

## STUDIO DELLE PASTE CERAMICHE DI ANFORE DELLA LAGUNA DI VENEZIA MEDIANTE UNA PROCEDURA BASATA SULLA ELABORAZIONE DI IMMAGINI

### 1. INTRODUZIONE

In questo lavoro presentiamo lo stato di avanzamento degli studi svolti per la classificazione di anfore spagnole ritrovate nella laguna di Venezia<sup>1</sup>.

I materiali esaminati sono caratterizzati da una notevole frammentarietà e da una grande mescolanza tipologica e cronologica: differenti tipi di contenitori sono stati ritrovati assieme in canali, barene, paludi e presso le rive delle isole<sup>2</sup> (MODRZEWSKA 1993). A causa di questa specificità dei ritrovamenti, si riscontrano notevoli difficoltà nel riconoscere i reperti, in particolare quelli a fondo piatto, che sono numerosi nella Laguna: è difficile individuare se si tratta di parti di anfore galliche, forlimpolensi, iberiche varie o addirittura brocche.

La determinazione della provenienza di particolari reperti può risultare talvolta ambigua: ad esempio, il Dr 38 può essere o spagnolo o di imitazione francese (JACQUIN, BECKER *et al.* 1993, 105-141).

Inoltre, un'ulteriore difficoltà di riconoscimento è determinata dalla modifica dell'aspetto della superficie delle anfore, causata dagli agenti chimici e biologici dell'ambiente lagunare in cui sono stati ritrovati (ad es. gli ingobbi ricoperti dai molluschi ecc.).

Al fine di pervenire ad una classificazione corretta e affidabile, la ricerca è stata basata, oltre che su indagini archeologiche, anche su indagini archeometriche, consistenti in analisi fisiche e chimiche eseguite su campioni ricavati dalle anfore in precedenza studiate archeologicamente (MODRZEWSKA *et al.* 1993, 127-135; MODRZEWSKA 1995a): in questo modo, mediante un confronto coi dati ricavati dall'analisi di campioni di anfore classificate come archeologicamente sicure, ci proponiamo di ricavare informazioni attendibili per l'identificazione dei reperti di provenienza e attribuzione incerte (BELTRÁN LLORIS 1977, 97-131; PEACOCK 1974, 234-241; FELIU ORTEGA *et al.* 1995, 131-133; CAMPANO LORENZO 1994, 135-146), anche se in questa fase della ricerca non si ritiene possibile risalire alle località di produzione delle anfore (MENANTAU *et al.* 1983, 39-301; MODRZEWSKA, ODDONE, PIANETTI 1995, 127-130).

<sup>1</sup> La ricerca si svolge presso l'ISDGM CNR di Venezia e l'IEI CNR di Pisa con l'autorizzazione della Soprintendenza Archeologica del Veneto (MODRZEWSKA *et al.* 1993).

<sup>2</sup> Tutte le anfore sono state ritrovate dal sig. E. Canal, studiate presso la sua casa e altre presso magazzini del Museo Archeologico di Venezia grazie al permesso della prof. B.M. Scarfi.

Per gli studi illustrati dalla presente relazione abbiamo preso, come base sperimentale e metodologica, specifici ritrovamenti lagunari di materiali di origine spagnola e contenitori, sempre spagnoli, presenti nella costa e nel retroterra veneto, dopo una loro identificazione archeologica in tutta la regione: così i ritrovamenti lagunari si possono riferire a tutto il territorio (MODRZEWSKA 1995b).

Il numero di reperti presi in esame, costituito da un gruppo di 15 frammenti di anfore varie provenienti dalla Laguna e da un frammento di anfora proveniente da Verona e presa come confronto, non è abbastanza grande per l'esecuzione di significative indagini statistiche (MODRZEWSKA, ODDONE, PIANETTI 1994, 39-51); inoltre, il materiale preso in esame non è il più caratteristico per i ritrovamenti anforici della Laguna, per cui si prevede di analizzare anche i campioni prelevati dalle anfore più caratteristiche come le Dr 2-4, Dr 6A e 6B, africane, Late Roman e lusitane.

Tuttavia, il materiale è stato sufficiente per mettere a punto le procedure di analisi e per definire le modalità e l'entità di successivi ampliamenti. I risultati dell'analisi delle paste dei materiali ceramici, correlati coi risultati delle ricerche archeologiche e archeometriche che sono state oggetto di recenti attività di studio, possono consentire sia di classificare i ritrovamenti, sia di ottenere validi indicatori della storia della zona.

## 2. MATERIALI

In questo studio si esaminano anfore della laguna di Venezia, già classificate come sicure archeologicamente, e frammenti di anfora di classificazione incerta.

La Fig. 1 mostra la mappa dei ritrovamenti; in tabella 1 sono elencate le località e i corrispondenti ritrovamenti di interesse per il presente lavoro<sup>3</sup>. Normalmente a gran parte di questi ritrovamenti si accompagnano anfore tardo-romane, adriatiche (anche a collo ad imbuto) e molti frammenti di anfore a fondo piatto. È difficile caratterizzare la natura dei ritrovamenti, praticamente senza contesto, e solo in alcuni casi è stato possibile fornire un'attribuzione sicura su base archeologica: l'attribuzione tipologica dei ri-

<sup>3</sup> Riportiamo qui i numeri di inventario, ove esistono, delle anfore, secondo i luoghi di ritrovamento in ordine alfabetico: San Ariano collo Dr 7-11, IG 210566, camp. P7; San Ariano ansa Dr 7-11, IG 210555, camp. P6; Canale Catena parte superiore con un'ansa, ricostruito, sn. casa Canal, camp. 14; canale Catena parte superiore incompleta Dr 20, sn. casa Canal, camp. P13; Santa Caterina collo frammentario e frammento orlo Dr 20, IG 143383, camp. P4; Santa Cateriana ansa Dr 7-11, IG 143385, camp. P5; San Felice puntale Dr 20-23, IG 70905, camp. P11; San Felice frammento collo e orlo, IG 70910, camp. P10; Fusina ansa Dr 7-11, IG 220082, camp. P2; San Lorenzo Monoxile puntale Dr 20-23, IG 70818, camp. P9; Ottagono frammento orlo Dr 20, sn. casa Canal, camp. 1; canale Rigà incompleta parte superiore Dr 8, IG 142922, camp. P12, vedi (anche DORIGO 1983, 236); Sacca delle case, Tessera ansa Dr 7-11, IG 143264, camp. P3; anfore studiate per confronto; Verona deposito presso Tomba di Giulietta quasi integra Dr 7 (Beltran Ib), sn. nostro nr prov. 6, camp. P15; canale Rigà parte superiore bollata, Lamboglia 2/Dr 6A, IG 142950, camp. 16.

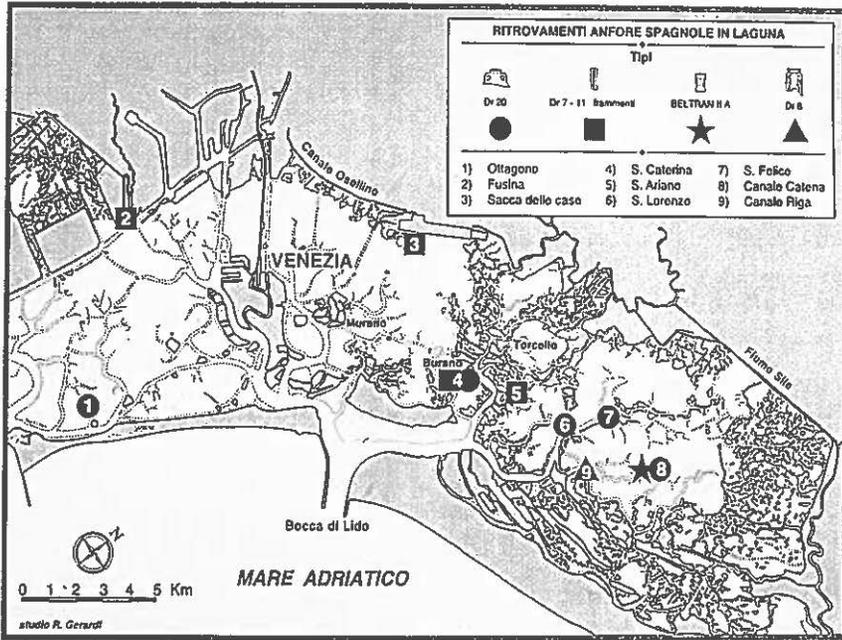


Fig. 1 – Mappa dei ritrovamenti nella laguna di Venezia.

N	Località	Ritrovamento	Tipo	C
1	Ottogono, in vicinanza dei rinforzi	fram. di orlo	Dr 20 ns	P1
2	Fusina, nelle paludi	fram. di ansa	Dr 7-11 s	P2
3	Sacca delle Case, in terra verso Tessera	ansa	Dr 7-11 ns	P3
4	S. Caterina, vicinanze di Mazzorbo	frammento	Dr 20 ns	P4
4	S. Caterina, vicinanze di Mazzorbo	ansa	Dr 7-11 ns	P5
5	S. Ariano	fram. di ansa	Dr 7-11 ns	P6
5	S. Ariano	fram. di ansa	Dr 7-11 ns	P7
5	S. Ariano	fram. di ansa	Dr 7-11 s	P8
6	S. Lorenzo Monoxile	frammento	Dr 20/23 ns	P9
7	Canale S. Felice	frammento	Dr 20/23 ns	P10
7	Canale S. Felice	frammento	Dr 20/23 ns	P11
8	Canale Catena	frammento	Dr 20 s	P13
8	Canale Catena	frammento	Dr 38 s	P14

Tabella 1 – Elenco del materiale usato per lo studio delle paste.

trovamenti è riportata in tabella 1, con la notazione s = sicuro, ns = non sicuro: in questo caso è indicata una coppia (Dr 20/23) o un insieme (Dr 7-11) di tipi.

Da ciascuno dei ritrovamenti è stata ricavata una sezione sottile, indicata col codice P e un numero d'ordine; la corrispondenza tra sezione sottile, o campione, e ritrovamento è riportata nella colonna C di tabella 1.

Riassumendo, il materiale ritrovato in laguna è costituito da:

- 5 sezioni ricavate da frammenti con sicura identificazione spagnola: P2, P8, P12 (Figg. 2, 3), P13 (Figg. 4, 5), P14 (Figg. 6, 7);
- 9 sezioni di identificazione incerta: P1; P3; P4; P5; P6, P7 (Fig. 2); P9; P10; P11.

Inoltre sono state studiate le paste di un'anfora Dr 7 (Beltran Ib) ritrovata a Verona (campione P15; Figg. 8, 9) e prodotta sicuramente in Spagna, e di un'anfora tipo Lamboglia 2/Dr 6A (campione P16; Figg. 10, 11) col bollo FUSI.SCAE, ritrovata in Canale Rigà: il luogo di produzione di questo reperto è ancora incerto<sup>4</sup>.

### 3. METODI

Per ogni ritrovamento l'identificazione del tipo di anfora è stata fatta mediante l'analisi archeologica della forma; tuttavia in alcuni casi non è stato possibile determinare il tipo con sufficiente attendibilità perché i frammenti ritrovati non permettevano un giudizio sicuro. Si è intrapreso perciò lo studio delle paste al fine di caratterizzare la loro struttura e di individuare eventuali parametri di somiglianza significativi per l'attribuzione tipologica: una classificazione per somiglianza può essere accettata per il nostro specifico studio perché la similitudine delle paste farebbe propendere per l'appartenenza degli oggetti allo stesso lotto.

<sup>4</sup>Il bollo impresso sul collo FUSI.SCAE forse si può riferire a *L. Scalensis* il quale segnava le olearie betiche, REMESAL RODRÍGUEZ 1986, 259; per la datazione agli anni 50-100 d.C. del bollo *Scalensi* vedi SCHUPBACH 1983, 343-361 e Fig. 17; per bolli *Scalensia* vedi anche LYDING WILL 1983, 421-422, e Fig. VII, 71 bollo apparso in Corinto riferito al nome conosciuto al Testaccio e in Spagna, di provenienza poco conosciuta; esempi di varianti di questo bollo ci sono ad Alessandria e Villar de Brenes, datazione incerta dato il lungo uso di varianti di esso, vicino Cruz Verde sono state ritrovate le manifatture che usavano il nome *Scalensia* per tutto il II sec. d.C.; altri esempi di bolli composti con *Scalensia*, per es. SCALENSTAPHI riporta CHIC GARCIA 1985, 27 ritrovati vicino Palma del Rio, zona di Cordoba, probabilmente significano nome di Figlina che esportava fino Inghilterra, Svizzera, Olanda più i luoghi prima elencati, fra la prima metà del I e primi decenni del II sec. d.C.; variante ritrovata in Alessandria su Dr 20: SCAE.FID; questi dati ci lasciano dubbi per l'identificazione dell'anfora studiata della laguna, forma conosciuta dalle produzioni adriatiche, in pochi esemplari esportata anche in Betica; finora non sappiamo molto sulla possibilità di imitazioni delle Lamboglia 1/Dr 6A in Andalusia, anche se sembra che ci siano prove per le Dr 1, vedi BELTRÁN LLORIS 1977, 107-108 e Fig. 17; non conosciamo questo bollo sulle anfore adriatiche, la identificazione viene suggerita dalla forma di essa.

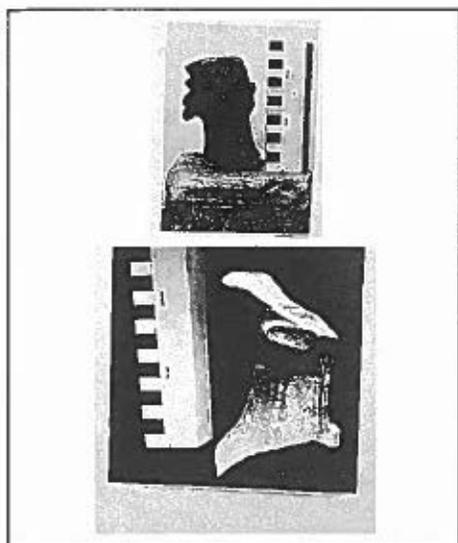


Fig. 2 - Campione P12, ritrovato in Canale Rigà (Dr 8 s).

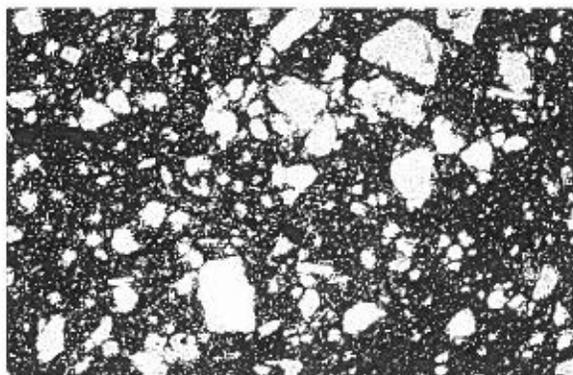


Fig. 3 - Sezione sottile di P12, illuminata con Nicols incrociati.

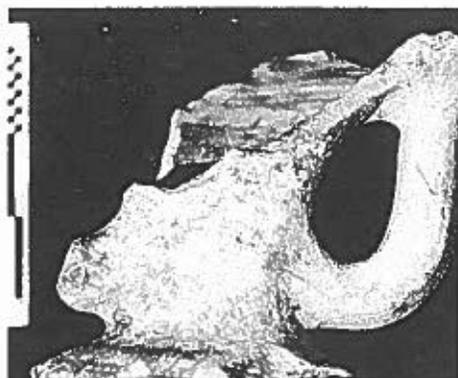


Fig. 4 - Campione P13, ritrovato in Canale Catena (Dr 20 s).

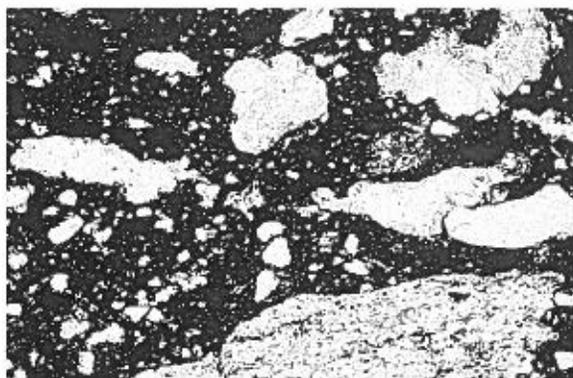


Fig. 5 - Sezione sottile di P13, illuminata con Nicols incrociati.

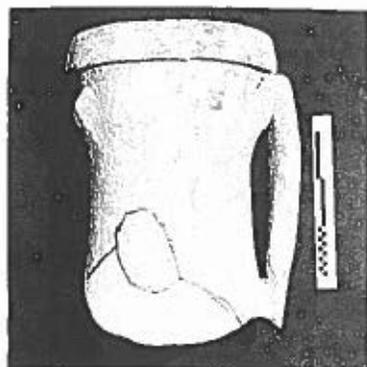


Fig. 6 - Campione P14, ritrovato in Canale Catena (Dr 38 s.).

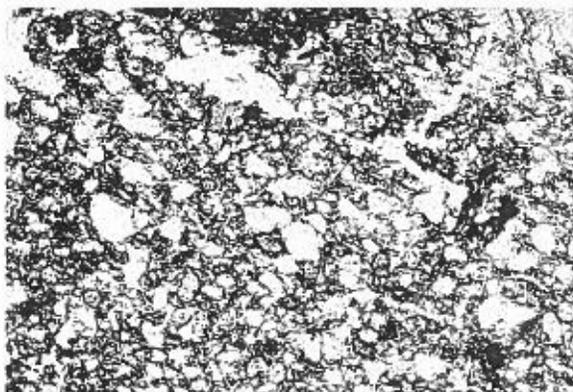


Fig. 7 - Sezione sottile di P14, illuminata con Nicols incrociati.

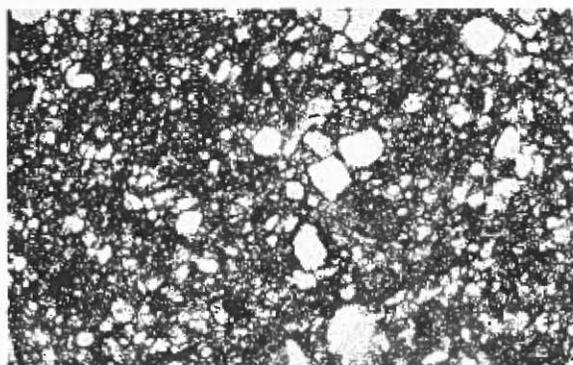
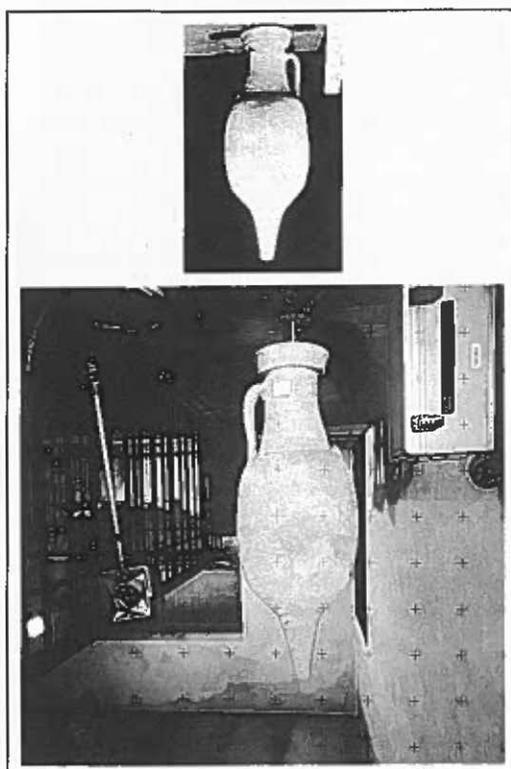


Fig. 9 - Sezione sottile di P15, illuminata con Nicols incrociati.

Fig. 8 - Campione P15, deposito Tomba di Giulietta, Verona (Dr 7 o Beltran Ib s.).

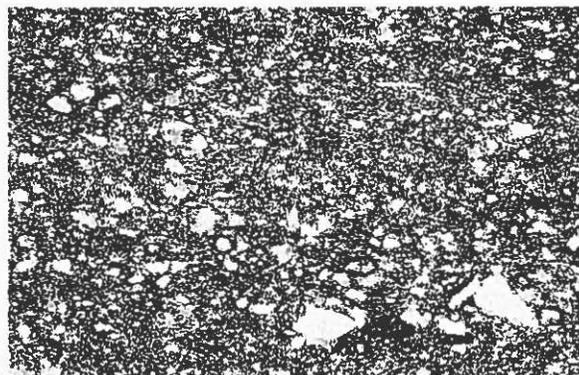


Fig. 10 - Campione P16, ritrovato in Canale Rigà (Lamboglia 2/Dr 1A s.).

Fig. 11 - Sezione sottile di P16, illuminata con Nicols incrociati.

I metodi convenzionali di analisi delle paste consistono in analisi mineralogiche, petrografiche e chimiche; in questo lavoro vengono riportate soltanto le analisi petrografiche, che hanno del resto un'importanza fondamentale nell'indagine archeologica. Per eseguire questo tipo di analisi, dai ritrovamenti descritti in precedenza sono state ricavate sezioni sottili di circa 30 mm di spessore, con dimensioni di 1 cm×1 cm. Le sezioni sono state esaminate al microscopio ottico polarizzatore con un ingrandimento 60×; per ogni sezione sono stati individuati 1000 granuli, di cui sono state determinate le dimensioni e la specie mineralogica e petrografica; sono state infine calcolate le percentuali di massa argillosa e di quarzo.

La granulometria delle paste non ha distribuzione sistematica, per cui con la tecnica tradizionale non è stato però possibile determinare indicatori sufficienti per una classificazione delle paste e, di conseguenza, per un'attri-

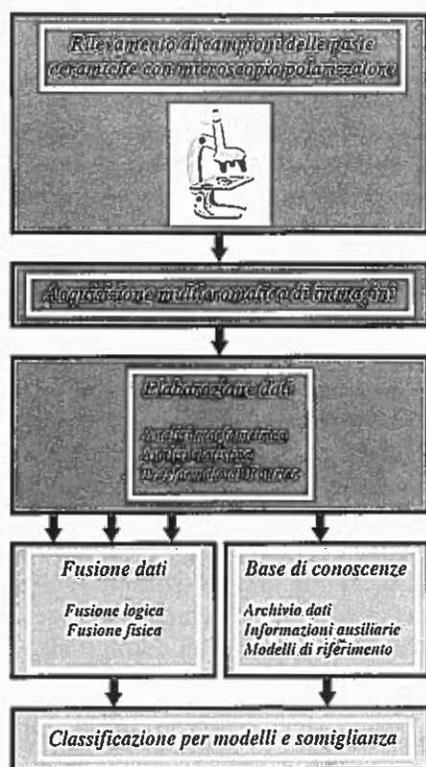


Fig. 12 – Schema a blocchi della procedura elaborativa per l'analisi di immagini delle paste ceramiche.

buzione tipologica dei reperti. Al fine di ricavare dall'esame delle sezioni sottili un maggior numero di informazioni si è fatto ricorso a metodi di elaborazione di immagini: è stata quindi impostata una procedura elaborativa (Fig. 12) che, mediante conteggi e processi di analisi e riconoscimento, consente una valutazione più oggettiva e più completa dell'aspetto delle paste, emulando, coi mezzi attuali, il controllo visivo delle paste, che veniva effettuato in sede di produzione per l'accettazione del prodotto.

La procedura prevede l'acquisizione di immagini multicromatiche delle sezioni sottili di campioni mediante una telecamera a colori ad alta risoluzione alloggiata sul microscopio polarizzatore: in questo modo si ottiene una perfetta registrazione tra le immagini di uno stesso campo illuminato attraverso Nicols paralleli o incrociati.

Nella fase di acquisizione, da ciascun campo inquadrato si ricavano tre immagini relative alle componenti cromatiche R, G, B. Su ciascuna di queste immagini digitali vengono eseguite le seguenti elaborazioni:

- L'analisi morfometrica, che consiste nell'individuare i singoli oggetti contenuti in un'immagine mediante la segmentazione interattiva e l'estrazione automatica dei contorni; si possono così misurare i parametri caratteristici, come dimensioni o fattori di forma degli oggetti e percentuale di riempimento del campo esaminato.
- L'analisi cromatica, mediante la quale è possibile individuare ed isolare granuli caratterizzati da forme e composizione cromatica predeterminate, in modo da riconoscere e classificare alcuni dei materiali che compongono la pasta.
- L'analisi radiometrica, mediante la quale si ricavano i parametri (ad es. valore medio, varianza e momenti di ordine superiore) che caratterizzano l'istogramma dei valori di luminanza dei pixel contenuti nelle differenti immagini ricavate da uno stesso campo: si ottengono così degli indici numerici che definiscono la forma dell'istogramma e permettono di confrontarla con forme di riferimento.
- L'analisi spettrale: mediante la trasformata di Fourier bidimensionale si ricava lo spettro di potenza dell'immagine acquisita, il cui andamento dipende dalle dimensioni e dalla forma dei granuli contenuti nel campo esaminato; è possibile quindi correlare gli spettri relativi alle varie componenti cromatiche con quelli di riferimento ricavati da anfore di attribuzione sicura al fine di determinare le caratteristiche di somiglianza.

La procedura prevede due processi di fusione, che consentono di ridurre la quantità dei dati da elaborare, aumentandone al contempo la validità:

- la fusione di tipo fisico, corrispondente alla combinazione, secondo modelli matematici predefiniti, dei dati appartenenti alle componenti cromatiche delle immagini ricavate con diversa polarizzazione della luce;

– la fusione di tipo logico, che consiste nella combinazione delle informazioni estratte mediante differenti tipi di analisi dalle varie immagini ricavate dallo stesso campo.

I dati ricavati dalle acquisizioni di sezioni sottili vengono inseriti in un archivio; i dati immagine, insieme con le informazioni ricavate sia mediante le analisi di immagini, sia mediante le analisi chimiche, mineralogiche e petrografiche, costituiscono la base di conoscenze del processo elaborativo e consentono di costruire dei modelli di riferimento. Mediante questi modelli si può ottenere la classificazione della sezione sottile analizzata e conseguentemente del tipo di pasta dell'anfora esaminata; utilizzando le altre informazioni archeologiche e archeometriche si può eseguire la classificazione della sezione esaminata secondo la tipologia delle anfore.

Per realizzare e verificare l'affidabilità e l'efficienza, i moduli della procedura sono stati usati i dati ricavati dalle immagini dei campioni.

Le diapositive ottenute con ingrandimento lineare  $24\times$  sono state digitalizzate mediante uno scanner a colori: in ciascun fotogramma l'area di  $\sim 22\text{ mm}\times 32\text{ mm}$  è stata campionata alla risoluzione di 2230 punti per pollice (dpi); la risoluzione fotometrica per ciascuna componente cromatica è di 256 livelli di luminanza.

Le immagini ottenute con polarizzazione a Nicols incrociati e Nicols paralleli non sono registrate e non hanno punti di riferimento che consentano una registrazione digitale dei dati; di conseguenza, ci si è limitati a mettere a punto i moduli elaborativi che agiscono sulle singole immagini, senza eseguire elaborazioni su coppie di immagini e fusione di dati; in particolare, sono stati sviluppati moduli per l'analisi nel dominio delle frequenze spaziali e moduli per il calcolo di parametri statistici.

Per ricavare i parametri statistici è stato calcolato l'istogramma  $H(L)$  che definisce la popolazione  $N_i$  dei livelli di quantizzazione  $L_i$ , con  $i = 0, 1, 2, \dots, 255$ ; sono stati poi calcolati: il valore medio  $m$ , corrispondente alla luminanza media dei pixel dell'immagine; la varianza  $s$ , che indica lo sparpagliamento dei valori di luminanza; il coefficiente di skewness, che indica l'asimmetria rispetto al livello medio; il coefficiente di kurtosis, che indica la variazione della forma dell'istogramma rispetto alla curva di distribuzione normale (gaussiana).

#### 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Metà dei campioni analizzati appartiene ad anfore ben identificate tipologicamente e provenienti dalla Betica, probabilmente prodotte nella zona di Cadice dove sono state localizzate le manifatture di questi contenitori usati nei primi due secoli della nostra era per il trasporto del garum. Fra le anfore caratteristiche della Betica, una del tipo Dr 20 per l'olio, ritrovata

nella Laguna, per la conformazione dell'orlo può essere datata ai primi due decenni del II sec. d.C.; la mancanza del bollo non permette però una collocazione più precisa fra le varie produzioni olearie del Guadalquivir.

In alcuni campioni l'analisi petrografica delle paste ha mostrato la presenza di inclusi di quarzo di notevoli dimensioni, raramente arrotondati; si è inoltre notata la presenza di rocce granitiche distribuite nei diversi sottogruppi. Le metamorfiti appaiono soltanto nei campioni sicuri e non sicuri del sottogruppo Dr 7-11; rocce sedimentarie sono pure distribuite nei vari tipi, generalmente in unione alle magmatiche. Nei campioni del tipo Dr 20/23 si hanno soltanto rocce sedimentarie, con presenza di anidriti. Il campione P16 (Dr 6A) contiene clasti andesitici e trachitici: tali rocce affiorano nelle vicinanze della Laguna di Venezia (Colli Euganei), per cui si può indurre che l'anfora sia di produzione vicina. La temperatura di cottura va dai 750 agli 850 gradi; i valori più bassi si trovano nel sottogruppo delle Dr 20/23.

La Fig. 13 riporta le percentuali di massa argillosa (MA) e quarzo (Q) misurate sui campioni; la figura evidenzia una certa dipendenza fra la massa argillosa e il contenuto in quarzo, con andamento inversamente proporzionale; inoltre, i punti determinati dalle paste dei campioni appartenenti ai tipi Dr 7, Dr 8 e Dr 7-11, sicuri e non sicuri, sono raggruppati e separati dai relativi ai tipi Dr 20 e Dr 20-23, sicuri e non sicuri, che formano un altro raggruppamento.

Un analogo andamento è stato osservato per il contenuto in plagioclasti rispetto alla massa argillosa.

La Tav. XXIII, a-b mostra esempi del flusso dei risultati intermedi ottenuti con la procedura di elaborazione di immagini. Per ognuno dei 16 campioni esaminati si hanno due fotogrammi, ottenuti rispettivamente con Nicols

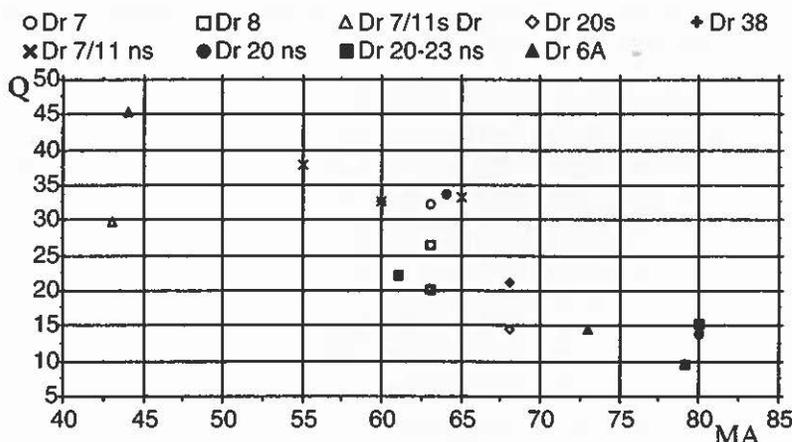


Fig. 13 - Contenuto percentuale di quarzo (Q) e massa argillosa (MA) nei campioni esaminati.

incrociati e paralleli; da ciascun fotogramma si ricavano 3 matrici, corrispondenti alle componenti cromatiche R, G e B dell'immagine sul fotogramma; per ciascuna matrice si ricavano l'istogramma  $H(L)$  e la trasformata bidimensionale  $F(\omega_x, \omega_y)$ .

In questa fase della ricerca è iniziata un'analisi degli istogrammi, al fine di determinare la loro somiglianza. La somiglianza di istogrammi può implicare, non necessariamente, una somiglianza di immagini. Infatti, due istogrammi identici corrispondono a due immagini costituite dagli stessi pixel; questi ultimi possono però essere disposti diversamente, in modo che le immagini non si assomiglino affatto. Viceversa, se gli istogrammi sono dissimili, anche le immagini devono avere aspetto differente: di conseguenza, il confronto di istogrammi indica una sicura diversità di immagini se il risultato è negativo e una possibile, ma non certa, somiglianza se il risultato è positivo. Poiché le immagini sono a colori, la somiglianza dev'essere valutata sulla terna di istogrammi R, G, B mediante un'analisi multivariata; il confronto di istogrammi relativi a ognuna delle componenti cromatiche può servire per escludere la somiglianza di immagini.

Al fine di eseguire correttamente delle operazioni di confronto è necessario disporre di un numero sufficientemente grande di campioni omogenei, cioè ottenuti da più ritrovamenti sicuramente dello stesso tipo archeologico, in modo da poter ricavare i valori medi e le varianze di un insieme di parametri significativi. Poiché in realtà si disponeva di un numero limitato di campioni, corrispondenti a tipi diversi e in generale di attribuzione non sicura, si è provveduto a suddividere l'immagine ricavata da ciascun campione in più regioni (ROI) e a calcolare l'istogramma per ciascuna ROI: questa procedura è servita per cercare di individuare le dimensioni ottimali della ROI e per determinare i parametri descrittivi dell'istogramma che siano significativi per le operazioni di confronto.

Le tabelle 2a, 2b, 2c riportano i risultati ricavati sulle 15 ROI di  $512 \times 512$  elementi ottenute suddividendo l'immagine di  $\sim 3000 \times 2000$  elementi del campione P6, illuminato con Nicols paralleli; in particolare, la tabella 2a riporta i dati relativi alla componente R dell'immagine a colori del campione, la tabella 2b i dati relativi alla componente G e la tabella 2c i dati della componente B.

Per ciascuna delle componenti R, G, B e per ciascuno dei quattro parametri  $p$  riportati in tabella 3 sono stati calcolati i valori medi  $m(p)$  e i coefficienti di variazione percentuale  $cv(p)$ ; si sono ottenuti i risultati riportati in tabella 3.

La dispersione dei parametri  $m$  e  $s$  degli istogrammi è abbastanza contenuta, essendo inferiore al 10% per tutte le componenti cromatiche; invece, la dispersione dei parametri  $sk$  e  $ku$  risulta maggiore del 15%: in particolare, si hanno variazioni notevoli soprattutto per il parametro kurtosis, per il quale si hanno variazioni di circa il 400% nella componente B. Si può quindi affermare che non si ha somiglianza tra gli istogrammi calcolati sulle ROI in cui è stata suddivisa l'immagine ricavata dalla sezione sottile del campione

ROI	m	s	sk	ku
1	201.266	29.944	-1.531	2.977
2	204.244	27.628	-1.052	1.387
3	204.751	32.596	-1.469	2.767
4	202.584	32.206	-1.262	1.927
5	207.704	32.574	-1.409	2.473
6	198.827	31.510	-1.167	1.628
7	197.466	34.692	-1.239	1.904
8	202.625	38.091	-1.547	2.769
9	195.946	38.805	-1.181	1.337
10	200.764	33.865	-1.135	1.496
11	197.498	32.276	-1.014	1.295
12	197.992	35.520	-1.124	1.393
13	206.362	33.253	-1.173	1.494
14	200.801	34.741	-1.091	1.489
15	197.720	38.117	-1.142	1.424

Tabella 2a – Valore medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle ROI della componente cromatica R dell'immagine di P6.

ROI	m	s	sk	ku
1	171.276	37.329	-.768	.174
2	171.307	36.177	-.405	-.481
3	171.120	39.426	-.630	-.017
4	165.387	39.693	-.462	-.341
5	176.713	42.752	-.591	-.450
6	165.974	41.073	-.388	-.666
7	159.755	42.299	-.381	-.440
8	167.639	44.522	-.616	-.177
9	155.571	44.627	-.333	-.524
10	163.861	41.974	-.359	-.563
11	161.885	40.768	-.248	-.607
12	161.126	44.087	-.340	-.601
13	170.656	42.781	-.447	-.592
14	161.211	42.887	-.275	-.579
15	162.253	46.583	-.317	-.689

Tabella 2b – Valore medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle ROI della componente cromatica G dell'immagine di P6.

ROI	m	s	sk	ku
1	106.563	41.510	.645	-.538
2	99.921	41.280	.942	.072
3	98.429	41.157	1.025	.379
4	90.102	38.261	1.099	.572
5	111.557	52.664	.600	-.979
6	101.303	48.002	.822	-.521
7	87.078	41.065	1.197	.789
8	96.621	45.279	.869	-.310
9	81.002	38.995	1.339	1.277
10	90.367	43.263	1.121	.399
11	91.373	43.408	1.181	.469
12	89.438	44.722	1.127	.320
13	97.459	46.815	.871	-.384
14	84.719	41.838	1.317	1.028
15	95.386	49.136	.966	-.130

Tabella 2c – Valore medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle ROI della componente cromatica B dell'immagine di P6.

	m(m)	cv(m)	m(s)	cv(s)	m(sk)	cv(sk)	m(ku)	cv(ku)
R	201.1	1.8	33.7	9.1	-1.2	14.0	1.8	32.2
G	165.7	3.4	41.8	6.7	-.40	34.1	-.40	57.0
B	94.7	8.7	43.8	9.0	1.0	21.9	.16	390.0

Tabella 3 – Valori medi e coefficienti di variazione dei parametri degli istogrammi calcolati sulle ROI dell'immagine del campione P6.

P6, e che le immagini sulle singole ROI sono tra loro differenti. Analoghi risultati sono stati ottenuti con gli altri campioni.

Questo fatto è attribuibile alla dimensione troppo piccola delle ROI: con l'ingrandimento impiegato per la ripresa delle immagini, le ROI corrispondono a regioni troppo piccole dei vetrini, in modo che si mettono in evidenza variazioni microscopiche che non sono significative per quanto riguarda l'analisi della pasta.

Tuttavia, al fine di realizzare gli strumenti impiegati nella procedura di analisi indipendentemente dalla significatività dei dati a disposizione, si è proceduto ad un confronto dei valori medi dei pixel contenuti nelle ROI: il confronto fra i valori medi delle componenti R, G, B costituisce un'analisi cromatica, valida per immagini di tipo uniforme e, in prima approssimazione, per immagini non uniformi, come quelle delle paste ceramiche. A questo scopo si sono ricavati i valori di tristimolo normalizzati, definiti da:

$$t_1 = \frac{m_R}{m_R + m_G + m_B}$$

$$t_2 = \frac{m_G}{m_R + m_G + m_B}$$

$$t_3 = \frac{m_B}{m_R + m_G + m_B}$$

dove  $m_R$ ,  $m_G$ ,  $m_B$  sono i valori medi degli istogrammi delle tre componenti cromatiche. Poiché  $t_3 = 1 - (t_1 + t_2)$ , si possono inizialmente valutare le coordinate  $t_1$  e  $t_2$ , rappresentabili in un diagramma bidimensionale: la Fig. 14 mostra i risultati relativi ai campioni P6, P8, P12, P15, P16, che hanno attribuzione archeologica sicura (tipo Dr 7 o Dr 6A oppure sottogruppo Dr 7-11).

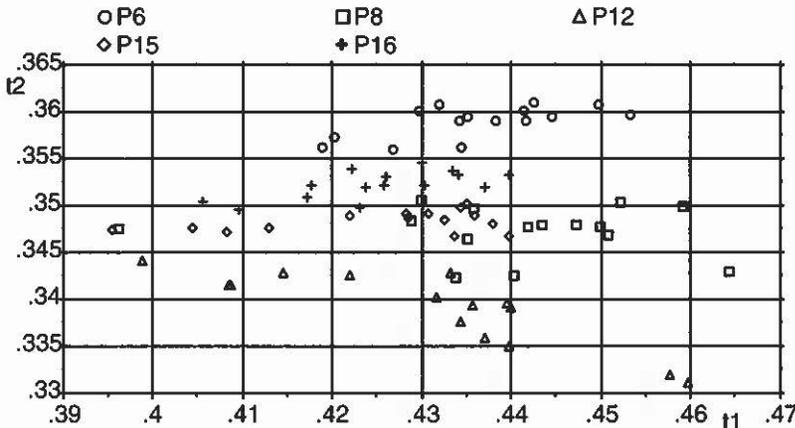


Fig. 14 - Grafico delle coordinate normalizzate di tristimolo  $t_1$  e  $t_2$  ricavate dai valori medi dei pixel contenuti nelle ROI in cui sono state suddivise le immagini ricavate dalle sezioni sottili di P6, P8, P12, P15 e P16.

	P6/P8	P6/P12	P6/P15
t <sub>1</sub>	.2598	.3774	.0157
t <sub>2</sub>	1.00E-4	1.00E-4	1.00E-4

Tabella 4 – Valori di probabilità risultanti dal test di Student applicato al confronto fra l'insieme P6 e gli insiemi P8, P12 e P15.

C	m	s	sk	ku
P1	177.710	44.975	-.982	.667
P2	142.773	57.409	.035	-1.124
P5	190.436	36.800	-1.176	1.255
P6	200.834	34.086	-1.221	1.823
P7	168.584	50.174	-.472	-.863
P8	159.614	52.108	-.243	-.863
P12	156.738	48.357	.128	-1.052
P14	185.095	51.536	-.782	-.347
P15	152.761	45.702	.245	-.856
P16	162.685	47.466	-.301	-.777

Tabella 5a – Valor medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle componenti cromatiche R delle immagini digitalizzate dei campioni.

C	m	s	sk	ku
P1	145.435	50.374	-.281	-.652
P2	112.479	58.541	.560	-.874
P5	161.651	40.312	-.697	-.024
P6	165.626	42.142	-.432	-.448
P7	144.389	54.912	-.094	-1.225
P8	124.691	54.744	.410	-1.059
P12	123.718	56.795	.595	-.957
P14	160.937	56.574	-.335	-1.057
P15	125.332	50.088	.655	-.663
P16	134.689	49.475	.154	-.952

Tabella 5b – Valor medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle componenti cromatiche G delle immagini digitalizzate dei campioni.

C	m	s	sk	ku
P1	83.749	45.061	1.041	.442
P2	69.116	46.114	1.663	1.884
P5	106.149	36.117	.370	-.249
P6	94.71	44.261	1.005	.093
P7	104.556	50.335	.640	-.908
P8	74.827	53.724	1.378	.567
P12	84.43	55.297	1.201	-.036
P14	117.472	52.837	.362	-1.152
P15	82.019	47.518	1.426	.966
P16	85.745	39.878	1.295	1.130

Tabella 5c – Valor medio (m), deviazione standard (s), skewness (sk) e kurtosis (ku) degli istogrammi calcolati sulle componenti cromatiche B delle immagini digitalizzate dei campioni.

Sul diagramma i punti appartenenti ad uno stesso campione sono sparsi in quanto, come già si è detto, essi non sono statisticamente omogenei a causa delle dimensioni delle ROI. Gli insiemi dei punti corrispondenti ai vari campioni sono separati, come si può vedere applicando il test di Student separatamente ai valori delle coordinate  $t_1$  e  $t_2$  degli insiemi. Ad esempio, confrontando l'insieme di P6 con gli insiemi di P8, P12 e P15 si sono ottenute le probabilità di errore dell'ipotesi di separazione riportate in tabella 4: assumendo una soglia di decisione del 5% gli insiemi risultano statisticamente separati per la coordinata  $t_2$ .

Le tabelle 5a, 5b, 5c riportano i valori dei parametri calcolati per ciascuna componente cromatica sulle intere immagini dei campioni esaminati. In accordo con le relazioni statistiche fra popolazione e insiemi da essa derivati, i valori di  $m$  riportati in tabella 5 corrispondono con buona precisione alla media dei valori  $m$  calcolati sulle ROI delle immagini di ciascun campione; inoltre, anche i parametri  $s$ ,  $sk$  e  $ku$  calcolati sull'intera immagine corrispondono con discreta approssimazione alla media dei parametri calcolati sulle ROI (confronta, ad esempio, con la tabella 2, relativa al campione P6).

Analizzando le tabelle 5a, 5b, 5c si può notare che, per ciascuna delle componenti cromatiche, i campioni che sono risultati più vicini per le coordinate  $t_1$  e  $t_2$  (vedi ad esempio P8 e P15 in Fig. 14) hanno valori di  $m$  all'incirca eguali, mentre i campioni più distanti (ad esempio P6 e P12) hanno valori di  $m$  alquanto diversi.

In base al criterio di confronto tra istogrammi da noi adottato, considerando l'insieme dei parametri della terna di componenti cromatiche le immagini delle sezioni sottili risultano differenti e di conseguenza anche le paste ceramiche risultano diverse: questa valutazione è però da ritenersi parziale e approssimata, in quanto i dati elaborati non hanno una sufficiente validità statistica a causa del limitato numero dei campioni esaminati e della mancanza di affidabili valori di riferimento.

## 5. CONCLUSIONI

Allo stato attuale, sono stati già realizzati alcuni moduli di una procedura orientata alla classificazione automatica o assistita di reperti archeologici: questi moduli sono stati sperimentati in un processo fuori linea, acquisendo ed elaborando le immagini fotografiche di sezioni sottili ricavate da un limitato numero di campioni, ed hanno fornito sia dei risultati preliminari validi per la ricerca archeologica in corso, sia delle indicazioni sui protocolli di rilevamento dei campioni, sia sulle modalità di organizzazione della ricerca.

In particolare, l'applicazione dell'analisi di tipo colorimetrico alle immagini ricavate dalle sezioni sottili di campioni classificati come sicuri dal punto di vista archeologico ha mostrato che le paste, in base ai risultati relativi ai parametri degli istogrammi, risultano differenti: questo risultato è giu-

stificato in quanto i reperti provengono sì da una stessa regione, ma hanno datazioni differenti, e quindi la qualità delle paste impiegate anche negli stessi luoghi di produzione poteva essere variata. Prima di eseguire un confronto affidabile con le paste di campioni di attribuzione tipologica non sicura è necessario determinare le soglie di discriminazione da introdurre nel processo di classificazione e definire gli intervalli di somiglianza tra i parametri interessati: ciò sarà possibile in seguito ad una opportuna raccolta di dati mediante l'acquisizione di un congruo numero di sezioni sottili

Al fine di ottenere informazioni sufficienti sulle variabilità infra-specie e intra-specie si dovranno acquisire numerose sezioni ricavate dallo stesso frammento e numerose sezioni ricavate da campioni di diversi tipi; si dovranno infine raccogliere i risultati degli altri tipi di indagine eseguite sui campioni, al fine di definire degli efficienti modelli di fusione delle informazioni da utilizzare nella classificazione per somiglianza.

Lo studio svolto ha reso inoltre evidente la necessità di sviluppare ulteriormente le tecniche di indagine e i metodi di classificazione: si ritiene infatti che, oltre che alle tecniche di analisi di tipo distruttivo finora utilizzate (analisi chimiche e petrografiche), si debba fare ricorso anche a tecniche di indagine non distruttiva che consentano l'esame di reperti integri. A questo scopo si potranno utilizzare ad esempio tecniche di indagine mediante ultrasuoni, che consentono sia di misurare lo spessore delle pareti di anfore, sia, entro certi limiti, di ricavare informazioni sulla struttura e la composizione di tali pareti.

Le tecniche di indagine non distruttiva mediante rilevamento ad ultrasuoni, radiazione nell'infrarosso e raggi X, unite alle tecniche di elaborazione di immagini possono consentire la sintesi di mappe tomografiche che, opportunamente interpretate, possono caratterizzare la composizione delle paste sia di anfore che di altri manufatti, e possono visualizzare la loro struttura interna.

Queste ulteriori tecniche aumentano il grado di interdisciplinarietà che caratterizza l'indagine archeometrica: oltre alle conoscenze di tipo geologico, chimico e spettrografico già richieste dalle tecniche convenzionali, appare evidente l'esigenza di controllare adeguatamente le tecniche relative alla elaborazione di immagini e alle indagini di tipo non distruttivo. Di conseguenza, anche per l'archeologia, appare oggi necessario lo sfruttamento delle potenzialità delle tecniche informatiche che, in altre applicazioni diagnostiche sia biomediche che industriali (ad es. il controllo di qualità di manufatti e la caratterizzazione di materiali), hanno permesso la realizzazione di sistemi integrati di multi indagine che consentono allo studioso di elaborare in maniera semplice, autonoma e completa, i risultati delle ispezioni eseguite con tecniche di indagine complesse e specializzate.

Si ritiene infine che un proseguimento della ricerca, orientato principalmente alla realizzazione di un sistema di questo genere, potrà risultare

utile anche in numerose altre applicazioni, sia di indirizzo archeologico, sia rivolte allo studio e alla conservazione di beni culturali.

IWONA MODRZEWSKA, FRANCO PIANETTI  
Istituto per lo Studio della Dinamica  
delle Grandi Masse - CNR, Venezia

LUCIANO AZZARELLI, SIRIO CERRI, MASSIMO CHIMENTI  
Istituto di Elaborazione della Informazione - CNR, Pisa

MACIEJ PAWLIKOWSKI  
Academy of Mining and Metallurgy, Cracovia

## BIBLIOGRAFIA

- BELTRÁN LLORIS M. 1977, *Problemas de la morfología y del concepto histórico geográfico que recibe la noción tipo. Aportaciones a la tipología de las ánforas béticas*, in *Méthodes Classiques et Méthodes Formelle dans l'Etude des Amphores*, Actes du Colloque de Rome 1974, 97-131, Roma, Collection de l'Ecole Française de Rome.
- CAMPANO LORENZO A. 1994, *De la producción des ánforas de salazon en la habia de Cadiz. Materiales de alfar de "El Olivar de los Valencianos"*, Puerto Real, «Archivo Español de Arqueología», 66, 135-146.
- CHIC GARCIA G. 1985, *Epigrafía ánforica de la Bética I. Las marcas impresas en el barro sobre ánforas olearias (Dressel 19, 20, 23)*, Sevilla, Un. de Sevilla.
- DORIGO W. 1983, *Venezia, origini, fondamenti, ipotesi, metodi, I*, Milano, Electa.
- FELIU ORTEGA M. J., MARTÍN CALEJA J. 1995, *Una aproximación al estudio de las pastas cerámicas de ánforas producidas en alfares romanos de Cadiz*, in *Estudis sobre ceràmica antiga, Actes de Simposi*, Barcelona, Generalidad de Catalunya, 131-133.
- JACQUIN J., BECKER C. et al. 1993, *Un depot d'amphores lyonnaises sur le site de l'ilot 24*, «Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est», 4 (1), 105-141.
- LYDING WILL E. 1983, *Exportation of Olive-Oil from Baetica to the Eastern Mediterranean*, in *Producción y comercio del aceite en la Antigüedad, II Congreso Internacional 1982*, Madrid, Un. Complutense, 391-439.
- MENANTEAU L., VANNEY J.R. et al. 1983, *Belo II, Belo et son environnement*, Paris, Casa Velasquez (4), 39-301.
- MODRZEWSKA I. 1993, *Anfore della laguna veneta, scelta di ritrovamenti*, Tech. Rep., 168, Venezia, ISDGM-CNR di Venezia.
- MODRZEWSKA I. 1995a, *Anfore spagnole nel Veneto. Testimonianze dei contatti commerciali fra Betica e Venetia*, Pisa, CNR.
- MODRZEWSKA I. 1995b, *Anfore spagnole nella laguna e terraferma veneta (Italia)*, in *Estudis sobre ceràmica antiga, Actes de Simposi*, Barcelona, Generalidad de Catalunya, 123-125.
- MODRZEWSKA I., ODDONE M., PIANETTI F. et al. 1993, *Anfore spagnole nel Veneto. Progetto di ricerca e primi prodotti*, «Archeologia e Calcolatori», 4, 127-135.
- MODRZEWSKA I., ODDONE M., PIANETTI F. 1994, *Una esperienza e una proposta per lo studio delle anfore. Caso della Tomba di Giulietta (Verona)*, «Archeologia e Calcolatori», 5, 39-51.
- MODRZEWSKA I., ODDONE M., PIANETTI F. et al. 1995, *Anfore spagnole nel Veneto (Italia). Analisi statistica di caratteristiche chimiche, confronto con caratteristiche mineralogiche*, in *Estudis sobre ceràmica antiga, Panencies del Congrés Europeu sobre ceràmica antiga*, Un. de Barcelona, 127-130.

- PEACOCK D. P. S. 1974, *Amphorae and the Baetican Fish Industry*, «The Antiquaries Journal», 54 (2), 97-131.
- REMESAL RODRIGUEZ J. 1986, *La Annona militaris y la exportación del aceite bético a Germania*, Madrid, Un. Complutense.
- SCHUPBACH S. 1983, *Avanches, contribution à la connaissance de la chronologie des estampilles sur les amphores à huile de Bétique*, in *Producción y comercio del aceite en la Antigüedad, II Congreso Internacional 1982*, Madrid, Un. Complutense, 349-361.

#### ABSTRACT

The present article is part of a research project covering the imported and local amphorae found in the Veneto region. The study is specifically based on fragments of Spanish amphorae found in the Venetian lagoon. Several samples could be clearly identified as fragments of the forms coming from the Baetica region (e.g., Dr 8, Dr 38, Dr 7/11, Dr 20 and Dr 20-23); other samples of very limited size could be reliably identified. In order to attempt a broad identification we have studied the composition of the pastes of a small number of fragments by means of mineralogical and petrographic analyses.

In addition we used image processing techniques: in particular, we have designed a classification procedure that will perform morphologic, chromatic, radiometric and spectral analyses on the images of thin sections of the amphorae, taken by a polarising microscope. The procedure could be completed by analysing a considerable amount of samples, that will allow to establish the decision thresholds used in the classification process; the procedure will facilitate the fusion of data and information obtained with different destructive and non destructive tests of the samples, so that it could constitute a useful tool for the archaeological research.