF 491; Sn 13
BN 7MC	BR 1	Metallo alterato	$L_1 = 13$; $L_2 = 11$; $H = 6 \div 9$	2	Area 2; U.S.4854; CG 492; Sn 42
BN 8MC	BR 2	Metallo alterato con incrostazioni di argilla (resto di crogiolo?)	$L_1 = 22 \div 34$; $L_2 = 9 \div 22$; $H = 4 \div 11$	10	Area 6; U.S.1895; DD 329; Sn

5.4.2 Composizioni chimiche delle fasi metalliche individuate nei campioni. Ogni valore è calcolato come media di 5-8 punti analisi ed espresso in percentuali peso di elementi.

Sigla	N° di aree analizzate	Fasi analizzate	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Tot
BN 2MC	7	Quite pure Cu	0.02	0.01	0.02	99.65	0.00	0.01	0.15	0.01	0.03	0.02	0.05	99.99
BN 3MC	8	Quite pure Cu	0.00	0.01	0.01	98.94	0.00	0.01	0.15	0.01	0.01	0.02	0.13	99.31
BN 4MC	3	Bronze α phase	0.01	0.01	0.01	99.15	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.11	99.40
	1	Bronze α phase	0.03	0.00	1.80	81.83	0.02	0.35	0.00	14.87	0.00	0.11	0.00	99.10
BN 5MC	3	Quite pure Cu	0.01	0.00	0.03	98.85	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	0.05	0.06	99.10
BN 6MC	4	Dendrite core (low Sn)	0.01	0.00	0.07	91.23	0.02	0.00	0.07	8.31	0.00	0.02	0.31	100.06
	4	Dendrite arm (medium Sn)	0.06	0.01	0.07	84.12	0.02	0.10	0.15	14.90	0.00	0.06	0.06	99.59
	4	Interdendritic alloy (high Sn)	0.02	0.02	0.09	72.80	0.00	0.07	0.23	26.95	0.00	0.09	0.05	100.35
	2	Bronze δ phase	0.02	0.03	0.08	66.99	0.04	0.01	0.42	32.39	0.00	0.24	0.00	100.24
BN 7MC	1	Bronze α phase	0.29	0.01	0.06	99.25	0.00	0.02	0.09	0.22	0.13	0.03	0.02	100.15
	1	Bronze α phase	0.00	0.01	0.28	94.08	0.00	0.10	0.00	5.18	0.00	0.08	0.20	99.95
	1	Bronze α phase	0.01	0.00	0.06	96.93	0.01	0.06	0.00	2.24	0.00	0.13	0.11	99.58
	2	Bronze δ phase	0.01	0.02	0.96	66.77	0.00	0.28	0.00	30.29	0.30	0.07	0.16	98.88
BN 8MC	3	Quite pure Cu	0.01	0.01	0.02	99.78	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.15	100.15

5.4.3 Risultati delle analisi XRPD effettuate sui campioni di Beneceto.

Sigla	Fasi maggiori	Fasi abbondanti	Fasi minori	Tracce
BN 1C-Cer	Quartz, calcite	Plagioclase, k-feldspar	Pyroxene, gehlenite (?)	
BN 1C-Mid	Pyroxene, anorthite	Quartz, wairakite	Calcite, albite, gehlenite (?)	
BN 1C-Up	Pyroxene, anorthite	Quartz, wairakite	Calcite, k-feldspar	Cuprite
BN 2C-Up	Cuprite, copper	Quartz, wairakite, malayaite	Cassiterite, malachite, chrysocolla (?)	
BN 2C-Ver	Wairakite, calcite	Quartz	Copper, malachite, pyroxene, cassiterite	
BN 2C-Ner	Cuprite	Cassiterite, copper, malachite	Wairakite, chrysocolla (?)	Calcite
BN 2C-Int	Quartz, calcite	Pyroxene, wairakite, anorthite	Copper, cristobalite	
BN 2C-Down	Cuprite, cassiterite	Malayaite, wairakite, chrysocolla (?)	Quartz, copper, malachite, pyroxene, anorthite	
BN 2C-Tot	Wairakite, pyroxene, malayaite	Quartz, cassiterite	Anorthite, copper, malachite	
BN 3C-Up	Quartz, wairakite, pyroxene, calcite	Cassiterite, malayaite	Muscovite	Chlorite
BN 3C-Ver	Cuprite, cassiterite, copper, malachite	Wairakite, malayaite	Quartz, chrysocolla (?),	
BN 3C-Ner	Cuprite	Cassiterite	Copper, malachite, anorthite, chrysocolla (?)	
BN 3C-Down	Quartz, pyroxene	Anorthite, K-feldspar	Wairakite, malayaite	
BN 3C-Int	Quartz, pyroxene	Calcite, anorthite, wairakite	K-feldspar, malayaite	
BN 4MC-Up	Cassiterite, malayaite, spinel	Malachite, mixed metallic sulphides (?), chrysocolla	Wairakite, metal oxides	
BN 4MC-core	Malayaite, malachite, spinel	Chrysocolla, cassiterite, cuprite, mixed metallic sulphides (?)	Wairakite, metal oxides	
BN 5MC-Up	Quartz, calcite	Muscovite, clinocllore	Wairakite	Montmorillonite copper
BN 5MC-Cent	Cuprite, tenorite, malayaite	Wairakite, malachite, metal oxides (?), unknown phase	Pyroxene, anorthite	Quartz
BN 5MC-Int	Quartz, wairakite, pyroxene, anorthite	Calcite	Copper, cuprite	
BN 6MC-Up	Wairakite, malachite	Cassiterite, spinel, unknown phase	Quartz, cuprite, chrysocolla (?)	
BN 6MC-Down	Malachite, cuprite	Spinel	Wairakite, mixed metallic sulphide and metal oxides	
BN 7MC-Tot	Cuprite, cassiterite, wairakite	Malachite, spinel	Mixed metallic sulphides and metal oxides	Chrysocolla
BN 8MC-Core	Cuprite, cassiterite, malachite, quartz	Anorthite, pyroxene, malayaite, wairakite	Copper	
BN 8MC-Est	Cuprite, cassiterite, malachite, quartz,	Wairakite, chrysocolla (?)	Malayaite, pyroxene	Cristobalite

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

Lo studio dei tre contesti argomento della presente ricerca, ha permesso di indagare diversi aspetti della metallurgia dell'Italia Settentrionale nella fase tardo-finale dell'età del Bronzo. Per l'esito positivo della ricerca è stato di fondamentale importanza il disporre di reali collaborazioni interdisciplinari perché l'interpretazione dei dati ottenuti, e ancor più a monte la scelta adeguata dei materiali da analizzare, deve basarsi su chiare indicazioni cronologico-tipologiche. In caso contrario anche i risultati più rilevanti rischiano di non poter essere inquadrati in un preciso contesto cronologico e culturale, perdendo quindi di significatività.

Nei presenti casi di studio si sono indagati a fondo gli aspetti chimico-composizionali e metallografici-funzionali, ricostruendo diversi spaccati di una realtà metallurgica ampiamente sviluppata e specializzata. Le tecniche utilizzate nella lavorazione del bronzo sono molteplici: dalla laminazione, all'ottenimento per colatura di ornamenti di prestigio altamente decorati, alla produzione di oggetti funzionali ad alta prestazione tecnologica (quali il martello usato per la lavorazione del metallo stesso).

Un aspetto importante evidenziatosi nel corso della ricerca è la necessità di un approccio multianalitico allo studio. La particolarità intrinseca di alcuni reperti (forma, stato conservazione, etc) e la specificità di alcune domande archeologiche spesso richiedono, per una trattazione ed una risposta esaustiva, l'uso di differenti tecniche d'indagine, a volte anche per ottenere lo stesso tipo di informazione (ad esempio per l'analisi chimica quantitativa). In altri casi è invece fondamentale indagare la problematica con diversi approcci disciplinari, quali nello specifico quello chimico, fisico, mineralogico e geochimico, come ad esempio fatto per lo studio dei reperti di Beneceto o per le indagini isotopiche dei reperti di Chiusa Pesio.

Crediamo che i casi studiati possano non solo fornire indicazioni dettagliate e indicazioni interpretative sui contesti specifici, ma anche fornire adeguati esempi e protocolli di indagine per altri contesti metallurgici.

BIBLIOGRAFIA

Ambert P. (1995). Les mines préhistorique de Cabrières (Hérault): Quinze ans de recherches. *État de la question. Bulletin de la Société préhistorique Française*, **9/24**, 499-508.

Angelini I. (2004). Studio archeometallurgico di un ornamento a spirale dal riparo di Peri (Verona), *Padusa*, **XL**, 39-50.

Angelini I. (c.d.s. 1). Le ambre: caratterizzazione spettroscopica. In: *Volume monografico sul ripostiglio di Chiusa Pesio*. In preparazione.

Angelini I. (c.d.s. 2). Indagini archeometriche dei vaghi in vetro. In: *Volume monografico sul ripostiglio di Chiusa Pesio*. In preparazione.

Angelini I., Artioli G. (2006) Studio archeometallurgico di noduli metallici da Santa Caterina – Tredossi (Castelverde, CR). In: *L'abitato dell'Età del Bronzo di Santa Caterina Tredossi (Cremona)*, Comune di Milano, New Press snc, Como, 135-140.

Angelini I., Artioli G., Bellintani P., Diella V., Polla A., Residori G. (2002). Project “Glass materials in the protohistory of North Italy”: a first summary. In D'Amico C. (ed), *Atti del Secondo Congresso Nazionale AIAR, Bologna 29 Gennaio-1 Febbraio 2002*, Pàtron Editor, Bologna, 581-595.

Angelini I., Masiero E., Artioli G., Molin G., Frizzi T., Alberti R., Venturino Gambari M. (2007). Snapshot of a Final Bronze Age metalworker: Archaeometallurgical study of the hoard and the working tools from Chusa di Pesio, Cuneo, Italy. *Proc. 2nd Intern. Conference “Archaeometallurgy in Europe 2007”, Aquileia, 17-21 june 2007*. Proc. CD.

Angelini I., Molin G. e Artioli G. (c.d.s.). L'atelier metallurgico di Monte Cavanero: indagini chimiche e metallografiche. In: *Volume monografico sul ripostiglio di Chiusa Pesio*. In preparazione.

Artioli G., Baumgarten B., Marelli M., Giussani B., Recchia S., Nimis P., Giunti I., Angelini I., Omenetto P. (2008). Chemical and isotopic tracers in Alpine copper deposits: geochemical links between mines and metal. *Geo. Alp*, Vol. **5**, 139-148.

Artioli G. e Angelini I. (c.d.s.). Evolution of vitreous materials in Bronze Age Italy. *Chapter 5.4 in: Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*. Ed. Janssens K., University of Antwerp, Belgium.

Artioli G., Angelini I., Giunti I., Omenetto P., Villa I. (c.d.s.). La provenienza del metallo degli oggetti di Monte Cavanero: considerazioni basate sugli isotopi del Pb e sulla geochimica delle mineralizzazioni cuprifere limitrofe. In: *Volume monografico sul ripostiglio di Chiusa Pesio*. In preparazione.

Ashby M.F. (1987) Technology in the 1990s: Advanced materials and predictive design. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. **322**, No. 1567, 393-407.

Barge H. (1997). Proc. of int. conf. « Mines et Métallurgie de la préhistoire au Moyen-Âge en Languedoc-Roussillon et régions périphériques », Cabrières 1997. *Archéologie en Languedoc* **21**, 99-110.

Bachmann H. (1982) *The identification of slags from archaeological sites*, Institute of Archaeology Occasional Publication 6, Institute of Archaeology, London.

Bellintani G.F. (1973). I manufatti enei e la tecnologia del bronzo nella stazione pre-protostorica di Frattesina di Fratta Polesine, *Padusa*, **IX**, 95-118.

Bellintani P. e Livia Stefan (2008). Sulla tipologia delle palette con immanicatura a cannone dell'età del Bronzo Finale. *Rivista di Scienze Preistoriche*, **LVIII**, 1-20.

M Bernabò Brea, M. Miari, P. Bianchi, L. Bronzoni, P. Ferrari, F. Guarisco, E. Lari, S. Lincetto, S. Maggioni, S. Occhi, B. Sassi, in press. Il villaggio dell'età del Bronzo di Beneceto, loc. Forno del Gallo – Parma, in AA.VV., *Archeologia ad Alta Velocità in Emilia*. In AA.VV., *Archeologia ad Alta Velocità in Emilia. Indagini Archeologiche e Geologiche lungo il tracciato ferroviario ad Alta Velocità*, Proc. Giornata di Studi, Parma (2003).

Bianchi P., Ferrari P., Occhi S. (2002). Il villaggio dell'età del Bronzo in località Forno del Gallo (Beneceto-Parma). *Acta Naturalia de "L'Ateneo parmense"*, **38**, 4, pp. 179-191.

Bernabò Brea M., Miari M., Bianchi P., Bronzoni L., Ferrari P., Guarisco F., Lari E., Lincetto S., Maggioni S., Occhi S., Sassi B., (2004). Le prime fasi del sito dell'età del Bronzo di Forno del Gallo a Beneceto (Parma), *Padusa*, **XL**, NS, 81-115.

Mutti A. (1993). Caratteristiche e problemi del popolamento terramaricolo in Emilia occidentale, Bologna.

Bianchi G. e Mazza F. (2000). *Corrosione e protezione dei metalli*. AIM, Milano.

Borgna E. (2007). Il ripostiglio di Celò e altri bronzi: osservazioni sui contesti di circolazione e deposizione del metallo del comprensorio Natisone-Isonzo durante l'età del bronzo. In: *Le Valli del Natisone e dell'Isonzo tra Centroeuropea e Adriatico*, *Atti del Convegno Internazionale di Studi San Pietro al Natisone*, 15-16 Settembre 2006, Quasar, Roma, 209-223.

Bourgarit D. e Mille B. (2003). The elementanalysis of ancient copper-based artefacts by inductively-coupled-plasma atomic-emission spectrometry: an optimized methodology reveals some secrets of Vix crater. *Measurement Science and Technology*, **14**, 1538-1555.

Bourgarit D. e Mille B. (2005). Nouvelles données sur l'atelier métallurgique de la Capitelle du Broum (district minier de Cabrières, Hérault, France): la transformation de minerais de cuivre à base de sulfures se précise! In: P.Ambert and J. Vacquer (eds.) *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes* (Carcassonne, 2002), 97-108.

Bourgarit D., Rostan P., Burger E., Carozza L., Mille B., Artioli G. (2008). The beginning of copper mass production in the Western Alps: the Saint Véran mining area reconsidered. *Historical metallurgy*, in press.

Campana N., Maggi R., Pearce M. (1998). In: C. D'amico, C. Albore Livadie (eds.) *Le Scienze della Terra e l'Archeometria*. Istituto Universitario Suor Orsola Benincasa, Napoli. 175.

Casagrande A., Garagnani G.L., Landi E., Pellegrini E., Spinedi P. (1993). Indagini analitico strutturali su reperti metallici di Età Protostorica dell'Italia continentale: dati e considerazioni preliminari su un programma di ricerca pilota. *Studi Etruschi*, Vol **LXIII**, serie III, 255-277.

Colpani F., Marelli M., Giussani B., Recchia S., Angelini I., Baumgarten B., Artioli G. (2007). Use of the Copper Isotopic Ratio and Trace Elements in Archaeometry: a Multivariate Statistical Analysis Approach for Discovering Geochemical Tracers within Cu-Ores. In: D'Amico C. (ed), *Atti del IV Congresso Nazionale di Archeometria. Pisa, 1-3 Febbraio 2006*, Patron Editor, Bologna, 547-559.

Craddock P. (1995) *Early metal mining and production*, Edinburgh University Press, Edinburgh.

Craddock P.T. e Meeks N.D. (1987). Iron in ancient copper. *Archaeometry*, **29**, 187-204.

Craig J.R. (1974). Survey of data sources on sulfide phase equilibria. In: *Sulfide mineralogy*, **1**, Mineralogical Society of America, 58-74.

Del Lucchese A. (2004). Il Bronzo Finale e l'inizio dell'età del Ferro in Liguria (XII-VIII secolo a.C.). In: *I Liguri. Un antico popolo europeo tra Alpi e Mediterraneo*, Catalogo della mostra, a cura di R.C. de Marinis - G. Spadea, Ginevra-Milano. 143-144

Del Lucchese A., Delfino D. (2008). Metallurgia preistorica in Val Bormida, in *Archeologia in Liguria*, **I**, 2004-2005, 35-55.

de Marinis R.C. (1982). L'età del Bronzo: la metallurgia. *Archeologia in Lombardia*, 63-69.

De Marinis R.C. (2005) Evolution et variation de la composition chimique des object en métal aux Ages du Cuivre et du Bronze ancien dans l'Italie septentrionale. In: P. Ambert, J. Vaquer eds. "*La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes.*" Soc. Préhist. Fran. mem. **XXXVII**, 249-264.

De Marinis R.C. (2006) Aspetti della metallurgia dell'età del Rame e dell'antica età del Bronzo nella penisola italiana. *Riv. Sc. Preist.* vol **LVI**, 211-272.

De Ryck I., Adrianes A., Adams F. (2003). Microanalytical metal technology study of ancient Near Eastern bronzes from Tell beydar. *Archaeometry*, **45**, 579-590.

Fasani L., Salzani L. (1975). Nuovo insediamento dell'età del bronzo in località "Fondo Paviani" presso Legnago (VR), *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Verona*, **II**, 259-281.

Franceschi, E., A. Del Lucchese, D. Palazzi, M. Rossi. (1997). Aspects of metallurgical activity in Liguria (Italy). The middle and the Late Bronze Age. – *J. Thermal Analysis*, **49**, 1593-1600.

Gale N.H. (1997). Concerning the metal artefacts from Thermi on Lesbos: a response. *Oxford Journal of Archaeology*, **16** (2), 247-251.

Gale N.H., Stos-Gale Z. (2000). Lead isotope analyses applied to provenance studies. In: E. Ciliberto, G. Spoto (eds.) *Modern analytical methods in art and archaeology*. Wiley-Interscience, New York. 503-584.

Giardino C. (1998) *I metalli nel mondo antico; introduzione all'archeometallurgia*, Ed. Laterza, Bari.

Giumlia-Mair (2005). Copper and Copper alloys in the Southeastern Alps: An overview. *Archaeometry*, **47**, 2, 275-292.

Giumlia-Mair (2008). The metal of the moon goodness. *Surface Engeneering*, **24** (2), 110-117.

Giussani B., Marelli M., Recchia S., Colpani F., Angelini I., Artioli G. (2007). Tracing the provenance of ancient copper objects: A multivariate data analysis approach. *Proc. 2nd Intern. Conference "Archeometallurgy in Europe 2007", Aquileia, 17-21 june 2007*. Proc. CD.

Hanson D. e Pell-Walpole W.T. (1951). *Chill-cast tin bronzes*. Edward Arnold and Co., London.

Hatherly M., Hutchison W.B. (1979) *An Introduction to Textures in Metals* The Institute of Metals, London.

Hauptmann A. (2003). Developments in Copper Metallurgy during the fourth and third Millennia BC at Feinan, Jordan. *Mining and metal production through the ages*. The British Museum Press, London, 90-100.

A. Hauptmann, H.G. Bachmann, R. Maddin, (1996). Chalcolithic copper smelting: new evidence from excavations at Feinan, Jordan. Proc. 29th Int. Symp. on Archaeometry, Ankara (1994), TÜBITAK, Ankara, 3-10.

A. Hauptmann, T. Rehren, S. Schmitt-Strecker, Man and Mining. Der Anschnitt, Beiheft 16, (2003), pp.197-213.

Hauptmann A. (2007) *The archaeometallurgy of copper*. Springer, Berlin.

Heath D.J., Trampuž-Orel N., Milič Z. (2000). Wheel-shaped pendants: evidence of a Late Bronze Age metal workshop in the Caput Adriæ. In: *Ancient Metallurgy between Oriental Alps and Pannonian Plain*. Ed. Giunlija-Mair A., Editreg, Trieste, 53-70.

A. Hein, V. Kilikoglou, V. Kassianidou, J. of Arch. Sci., 34, (2007), pp.141-154.

Hook D. (2007). The Composition and technology of Selected Bronze Age and Early Iron Age Copper Alloy Artefact from Italy. In: *Prehistoric metalartefact from Italy (3500-720 BC) in the British Museum*. British Museum Press, London, 308-323.

Jankovits K. 1998-99 (1999), La presenza di palette con immanicatura a cannone in Ungheria nell'età del bronzo finale. *Padusa XXXIV/XXXV*, 109-118.

Kienlin T.L. (2007). Results of a metallographic examination of Copper Age flat axes from Eastern Central Europe and the Carpathian basin. *Proc. 2nd Intern. Conference "Archaeometallurgy in Europe 2007"*, Aquileia, 17-21 June 2007. Proc. CD

Kienlin T.L. e Ottaway B. (1998). Flanged axes of the North-Alpine region: an assessment of the possibilities of use wear analysis on metal artifacts. In: *L'atelier di bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère*. Tome II, Ed. Da Mordant C., Pernot M. e Rychener V., CTHS, Paris, 271-286.

Köppel V. (1983). Summary of lead isotope data from ore deposits of the Eastern and Southern Alps: Some metallogenetic and geotectonic implications. In: Schneider H.J. (ed.) *Mineral deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe*. Springer-Verlag, Berlin, 162-168.

Köppel V., Schroll E. (1983). Lead isotopes of Palaeozoic, strata-bound to stratiform galena bearing sulfide deposits of the Eastern Alps (Austria); implications for their geotectonic setting. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **63**, 347-360.

Leutenegger P., Longoni A., Fiorini C., Strüder L., Kemmer J., Lechner P., Sciuti S., Cesareo R. (2000). Works of art investigation with silicon drift detectors. *Nuclear Instruments and Method*, **A 439**, 458-470.

Longoni A., Fiorini C. (2006). X-ray detectors and signal processing. *Capitolo 4-2 in Handbook of practical x-ray fluorescence analysis*, ed.: B. Backhoff, B. Kanngiesser, N. Langhoff, R. Wedell, H. Wolff, Springer-Verlag, 203-262.

Longoni A., Fiorini C., Leutenegger P., Sciuti S., Fronterotta G., Strüder L. e Lechner P. (1998). A portable XRF spectrometer for non-destructive analyses in archaeometry. *Nuclear Instruments and Method*, **A 409**, 407-409.

Long J.V.P. (1995). Microanalysis from 1950 to the 1990s. Chapter 1 in: *Microprobe Techniques in the Earth Sciences*. Ed. Potts P.J., Bowles J.F.W., Reed S.J.B. e Cave M.R., Chapman & Hall, 1-48.

Lutz J. e Pernicka E. (1996). Energy Dispersive X-ray Fluorescence analysis of ancient copper alloys: empirical values for precision and accuracy. *Archaeometry*, **38**, 2, 313-323.

Maddin R. (1988) *The Beginning of the Use of Metals and Alloys*. – The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Maggi R., Pearce M. (1998). In: M.-Ch. Frère-Sautot (ed.) *Paléométaballurgie des cuivres*. Monique Mergoil, Montagnac, 89.

Milazzo M. (2004). Quantitative XRF analysis in archaeometric applications. In: M. Martini, M. Milazzo, M. Piacentini (eds) *Physics methods in archaeometry*. SIF, Bologna and IOS Press, Oxford, 227-249.

Mille B., Bourgarit D. (1998). Du mineral de cuivre exploité dès le Chalcolithique : les exemples de Cabrières (Hérault) et Al Claus (Tarn et Garonne). In : M.C. Frère-Sautot (ed.), *Paléométaballurgie des cuivres* (Montagnac), 27-36.

J.P. Mohen, P. Walter, *Techne*, **1**, (1994), pp.103-110.

Negroni Catacchio N. (1977). Rapporto tra l'Area Alto Adriatica e quella Medio-Tirrenica durante il Bronzo Finale. *Padusa*, **XIX**, 65-78.

Nicodemi W. (2000). *Metallurgia principi generali*, Zanichelli, Bologna.

Northover J.P. e Rychner (1998). Bronze analysis: experience of a comparative programme. In: *L'atelier di bronzieri en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère*. Tome **I**, Ed. Da Mordant C., Pernot M. e Rychener V., CTHS, Paris, 19-40.

Oddy W. A. (2004). The manufacture of wire since the Bronze Age: A technological investigation using the microscope, in *Proceeding of the International school of physics*

Enrico Fermi, "Physics methods in archaeometry", Varenna, 17-27 Luglio 2003, IOS press, Amsterdam, pp. 257-267.

Ottaway B.S. (1994) *Prähistorische Archäometallurgie*, Marie Leidorf, Espelkamp.

Ottaway B.S., Wang Q. (2004) *Casting experiments and microstructure of archeologically relevant bronzes*, BAR International Series 1331. Archaeopress, Oxford.

Paulin A., Spaić S., Zalar A., Trampuž-Orel N. (2003). Metallographic analysis of a 3000-year-old Kanalski Vrh hoard pendant. *Materials Characterization*, **51**, 205-218.

Pearce M. (1992) The origins of metallurgy and ore sources: a north Italian case study. *Accordia Res. Pap.* Vol **3**, 49-62.

Pellegrini E. (1995). Aspetti della metallurgia nell'Italia continentale tra XVI e XI secolo a.C.: produzione e relazioni interregionali tra area centrale tirrenica e area settentrionale. In: *Settlement and economy in Italy 1500 BC to AD 1500. Papers of the fifth Conference of Italian Archaeology*, Ed. Christie N., JSTOR, Oxford, 511-519.

Pernicka E. (1999). Trace element fingerprinting of ancient copper: A guide to technology or provenance? In: S.M.M. Young, A.M. Pollard, P. Budd, R.A. Ixer (eds.) *Metals in Antiquity*. BAR International Series n. 792. Archaeopress, Oxford, UK. 163-171.

Pernicka E. (2004). Archaeometallurgy: Examples of the application of scientific methods to the provenance of archeological metal objects. In: M. Martini, M. Milazzo, M. Piacentini (eds) *Physics methods in archaeometry*. SIF, Bologna and IOS Press, Oxford, 309-329.

Piccoli G.C. (2002). *Minerali delle Alpi Marittime e Cozie Provincia di Cuneo*. Associazione Amici del Museo "F. Eusebio" Alba, Ed., Alba (Cuneo), 366.

Piccoli G.C., Maletto G., Bosio P., Lombardo B. (2007) *Minerali del Piemonte e della Valle d'Aosta*. Associazione Amici del Museo "F. Eusebio" Alba, Ed., Alba (Cuneo), 607.

Polla A., Angelini I., Artioli G. (2006). Analisi d'immagine per la caratterizzazione strutturale dei materiali vetrosi. In: "Materie prime e scambi nella protostoria Italiana", *Atti della XXXIX Riunione Scientifica dell'Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, Firenze, Italy, 25-27 Novembre 2004*, Vol **III**, 1621-1626.

Porter D.A. e Easterling K.E. (2004). *Phase Transformations in Metals and Alloy*. CRC Press, Tayloe and Francis Group.

Prange M. e Ambert P. (2005). Caractérisation géochimique et isotopique des minerais et des métaux base cuivre de Cabrières (Hérault). In : P.Ambert and J. Vacquer (eds.) *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes (Carcassonne, 2002)*, 71-81.

- Rehder J.E., (2000) *Mastery and Uses of Fire in Antiquity*. McGill-Queen's University Press
- Rehren T. e Pernicka E. (2008) Coins, artefacts and isotopes – Archaeometallurgy and archaeometry. *Archaeometry* **50**, 2, 232–248
- Renfrew C. e Bahn P. (2008) *Archaeology: Theories, methods and practice*. Thames & Hudson, London.
- Robbiola L., Blengino J.M., Fiaud C. (1998). Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu-Sn alloys. *Corrosion Science*, **40**, N° 12, 2083-2111.
- Roberts B. e Ottaway B. The use and significance of socketed axes during the Late Bronze Age. *European Journal of Archaeology*, **6** (2), 119-140.
- Rostan P., Gattiglia A., Rossi M. (1994). Proc. XXXVI Riunione scientifica IIPP, Istituto Italiano di Preistoria e Protoistoria, Courmayeur, 499-512.
- S. Rovira, P. Ambert, Trabajos de Prehistoria, **59**, (2002), pp. 89-105.
- Rychner V. (1993). La composition chimique du bronze à Hauterive-Champréveyères. *Hauterive-Champréveyères, 9: Métal et Parure au Bronze Final*, (ed. A.-M. Rychner-Faraggi). Neuchâtel, Musée Cantonal d'Archéologie, 91-110
- Salzani L. (1989) Gazzo Veronese, necropoli del Turbine. *Quaderni di Archeologia del Veneto*, **V**, Venezia, 167-170.
- Salzani L. (1993) L'abitato e la Necropoli di Sabbionara di Veronella. Prime ricerche. L.G. Ambrosini&C., Cologna Veneta (VR).
- Santi E. e Leonardi 2007: Le palette a cannone nel contesto Europeo. Tesi di Laurea di Santi E. con relatore G. Leonardi, Università degli Studi di Padova, A.A. 2006/2007.
- R. Sàez, F. Nocete, J.M. Nieto, M.A. Capitàn, S. Rovira, *The Canadian Mineralogist*, **41**, (2003), pp. 627-638.
- Scaife B., Budd P., McDonnell J.G., Pollard A.M. (1999). Lead isotope analysis, oxide ingots and the presentation of scientific data in archaeology. In: S.M.M. Young, A.M. Pollard, P. Budd, R.A. Ixer (eds.) *Metals in Antiquity*. *BAR International Series* n. **792**. Archaeopress, Oxford, UK. 122-133.
- Scott D.A. (1991). *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, California.
- Scott D.A. (2002). *Metallography Copper and Bronze in Art*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, California.

Scott D. (2007). Metallographic studies of selected Francavilla bronzes. In: *Ancient and Historical Metals: Technology, Microstructure and Corrosion*, Summer School Book, 13-18 August 2007, UCLA Academic Publishing, Los Angeles, California., 227-236.

Stankiewicz W., Fudal A., Wójciewicz M. (1983). The surface geometrical structure effect in X-ray fluorescence analysis of metallic samples. *X-ray Spectrometry*, **12**, 92-96.

Tylecote R.F. (1976) *A history of metallurgy*. The Metals Society, London

Tylecote R.F. (1985). The apparent tinning of bronze axes and other artifacts. *Journal of Historical Metallurgy*, **19/2**, 169-175.

Tylecote R.F. (1987) *The early history of metallurgy in Europe*, Longman, London.

Tertian R., Claisse F. (1982). Principle of *Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis*. Heyden and Son, London.

Veber C., Mille B., Bourgarit D. (2003). Analyse elementaire des depots Lorrains: essai de caracterisation d'une production metallique de la fin de l'Age du Bronze. In: *Le problème de l'étain à l'origine de la métallurgie. The Problem of Early Tin*. Ed. Giumlia-Mair A. e Lo Schiavo F. BAR international Series 1199, 67-76

Venturino Gambari M., Bartarelli L., Giaretti M., Zamagni B. 1995. La cultura materiale: L'età del Bronzo. In: M. Venturino Gambari (ed.) *Navigatori e contadini. Alba e la valle del Tanaro nella preistoria. Quaderni della Soprintendenza Archeologica del Piemonte. Monografie 4. Famija Albèisa, Alba. Pp. 141-218.*

Venturino Gambari M. (2006). *Archeologia Ieri. Archeologia Oggi*, Alma tipografica, Mondovì, 59-76.

Venturino Gambari M. e Rubat Borel F. (c.d.s.). *Volume monografico sul ripostiglio di Chiusa Pesio*. In preparazione.

Verhoeven J.D. (1975). *Foundamentals of Physical Metallurgy*. John Wiley & Sons.

Verney A. e Bocquet A. (1998). La composition élémentaire d'objets du Bronze Final des Alpes Françaises du Nord: premiers résultats. In: *L'atelier di bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère*. Tome I, Ed. Da Mordant C., Pernot M. e Rychener V., CTHS, Paris, 101-118.

Wadsak M., Costantinides I., Vittiglio G., Adriaenes A., Janssens K., Schreiner M., Adams F.C, Brunella P., Wuttmann M., (2000). Multianalytical study of patina formed on Archaeological metal objects from Bliesbruk-Reinheim. *Mikrochimica Acta*, **133**, 159-164.

Zaghis F. (2005) *Metallic artefacts and slags: atnoarchaeology of bronze and iron production*. PhD tesi, Relatore G. Molin, Università degli studi di Padova.

Bibliografia

U. Zwicker, H. Greiner, K.H. Hofmann, M. Reithinger, in *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*, Occasional paper 48, British Museum, London (1985).