

ESAME DI DUE CHIODI DI RAME  
APPARTENENTI AD UN SARCOFAGO  
LIGNEO ETRUSCO  
RINVENUTO IN UNA TOMBA DI TARQUINIA  
(IV-III SEC. A. CR.)

Numerosi esemplari di chiodi di rame, di provenienza archeologica, sono stati oggetto di studio da parte di vari studiosi di metallurgia antica.

Fra i lavori pubblicati, di particolare interesse sono i risultati riportati dall'Ucelli, relativamente all'esame di alcuni chiodi provenienti dalle navi romane ritrovate nel lago di Nemi (1); alcuni di questi chiodi sono stati anche esaminati da A. Ebeling (2), il quale pone in risalto l'elevata purezza del rame impiegato per la loro fabbricazione.

Sempre di fabbricazione romana sono i chiodi esaminati da A. R. Weill, provenienti da relitti di navi romane affondate e parzialmente recuperate, nei pressi di Marsiglia (3) allo scoglio di Gran Congloué, e nei pressi di Mahdia (Tunisia) (4).

Per portare un ulteriore contributo allo studio di questo particolare ramo della metallurgia antica, abbiamo ritenuto di qualche interesse riferire sui risultati da noi ottenuti dall'esame di due chiodi di rame, etruschi, rinvenuti in una tomba di Tarquinia (IV-III secolo a. Cr.) ed appartenenti molto probabilmente a sarcofaghi lignei.

I due campioni facevano parte di una numerosa raccolta di chiodi, tutti molto simili fra loro, esistente presso il Museo Archeologico di Firenze.

I due campioni ci sono stati gentilmente ceduti, a scopo di studio, dalla « Soprintendenza alle Antichità dell'Etruria » di Firenze.

Gli esami da noi eseguiti avevano lo scopo di determinare la composizione chimica del metallo costituente i due chiodi, le caratteristiche meccaniche del materiale; la tecnologia seguita per la fabbricazione, ed il comportamento agli agenti del sottosuolo, dopo oltre 2000 anni di interrimento.

Come si può osservare dall'esame della fig. 1, i due chiodi esaminati erano molto lunghi e sottili, a sezione grossolanamente ottagonale. Uno dei due campioni era integro e pesava 13 g, l'altro campione era spezzato verso la punta ed aveva un peso di 15 g.



Fig. 1: Chiodi di rame provenienti da un sarcofago ligneo etrusco rinvenuto in una tomba di Tarquinia.

La testa dei due chiodi, quasi circolare, era stata ottenuta per ribattitura su chiodaia probabilmente metallica, chiusa, che ha lasciato, come è evidente, delle tracce stellari sulla superficie inferiore della testa (fig. 2) in corrispondenza di crepe e lesioni, prodottesi nella forma in seguito all'uso prolungato.



Fig. 2: Aspetto della superficie inferiore della testa del chiodo esaminato. Si osservano le tracce stellari lasciate dalla forma su cui è stata ribattuta la testa - Ingr. X 2,5.

#### 1) *Esame analitico*

L'esame analitico è stato eseguito qualitativamente per via spettrografica, mentre l'esame quantitativo, a causa delle limitate disponibilità di materiale, è stato limitato alla determinazione della percentuale del rame e degli elementi presenti, quali impurezze, in percentuale più elevata.

I risultati dell'analisi spettrografica sono stati i seguenti:

elementi fondamentali: Cu  
 elementi presenti in tracce dosabili: As, Fe, Ni, Pb  
 elementi presenti in tracce minime: P, Cr, Ag, Au, Al, Sn, Zn, Si, Sb.

L'analisi quantitativa ha fornito i seguenti valori, che riportiamo confrontati, a scopo di riferimento, con i limiti di composizione attualmente previsti per l'accettazione di semilavorati di rame, ottenuto per affinazione termica del rame proveniente da minerali:

Elementi presenti	Chiodo in esame	Cu 99,5 (UNI 1704-05)
Cu %	99,4	$\geq 99,5$
As %	0,09	$\leq 0,1$
Bi %	—	$\leq 0,02$
Ni %	0,03	$\leq 0,3$
Fe %	0,4	—
Pb %	0,02	—
$\Sigma$	99,58	—

Si osserva che il chiodo è costituito da rame di elevata purezza, quasi del tutto corrispondente alle norme odierne di accettazione; e ciò può destare qualche meraviglia, se si pensa ai metodi a disposizione degli antichi metallurgisti per l'estrazione e l'affinazione dei metalli.

Lo 0,42%, mancante per portare a cento la somma dei risultati dell'analisi è dovuto, oltre agli altri elementi presenti in tracce minime, e perciò difficilmente dosabili, anche ad ossigeno contenuto nel rame come ossidulo, e a scorie. Si fa notare che piccole quantità di ossigeno sono sempre contenute anche in lavorati di rame preparati con metodi moderni.

Nella tab. I sono riportati i valori del presente esame analitico, confrontati con analisi di chiodi di rame romani, esaminati da altri autori.

## 2) Esame strutturale

L'esame microstrutturale dei campioni è stato eseguito su alcune sezioni trasversali e longitudinali, sia della testa che del gambo. La zona intera del gambo presenta una struttura a cristalli

geminati molto minuti, come è illustrato dalla micrografia di fig. 3, rilevata sur una sezione longitudinale del gambo, a 10 mm circa dalla testa. In vicinanza della punta, il chiodo presenta una struttura con cristalli molto più piccoli.



Fig. 3: Microstruttura del chiodo in esame rilevata nell'interno del gambo.  
Attacco:  $\text{FeCl}_3 + \text{HCl}$  - Ingr. X 100.

In superficie, lungo tutta la lunghezza del gambo, i cristalli si presentano molto deformati ed incruditi dalla martellatura (tav. X, 1).

La testa del chiodo presenta una struttura molto deformata e fibrosa. La tav. X, 2 illustra la microstruttura della zona di raccordo della testa con il gambo del chiodo: sono evidentissime le fibre prodottesi durante la forgiatura della testa. L'incrudimento è stato in talune zone tanto spinto (fors'anche a causa della successiva battitura per la messa in opera del chiodo) da produrre delle cricche nell'interno del materiale.

Nella struttura sono presenti alcuni cristalli di  $\text{Cu}_2\text{O}$  globulizzati; questi cristalli di ossidulo di rame sono maggiormente addensati verso la superficie esterna del chiodo.

In alcune zone molto limitate della superficie del gambo si sono riscontrate delle inclusioni di scorie siliciche, molto minute e numerose esternamente, e di dimensioni maggiori verso l'interno

(fig. 4). È probabile che queste inclusioni si trovassero sulla superficie del metallo prima della lavorazione e si siano finemente frantumate e inglobate durante la martellatura.

La corrosione della superficie dei chiodi è del tipo crateriforme, ma molto limitata. Il chiodo ha resistito molto bene agli agenti del sottosuolo, a causa della sua elevata purezza.

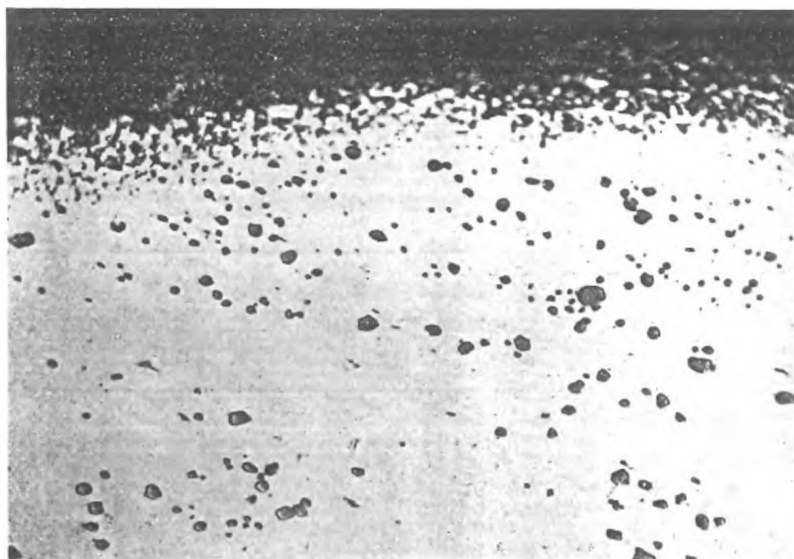


Fig. 4: Inclusioni di scorie presenti in alcune zone della superficie del gambo del chiodo. Senza attacco - Ingr. X 500.

### 3) *Caratteristiche meccaniche*

Le caratteristiche meccaniche sono state determinate ricavando dal gambo di uno dei chiodi una microprovetta di trazione, proporzionale corta (fig. 5).

La provetta è stata preparata per tornitura, e pertanto le caratteristiche meccaniche da noi determinate si riferiscono alla zona centrale del gambo del chiodo, dove la struttura non è deformata.

I valori ottenuti sono stati i seguenti, che riportiamo confrontati con valori determinati da A. Ebeling su chiodi delle navi di Nemi e, anche in questo caso, a scopo di riferimento, con i valori

previsti dalle attuali norme UNI 3310 per i semilavorati di Cu 99,5 allo stato crudo:

		Chiodo etrusco	Chiodo nave di Nemi	Cu 99,5 crudo (UNI 3310)
R	kg/mm <sup>2</sup>	38,3	24,6	≥ 29
So,2	»	34,1	22,1	≥ 26
A <sub>5</sub>	%	14,0	19,7	≥ 4
HB	kg/mm <sup>2</sup>	84	71	≥ 80
HV	»	90	—	—

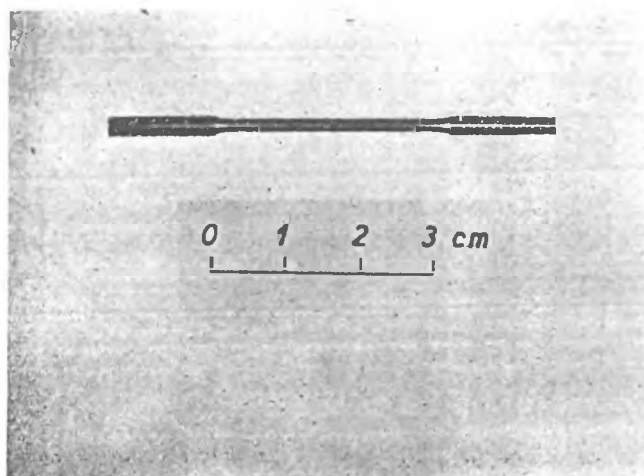


Fig. 5: Microprovetta di tradizione proporzionale corta ricavata dal gambo del chiodo per determinare le caratteristiche meccaniche del materiale.

Come si può osservare, le caratteristiche meccaniche del chiodo sono notevolmente superiori a quelle determinate sul chiodo romano, nonché a quelle minime, previste dalle norme attuali.

Questa notevole differenza è probabilmente dovuta alla microstruttura, costituita come abbiamo veduto, da cristalli molto minuti.

Nel campione etrusco in esame, il carico di rottura e il limite di snervamento sono infatti molto elevati, pur conservando il materiale un allungamento notevole.

Questo fenomeno è probabilmente dovuto al rilassamento delle tensioni interne dovute alle deformazioni reticolari, in seguito al lunghissimo (oltre 2000 anni) periodo di riposo a temperatura ambiente.

L'esame della durezza del materiale è stato eseguito, oltre che secondo il metodo Vickers e Brinell, anche con il microdurometro Tukon, secondo il metodo Knoop, allo scopo di poter agevolmente determinare la durezza nelle varie zone delle sezioni del chiodo. Lo schema di fig. 6 illustra la sezione trasversale della testa del chiodo, con indicati i valori locali della durezza Knoop. Si osserva che la durezza aumenta in funzione della deformazione subita dal materiale e che pertanto la testa, la punta e la superficie esterna del gambo del chiodo presentano una durezza superiore a quella dell'interno del gambo dove è stata ricavata la provetta di trazione.

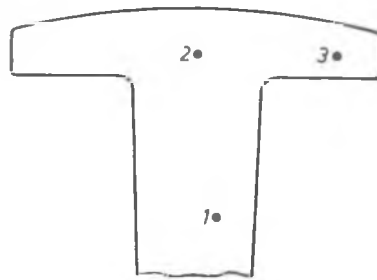


Fig. 6: Microdurezze Knoop e durezza Vickers determinate su una sezione della testa del chiodo esaminato:

- 1)  $HK_{0,1} = 101 \text{ kg/mm}^2$
- 2) " = 124 "
- 3) " = 143 "
- 4) HV = 90 "
- 5) HV = 120 "

#### 4) Conclusioni

I vari esami eseguiti sui due chiodi in nostro possesso hanno permesso di trarre le seguenti conclusioni:

a) il rame impiegato per la fabbricazione dei chiodi è risultato di notevole purezza, segno che gli Etruschi (e successivamente i Romani) erano in possesso di una tecnica di affinazione che forniva i medesimi risultati che possono essere oggi ottenuti per affinazione del rame per via termica. Per ottenere rame di purezza più elevata, è necessario infatti ricorrere a metodi elettrolitici. L'ipotesi talvolta avanzata da alcuni studiosi, che si possa trattare di rame nativo è da escludere, se non altro per la quantità di esemplari recuperati ed analizzati con risultati coerenti, ciò che sta a provare una tecnica diffusa e perfezionata, ed una quantità di materiale elaborato superiore alle modeste possibilità di diretto sfruttamento del rame nativo;

b) per la elevata purezza del rame, i due chiodi esaminati

hanno resistito egregiamente all'azione aggressiva degli agenti del sottosuolo e presentano soltanto una blanda forma di corrosione superficiale;

c) i chiodi erano fabbricati ad uno ad uno, per successive battiture e ricotture; questa lavorazione così prolungata e spinta, portava alla formazione di una struttura del metallo a grani molto fini, ottenendo così le elevate caratteristiche meccaniche riscontrate;

d) l'impiego del rame per la fabbricazione dei chiodi in un periodo in cui il ferro era conosciuto già da molti secoli sembrerebbe dovuto al fatto che la maggior parte dei chiodi era impiegata per l'allestimento di navi. Questa preferenza dipendeva dall'aver osservato che il rame era notevolmente più resistente del ferro alla corrosione. Motivi del tutto analoghi suggerirono probabilmente l'impiego degli stessi chiodi per la chiusura dei feretri.

Tarquini, zona di reperimento dei chiodi in esame, era del resto, come è noto, uno dei principali centri di costruzioni navali dell'antichità etrusco-romana ed aveva infatti fornito ai Romani un notevole contributo per l'impresa oltremarina di Scipione l'Africano (Livio, XXVIII, 45).

TAB. I - *Composizione chimica di alcuni chiodi di rame di provenienza archeologica.*

Elementi	Chiodo etrusco	Nave di Nemi (2)		Chiodo di Mahdia (4)	Chiodo di Grand Conglouè (3)
		chiodo grande	chiodo piccolo		
Cu %	99,4	99,68	99,64	98,5	98,5 99
As %	0,09	0,015	0,012	—	—
Ni %	0,03	0,087	tr.	—	0,10
Ag %	tr.	0,018	tr.	tr.	—
Fe %	0,04	0,260	0,30	0,5	0,2
Sb %	—	—	—	—	0,01
Pb %	0,02	tr.	—	—	tr.
Au %	tr.	tr.	—	—	tr.
P %	tr.	tr.	—	—	—
Cr %	tr.	tr.	—	—	—
Al %	—	tr.	—	—	—
Mg %	—	—	—	tr.	—



BIBLIOGRAFIA

1. C. UCELLI, *Le Navi di Nemi*, Libreria dello Stato, Roma, (1940) cfr. pag. 265.
2. A. EBELING, *Über die Reinheit von Metallen vor 2000 Jahren*, «Z. Metallkunde», 26, pagg. 116-118 (1934).
3. R. WEILL, *Analyse de pièces métalliques en cuivre et en plomb provenant de l'épave romaine dite du Grand Congloué*, «Rev. Métallurgie», 51, pagg. 459-466 (luglio 1954).
4. L. GRAMME, A. R. WEILL, *Examen de clous provenant d'épaves sous-marines de l'époque gréco-romaine*, «Rev. Métallurgie», 49, pagg. 524-530 (luglio 1952).

C. PANSERI - M. LEONI

