

LE LEGHE BRONZEE GRECHE ED IL PROGETTO CUPRUM: ARCHIVIO, GESTIONE ED ELABORAZIONE COMPUTERIZZATA DEI DATI ANALITICI

1. *Le indagini analitiche della produzione bronzea greca: disamina critica delle ricerche*

Il primo studio dei bronzi riferibili alla civiltà artistica greca che fosse caratterizzato da un approccio analitico è rappresentato dalla pubblicazione del Von Bibra¹ in cui sono stati presentati, tra gli altri, i risultati analitici di undici oggetti greci.² La metodica analitica adottata era quella per via umida. Il Von Bibra può essere considerato il pioniere nel campo delle analisi chimico-fisiche effettuate sui bronzi greci, anche se altri studiosi, prima di lui, si erano dedicati a ricerche nel campo dell'archeologia greca.³ Emblematica degli scopi che si proponeva lo studioso è una dichiarazione programmatica tratta dal suo lavoro: «*Der Hauptzweck meiner hier vorliegenden arbeit ist der, einiges beizutragen zur Lösung der frage über die zusammensetzung der antiken Kupferlegierungen, so wie über deren abstammung, und in dieser richtung hin wird es nicht schädlich sein, neben den ziemlich divergenten ansichten der alterhumforscher auch die der chemiker zu hören*».⁴

La decodificazione del programma di lavoro del Von Bibra porta a sottolineare, da un lato, il diffuso dissenso nell'ambiente archeologico nei confronti di questo tipo di studi. E' probabile che tale dissenso fosse da attribuire al fatto che l'analisi per via umida è un metodo distruttivo.⁵ Dall'altro lato, si evince che uno dei principali obiettivi da perseguire era costituito dalla definizione della provenienza dei materiali metallici.

Questa finalità sarà sempre presente, dalla fine del XIX secolo in poi, nella gran parte degli studi di archeometallurgia.⁶

Due saranno, soprattutto, le linee di approccio principali che verranno seguite per cercare di risolvere il problema della provenienza dei bronzi: la prima tenta una correlazione tra minerale e metallo, l'altra segue, invece, la classificazione di dati analitici su base statistica.

Secondo la **teoria delle tracce**, il legame tra il manufatto metallico ed il deposito geologico sarebbe esplicitato dall'analisi chimica di elementi in tracce (impurità) che, secondo un presunto assioma, starebbero in rapporti ben precisi con quelle presenti nei minerali di partenza. In realtà, vanno manifestate diverse perplessità nei riguardi di questo approccio metodologico: non sempre le concentrazioni delle impurità presenti nei bronzi sono in stretto rapporto con la composizione del minerale d'origine, ma possono variare in funzione del processo di estrazione del metallo dal minerale.

Il secondo filone di ricerca, che si svilupperà al fine di individuare la provenienza dei metalli, limiterà le analisi chimico-fisiche ai manufatti; i dati analitici saranno poi sottoposti ad elaborazioni statistiche.⁷ Il trattamento statistico dei dati analitici si basa sulle due teorie, la prima delle quali presuppone che, se un grande numero di oggetti rinvenuti in un'area geografica circoscritta ha una composizione caratteristica, essi rappresentano probabilmente un gruppo locale, connesso ad un vicino giacimento minerario.

La seconda teoria, verso la quale sembrano lecite ampie riserve, si basa sul fatto che, se un gruppo di manufatti ha la stessa composizione di un altro gruppo di manufatti corrispondente ad una determinata area geografica, il primo costituisce un prodotto di importazione da quell'area geografica.⁸ Gli ostacoli che si pongono, perché questo tipo di classificazione di bronzi possa considerarsi rappresentativa e metodologicamente corretta, sono molteplici: il reimpiego degli oggetti bronzei, l'eventuale similarità compositiva di minerali di zone differenti, l'eterogeneità della composizione della lega ed, infine, la mancata valutazione degli errori casuali e sistematici, in cui si può incorrere in una serie di analisi, che può costituire un errore di metodo statistico. Il problema dell'individuazione dei giacimenti e della provenienza dei manufatti bronzei era, ai tempi del Von Bibra, ed è tutt'oggi un problema ancora aperto.

All'inizio del nostro secolo, il Kluge, in un'opera dedicata alla tecnologia della statuaria antica, ha collazionato i dati analitici di quaranta statue antiche, di cui la maggior parte è riferibile alla produzione greca.⁹ E' questo il primo tentativo di correlare i risultati analitici con la tecnologia dei bronzi. Di fatto, il tentativo del Kluge deve considerarsi fallito in quanto i dati analitici rimangono totalmente staccati dalle valutazioni di tipo tecnologico. E' evidente che il Kluge non aveva la formazione ed un livello di conoscenza tali da operare analisi critiche.

La dicotomia tra aspetto chimico-fisico da un lato e l'aspetto archeologico e storico-artistico dall'altro rimarrà, purtroppo, fino ai giorni nostri una caratteristica peculiare delle pubblicazioni nel settore. Il contrasto fra le due "culture" esiste ed è da attribuirsi all'assenza di nuovi specialisti che compendino, nella loro formazione culturale, i due diversi ambiti.

Nel decennio successivo a quello che ha visto la pubblicazione del Kluge, il Davies pubblica una serie di analisi su materiale bronzeo di età geometrica, rinvenuto so-

prattutto nell'*Heraion* di Argo.¹⁰ Il Davies, pur non escludendo¹¹ che anche in età geometrica potesse avvenire il reimpiego di scarti di oggetti bronzei — secondo quanto narra Plinio per l'epoca romana¹² — reimpiego che falserebbe ogni tipo di classificazione basata sull'analisi delle tracce, tenta una suddivisione in gruppi degli oggetti analizzati, identificando ciascun gruppo con una determinata area di provenienza del minerale di partenza.

Il Bearzi,¹³ con le sue analisi per via umida su statue greche, etrusche e romane, è il primo ad attuare la grande diversificazione tra bronzi greci e romani in base al contenuto di piombo.

La percentuale di piombo sarà, subito dopo, ancora una volta utilizzata come argomentazione per stabilire una precisa sequenzialità cronologica:¹⁴ più precisamente, contenuti di piombo piuttosto bassi sarebbero indice di un orizzonte greco, mentre elevati tenori di piombo attesterebbero un orizzonte tipicamente romano. Sebbene questa deduzione è da considerarsi assolutizzante e criticabile,¹⁵ tuttavia i tentativi del Bearzi e del Caley devono essere considerati i primi lavori, nel campo dell'archeometallurgia greco-romana, in cui dai meri dati analitici si ricavano delle considerazioni di carattere storico. Le più recenti analisi hanno parzialmente confutato le asserzioni del Bearzi e del Caley, tuttavia non si può negare loro di aver evidenziato un *trend* compositivo spesso riscontrato.

In un lavoro del 1968, Haynes¹⁶ è stato il primo studioso ad affermare, per i bronzi greci del V secolo a.C., l'uso della tecnica a cera persa con metodo indiretto. Contestuali alle valutazioni tecnologiche sono i risultati analitici, pubblicati nello stesso lavoro, relativi alla testa Chatswort (V secolo a.C.) ed alla testa di un giovane libico (IV secolo a.C.), conservate al British Museum di Londra. Esula da questo mio lavoro un'approfondita valutazione sulle tecniche di fabbricazione, già studiate peraltro in molti e recenti studi;¹⁷ il fine che si propone questo mio studio è, invece, quello di puntualizzare lo stato delle ricerche nel settore dell'analisi quantitativa sulle leghe bronzee greche. Per tale motivo, si rende opportuno, in questo luogo, accennare solo brevemente alle motivazioni che hanno portato l'Haynes, il Roncalli ed il Formigli a sostenere l'utilizzo della tecnica a cera persa secondo il metodo indiretto.¹⁸

Haynes avrebbe dimostrato, per la realizzazione della testa Cathswort, l'applicazione di calchi negativi ausiliari mediante tracce sulla cera dell'uso di strumenti di rifinitura, riprodotte poi in positivo sulla parete interna dei bronzi.¹⁹ Senza voler inficiare le affermazioni dello studioso inglese, non è tuttavia da escludere, a mio avviso, che i segni di lavorazione visibili sulla superficie interna del bronzo potrebbero essere non solo il risultato in positivo dei ritocchi apportati sui fazzoletti di cera apposti sui calchi ausiliari (metodo indiretto), ma anche, il risultato in positivo delle operazioni di modellazione e

rifinitura dell'anima interna di argilla refrattaria (metodo diretto).²⁰

Contestabile è anche l'affermazione²¹ secondo cui l'adozione del metodo indiretto consente l'esecuzione in più parti fuse separatamente e riunite in un secondo tempo mediante saldatura: la fusione in parti separate poteva essere realizzata anche con il metodo diretto. Fra le altre motivazioni addotte per giustificare l'uso del metodo indiretto vi è il problema dei forti sottosquadri: l'utilizzo della tecnica indiretta avrebbe permesso di colare separatamente e saldare sul metallo parti, come le dita medie dei piedi dei Bronzi di Riace, che comportavano complicati sottosquadri.²² Pur essendo giuste tali osservazioni, si deve tuttavia considerare che la fusione separata di alcune parti era realizzabile anche con il metodo diretto. Non si vuole in questa sede inficiare la tesi degli assertori del metodo indiretto, in quanto le loro motivazioni sono tutte valide, tuttavia, le stesse motivazioni possono essere plausibili anche per il metodo diretto. Sembra rendersi necessario, a questo punto, un approfondimento tecnologico che sia applicato, soprattutto, ad un campione più ampio e che sia verificato caso per caso, evitando, quindi, deduzioni non convalidate ogni volta scientificamente. Non è da nascondere, infatti, che, a proposito dei Bronzi di Riace, più di una volta si è affermato che non era stato possibile osservare larghe parti di superficie interna, per mancanza di grosse fratture e fori e che, per l'asserzione del metodo indiretto, ci si era avvalsi degli "indizi" cui ho fatto cenno sopra.²³ Contestabile è, inoltre, il dubbio sorto che la tecnica diretta sia mai stata applicata ai grandi bronzi:²⁴ non è da dimenticare, infatti, che, molti secoli dopo, il Cellini costruì la statua di Perseo secondo il metodo diretto da lui stesso descritto.²⁵

Riprendendo l'*excursus* storico di carattere informativo sulle ricerche nel campo delle indagini chimico-fisiche condotte sui bronzi greci, è da ricordare, a questo punto, la pubblicazione del Leoni in cui si riportano i risultati analitici di alcuni importanti esemplari della statuaria greca.²⁶

Di grande rigore scientifico e correttezza metodologica sono i lavori di Craddock²⁷ che ha analizzato, mediante spettrofotometria di assorbimento atomico, centinaia di oggetti greci conservati al British Museum di Londra. Considerevole, rispetto alle ricerche precedenti, è anche il cospicuo numero di elementi che lo studioso ha analizzato (dodici elementi di contro ai tre elementi — Cu, Sn, Pb — generalmente ricercati). Un campione così ampio di dati analitici, che copre un arco cronologico che va dal periodo protogeometrico a quello ellenistico, ha consentito di realizzare delle analisi di frequenze per ciò che concerne i contenuti degli elementi chimici nelle diverse categorie di oggetti, permettendo, quindi, deduzioni compositive di notevole interesse. Il grande merito del lavoro di Craddock è senz'altro quello di aver notevolmente ampliato il *corpus* di dati analitici su bronzi greci a no-

stra disposizione consentendo così la possibilità di istituire confronti e costituire un campione staticamente significativo ai fini di un'elaborazione statistica.

Nonostante questi indubbi meriti, il lavoro di Craddock non supera la mera rappresentazione tabellare dei dati analitici, tralasciando importanti considerazioni, utili per il lettore-utente che cerchi di decodificare i risultati chimici, quali la zona precisa dove è stato operato il prelievo, valutazioni tecnologiche su ogni singolo oggetto in seguito ad un'attenta osservazione sia autoptica che microscopica, osservazioni metallografiche condotte, quando possibile, su diverse parti di ogni singolo oggetto...²⁸ Non è irrilevante ricordare, infine, che il lavoro dell'*équipe* di Craddock costituisce il punto di partenza per i ricercatori che utilizzano, per l'analisi quantitativa delle leghe bronzee antiche, la spettrofotometria di assorbimento atomico, metodica finalizzata all'analisi dei bronzi antichi proprio dal laboratorio di ricerche del British Museum.²⁹

Una lacuna riscontrabile negli studi sulla composizione e tecnologia dei bronzi classici in genere è costituita dall'assenza di sperimentazione nei laboratori. La sperimentazione è, in realtà, un'abitudine invalsa tra gli studiosi inglesi che si occupano di metallurgia estrattiva; lo è meno nel campo degli studi sui bronzi classici.

L'unico esempio è rappresentato da un lavoro di Varoufakis che ha cercato di ripetere in laboratorio i trattamenti termo-meccanici subiti dal cratere di Derveni, fino ad ottenere la stessa struttura osservata al microscopio metallografico. Si è reso così possibile arrivare alla definizione della tecnica di fabbricazione ed della temperatura di ricottura cui il cratere era stato sottoposto durante la fase di martellatura successiva alla fusione.³⁰

Il Riederer ha pubblicato, l'anno successivo a quello di edizione del lavoro di Varoufakis, un testo a carattere manualistico sulle indagini effettuabili generalmente sui bronzi antichi e, nell'ambito di questa pubblicazione, sono riportati i risultati analitici riguardanti alcuni bronzi di Olimpia.³¹

Nel panorama delle più recenti pubblicazioni riportanti dati di analisi condotte su bronzi greci, spiccano quelle del gruppo di ricerca di Rolley³² che, partendo dall'osservazione dei risultati analitici, arriva a conclusioni storiche molto interessanti. È questo uno dei migliori esempi dei modi di leggere i risultati analitici, andando oltre il puro dato chimico.

Dagli studi dell'*équipe* di Rolley, gli oggetti di età geometrica — soprattutto tripodi — posteriori alla metà dell'VIII secolo a.C. sono risultati avere una composizione che li avvicina a quella degli oggetti orientali. È noto che i bronzisti orientali impiegavano, per la fabbricazione dei bronzi, percentuali di stagno notevolmente alte, mentre in Grecia, fino alla metà dell'VIII secolo a.C., le percentuali di stagno risultano essere nulle o troppo basse per essere attribuibili ad un utilizzo intenzionale di questo

metallo: quando esso è presente sarebbe da attribuirsi esclusivamente al reimpiego di bronzi micenei che ne contengono. Dalle analisi del Rolley è risultato che, dopo il 750 a.C., gli artigiani greci riutilizzano lo stagno anche se in minori quantità. Anche la tecnologia del bronzo, oltre che la composizione della lega e le considerazioni di tipo più strettamente stilistico, attesterebbe i rapporti molto stretti che intercorrono, in questo momento storico, tra la Grecia e l'Oriente: infatti, sia l'appropriazione di certe tecniche metallurgiche — come l'introduzione della laminazione da martellatura nei tripodi geometrici —, sia il particolare dosaggio della lega fanno supporre contatti con l'Oriente che vanno ben oltre la semplice imitazione di forme e motivi iconografici e decorativi. Queste similarità tecnologiche e di composizione della lega, evidenziate da Rolley, forniscono delle nuove argomentazioni all'ipotesi, già formulata da Boardmann,³³ dell'immigrazione in Grecia di bronzisti orientali che, rimasti in contatto con la madrepatria, riuscivano così ad importare in Grecia lo stagno, non disponibile in questa zona.³⁴

Le analisi pubblicate successivamente dallo stesso gruppo di ricerca³⁵ hanno confermato ciò che si deduceva dalle precedenti analisi, presentando tuttavia un quadro più differenziato e meno compatto della metallurgia in Grecia nel secolo VIII a.C. Alla luce di questi studi archeometallurgici, il periodo compreso tra la fine dell'età micenea e gli inizi dell'VIII secolo a.C., definito finora *Dark Age*,³⁶ appare, in realtà, sempre più chiaro.

Il prototipo, a livello di impostazione metodologica, di pubblicazione a carattere archeometallurgico, cui dovrebbero ispirarsi i prossimi lavori nel settore, è costituito, a mio avviso, da un articolo sul restauro dell'Efebo di Selinunte.³⁷ I dati analitici della statua erano già stati pubblicati dal Leoni³⁸ ed al restauro dell'Efebo era stata poi dedicata una mostra nel 1979,³⁹ i cui risultati vengono approfonditi dalla Carruba ed accompagnati da altre analisi, mediante fluorescenza a raggi X (XRF) e cromatografia. La sezione analitica è correlata, a livello interpretativo, con i dati dell'osservazione metallografica e va a completare la sezione dedicata all'individuazione dei prodotti di corrosione. Dall'osservazione attenta dell'Efebo, è risultata la presenza di tasselli, di fasce di giuntura e di rifacimenti. La lega è risultata, in realtà, essere molto fragile: la spiegazione è stata rinvenuta nella struttura del bronzo caratterizzata da dendriti — che presentano, al loro interno, cristalli di rame quasi puro — e da numerose inclusioni. Questa particolare struttura è da ascrivere, secondo l'autrice, all'utilizzo di lingotti di bronzo insieme a lingotti di rame puro; inoltre, la ricca presenza di rame non disciolto, osservato nella struttura dendritica di fase α , dimostrerebbe che il processo di fusione non sarebbe durato a lungo, fino a consentire una liquefazione completa del materiale usato. La scarsa fluidità della lega, non permettendo la fuoriuscita degli ossidi, avreb-

be reso così la statua particolarmente fragile. E' da supporre che i rifacimenti ed i restauri siano avvenuti già in antico e, con molta probabilità, nella stessa officina in cui la statua era stata fabbricata, come attesta la similarità compositiva della lega dei rifacimenti con quella delle parti originali.

Opera di indubbio valore scientifico è la pubblicazione monografica sui Bronzi di Riace,⁴⁰ in due volumi, il primo dei quali narra degli interventi di restauro, riporta i dati delle analisi effettuate sulle leghe e ricostruisce la tecnica di fabbricazione delle statue.⁴¹ Nelle ipotesi di interpretazione, raccolte nel secondo volume, nessuno degli studiosi — ad eccezione di Di Vita — utilizza i dati analitici, sebbene ciascuno di essi li avesse avuti a disposizione, secondo quanto affermano gli stessi autori.

La "lunga tradizione della critica d'arte e la ancora giovane esperienza delle analisi tecnologiche" si contrappongono ancora, anziché integrarsi armonicamente,⁴² sebbene, almeno nelle intenzioni, l'opera avesse dovuto essere il risultato di una ricerca interdisciplinare.

Comunque, i risultati delle analisi consentono importanti considerazioni: le statue sono risultate essere prodotte di due fusioni diverse, la maniglia dello scudo, recuperata in un momento successivo rispetto alle statue, è risultata prodotta a sé; le mani, l'avambraccio destro, la metà inferiore dell'avambraccio sinistro della statua B sono stati fusi in maniera del tutto diversa dal corpo e sono risultati, quindi, di restauro antico; la diversa composizione delle lega usata per le differenti parti della statua indicherebbe la maestria tecnica dei fonditori che sembrerebbero più esperti nella realizzazione della statua A.

Mi sembra opportuno, a questo punto, mostrare il mio dissenso nei confronti del metodo di determinazione dello stagno per differenza, adottato nell'analisi della lega dei Bronzi di Riace. Che la spettrofotometria di assorbimento atomico, adottata per l'analisi degli altri elementi del bronzo delle due statue, sia, per la determinazione dello stagno, un metodo impreciso, poiché consente che tutti gli errori accumulati nelle diverse analisi si riversino su questo elemento, è un'affermazione⁴³ suscettibile di critiche. La pur limitata esperienza di chi scrive nel campo dell'analisi mediante spettrofotometria di assorbimento atomico induce a ritenere infondata tale asserzione, senza dimenticare che la riproducibilità dei risultati relativi allo stagno può sempre essere verificata, sottoponendo allo stesso metodo di analisi dei bronzi archeologici un campione di bronzo standard industriale.⁴⁴

L'infondatezza del metodo di ricerca dello stagno per differenza potrebbe aver anche falsato i dati relativi a tale elemento, cosicché i punti di fusione della lega indicati potrebbero — in base al diagramma di stato Cu-Sn — essere riveduti.

Ai reperti bronzei rinvenuti in mare a Porticello di Villa S. Giovanni sono dedicate alcune pubblicazioni⁴⁵ con il

resoconto sull'analisi della lega mediante XRF. L'articolo di Fiorentino *et al.*, apparso in "BdA", vorrebbe costituire la conclusione dell'articolo di Paribeni⁴⁶ collocato nelle pagine immediatamente precedenti nello stesso numero della rivista. In realtà, ancora una volta, i due tipi di approccio, quello chimico-fisico da una parte e quello storico-artistico dall'altra, non producono risultati utili, rimanendo completamente staccati fra loro.

Le più recenti pubblicazioni, di cui una sulle analisi dell'Efebo di Salamina conservato a Berlino⁴⁷ e l'altra su otto oggetti greci di diversa datazione⁴⁸, hanno il merito di ampliare ulteriormente il campione di dati analitici sui bronzi greci, rendendolo così ancor più significativo ai fini di una successiva elaborazione statistica.

Il merito comune a tutte le ricerche prese finora in esame sussiste nel loro metodo di approccio archeometrico: tale metodo aiuta, infatti, l'archeologia ad assumere obiettività ed un sempre più grande carattere scientifico. Accostarsi all'archeometria diventa, quindi, anche un'operazione concettuale.⁴⁹ Tuttavia, «*le laboratoire [...] peut et doit apporter bien plus à l'archéologie que ces bilans d'analyse secs et indéchiffrables pour le vulgaire donnée en appendice aux articles qui se veulent dans le vent. Il faut seulement que le dialogue s'établisse, que les questions soient débattues en commun, que chacun sorte de son ghetto et enrichisse le partenaire de ses connaissances au lieu de l'écraser de sa science*».⁵⁰

2. Il progetto CUPRUM

La notevole quantità di risultati, derivanti dalle analisi sui bronzi di età classica, ci ha indotto a progettare una banca-dati (PROGETTO CUPRUM) che permettesse di archiviare, mediante l'utilizzazione di un personal computer, l'enorme messe di dati analitici a nostra disposizione, per poterli poi recuperare con grande rapidità.

Il progetto CUPRUM si inquadra nell'ambito delle ricerche sull'archeometallurgia cui si dedica ormai da qualche anno un'équipe dell'Istituto di Archeologia di Bologna.⁵¹

I processi volti a normalizzare i dati archeologici sono stati spesso, ma a torto, associati alla *New Archaeology*⁵² americana.

Sebbene questo movimento faccia largamente uso del trattamento statistico dei dati e del computer, trova tuttavia la propria originalità nell'impiego di un particolare metodo di ricerca: il metodo ipotetico deduttivo.⁵³ In realtà, i metodi computerizzati di trattamento di dati hanno visto la luce un po' dovunque e spesso in contesti di ricerche tradizionali.⁵⁴

La scelta di un sistema di gestione computerizzata dei dati analitici pubblicati di bronzi greci, magnogreci, etruschi e romani è stata dettata, oltre che dalla possibilità di effettuare in tempi notevolmente ridotti l'archiviazio-

ne e la ricerca retrospettiva delle informazioni, anche dalla potenzialità di sfruttare alcune tecniche di carattere combinatorio.

Le banche-dati sono la concretizzazione della ricerca documentaria e sono suddivise in due grandi tipi: quelle di tipo documentario (le vere e proprie banche-dati), che consentono l'archiviazione ed il reperimento veloce delle informazioni e quelle che permettono di accedere ai dati secondo criteri selettivi (base di dati), con l'analisi e l'interpretazione dei dati stessi.⁵⁵

Questi due aspetti non necessariamente si escludono a vicenda, ma possono anche coesistere: tale coesistenza è alla base del progetto di banca-dati CUPRUM per l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione dei dati analitici dei bronzi classici. Allo stadio attuale della fase di archiviazione, risultano immessi in memoria tutti i dati analitici finora disponibili riguardo alle leghe bronzee greche.

CUPRUM: gli obiettivi

Il progetto CUPRUM è finalizzato alla catalogazione ed al recupero dei dati analitici delle leghe bronzee classiche consentendo di svolgere operazioni normalmente molto lunghe in tempi brevi, con lo scopo finale di trarre, dalla elaborazione dei dati, deduzioni interpretative a carattere storico-economico e, più specificamente, tecnologico.

CUPRUM: la struttura logica del sistema

La strutturazione dei dati di CUPRUM rientra nei sistemi di tipo gestionale (*Database Management Systems*), che vanno distinti da quelli di tipo documentario.⁵⁶ Questi ultimi consentono di recuperare i dati con la stessa semplice struttura logica con cui sono stati archiviati, quali, cioè, documenti, senza operare nessun tipo di correlazione. Le opzioni previste da questo tipo di sistema sono quelle proprie della documentazione automatica: modifica, cancellazione, aggiornamento dati.

Il progetto CUPRUM, invece, utilizzando un software come il *D Base III Plus*, si configura, nella sua struttura logica, come un sistema di gestione dei dati che consente di catalogare i dati secondo certi parametri prefissati che saranno poi quelli che consentiranno il recupero di essi contestualmente ad una loro analisi e interpretazione.

Attualmente, il settore informatico vede due principali tipi di *Database Management Systems*: quello di tipo gerarchico e quello di tipo relazionale,⁵⁷ qual'è appunto CUPRUM.

La struttura gerarchica appare quella finora più diffusa e prevede una configurazione a cascata dei dati, con diramazioni successive. Il limite di questo tipo di sistema consiste nel fatto che le interrogazioni retrospettive devono seguire un *iter* forzato — ascendente o discendente — secondo la struttura gerarchica impressa.

L'organizzazione dei dati di tipo relazionale consente, invece, di allacciare correlazioni incrociate fra le diverse variabili della struttura (dette attributi), secondo tecniche di tipo combinatorio. La scelta di questo tipo di sistema per la realizzazione di CUPRUM risponde alla volontà di andare oltre la pura e semplice gestione documentaria dei dati, nell'intento di elaborarli in differenziati settori tematici individuati secondo diversi parametri (attributi).

CUPRUM: gli attributi

Gli attributi costituiscono, per ogni aspetto, l'insieme di parametri che lo caratterizzano. Ogni attributo (o campo) è stato caratterizzato ancor prima della creazione della struttura (Fig. 1); si è quindi definito il suo carattere (numerico o alfanumerico), le sue dimensioni (numero di bytes), il suo collegamento con un *thesaurus*, cioè con un elenco di termini richiamabile dal calcolatore che ha lo scopo di facilitare la memorizzazione ed il successivo recupero dei dati.

	Nome campo	Tipo	Dim	Dec
1	CODICE	Numerico	4	0
2	CID	Numerico	4	0
3	PROD	Carattere	12	
4	CATEG	Carattere	16	
5	SOTCAT	Carattere	16	
6	OGGETTO	Carattere	30	
7	SOGGETTO	Carattere	15	
8	FABR	Carattere	22	
	Nome campo	Tipo	Dim	Dec
9	CRONGE	Carattere	15	
10	CROSPE	Carattere	17	
11	CITTA	Carattere	15	
12	MUSEO	Carattere	16	
13	TECNO	Carattere	68	
14	NINV	Carattere	17	
15	PROVEN	Carattere	35	
16	NUCAMP	Carattere	4	

Fig. 1.

Gli attributi considerati per ciascun oggetto sono: AMBITO, CATEGORIA, SOTTOCATEGORIA, SOGGETTO, PRODUZIONE, CRONOLOGIA GENERICA, CRONOLOGIA SPECIFICA, PROVENIENZA, LUOGO DI CONSERVAZIONE (CITTA, MUSEO), METODO DI ANALISI, ESECUTORE, NUMERO CAMPIONE, ZONA DI PRELIEVO, TECNOLOGIA, % Cu, Sn, Pb, Fe, Zn, Ag, Ni, As, Bi, Co, Ca, Mg, Mn, Sb, Cd, Mo, Au, Al, Si, Na (GLI ELEMENTI CHIMICI CERCATI), OSSERVAZIONE METALLOGRAFICA (ZONA ESAMINATA, DESCRIZIONE STRUTTURA).

L'insieme di tali attributi costituisce la scheda analitica utilizzata per memorizzare i dati. Di quasi tutte le voci, man mano che vengono archiviati i dati, vengono aggiornati gli indici esistenti (per es., l'indice per produzione, per tecnologia...) che consentiranno le correlazioni e le elaborazioni statistiche.

E' da specificare che per CRONOLOGIA GENERICA si intende il periodo (geometrico, classico...), per CRONOLOGIA SPECIFICA, invece, l'arco temporale i cui estremi sono rappresentati dall'anno. Per ciò che concerne i *thesauri*, cioè i vocabolari a terminologia controllata, quest'anno sono stati realizzati solo per alcune voci della scheda analitica, ma ne è prevista la realizzazione anche per gli altri attributi.

CUPRUM: la gestione dell'archivio

Tutte le applicazioni del *package* CUPRUM sono gestite da un sistema a menu con il dettagliato elenco delle sue *performance* e, ad ogni scelta, corrisponde la puntuale attivazione di una *routine* che si incarica di eseguire l'azione desiderata. Il menu principale di CUPRUM (Fig. 2) si articola in sette opzioni e precisamente: 1. INSERIMENTO DATI; 2. MODIFICA DATI; 3. VISUALIZZAZIONI; 4. STAMPE; 5. AGGIORNAMENTO BIBLIOGRAFIA; 6. GRAFICI; 7. RITORNO AL MENU GENERALE.

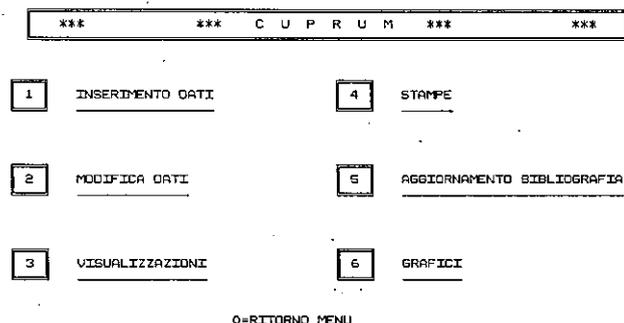


Fig. 2.

Attivando la prima opzione, l'utente sceglie la funzione INSERIMENTO.

La richiesta "Per parte di oggetto esistente, digitare il numero di codice" (Fig. 3) serve per creare un indice utile poi per le elaborazioni statistiche.

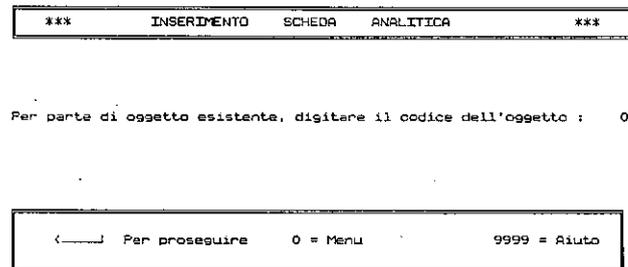
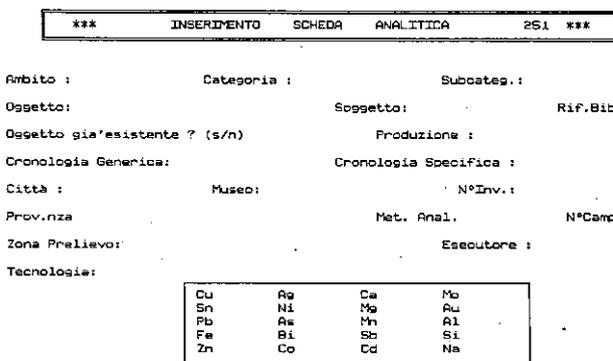


Fig. 3.

Prima dell'archiviazione, l'utente può richiedere, mediante il codice 9999 (Aiuto) l'elenco degli oggetti già archiviati, per evitare inutili duplicazioni di memorizzazione. L'elenco degli oggetti richiesto viene attuato mediante parametri ben precisi (AMBITO, CATEGORIA, SOTTOCATEGORIA) che consentono un'elecazione selettiva degli oggetti archiviati evitando così inutili visualizzazioni. Nell'elenco, ogni oggetto è contraddistinto dal numero di codice, soggetto, città e museo di conservazione, numero d'inventario, riferimento bibliografico. La funzione AIUTO è utile anche per sapere qual'è il numero di codice già archiviato.

La fase di inserimento è guidata gradualmente dal programma (Fig. 4).



OSSERVAZIONE METALLOGRAFICA : a) Zona Esaminata :
b) Descrizione Struttura :

Fig. 4.

Di notevole importanza è il campo di RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO (RIF. BIB.): nel caso un oggetto abbia la stessa bibliografia di un altro già archiviato, basta digitare il codice di quest'ultimo perché la stessa scheda bibliografica venga ricopiata nel record dell'area di lavoro "bibliografia", relativo all'oggetto di cui si sta operando l'archiviazione. Si evitano, così, superflue perdite di tempo durante la fase di inserimento. Anche la richiesta "oggetto già esistente (s/n)?" ha, come fine, quello di creare dati da utilizzare poi per le elaborazioni statistiche.

Anche la fase di MODIFICA è indirizzata dal sistema e facilitata, per il recupero del codice dell'oggetto, mediante la funzione AIUTO.

Questa funzione attiva una serie di richieste da parte del sistema (ambito, categoria, sottocategoria) con il supporto di vocabolarietti a terminologia controllata, volti a facilitare il compito di recupero del codice (Fig. 5). La risposta alle richieste secondo i parametri indicati dà origine alla visualizzazione di alcuni attributi degli oggetti selezionati.

MODIFICA
SCHEDA
ANALITICA

Dammi il codice dell'oggetto (0 = Aiuto 0000 = Ritorno Menu) :

DAMMI L'AMBITO :

DAMMI LA CATEGORIA :

A) PANI
 B) STATUARIA
 C) STATUETTE
 D) ORNAMENTUM
 E) INSTRUMENTUM
 F) ARMI
 G) VARIE

DAMMI LA SOTTOCATEGORIA :

A) TRIPODI	L) SGORBIE
B) VASELLARE	M) CUNEI
C) CANCELABARI	N) SEBIE
D) SPECCHI	O) LIME-RASPE
E) SINFULA	P) COLTELLI
F) RASOI	Q) MARTELLI
G) MORSI EQUINI	R) FALCI
H) PINZE	S) FALCETTI
I) SCALPELLI	T) RONCOLE
L) SGORBIE	U) ASCE

236 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	3504	BOLLETTINO D'ARTE 1984
oiede				
237 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	3504	BOLLETTINO D'ARTE 1984
vasca				
238 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	2998	ROLLEY 1977, n. 434a
ansa				
239 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	2998	ROLLEY 1977
vasca				
240 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	8974	ROLLEY 1977
oiede				
241 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	9024	ROLLEY 1977
oiede				
242 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	2577	ROLLEY 1977
Piede				
243 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	3014	ROLLEY 1977
Base ansa				
244 TRIPODE 1A CAT.	Delfi	Mus.Archeologico	1962	

Fig. 5.

Anche in questa fase, l'indicazione del codice dell'oggetto, di cui si richiede la visualizzazione della scheda analitica e della scheda bibliografica, è facilitata dalla funzione AUTO. La scheda bibliografica è concepita secondo il sistema anglosassone, con riferimento autore-anno e l'esplicitazione in chiaro della chiave di riferimento bibliografico.

SCHEDA ANALITICA 345

Ambito : GRECO Categoria : instrumentum Subcateg.: tripodi

Ogg.: TRIPODE-ANSA Cron.Geni: GEOMETRICO

Cron.Spec: 825-800 a.C. Conservato o/o: Iraklio Museo: Mus.Archeologico

N.Inv. 1693 Prov.nza: Creta Camp. 126

Zona Prelievo: ansa Metodo Analisi: AAS

Esecutore: Filippakis

Produzione: Creta

Cu 93.10%	Ag 00.01%	Ca 0	%	Mo	%
Sn 1.000%	Ni 0.020%	Mg	%	Au	%
Pb 0.200%	As 0.240%	Pt	%	Al	%
Fe 0.237%	Bi	%	Sb 0.104%	Si	%
Zn 0.000%	Co 0.008%	Cd	%	Na	%

Tecnologia: Fusione a cera persa senza nucleo int.
OSSERVAZIONE METALLOGRAFICA

a) Zona Esaminata :
b) Descrizione Struttura :
Vuoi vedere la scheda bibliografica ? (s/n)

SCHEDA BIBLIOGRAFICA
344

MAGOU, PHILIPPAKIS, ROLLEY, 1986
E. MAGOU, S. PHILIPPAKIS, C. ROLLEY, Tripédes géométriques de bronze, in "BCH", 1986, I, pp. 121-136

C - PER CONTINUARE / M - RITORNO MENU

Fig. 7.

Le interrogazioni (visualizzazioni)

Il piano di utilizzazione della banca-dati prevede una serie di richieste, elaborate già in fase di progettazione del programma (Fig. 6).

*** CUPRUM: MENU VISUALIZZAZIONI ***

1	SCHEDA ANALITICA
2	SCHEDA BIBLIOGRAFICA
3	ANALISI DELLE FREQUENZE
4	ELABORAZIONI STATISTICHE
5	CORRELAZIONI
6	ELENCO OGGETTI
7	RITORNO MENU

Quale Opzione scegli ? 0

Fig. 6.

Le prime due richieste (visualizzazione scheda analitica e scheda bibliografica) rientrano nell'ambito di richieste di tipo documentario: esse, cioè, permangono allo stadio di semplice recupero delle informazioni archiviate (Fig. 7). Le videate sono state contenute in un'unica schermata al fine di garantirne l'immediata leggibilità.

Il rimanente tipo di richieste (v. Fig. 6: analisi delle frequenze, elaborazioni statistiche, correlazioni, elenco oggetti) vuole rispondere all'esigenza di un'attenta analisi dei dati, nell'intento di superare lo stadio puramente documentario di gestione e recupero delle informazioni.

L'analisi dei dati raggruppa un insieme di categorie metodologiche che hanno, alla base, lo scopo di descrivere, strutturare o spiegare delle entità (gli oggetti) caratterizzate da numerose variabili (attributi).⁵⁸ Negli anni compresi fra il 1960 ed il 1975, l'approccio statistico dà una nuova impronta alle varie discipline di ricerca. Negli Stati Uniti sorge la scuola di *scaling* (analisi delle prossimità) con i lavori di Shepard; in Inghilterra si riscopre l'Analisi dei componenti principali di Pearson e ne viene generalizzata l'applicazione (*Principal Coordinates Analysis*). In Francia si sviluppa la scuola dell'*Analyse des données* che, limitata, all'inizio, a dei metodi di trattamento dei dati di tipo essenzialmente descrittivo, si sviluppa poi progressivamente facendo propri i metodi di classificazione automatica e quelli della statistica descrittiva. Nei riguardi dell'archeologia, questo tipo di approccio ha avuto il grande merito di influenzare fortemente il modo di porsi dei problemi e di risolverli.

Nel *package* CUPRUM, le opzioni che attivano la fase di analisi dei dati si articolano in una serie di menu a cascata.

L'ANALISI DELLE FREQUENZE — aspetto ricorrente in tutte le statistiche elementari — costituisce il primo gradino per avere risultati esatti a livello quantitativo ed è finalizzata ad individuare il numero di volte in cui un particolare aspetto ricorre nell'ambito del collettivo statistico preso in esame.⁵⁹ E' logico che l'esigenza di un'analisi delle frequenze con l'utilizzo del computer è dettata solo quando, come nel caso di CUPRUM, il collettivo statistico è costituito da entità molto numerose.

Il menu ANALISI DELLE FREQUENZE è costituito da due sottomenu (Fig. 8).

*** ANALISI DELLE FREQUENZE ***	
1	LISTA FREQUENZE DEGLI OGGETTI
2	LISTA FREQUENZE DEGLI ELEMENTI
0	RITORNO MENU

Fig. 8.

Il primo menu (LISTA FREQUENZE DEGLI OGGETTI) prevede la visualizzazione dell'intero insieme di entità (oggetti) archiviate, secondo diverse variabili (Fig. 9).

*** NUMERO TOTALE OGGETTI PER VARIABILI ***	
A	Totale Oggetti (Ambito/Categoria)
B	Totale Oggetti (Ambito/Cronologia Generica /Categoria)
C	Totale Oggetti (Ambito/Cronologia Specifica/Categoria)
D	Totale Oggetti (Ambito/Cronologia Generica/Sottocategoria)
E	Totale Oggetti (Ambito/Cronologia Specifica/Sottocategoria)
F	Totale Oggetti (Metodo di Analisi/Ambito/Categoria)
G	Totale Oggetti (Metodo di Analisi/Ambito/Sottocategoria)
X	Ritorno Menu

Fig. 9.

Le figg. 10-11 mostrano la risposta del sistema alla scelta dell'opzione A e dell'opzione F della schermata della Fig. 9.

Il secondo menu (LISTA FREQUENZA DEGLI ELEMENTI) consente la visualizzazione della frequenza con la quale l'elemento chimico selezionato appare in un insieme di oggetti caratterizzati dalle variabili selezionate.

*** TOT. OGG. AMBITO/CATEGORIA/METODO ANALISI ***				
AMBITO	CATEGORIA	METODO ANALISI-T.OGG.	%	
GRECO	armi	AAS	10	2,48
GRECO	instrumentum		1	,25
GRECO	instrumentum	AAS	93	23,08
GRECO	ornamentum	AAS	92	22,83
GRECO	ornamentum	via umida	5	1,24
GRECO	statuaria		1	,25
GRECO	statuaria	AAS	2	,50
GRECO	statuaria	XRF	6	1,49

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

*** TOT. OGG. AMBITO/CATEGORIA/METODO ANALISI ***				
AMBITO	CATEGORIA	METODO ANALISI-T.OGG.	%	
GRECO	statuaria	via umida	3	,74
GRECO	statuette	AAS	71	17,62
GRECO	statuette	AAS	1	,25
GRECO	tripodi	AAS	1	,25
GRECO	varie	AAS	1	,25
GRECO	varie	via umida	3	,74

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 10.

*** TOT. OGG. AMBITO/CATEGORIA/CRON. GENER. ***				
AMBITO	CATEGORIA	CRONOL. GENERICA-T.OGG.	% SU AMB.	
GRECO	armi	GEOMETRICO	6	1,49
GRECO	armi	ORIENTALIZZANTE	3	,74
GRECO	armi	ORIENTALIZZANTI	1	,25
GRECO	instrumentum	ELLENISMO	1	,25
GRECO	instrumentum	GEOMETRICO	76	18,86
GRECO	instrumentum	MICENEO	3	,74
GRECO	instrumentum	ORIENTALIZZANTE	13	3,23
GRECO	instrumentum	ORIENTALIZZANTI	1	,25

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

*** TOT. OGG. AMBITO/CATEGORIA/CRON. GENER. ***				
AMBITO	CATEGORIA	CRONOL. GENERICA-T.OGG.	% SU AMB.	
GRECO	ornamentum	GEOMETRICO	94	23,33
GRECO	ornamentum	PROTOGEOMETRICO	3	,74
GRECO	statuaria	ARCAICO	1	,25
GRECO	statuaria	CLASSICO	11	2,73
GRECO	statuette	GEOMETRICO	72	17,87
GRECO	tripodi	GEOMETRICO	1	,25
GRECO	varie	GEOMETRICO	4	,99

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 11.

In Fig. 12 è mostrata la serie di passaggi che scorrono sul monitor, alla selezione dell'opzione N.

*** ELEMENTI PRESENTI/ASSENTI PER VARIABILI ***

N	Oggetti[El.n.p.](Elemento/Ambito/Cronologia Generica/Categoria)
O	Oggetti[El.n.p.](Elemento/Ambito/Cronologia Generica/Sottocategoria)
P	Oggetti[El.n.p.](Elemento/Ambito/Cronologia Specifica/Categoria)
Q	Oggetti[El.n.p.](Elemento/Ambito/Cronologia Specifica/Sottocategoria)
X	Ritorno Menu

*** ELEMENTI PRESENTI/ASSENTI PER VARIABILI ***

Cu	%	Ag	%	Ca	%	Mo	%
Sn	%	Ni	%	Mg	%	Au	%
Pb	%	As	%	Mn	%	Al	%
Fe	%	Bi	%	Sb	%	Si	%
Zn	%	Co	%	Cd	%	Na	%

anni il simbolo dell' elemento :

codice au	prod	crong	categ	oggetto
95	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum PENDAGLIO
96	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum PENDAGLIO
97	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum ARMILLA
98	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum PENDAGLIO
99	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum COLLANA
100	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum FIBULA
101	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum PENDAGLIO
102	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum PENDAGLIO
103	0.000	GRECO	GEOMETRICO	ornamentum FIBULA

Fig. 12.

L'opzione ELABORAZIONI STATISTICHE SUI DATI QUANTITATIVI (v. Fig. 2) prevede tre sottomenu (Fig. 13).

*** ELABORAZIONI STATISTICHE SUI DATI QUANTITATIVI ***

1	LISTA DATI QUANTITATIVI E MEDIE
2	OGGETTI DIVISI PER RANGE PERCENTUALI DEGLI ELEMENTI
3	CORRELAZIONI FRA GLI ELEMENTI CHIMICI
X	RITORNO MENU

Fig. 13.

Il primo menu, dopo aver selezionato l'elemento (Fig. 14), la categoria, la sottocategoria e la cronologia generica, consente la visualizzazione della lista degli oggetti con l'esplicitazione del tenore dell'elemento richiesto, contenuto in ciascuno di essi e l'indicazione del limite minimo, quella del limite massimo e la medie della quantità di quell'elemento, specificatamente all'elenco visualizza- to (Figg. 15-16).

*** LISTA PERCENTUALI, LIMITI MIN.- MAX. e MEDIE PERCENTUALI ***

DAMMI L'ELEMENTO

Cu	Ag	Ca	Mo
Sn	Ni	Mg	Au
Pb	As	Mn	Al
Fe	Bi	Sb	Si
Zn	Co	Cd	Na

Fig. 14.

Elem.:Pb	Ambito:GRECO	Categoria:ornamentum			
Sottocategoria: pendagli	Cronologia Generica:	GEOMETRICO			
COO.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA	SPEC.
76	PENDAGLIO		17.20		
77	PENDAGLIO	UCCELLO	0.880		
81	PENDAGLIO	BROCCA	16.60		
85	PENDAGLIO	SCIMMIA	21.90		
97	PENDAGLIO		4.350		
90	PENDAGLIO		0.200		
95	PENDAGLIO	BROCCA MINZIAT.	3.600		

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Elem.:Pb	Ambito:GRECO	Categoria:ornamentum			
Sottocategoria: pendagli	Cronologia Generica:	GEOMETRICO			
COO.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA	SPEC.
96	PENDAGLIO	BROCCA MINZIAT.	2.300		
98	PENDAGLIO	BROCCA	1.200		
101	PENDAGLIO	CRATERE	0.400		
102	PENDAGLIO	CRATERE	0.300		
105	PENDAGLIO		0.200		
108	PENDAGLIO	UCCELLO	0.350		
113	PENDAGLIO	SCIMMIA	0.550		

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 15.

Elem.:Pb	Ambito:GRECO	Categoria:ornamentum			
Sottocategoria: fibule	Cronologia Generica:	GEOMETRICO			
COO.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA	SPEC.
115	PENDAGLIO	PALLA	0.850		
116	PENDAGLIO		3.450		
117	PENDAGLIO		0.800		
118	PENDAGLIO	SCIMMIA	0.700		
122	PENDAGLIO		0.400		
134	PENDAGLIO		0.720		
135	PENDAGLIO	BROCCA	0.950		

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Elem.:Pb	Ambito:GRECO	Categoria:ornamentum						
Sottocategoria: fibule	Cronologia Generica:	GEOMETRICO						
COO.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA	SPEC.			
140	PENDAGLIO		0.140					
145	PENDAGLIO	SCIMMIA	1.200					
150	PENDAGLIO		0.500					
155	PENDAGLIO		1.600					
156	PENDAGLIO		0.300					
157	PENDAGLIO		0.650					
Limite % Minimo			0.140	Limite % Massimo		21.900	Media %	3.048

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 16.

La selezione della seconda opzione del menu ELABORAZIONI STATISTICHE consente di avere la visualizzazione di oggetti dell'ambito, categoria, sottocategoria e cronologia generica richiesti che presentino percentuali dell'elemento che l'utente sceglie rientranti nel range compositivo selezionato. Il sistema darà alla fine l'indicazione del totale degli oggetti caratterizzati dalle stesse variabili (cioè, che abbiano lo stesso ambito, la stessa categoria e sottocategoria e la stessa cronologia generica). La Fig. 17 indica le varie schermate di questa procedura.

*** OGGETTI DIVISI PER RANGE PERCENTUALI DEGLI ELEMENTI ***

A	Percentuali Cu	G	Percentuali Ag
B	Percentuali Sn	H	Percentuali Co
C	Percentuali Pb	I	Percentuali As
D	Percentuali Fe	L	Percentuali Sb
E	Percentuali Zn	M	Percentuali Bi
F	Percentuali Ni	O	Ritorno Menu

*** OGGETTI DIVISI PER RANGE PERCENTUALI DELL'ELEMENTO Sn ***

A	Valore 0%	I	Range 7% - 8%	S	Range 15% - 16%
B	Range 0% - 1%	L	Range 8% - 9%	T	Range 16% - 17%
C	Range 1% - 2%	M	Range 9% - 10%	U	Range 17% - 18%
D	Range 2% - 3%	N	Range 10% - 11%	V	Range 18% - 19%
E	Range 3% - 4%	O	Range 11% - 12%	Z	Range 19% - 20%
F	Range 4% - 5%	P	Range 12% - 13%	W	Range 20% - 21%
G	Range 5% - 6%	Q	Range 13% - 14%	K	Seconda Videata
H	Range 6% - 7%	R	Range 14% - 15%	X	Ritorno Menu

Fig. 17.

Elem.:Sn Range 0/1 Ambito: GRECO Categoria: instrumentum
Sottocategoria: tripodi Cronologia Generica: GEOMETRICO

COD.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA SPEC.
254	TRIPODE 2A CAT. -PIEDE		0.600	820-750 ca. a.C.
260	TRIPODE 3A CAT. -ANSA FR.		0.670	750-700 a.C.
282	TRIPODE 2A CAT. -ANSA FR.		0.500	825-750 ca. a.C.
313	TRIPODE 3A CAT. -PLACCA ATTACCO		0.350	750-700 a.C.
315	TRIPODE 3A CAT. -PLACCA ATTACCO		0.490	750-700 a.C.
329	TRIPODE-VASCA		0.690	900-850 a.C.
330	TRIPODE-PIEDE		0.600	900-850 a.C.

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Elem.:Sn Range 0/1 Ambito: GRECO Categoria: instrumentum
Sottocategoria: tripodi Cronologia Generica: GEOMETRICO

COD.	OGGETTO	SOGGETTO	%	CRONOLOGIA SPEC.
333	TRIPODE-PIEDE		0.620	825-800 a.C.
334	TRIPODE-VASCA		0.940	825-800 a.C.
343	TRIPODE-PIEDE		0.710	825-800 a.C.
345	TRIPODE-ANSA		1.000	825-800 a.C.
348	TRIPODE-ANSA		0.650	800-750 a.C.
415	TRIPODE FR.		0.420	
N° Tot.Oggetti rientranti in questo range: 13 % Sul tot.oggetti: 13.684				

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 18.

Selezionato, per esempio, l'elemento stagno ed il range 0%-1%, viene visualizzata la lista di fig. 18.

L'opzione n. 3 del menu ELABORAZIONI STASTICHE prevede la scelta fra i vari sottomenu disposti ad albero (Fig. 19).

*** CORRELAZIONI FRA GLI ELEMENTI CHIMICI ***

1	CORRELAZIONE As - Sb
2	CORRELAZIONE Pb - Zn
3	CORRELAZIONE As - Co - Bi
4	CORRELAZIONE As - Sb - Co - Bi - Ni - Ag
5	CORRELAZIONE TECNOLOGIA - %Sn,%Pb
6	CORRELAZIONI FRA LE PERCENTUALI DEGLI ELEMENTI
7	RITORNO MENU

Quale Opzione scegli ? 0

Fig. 19.

La selezione dell'opzione n. 4 (RAPPORTO As, Sb, Co, Bi, Fe, Ni, Ag), con la debita indicazione delle variabili richieste, è utile per un'analisi statistica degli elementi in traccia (Fig. 20).

RAPPORTO As - Sb - Co - Bi - Fe - Ni - Ag

AMBITO :GRECO	CATEGORIA :instrumentum	SOTTOCAT.:tripodi
CRONOLOGIA GENERICA :MICENEO		
318	TRIPODE-PIEDE	
piede	% As 0.425	% Sb 0.013
% Bi	% Fe 0.040	% Ni 0.040
319	TRIPODE-VASCA	
vasca	% As 0.081	% Sb 0.004
% Bi	% Fe 0.116	% Ni 0.035
320	TRIPODE-PIEDE	
piede	% As 0.400	% Sb 0.008
% Bi	% Fe 0.000	% Ni 0.040
321	TRIPODE-VASCA	
vasca	% As 0.380	% Sb 0.010
% Bi	% Fe 0.177	% Ni 0.049

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

RAPPORTO As - Sb - Co - Bi - Fe - Ni - Ag

AMBITO :GRECO	CATEGORIA :instrumentum	SOTTOCAT.:tripodi
CRONOLOGIA GENERICA :MICENEO		
322	TRIPODE STABIS-PIEDE	
piede	% As 0.348	% Sb 0.019
% Bi	% Fe 0.000	% Ni 0.020
	% Ag 0.014	% Co 0.017

LIMITE % MINIMO	LIMITE % MASSIMO	VALORE MEDIO
As 0.081	As 0.425	As 0.327
Sb 0.004	Sb 0.019	Sb 0.011
Co 0.014	Co 0.040	Co 0.025
Bi 0.000	Bi 0.000	Bi 0.000
Fe 0.000	Fe 0.177	Fe 0.067
Ni 0.030	Ni 0.049	Ni 0.039
Ag 0.006	Ag 0.014	Ag 0.012

RITORNO MENU

Fig. 20.

L'opzione n. 5 consente di istituire, su base statistica, interessanti correlazioni tra la tecnica di fabbricazione ed i tenori di stagno e di piombo (Fig. 21).

Anche l'opzione n. 2 del menu CORRELAZIONI prevede la funzione AIUTO, con l'elencazione degli oggetti aventi le variabili richieste (Fig. 27).

304 SUPPORTO A TRAFORO Delfi	Mus.Archeologico 10130
supporto	ROLLEY 1977, p.40, n.324
305 SUPPORTO A TRAFORO Delfi	Mus.Archeologico 10132
supporto	ROLLEY 1977, p.40, n.324
306 SUPPORTO A TRAFORO Delfi	Mus.Archeologico 9471
supporto	ROLLEY 1977, p.40, n.324
307 TRIPODE A BAGUETTE Delfi	Mus.Archeologico
	WILLEMSEN 1957, tav. 44
308 TRIPODE A BAGUETTE Delfi	Mus.Archeologico
	CRADDOCK 1976
313 TRIPODE 3A CAT.-PL delfi	Mus.Archeologico 9062
parte alta placca	ROLLEY 1977, p.40, n.324
314 TRIPODE 3A CAT.-PL Delfi	Mus.Archeologico 9062
parte bassa placca	ROLLEY 1977, p.40, n.324
315 TRIPODE 3A CAT.-PL Delfi	Mus.Archeologico 9060
parte alta placca	ROLLEY 1977, p.40, n.324
316 TRIPODE 3A CAT.-PL Delfi	Mus.Archeologico 9060
parte bassa placca	ROLLEY 1977, p.40, n.324
317 TRIPODE 3A CAT.-OR Delfi	Mus.Archeologico 1947
orlo	ROLLEY 1977, p.40, n.324
318 TRIPODE-PIEDE Athina	Mus.Nazionale 6330a
piede	MAGOU, PHILIPPAKIS, ROLLEY, 1986

F = fine Altro tasto per proseguire

Fig. 27.

Una volta scelto l'oggetto, di cui si vuole una visione d'insieme per ciò che concerne la composizione delle variabili pari di cui consta, l'utente digita il primo codice relativo ad esso ed appare la schermata di Fig. 28.

*** COMPOSIZIONE LEGA PARTI VARIE DI UNO STESSO OGGETTO ***

CODICE : 236 N.INV. : 3504 OGGETTO : TRIPODE 1A CAT.
 SOGGETTO : ZONA PRELIEVO : piede

Cu	89.30%	Ag	0.030%	Ca	%	Mo	%
Sn	--	Ni	0.020%	Mg	%	Au	%
Pb	0.72	As	%	Mn	%	Al	%
Fe	0.081%	Bi	%	Sb	%	Si	%
Zn	0.030%	Co	0.070%	Cd	%	Na	%

F = fine Altro tasto per continuare

*** COMPOSIZIONE LEGA PARTI VARIE DI UNO STESSO OGGETTO ***

CODICE : 237 N.INV. : 3504 OGGETTO : TRIPODE 1A CAT.
 SOGGETTO : ZONA PRELIEVO : vasca

Cu	88.40%	Ag	0.010%	Ca	%	Mo	%
Sn	--	Ni	0.020%	Mg	%	Au	%
Pb	0.78	As	%	Mn	%	Al	%
Fe	0.180%	Bi	%	Sb	%	Si	%
Zn	0.020%	Co	0.030%	Cd	%	Na	%

F = fine Altro tasto per continuare

Fig. 28.

Il programma CUPRUM consente anche di istituire delle correlazioni fra il luogo di produzione di oggetti metallici e la natura della lega di cui essi sono composti (Fig. 29).

R A P P O R T O C O M P O S I Z I O N E - P R O D U Z I O N E

AMBITO : GRECO	CATEGORIA : instrumentum	SOTTOCAT. : tripodi
CRONOLOGIA GENERICA : GEOMETRICO		

269 TRIPODE 4A CAT.-PIEDE FR. 750-700 a.c.
 PRODUZIONE : attica

Cu	88.36%	Ag	0.060%	Ca	%	Mo	%
Sn	5.560%	Ni	0.050%	Mg	%	Au	%
Pb	0.110%	As	0.140%	Mn	%	Al	%
Fe	0.200%	Bi	%	Sb	0.020%	Si	%
Zn	0.130%	Co	0.030%	Cd	%	Na	%

C per continuare M = Ritorno Menu

R A P P O R T O C O M P O S I Z I O N E - P R O D U Z I O N E

AMBITO : GRECO	CATEGORIA : instrumentum	SOTTOCAT. : tripodi
CRONOLOGIA GENERICA : GEOMETRICO		

270 TRIPODE 4A CAT.-ANSA FR. 750-700 a.c.
 PRODUZIONE : attica

Cu	90.29%	Ag	0.070%	Ca	%	Mo	%
Sn	3.590%	Ni	0.04	Mg	%	Au	%
Pb	0.130%	As	0.780%	Mn	%	Al	%
Fe	0.550%	Bi	%	Sb	0.150%	Si	%
Zn	0.020%	Co	0.020%	Cd	%	Na	%

C per continuare M = Ritorno Menu

Fig. 29.

Infine, il menu visualizzazioni prevede la selezione dell'opzione ELENCO OGGETTI (Fig. 30),

*** E L E N C O O G G E T T I ***

- 1 ELENCO OGGETTI PER PROVENIENZA
- 2 ELENCO OGGETTI PER PRODUZIONE
- 3 ELENCO OGGETTI PER CRONOLOGIA
- X RITORNO MENU

Fig. 30.

secondo diverse variabili (PROVENIENZA, PRODUZIONE, CRONOLOGIA). Ogni singola opzione attiva l'elenco relativo con la specifica della variabile richiesta. PER PROVENIENZA (Fig. 31):

AMBITO : GRECO CATEGORIA : statuarie SOTTOCAT. :
 PROVENIENZA : Particello di Villa S.Giovanni (RC)

359 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
370 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
371 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
372 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
374 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
375 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
376 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
377 STATUA-TESTA CLASSICO	FILOSOFO	400-323 a.c.
378 STATUA-PENE CLASSICO	ATELTA	400-323 a.c.

Premere un tasto qualsiasi per continuare...

Fig. 31.

PER PRODUZIONE (Fig. 32):

AMBITO : GRECO	CATEGORIA : statuarie	SOTTOCAT. :
CRONOLOGIA GENERICA : ARCAICO	PRODUZIONE :	attica
391 STATUA	APOLLO-KOUROS	
550-525 a.c.		
392 STATUA	APOLLO-KOUROS	
550-525 a.c.		

Fig. 32

PER CRONOLOGIA (Fig. 33):

Ambito : GRECO		Categoria : ornamentum	
Sottocategoria : Fibule		Cronologia Generica : PROTOGEOMETRICO	
CODICE	OGGETTO	SOGGETTO	CRONOLOGIA SPEC.
1	FIBULA		
2	FIBULA		
3	FIBULA		

Fig. 33

Come si può evincere dalla presentazione del programma CUPRUM, il sistema di gestione utilizzato permette di operare, tramite l'interrogazione dei dati inseriti nel computer, una serie di ricerche. Tali ricerche offrono la possibilità sia di recuperare le informazioni indipendentemente le une dalle altre, sia di raggrupparle in base ad una serie di criteri diversi, che contribuiscono ad affinare una ricerca di tipo tematico. Lo scopo perseguito da CUPRUM è quello di superare il livello puramente documentario e di ottenere nuove informazioni, che servono a verificare l'esistenza o meno di raggruppamenti all'interno delle leghe dei bronzi di età classica. Al di là di tali considerazioni, rimane, comunque, alla base del progetto CUPRUM, l'intento di voler creare un modello di dati utilizzabili ai fini della documentazione archeologica, per ciò che concerne soprattutto i problemi di tipo compositivo e tecnologico dei bronzi classici.⁶⁰

ORNAMENTUM IN "CUPRUM"

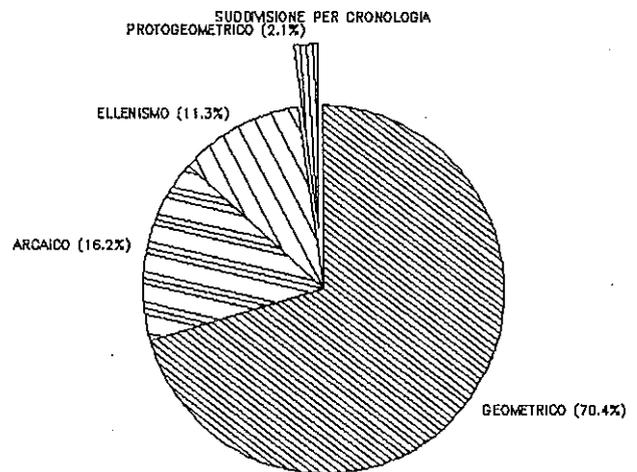


Fig. 35.

ORNAMENTUM IN "CUPRUM"

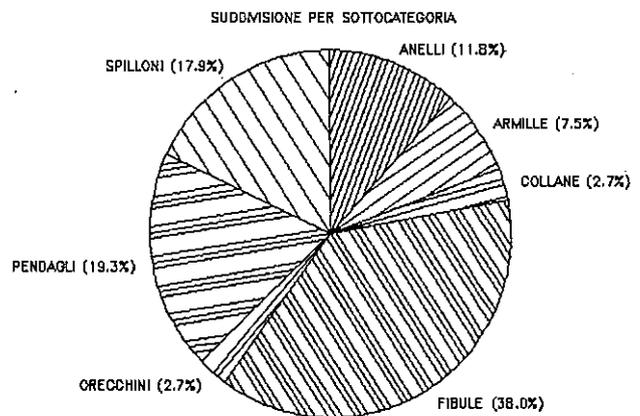


Fig. 36.

CATEGORIE BRONZI ARCHIVIATI IN "CUPRUM"

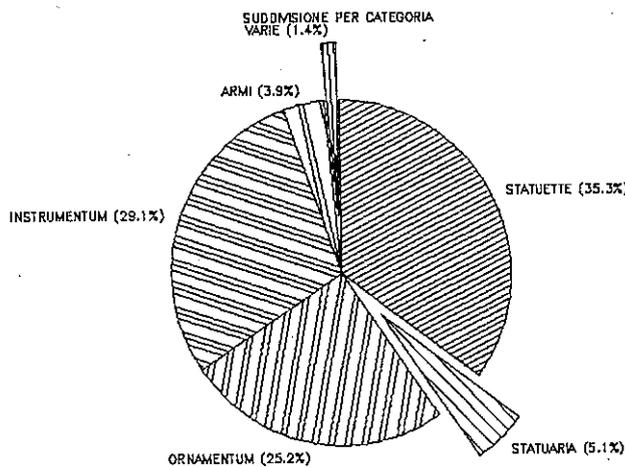


Fig. 34.

INSTRUMENTUM IN "CUPRUM"

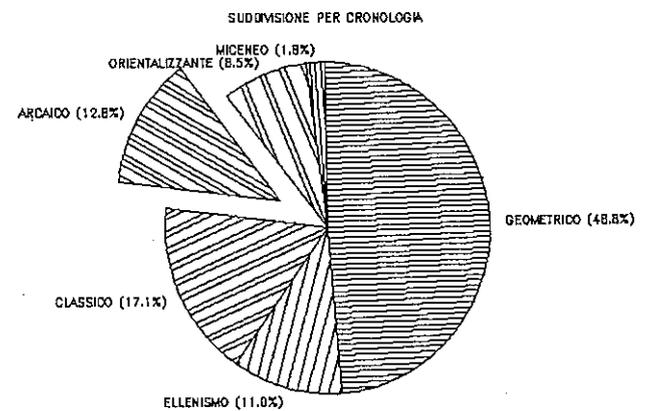


Fig. 37.

instrumentum in "cuprum"

suddivisione per sottocategoria

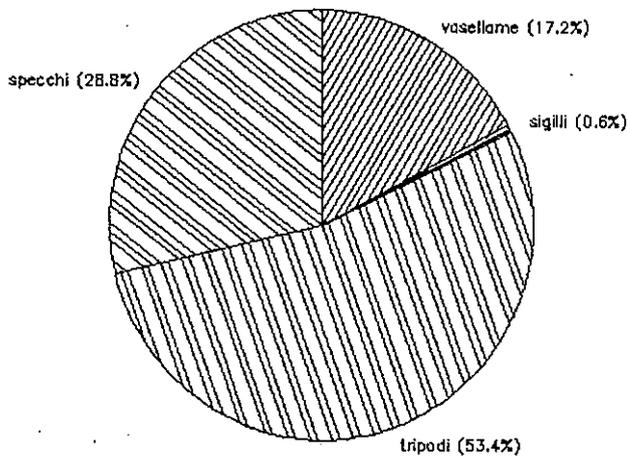


Fig. 38.

STATUETTE IN "CUPRUM"

SUDDIVISIONE PER CRONOLOGIA

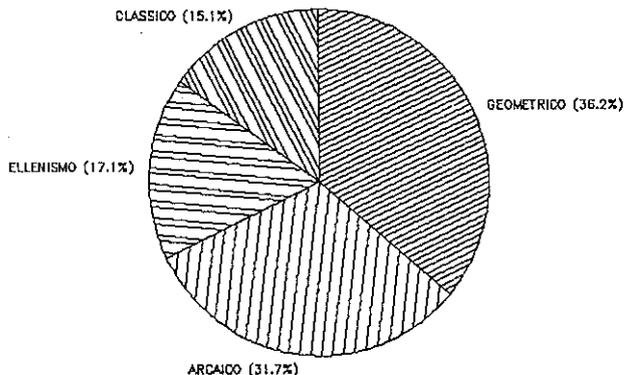


Fig. 41.

ARMI IN "CUPRUM"

SUDDIVISIONE PER CRONOLOGIA

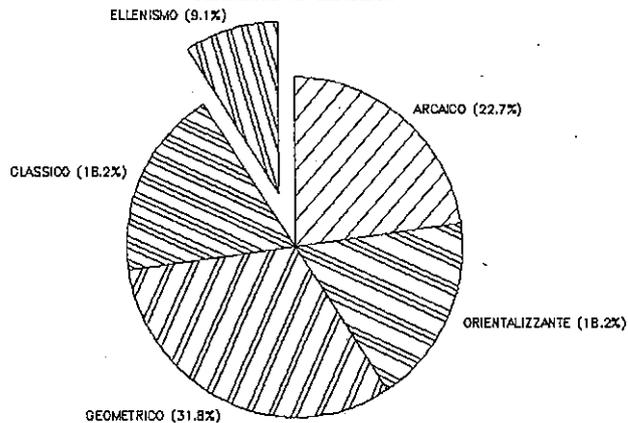


Fig. 39.

ARMI IN "CUPRUM"

SUDDIVISIONE PER SOTTOCATEGORIA

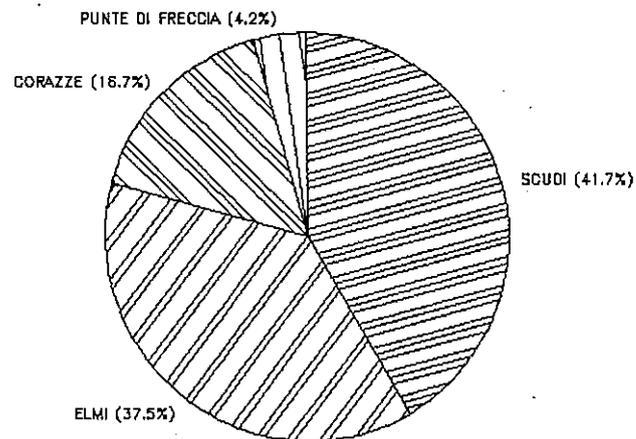


Fig. 40.

STATUARIA IN "CUPRUM"

SUDDIVISIONE PER CRONOLOGIA

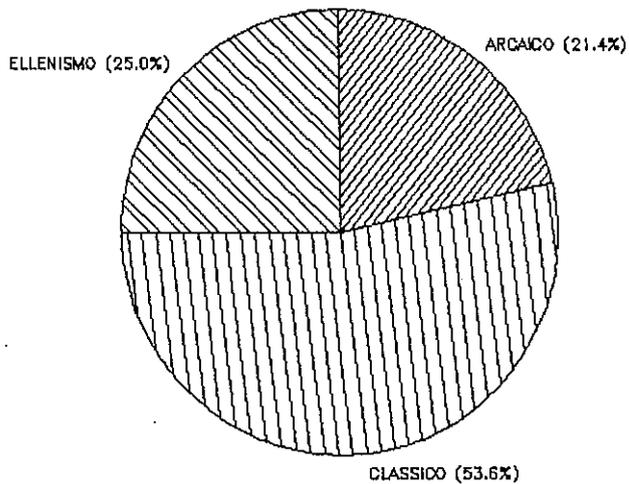


Fig. 42.

Allo stato attuale di CUPRUM, il numero maggiore di bronzi greci sottoposti ad analisi chimico-fisiche è relativo all'età geometrica, con la forte presenza dei dati dei tripodi di Delfi ed Olimpia. E' da sottolineare, inoltre, l'assenza, nella banca-dati CUPRUM, di dati relativi ad analisi su *ornamentum* di età classica. Un grande numero di analisi è stato effettuato sulle statuette di produzione greca ascrivibili all'età geometrica, arcaica, classica ed ellenistica. Tale abbondanza di dati è probabilmente da attribuirsi sia alla semplicità che si riscontra nel campionare tali oggetti, sia al fatto che la categoria delle statuette costituisce il nucleo più consistente degli oggetti bronzei esposti al British Museum, oggetti che rappresentano, finora, il campione più significativo di bronzi greci sottoposti ad analisi chimico-fisiche.⁶¹ Quasi nulla è la presenza di dati relativi a prodotti bronzei di area magno-greca: ci auguriamo che le prossime ricerche colmino tale lacuna ed amplino sempre più il campione statistico da utilizzare per trarre significative deduzioni di carattere non solo prettamente tecnologico, ma che abbiano anche precise connotazioni storico-economiche, affinché esse caratterizzino in maniera sempre più diversificata il mondo greco antico.

3. Le analisi conclusive dei dati ed il supporto della grafica

L'archiviazione completa di tutti i risultati analitici finora pubblicati sui bronzi riferibili alla civiltà artistica greca e magnogreca consiste in una banca-dati costituita da 740 records, per ciò che concerne la sezione oggetti, e da 904 records per ciò che concerne la sezione bibliografica. Un complesso così ampio e diversificato di dati ha richiesto, per la sua analisi ed interpretazione, l'ausilio di uno dei metodi della STATISTICA DESCRITTIVA, che presenta i dati in forma compendiativa.⁶² La statistica descrittiva consiste in un insieme di tecniche che aiutano a visualizzare, facilmente e velocemente, i principali aspetti di un insieme di dati, aspetti che non sarebbero stati altrimenti leggibili nell'ambito di questa serie così ampia di dati numerici a causa della grande quantità di possibili letture contemporanee dei dati stessi. I metodi della statistica descrittiva, quindi, hanno lo scopo di condensare grandi lotti di dati in maniera tale che essi possano essere letti con angolazioni diversificate e interpretati secondo prospettive anche di tipo storico.

Tra i metodi della statistica descrittiva, un posto di primaria importanza è occupato dalla GRAFICA, disciplina che fu fondata da J. Bertin.⁶³

L'uso della grafica computerizzata, per l'analisi e la visualizzazione dei dati archeologici, si sviluppa dal 1970,⁶⁴ in seguito all'esigenza di far apparire chiaramente

te l'organizzazione dei dati da trattare. Molti dei diagrammi, utilizzabili per l'interpretazione dei dati, sono bidimensionali, con due assi, ciascuno dei quali rappresenta una variabile. Vi sono molti tipi di diagrammi: diagrammi cumulativi, *scatterplots*, diagrammi lenticolari, grafici triangolari (o *three-pole plots*, a tre variabili).

I diagrammi da noi maggiormente utilizzati, perché più appropriati per fenomeni da rappresentare, sono i diagrammi a blocchi e gli istogrammi; talvolta sono stati utilizzati anche gli *scatterplots* (o nuvole di punti) quando si è voluto determinare il grado di correlazione fra due variabili al fine di individuare la presenza, o meno, di gruppi di unità di rilevazione. Si è ricorso, infine, all'uso del diagramma "a torta", quando si è ritenuto che fosse il mezzo più opportuno per evidenziare certi fenomeni. L'istogramma è la rappresentazione grafica della dispersione dei valori di una variabile, con una suddivisione numerica all'asse delle ascisse in intervalli uguali; l'altezza di un blocco, relativamente ad un determinato intervallo, corrisponde al numero d'oggetti il cui tenore di un certo elemento si situa in quell'intervallo. L'asse delle ordinate indica, dunque, la frequenza degli oggetti in ciascun intervallo. Diversamente dal diagramma a blocchi in cui solo l'altezza è direttamente proporzionale alle frequenze relative all'unità prese in esame, negli istogrammi, tutta la superficie è proporzionale al numero di fenomeni rilevati. Il diagramma a blocchi e l'istogramma, nel caso della banca-dati CUPRUM, sono risultati i più adatti per rappresentare la significatività statistica dei risultati ottenuti e ad evidenziare *trends* tecnologici, al fine di ottenere una diversificata e più profonda visione storico-economica degli aspetti connessi con la problematica della produzione di bronzi della civiltà classica. In rari casi è stato usato, per evidenziare i fenomeni risultati dall'analisi dei dati di CUPRUM, lo *scatterplot*,⁶⁵ il cui scopo è quello di verificare l'esistenza di una correlazione tra due attributi quantitativi x e y . A differenza dei diagrammi a blocchi e degli istogrammi, nel caso dello *scatterplot* le variabili sono due e non una. Tale rappresentazione grafica può evidenziare diverse situazioni: la distribuzione dei punti mette in risalto la suddivisione delle unità di rilevazione in più gruppi; oppure, il gruppo individuato è solo uno con una stretta correlazione tra le due variabili; infine, il gruppo individuato, pur essendo sempre uno, non presenta correlazione alcuna fra le due variabili. Se i due attributi quantitativi x e y sono correlati, si può arrivare a determinare una formula $y = f(x)$ che dà, per tutti i valori di x , il valore più probabile di y . A questa formula corrisponde una linea, detta linea di regressione.

I grafici presentati più avanti evidenziano alcune delle diverse situazioni compositive e tecnologiche individuate in base all'analisi dei dati relativi ai bronzi della civiltà artistica greca e magnogreca finora archiviati nella banca-dati CUPRUM.

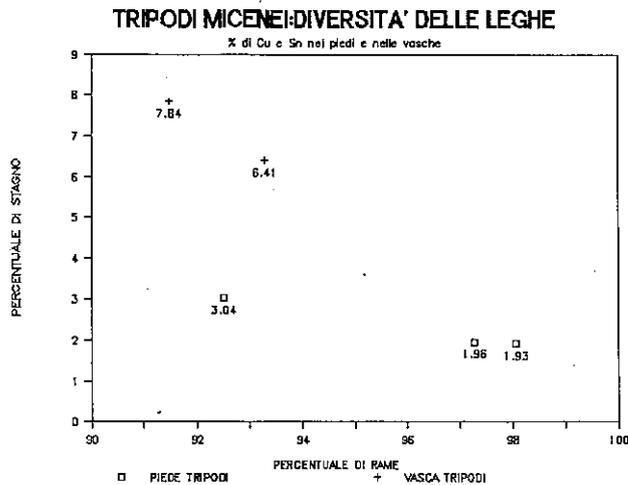


Fig. 43. - I piedi dei tripodi micenei contengono tenori di stagno (nel diagramma, al di sotto dei simboli) bassi e notevole presenza di rame. Le vasche, invece, presentano una lega dalle caratteristiche inverse: percentuali più basse di rame e tenore di stagno più elevato. Tale diversificazione delle leghe è visualizzata graficamente dallo scatterplot che evidenzia, appunto, due gruppi ben distinti disposti in due zone nettamente separate (i piedi nella zona inferiore e le vasche in quella superiore). Ogni simbolo è individuato da due variabili (% di Cu e di Sn). La diversità della lega nelle due parti, di cui sono composti i tripodi, è chiaramente intenzionale. Le vasche, con quantità minori di rame e presenza maggiore di stagno rispetto ai piedi, presentano una lega che, caratterizzata da un grado di pro allungamento maggiore, era più adatta ad essere martellata.

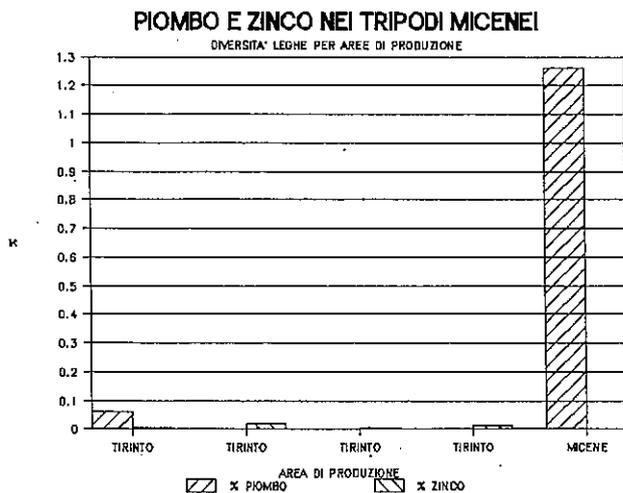


Fig. 44. - Le percentuali di piombo e di zinco testimoniano l'esistenza di due diverse aree di produzione. La presenza di piombo, nulla — o quasi — nei tripodi di Tirinto, è consistente nel tripode miceneo. Viceversa, lo zinco, presente nei tripodi di Tirinto, è completamente assente nel tripode di Micene. E' probabile che le due aree di produzione utilizzassero minerali di provenienza diversa o soggetti a processi diversi di estrazione del metallo. In ogni caso, la produzione di Tirinto e quella di Micene sembrano riconducibili a due orizzonti metallurgici differenti.

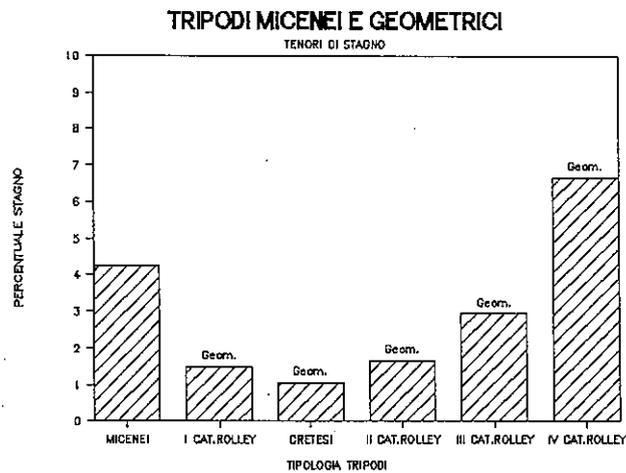


Fig. 45. - La metallurgia del bronzo in Grecia si interrompe alla fine dell'età micenea (1025 ca. a.C.). Il diagramma a blocchi mostra che i tripodi micenei sono costituiti da una lega di rame e stagno. Il passaggio dall'età del Bronzo all'età del Ferro è caratterizzato dalla scomparsa di stagno nei bronzi sia greci che cretesi. Questa situazione è esemplificata dal diagramma a blocchi qui riportato: i tripodi della I categoria del Rolley (1000-810 a.C.), quelli della II categoria (820-750 a.C.) e quelli cretesi (825-800 a.C.) presentano percentuali troppo basse di stagno (meno del 2%) per essere considerate intenzionali. Esse sono, in realtà, da attribuire al reimpiego dei bronzi micenei. Alla metà del sec. VIII a.C. ricompare lo stagno nei bronzi, in quantità tale da considerarsi intenzionale. L'utilizzo regolare dello stagno è da attribuirsi alla ripresa dei rapporti della Grecia con l'Oriente; tali rapporti si traducono nell'immigrazione in Grecia di maestranze orientali che fanno, quindi, da tramite per l'importazione dello stagno in Grecia. L'utilizzo regolare dello stagno in Grecia a partire dal 750 a.C. è evidenziato dalle analisi dei tripodi della III categoria del Rolley (750-700 a.C.) e, in maniera più eclatante, da quelli coevi della IV categoria prodotti da officine attiche che cominciano ad essere attive proprio in questo periodo. I contatti con l'Oriente sono testimoniati anche dall'utilizzo, per la fabbricazione dei tripodi, di una tecnica tipicamente orientale, finora mai riscontrata in Grecia: la laminazione da martellatura.

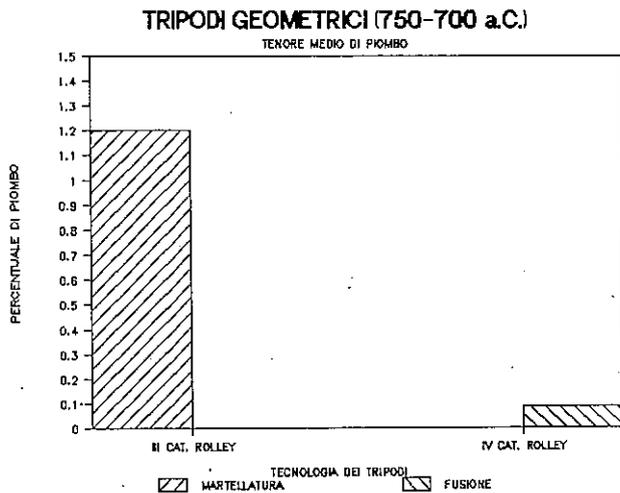


Fig. 46. - Il diverso contenuto di piombo nei coevi tripodi geometrici (750-700 a.C.) della III e della IV categoria del Rolley (ROLLEY 1977) è motivato dalla diversa tecnologia per essi adottata. La fusione a cera persa senza nucleo interno utilizzata per i tripodi della III categoria era, infatti, favorita da una certa presenza di piombo che, diminuendo il punto di fusione della lega, ne aumentava la facilità al colaggio.

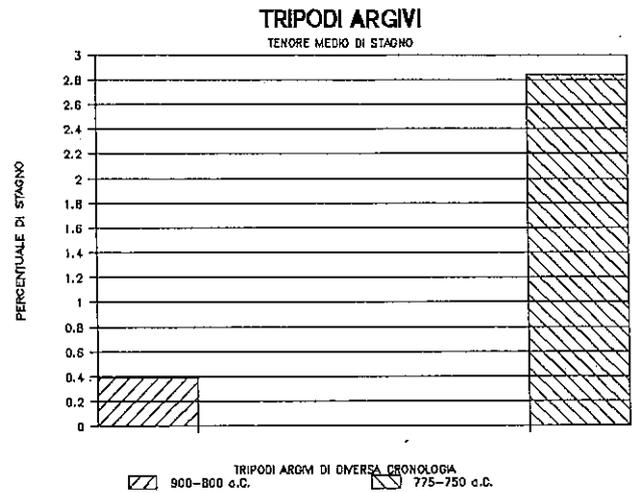


Fig. 48. - Anche i tripodi di produzione tipicamente argiva attestano, verso la metà del sec. VIII a.C., un utilizzo più diffuso dello stagno nella lega bronzea.

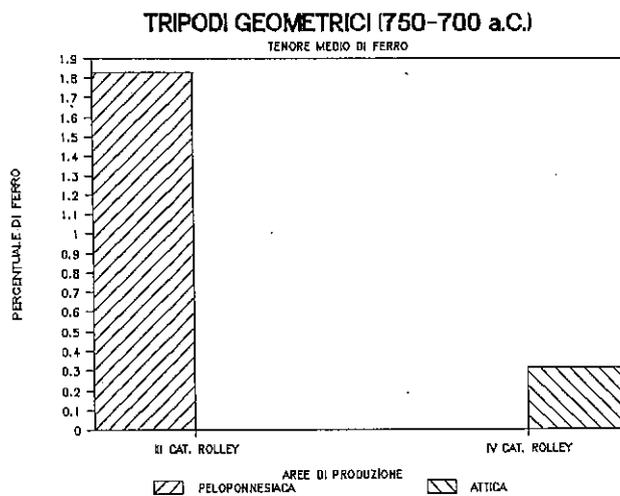


Fig. 47. - La differenziazione tra i tripodi della III e della IV categoria è testimoniata anche dalle percentuali di ferro contenuto in essi. L'elevato tenore di questo elemento (quasi il 2%) nei tripodi della III categoria contrapposto alla quasi totale assenza nei tripodi della IV categoria sembrerebbe attestare che le officine peloponnesiache e quelle coeve attiche utilizzassero una differente tecnica estrattiva e — probabilmente — differenti fonti di approvvigionamento dei minerali di rame.

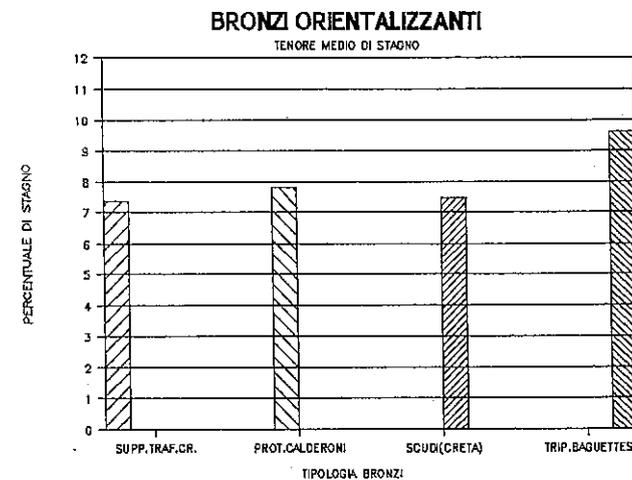


Fig. 49. - La ripresa dei contatti tra la Grecia e l'Oriente a partire dal 750 a.C. è attestata, ancora più chiaramente, nei bronzi orientalizzanti. La percentuale di stagno presente nelle leghe orientalizzanti è, infatti, notevolmente più elevata rispetto a quella dei tripodi attici. In essi, l'influsso orientale è evidente non solo nella lega, ma anche nei motivi e nello stile.

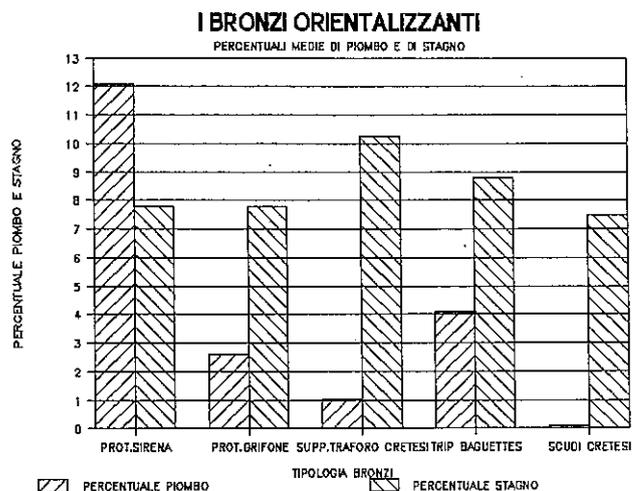


Fig. 50. - I rapporti della Grecia con l'Oriente sono attestati dall'ampia diffusione di motivi e di prodotti tipici dell'ambito della Siria e dell'Urtu, quali le protomi di sirena e di grifone. Le protomi dei calderoni conformate a sirena, la cui moda dura solo un cinquantennio (725-675 a.C.), presentano una tecnologia diversa da quelle dell'Urtu e della Siria. Queste ultime sono costituite da due lamine bronzee riempite da materiale bituminoso, decorate a sbalzo, con un rilievo piuttosto alto. Le protomi a sirena di produzione greca presentano, invece, un rilievo piuttosto basso e una tecnologia diversa: la fusione a cera persa con nucleo interno. Tale tecnologia è indicata anche dalla elevata percentuale di piombo che aumentava così la colabilità della lega. Le protomi di grifone dei calderoni sono prodotte lungo un arco cronologico più ampio (725-600 a.C.). Il diagramma a blocchi qui riportato evidenzia per essi una lega che, nella composizione, è più vicina a quella orientale rispetto a quella delle protomi di sirena. E' probabile, quindi, che, con il passare del tempo, gli artigiani greci avessero fatto proprio il dosaggio del piombo nella lega tipico del mondo orientale. I supporti a traforo di produzione cretese (710-700 a.C.) presentano una lega che si avvicina di più a quella dei prodotti orientali, con minori tenori di piombo e quantità di stagno notevolmente più alte rispetto alle contemporanee leghe greche. Questa diversità è probabilmente da attribuirsi ad una maggiore disponibilità dello stagno in quest'isola che doveva far da tramite con la Grecia continentale per l'esportazione dello stagno dall'Oriente. Il diagramma a blocchi mette in evidenza, infine, il tenore molto basso di piombo negli scudi cretesi rinvenuti sul Monte Ida (750-600 a.C.). L'assenza quasi totale del piombo (0.105%) negli scudi cretesi è senz'altro da attribuirsi alla destinazione funzionale di tali oggetti: con una percentuale di piombo superiore al 2-3%, infatti, la lega bronzea resiste alle sollecitazioni dovute a trazione, flessione e torsione.

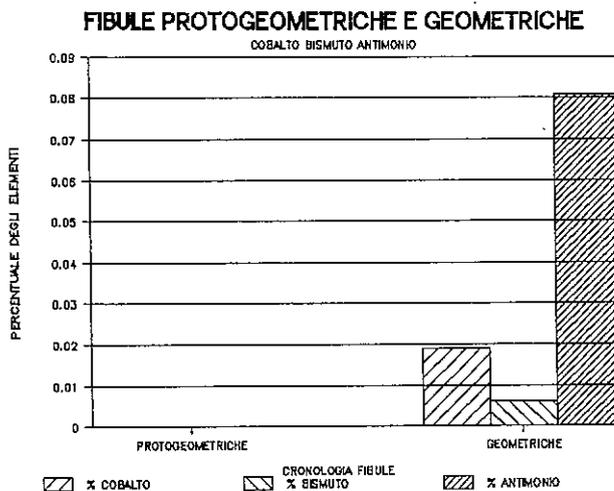


Fig. 51. - Nonostante la lega delle fibule rimanga sostanzialmente invariata dall'epoca protogeometrica a quella geometrica, tuttavia, nell'arco di un centinaio di anni sembrano cambiare le fonti di approvvigionamento dei minerali di rame. Il diagramma a blocchi evidenzia, infatti, nelle fibule geometriche la presenza di impurità — come il cobalto, il bismuto e l'antimonio — che sono invece totalmente assenti nelle fibule protogeometriche.

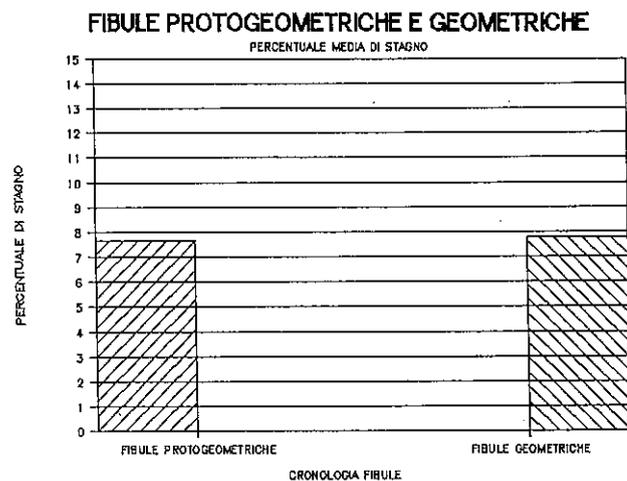


Fig. 52. - Il dosaggio della lega utilizzata per le fibule rimane sostanzialmente invariato nel passaggio dall'epoca protogeometrica a quella geometrica, come dimostra il diagramma a blocchi qui riportato in cui la variabile è costituita dalla percentuale di stagno.

ORNAMENTUM DI ETA' GEOMETRICA

TENORE MEDIO DI STAGNO

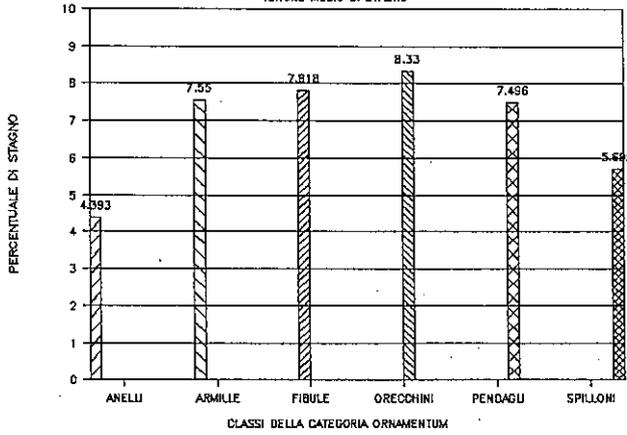


Fig. 53.

ORNAMENTUM DI ETA' ARCAICA

TENORI DI PIOMBO

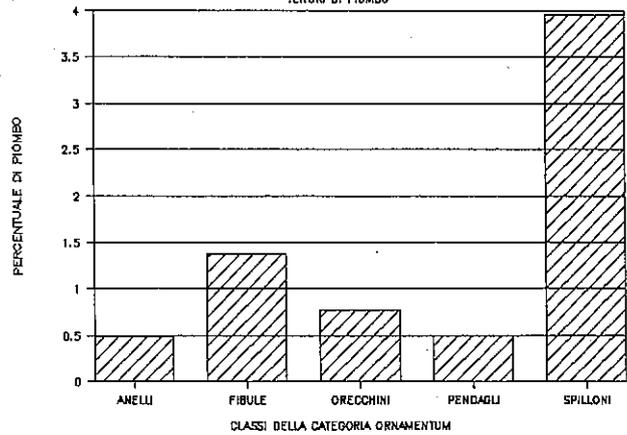


Fig. 56.

ORNAMENTUM DI ETA' GEOMETRICA

TENORE MEDIO DI PIOMBO

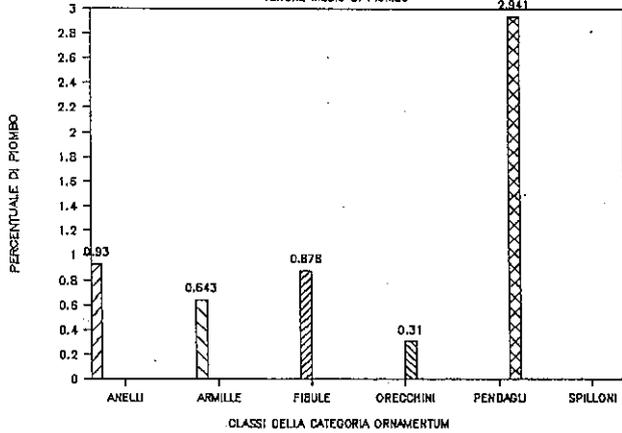


Fig. 54.

GLI ELMI GRECI

TENORI DI STAGNO E DI PIOMBO

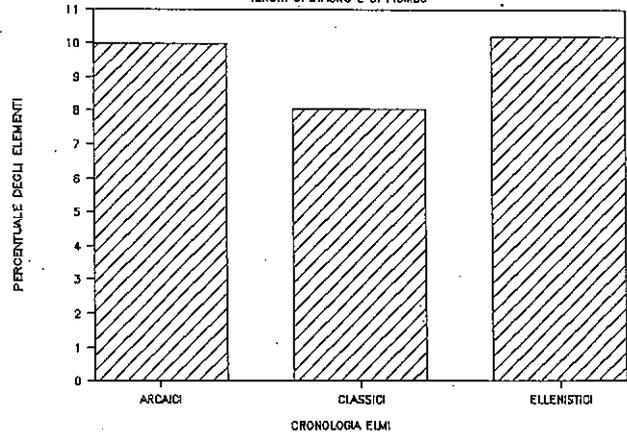


Fig. 57.

ORNAMENTUM DI ETA' ARCAICA

TENORI DI STAGNO

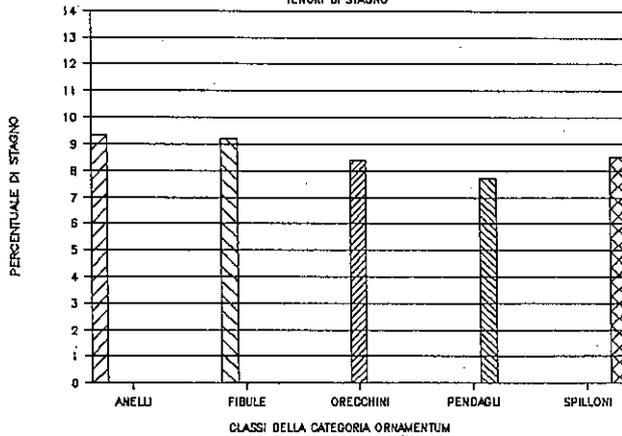


Fig. 55.

GLI SPECCHI GRECI

TENORI DI STAGNO E DI PIOMBO

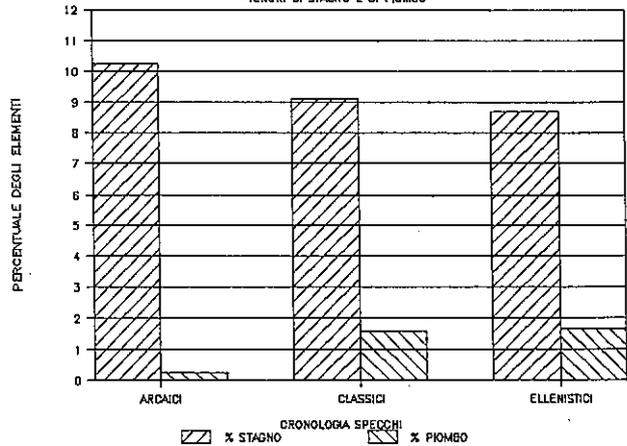


Fig. 58.

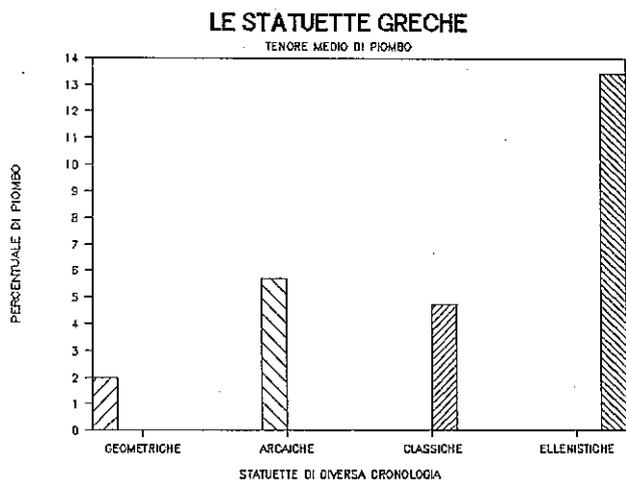


Fig. 59. - Il grafico dimostra che il piombo è utilizzato in dosi cospicue non solo in epoca ellenistica, come si è finora affermato. In realtà, fin dall'epoca arcaica, il piombo è sempre presente nelle statuette in quantità tali da considerarsi intenzionali.

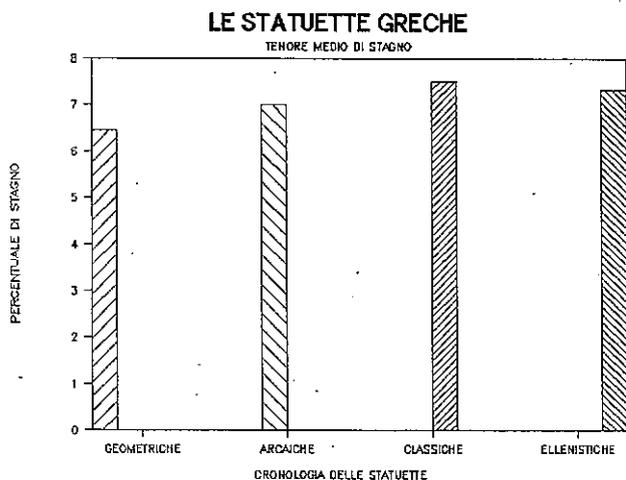


Fig. 60.

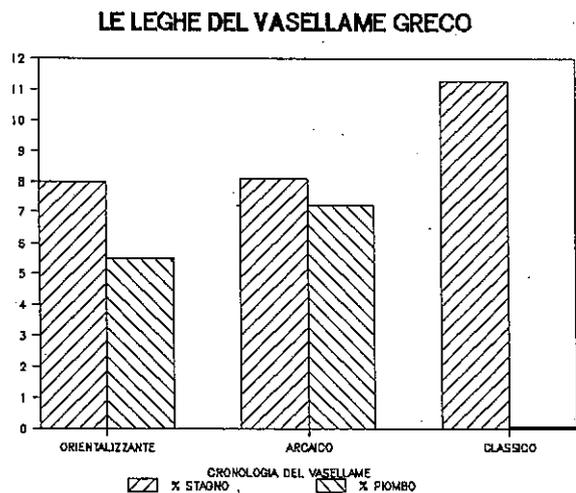


Fig. 61.

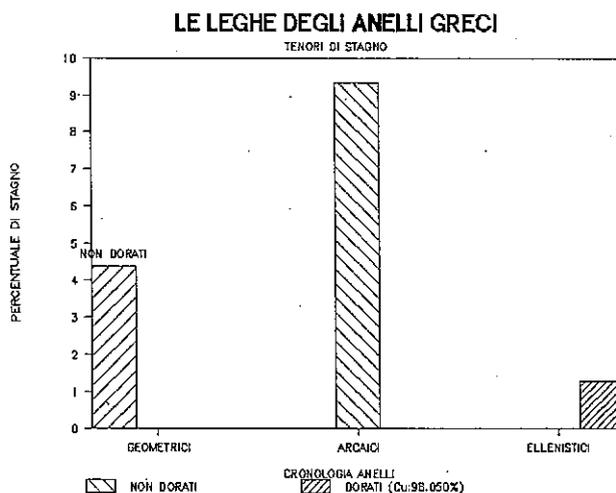


Fig. 62. - Gli anelli bronzei di età ellenistica finora analizzati recano la tecnica della doratura a mercurio. La scelta, per la doratura a mercurio, di una lega costituita da rame quasi puro, con tenori bassissimi di stagno e di piombo, è da attribuirsi al fatto che questi due metalli tendono a formare molto facilmente amalgama con il mercurio e ad essere assorbiti dal corpo del metallo nell'amalgama oro-mercurio, quando questo viene sottoposto a riscaldamento. Per ciò che concerne il piombo, poi, è da considerare che questo tende a segregarsi nella lega bronzea sotto forma di globuli ed ha un punto di fusione (327°C) di poco inferiore a quello del mercurio (357°C), cosicché, all'apporto di calore necessario per l'evaporazione del mercurio, il piombo fonde e va a macchiare la superficie dell'oro. Tali motivazioni tecnologiche spiegano, quindi, la predilezione di una lega ad elevato contenuto di rame per la successiva doratura.

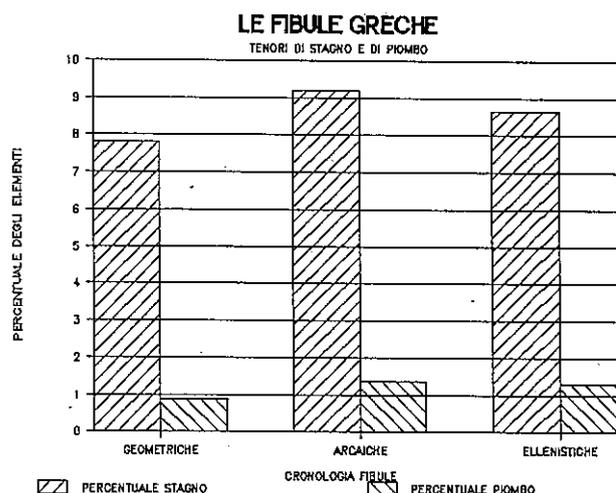


Fig. 63

4. I metodi di analisi

I metodi di analisi utilizzati per l'analisi dei bronzi della civiltà greca sono principalmente cinque, l'analisi chimica o analisi per via umida, la spettroscopia di emissione, la fluorescenza X, la cromatografia e la spettrofotometria di assorbimento atomico.

Analisi chimica per via umida (WCA)

L'analisi qualitativa e quantitativa degli elementi presenti nel campione bronzeo è effettuata secondo il metodo gravimetrico, volumetrico e colorimetrico. Tale tipo di analisi è stato ormai superato dalle tecniche strumentali per varie ragioni, tra cui le grandi dimensioni del campione, un consumo di tempo non certo breve ed una scarsa attendibilità dei dati ottenuti.

Spettroscopia di emissione (OES)

La spettroscopia d'emissione ottica in U.V. è una tecnica d'analisi elementare utilizzabile per tutti i materiali. Gli atomi (ioni) del campione sono eccitati sia per effetto termico (arco, plasma o laser), sia per scarica elettrica (scintilla). Al ritorno al loro stato fondamentale, gli atomi emettono delle radiazioni la cui energia — e di conseguenza la relativa lunghezza d'onda — sono caratteristiche degli elementi eccitati. L'insieme delle radiazioni emesse (spettro di emissione) è funzione, quindi, della struttura elettronica della sostanza. L'OES consente sia l'analisi qualitativa, per la quale mostra un'elevatissima sensibilità, sia l'analisi quantitativa, ma, in questo caso, con una precisione limitata.

Fluorescenza X (XRF)

Quando un sistema viene eccitato mediante assorbimento di energia raggiante, esso non rimane a lungo nello stato eccitato, ma tende a ritornare al suo stato fondamentale, con emissione di raggi secondari ad una lunghezza d'onda superiore. La lunghezza d'onda e l'intensità della radiazione di fluorescenza sono correlabili con l'identità (analisi qualitativa) e la concentrazione (analisi quantitativa) dell'elemento che l'ha provocata. Qualitativamente la tecnica ha un'elevatissima sensibilità, mentre meno precise risultano le analisi quantitative.

Cromatografia

La cromatografia si basa sulla separazione dei componenti di una miscela: i vari componenti vengono, cioè, distribuiti in due differenti fasi, non solubili fra loro, in maniera differenziata a seconda delle loro caratteristiche fisico-chimiche. Vi sono vari tipi di cromatografia: cromatografia su carta, su strato sottile e gas cromatografia. Questa tecnica permette di effettuare delle analisi qualitative e quantitative.

Spettrofotometria di assorbimento atomico

E' la tecnica ormai correntemente usata per l'analisi quali-quantitativa dei bronzi antichi.

La spettrofotometria di assorbimento atomico si basa sul principio che gli atomi di una soluzione nebulizzata, quando questa è attraversata dalle radiazioni elettromagnetiche fornite da una sorgente eccitante, assorbono soltanto le radiazioni di una determinata lunghezza d'onda, ossia le radiazioni caratteristiche dello spettro di emissione dell'elemento ricercato. Il campione viene solubilizzato, poi nebulizzato in corrente di gas combustibile; lo si investe successivamente con un fascio di luce di una determinata lunghezza d'onda, il che provoca salti quantici degli elettroni verso livelli di energia più elevata con assorbimento di energia da parte degli atomi nella fiamma, pari alla differenza di energia (ΔE) dei livelli impegnati. Il fascio di luce subisce così una diminuzione di intensità (estinzione) per quella determinata lunghezza d'onda (scelta tra quelle per le quali il segnale di assorbimento è maggiore). Essendo l'estinzione della luce incidente proporzionale alla concentrazione dell'elemento assorbente, si rende, così, possibile l'analisi quantitativa dell'elemento contenuto nella fiamma.

ELENA ANTONACCI SANPAOLO
Istituto di Archeologia
Università degli Studi di Bologna

Questo articolo non vuole essere esaustivo, ma ha unicamente il fine di rendere noto il progetto CUPRUM e di presentarne i primi risultati. Ad esso faranno seguito altri lavori relativi ai risultati derivanti dall'archiviazione — tuttora in fase di attuazione — di ulteriori dati chimico-fisici delle leghe bronzee di età classica.

- ¹ E. VON BIBRA, *Die Bronzen und Kupfer legierungen der alten und ältesten Völker*, Erlangen 1869.
- ² ID., *op. cit.*, pp. 88-89.
- ³ H.M. KLAPROTH, in *Chemische Abhandlungen gemischten Inhalts*, Berlin und Stettin 1815, pp. 21-43; L.R. VON FELLEBERG, *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern*, Berlin 1861, pp. 173-187.
- ⁴ E. VON BIBRA, *op. cit.*
- ⁵ K. RUTHENBERG, *Entwicklung der Bronzeanalyse von den Anfängen bis zur Gegenwart*, in H. BORN (a cura di), *Archäologische Bronzen, antike Kunst, modern Technik*, Berlin 1985, p. 194.
- ⁶ Una disamina veloce, ma alquanto completa, sulla storia delle ricerche in questo settore, è condotta da Z. GOFFER, *Archaeological Chemistry*, New York 1980, pp. 218-219.
- ⁷ Questo è soprattutto il metodo di ricerca adottato da S. JUNGHANS, E. SANGMEISTER, M. SCHRODER, *Studien zur den Anfängen der Metallurgie*, Berlin 1960-1968 per la classificazione di bronzi preistorici e protostorici europei.
- ⁸ Riserve a riguardo sono state espresse in particolare da J. BRIARD, J. BOURMIS, J.P. GEFFRAULT, in "Dossiers de l'archéologie", 1980, p. 14; Z. GOFFER, *op. cit.*, pp. 218-219; K. RUTHENBERG, *art. cit.*, pp. 196-197.
- ⁹ K. KLUGE, K. LEHMANN-HARTLEBEN, *Die antiken Grosbronzen*, I, Berlin-Leipzig 1927, p. 50.
- ¹⁰ O. DAVIES, in "BSA", 35, 1934-35, pp. 131-137.
- ¹¹ ID., *art. cit.*, p. 133.
- ¹² PLINIO, *Nat. Hist.*, XXXIV, 9, 97.
- ¹³ B. BEARZI, in "La fonderia italiana", XV, 2, 1966, pp. 65-68.
- ¹⁴ E.R. CALEY, in "Ohio Journal of Science", LI, 1951, pp. 6-12.
- ¹⁵ S. BOUCHER, *Recherches sur les bronzes figurés de Gaule preromaine et romaine*, Lyon 1976, pp. 293-294.
- ¹⁶ D. HAYNES, in "RA", 1968, 1, pp. 101-112.
- ¹⁷ E. FORMIGLI, in "BdA", serie speciale, 3, 1984, p. I, pp. 107-142; P.C. BOL, *Antike bronzetechnik: Kunst und Handwerk antiker Erzbildner*, München 1985.
- ¹⁸ D. HAYNES, *art. cit.*; F. RONCALLI, in "Atti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia", s. III, XI (II), 1973, pp. 190-197; E. FORMIGLI, in "Prospettiva", 23, 1980, pp. 61-66.
- ¹⁹ D. HAYNES, *art. cit.*, p. 108.
- ²⁰ Questa, come molte valutazioni critiche espresse in questo lavoro, sono il risultato dei numerosi colloqui avuti con il dr. Livio Follo, sotto la cui direzione chi scrive ha effettuato un periodo triennale di stage per ricerche in campo archeometallurgico e con il quale attualmente collabora per ricerche archeometriche in genere ed, in particolare, per gli studi sulla tecnologia e la composizione delle leghe dei bronzi antichi.
- ²¹ E. FORMIGLI, in "BdA", serie speciale, 3, 1984, p. I, p. 87.
- ²² ID., *art. cit.*, p. 108.
- ²³ ID., in "Prospettiva", 23, 1980, p. 62; ID., in "BdA", serie speciale, 3, 1984, p. I, p. 107.
- ²⁴ ID., in "Prospettiva", 23, 1980, p. 63.
- ²⁵ M. LEONI, *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere d'arte*, Firenze 1984, p. 97.
- ²⁶ ID., in "La fonderia italiana", 7/8, 1974, pp. 233-235.
- ²⁷ P.T. CRADDOCK, in "JAScien", 3, 1976, pp. 93-113; ID., in "JAScien", 4, 1977, pp. 103-123.
- ²⁸ Cfr. nota 20.
- ²⁹ M.J. HUGHES, M.R. COWELL, P.T. CRADDOCK, in "Archaeometry", XVIII, 1976, pp. 19-36.
- ³⁰ G.V. VAROUFAKIS, in W.A. ODDY (ed.), *Aspects of Early Metallurgy*, British Museum Occasional Paper, 17, London 1980, pp. 71-86; C. ROLLEY, in "RA", 1987, pp. 353-354, ne precisa meglio la tecnica di fabbricazione.
- ³¹ J. RIEDERER, *Kunstwerke chemisch betrachtet Materialien Analysen Alterbestimmung*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1981, p. 32.
- ³² S. FILIPPAKIS, E. PHOTOU, C. ROLLEY, G. VAROUFAKIS, in "BCH", CVIII, 1983, pp. 111-132; E. MAGOU, S. PHILIPPAKIS, C. ROLLEY, in "BCH", CX, 1986, I, pp. 121-136.
- ³³ J. BOARDMANN, *The Greek Overseas*, London 1980, pp. 56-62.
- ³⁴ S. FILIPPAKIS, E. PHOTOU, C. ROLLEY, *art. cit.*
- ³⁵ E. MAGOU, S. PHILIPPAKIS, C. ROLLEY, *art. cit.*
- ³⁶ A. SNODGRASS, *The Dark Age of Greece*, Edinburgh 1971.
- ³⁷ A.M. CARRUBA, in "Boreas", 6, 1983, pp. 44-60.
- ³⁸ M. LEONI, *I Cavalli di San Marco*, catalogo della mostra, Venezia, giugno-agosto 1977, Venezia 1977, pp. 128-129.
- ³⁹ *Il restauro dell'Efebo di Selinunte. Mostra didattica* (Istituto Centrale del Restauro), Roma 1979.
- ⁴⁰ *Due Bronzi da Riace*, "BdA", serie speciale, 3, 1984, voll. I-II.
- ⁴¹ *Relazione sulle analisi*, in "BdA", serie speciale, 3, 1984, p. I, pp. 107-142.
- ⁴² P.G. GUZZO, in "Prospettiva", 41, 1985, p. 63.
- ⁴³ *Relazione sulle analisi*, in "BdA", serie speciale, 3, 1984, I, p. 91.
- ⁴⁴ Cfr. nota 20.
- ⁴⁵ F.V. FRAZZOLI, L. VLAD BORRELLI, P. FIORENTINO, in *Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opere d'arte*, Atti dei Convegni dei Lincei, 11, Roma, 1976, pp. 339-356; P. FIORENTINO, M. MARABELLI, M. MICHELI, in "BdA", serie VI, 1984, 24, pp. 15-24.
- ⁴⁶ E. PARIBENI, in "BdA", serie VI, 1984, 24, pp. 1-14.

- ⁴⁷ W.O. HEILMEYER, in H. BORN (a cura di), *op. cit.*, pp. 132-138.
- ⁴⁸ J. RIEDERER, *Archäologie und Chemie*, Berlin 1988, pp. 113-114.
- ⁴⁹ A. SCHNAPP, *L'Archéologie au jourd'hui*, Paris 1980, p. 136.
- ⁵⁰ J. MARCADÈ, in "RA", 1986, 1, p. 90.
- ⁵¹ I responsabili del progetto CUPRUM sono, oltre a chi scrive, il prof. Gualandi ed il dott. Follo, dell'Istituto di Archeologia dell'Università di Bologna; il software è stato realizzato dal sig. D. Pacillo. Il contributo finanziario al progetto deriva esclusivamente dalla PARMA-LAT S.p.A. che ha messo a disposizione, per tale ricerca, un PC IBM.
- ⁵² A. SCHNAPP, *op. cit.*, p. 108.
- ⁵³ S.R. e L.R. BINFORD (eds.), *New Perspective in Archaeology*, Chicago 1968.
- ⁵⁴ IID. (eds.), *op. cit.*
- ⁵⁵ *Analyse des objets archéologiques et les procédés statistiques d'interprétation*, "Dossiers de l'Archéologie", n. 42, 1980, p. 56.
- ⁵⁶ P. MOSCATI, *Archeologia e calcolatori*, Firenze 1987, pp. 15-19.
- ⁵⁷ T. ORLANDI, *Informatica per le scienze umanistiche*, Roma 1985-86, pp. 101-109.
- ⁵⁸ *Op. cit.*, "Dossiers de l'Archéologie", n. 42, 1980, p. 58.
- ⁵⁹ P. MOSCATI, *op. cit.*, p. 61.
- ⁶⁰ Vasta è la bibliografia relativa all'informatica applicata all'archeologia. Si ricorderanno, in questa sede, solo quelli che sono considerati i capisaldi nel settore: J. BENZÉCRI *et al.*, *L'analyse des données*, Paris 1973; A. BIETTI, *Tecniche matematiche nell'analisi dei dati archeologici*, Roma 1982; S.R. e L.R. BINFORD (eds.), *op. cit.*; J.M. BOURROCHE, G. SAPORTA, *L'Analyse des Données*, Paris 1983; F. CIBOIS, *L'Analyse factorielle: analyse en composantes principales et analyse des correspondances*, Paris 1983; D.L. CLARK (ed.), *Models in Archaeology*, London 1972; ID. (ed.), *Spatial Archaeology*, London 1977; ID., *Analytical Archaeology*, New York 1978; L. CORTI, (a cura di), *Second International Conference on Automatic Processing of Art History Data and Documents* (Pisa 1984), voll. I-II, Firenze 1984; L. CORTI, M. SCHMITT (a cura di), *Second International Conference on Automatic Processing of Art History Data and Documents* (Pisa 1984), Firenze 1985; J.E. DORAN, F.R. HODSON, *Mathematics and Computers in Archaeology*, Edinburgh 1975; S.W. GAINES (ed.), *Data Bank Applications in Archaeology*, Tucson 1981; J.C. GARDIN, *Une archéologie théorique*, Paris 1979; R. GINOUVÈS, in "RA", 1971, pp. 93-126; P. IHM, *Statistik in der Archäologie. Probleme der Anwendung, allgemeine Me-*

thoden, Seriation und Klassifikation (Archaeo-Physika 9), Bonn 1978; *Informatica e archeologia classica* (Atti del Convegno Internazionale, Lecce 12-13 maggio 1986), Lecce 1987; C. LAHANIER, J.M. MALFOY, in *Cours Intensif Européen "Informatique et Mathématiques appliquées à l'Archéologie"*, Valbonne-Montpellier 1983; L. LEBART, *Validité des résultats en Analyse de Données*, in "Rapport CREDOC-DGRST", 158, 1975; P. MOSCATI, *op. cit.*; T. ORLANDI, *op. cit.*; C. RENFREW (ed.), *The Explanation of Culture Change: Models in Prehistory*, London 1973.

Infine, in questa sede, è opportuno ricordare una delle prime e rare banche a carattere archeometrico, ANALYSE, realizzata presso il *Laboratoire de Recherches des Musées de France* (a riguardo si v. J. FRANCAIX, J. LISZAK-HOURS, *Essai de traitement par l'analyse factorielle des correspondances sur des bronzes gallo-romains*, LRMF, Paris 1974; F. BOUVET, C. LAHANIER, in "Informatique et Sciences humaines", n. 37-38, 1978, pp. 57-78; C. LAHANIER, J.M. MALFOY in *Cours Intensif Européen "Informatique et Mathématiques appliquées à l'Archéologie"*, Valbonne-Montpellier 1983; C. BÉMONT, A. DUVAL, J. GAUTIER, C. LAHANIER, in "Gallia", 40, 1982, pp. 239-255; J. HOURS, *Les méthodes scientifiques dans l'étude de la conservation des oeuvres d'art*, Paris 1984, pp. 173-179). La maggior parte dei dati analitici è relativa ad oggetti ceramici e metallici dei diversi musei nazionali e delle collezioni regionali francesi. I dati sono relativi alle seguenti tecniche di analisi: microfluorescenza X, fluorescenza X, spettrometria d'emissione nell'U.V., diffrazione X. I reperti sono archiviati secondo un tipico sistema documentario chiamato MISTRAL (*Mémorisation d'Information, Sélection, Traitement et Recherche automatique*) di cui alcuni campi riportano i risultati delle analisi quali-quantitative effettuate. Queste ultime poi, tramite un sistema di gestione, sono sottoposte ad interpretazione, al fine di ricostruire la storia delle tecniche, di identificare i luoghi di produzione, le reti commerciali... Per ciò che concerne più strettamente i metalli, bisogna annoverare un recente programma per l'analisi informatizzata delle leghe metalliche di oggetti rinvenuti nel corso dello scavo a Casale Nuovo (LT): si v. M. ANGLE *et al.*, in *Archeologia e Informatica* (Atti del Convegno, Roma 3-5 marzo 1988), Roma 1988.

⁶¹ P.T. CRADDOCK, *art. cit.*, 1976; ID., *art. cit.*, 1977.

⁶² G. LOCK, J. WILCOCK, *Computer Archaeology*, London 1987, p. 25.

⁶³ Sulla grafica computerizzata, si v. J. BRIARD, J. BOURMIS, J.P. GEFFRAULT, in "Dossiers de l'Archéologie", n. 42, 1980, pp. 54-55; A. SCHNAPP, *op. cit.*, pp. 109-112; S.W. GAINES (ed.), *op. cit.*, pp. 90-99; G. LOCK, J. WILCOCK, *op. cit.*, pp. 25-33; P. MOSCATI, *op. cit.*, pp. 62-71.

⁶⁴ S.W. GAINES (ed.), *op. cit.*, p. 90.

⁶⁵ J. BRIARD, J. BOURMIS, J.P. GEFFRAULT, *art. cit.*, p. 54; P. MOSCATI, *op. cit.*, pp. 68-69.