

STUDIO COLORIMETRICO DI UN REPERTORIO DI CERAMICHE PROVENIENTI DAL SITO ARCHEOLOGICO DI TELL BARRI (SIRIA)

C. FORNACELLI^{1*}, I. TURBANTI MEMMI², M. GIAMELLO¹, A. SCALA¹, S. SIANO³,
A. D'AGOSTINO⁴, V. ORSI⁴

¹ Dipartimento di Scienze Ambientali – Via Laterina 8 – 53100 Siena

² Dipartimento di Scienze della Terra – Via Laterina 8 – 53100 Siena

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Fisica Applicata “N. Carrara”

⁴ Dipartimento di Scienze dell'Antichità, SAMeRL – P.zza Brunelleschi 4 - Firenze

RIASSUNTO

Uno studio colorimetrico su una serie di manufatti ceramici provenienti dal sito archeologico di Tell Barri (Siria,) è stato condotto all'interno di un più ampio progetto di indagini archeometriche portato avanti nell'ambito del progetto TEMART (Tecniche avanzate per la conoscenza materica e la conservazione del patrimonio storico-artistico). I 36 frammenti analizzati, molto eterogenei per caratteristiche tessiturali, rappresentano una vasta gamma di produzioni ceramiche della Siria nord-orientale (dalla ceramica comune fino alla ceramica metallica e alle ceramiche di lusso) e abbracciano un vasto intervallo temporale, che va dal Bronzo Antico fino al Ferro III.

*Lo studio sulle temperature di cottura dei manufatti è stato condotto attraverso misurazioni colorimetriche (spazio CIE L*a*b* e CIE L*C*h) sui campioni sottoposti a operazioni di ricottura a temperature crescenti e comprese fra 600°C e 1100°C. L'elaborazione dei risultati conseguiti ha inoltre permesso, per ogni campione, di realizzare curve colorimetriche sul piano a*b* e di studiare il comportamento di tinta e saturazione (spazio CIE L*C*h) al variare della temperatura di ricottura: questo ha consentito di suddividere i campioni in base alle analogie riscontrate negli andamenti delle curve ottenute e di poter stabilire dei rapporti anche fra campioni a prima vista molto diversi. Le classi ottenute hanno inoltre mostrato una notevole corrispondenza con quelle indicate dagli archeologi consentendo di ritenere che la tecnica analitica impiegata possa essere considerata un valido strumento nell'analisi di manufatti ceramici.*

PAROLE CHIAVE: TELL BARRI, ARCHEOMETRIA, CERAMICA, COLORIMETRIA, TEMPERATURA DI COTTURA.

* Autore di riferimento, E-mail cristina100hs@hotmail.it

ABSTRACT

*In the framework of the TEMART project (Tecniche avanzate per la conoscenza materica e la conservazione del patrimonio storico-artistico), a colorimetric study was undertaken on 36 sherds of archaeological pottery coming from the site of Tell Barri (Syria). Samples consisted in a very heterogeneous group of sherds datable between the first half of the third and the beginning of the first millennium B.C.. Many kinds of North-Syrian ceramic categories like stone ware, fine and luxury wares, Khabur ware and Ninivite V are represented. Colour measurements was used as a means of evaluating maximum firing temperatures and other technological issues of every sample. Powders taken from each sherds were submitted to six refiring steps reaching different maximum temperature (from 600°C to 1100°C). CIE L*a*b* and CIE L*C*h colour coordinates were used also to create colour curves used to discriminate between products made up from different kinds of clay.*

KEYWORDS: TELL BARRI, POTTERY, ARCHAEOOMETRY, COLORIMETRY, FIRING TEMPERATURE.

INTRODUZIONE

Tell Barri si trova nella Siria nord-orientale a metà strada tra le moderne città di Hassake e Qamishly, sul corso del wadi Jaghjagh, affluente del fiume Khabur. Il sito, da identificare, stando



alle fonti scritte, con l'antica città di Kahat, sede di un importante tempio del dio della tempesta, è costituito da un monticolo alto circa 32 mt che si estende per circa 6 ettari sul piano di campagna, il *tell*¹, e da una città bassa che copre un'area di circa 17 ettari [Fig.1].

Figura 1 - Veduta del tell da sud. Archivio delle Missioni Archeologiche Italiane a Tell Barri (Siria).

¹ Il *Tell*, o *tall* (*collina*, in arabo: تَلّ, *tall*, in ebraico: תל, *tel*), è il risultato della sovrapposizione di insediamenti antropici il cui studio stratigrafico permette di stabilirne la successione cronologica. Un tell è generalmente costituito da strutture architettoniche di varia tipologia (edifici governativi, religiosi, militari o strutture abitative private), ed è diffuso in un'area che va dalla valle dell'Indo (a est) all'Europa sud-orientale (a ovest). Il sito di Tell Barri, in particolare, prende il nome dallo sceicco Barri, la cui tomba è stata rinvenuta nel cimitero islamico posto sulla sommità dell'acropoli e in uso fino al 1980, anno dell'inizio dei lavori di scavo.

Lo scavo archeologico del *tell* ha avuto inizio a partire dal 1980, ad opera di P.E. Pecorella, con l'obiettivo di indagare i livelli di II millennio a.C., con particolare riferimento al periodo degli Hurriti di Mitanni [1], di cui si avevano allora scarse informazioni e che ancora oggi rimane poco conosciuto².

Nel corso degli anni, con la progressiva estensione delle aree di scavo, sulla pendice del *tell* e nella città bassa, si è potuto documentare una lunga sequenza di occupazione che va dalla fine del IV millennio a.C. fino al periodo medievale islamico [2]. Materiali rinvenuti in superficie e fuori contesto hanno consentito di stabilire che le fasi più antiche di frequentazione del sito risalgono ai periodi Halaf, Obeid e Tardo Calcolitico (all'incirca tra V e IV millennio a.C.).

Gli scavi condotti sotto la direzione di P.E. Pecorella e poi di R. Pierobon Benoit [3] hanno fornito importanti informazioni riguardo allo sviluppo dell'insediamento nel III, II e I millennio a.C., grazie all'esposizione su ampie superfici di consistenti porzioni dell'antico abitato. Nell'area G, sul versante sud-orientale del *tell*, una ventennale e continuativa attività di scavo ha messo in luce una sequenza stratigrafica continua, con un esteso e articolato repertorio ceramico che riveste una particolare importanza nell'analisi dei mutamenti e degli sviluppi tecnologici dell'intera area sul lungo periodo [4].



Figura 2 - Scavi presso il complesso acro dell'Area G nel 2004.
Archivio delle Missioni Archeologiche Italiane a Tell Barri (Siria).

I manufatti ceramici analizzati in questo studio consistono in una serie di 36 frammenti di tipologia, dimensioni e caratteristiche molto eterogenee. I campioni risalgono a un periodo di tempo che va dal 2900 al 600 a.C. circa, e rappresentano varie tipologie produttive (sia realizzate presso il sito che di probabile importazione) che vanno dalla ceramica comune, alle ceramiche di lusso e dipinte, fino a esempi più particolari, come la ceramica

² L'esplorazione archeologica del sito è nata alla fine degli anni settanta nel quadro degli studi condotti presso la Sezione Anatolica dell'Istituto per gli Studi Micenei ed Egeo-Anatolici del CNR; dal 1987 la direzione dei lavori è passata sotto l'egida dell'Università di Firenze e successivamente, dal 2006, dell'Università di Napoli Federico II. Il progetto di studio della collezione ceramica conservata presso l'Università di Firenze è parte di una più ampia ricerca sviluppata in accordo con la direzione della Missione Archeologica Italiana a Tell Barri (Siria) e la presidenza delle facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Firenze ed è resa possibile grazie al sostegno della Leon Levy Foundation nell'ambito del Shelby White Leon Levy – Program for Archeological Publications.

metallica, le ciotole arancioni dal bordo scuro (DROBs, ; Dark-Rimmed Orange Bowls) [5] e la ceramica scanalata (Grooved Ware).

Il presente lavoro riporta i risultati ottenuti a seguito di indagini colorimetriche che, in questo ambito, sono state finalizzate alla determinazione della temperatura di cottura e alla classificazione dei manufatti, mentre le analisi diffrattometriche, fornendo informazioni sulla composizione mineralogica dei campioni, sono risultate essenziali per verificare le ipotesi formulate.

DESCRIZIONE DEI CAMPIONI

I 36 campioni analizzati, riportati in tabella 1, sono costituiti da frammenti molto eterogenei e distinguibili in classi in base alle caratteristiche produttive, alle finalità di impiego e al periodo di realizzazione:

- ***Ceramica comune***: campioni caratterizzati da un impasto a grana media e tessitura mediamente compatta; la superficie appare in alcuni casi ingobbiata da un sottile velo di argilla molto diluita o da strati più consistenti di argilla di colore giallo, mentre in altri non presenta trattamenti superficiali evidenti [fig. 3a].
- ***Ceramica fine***: campioni caratterizzati da una colorazione rossastra non omogenea, da un impasto a granulometria fine (non sono visibili tracce di smagranti vegetali) e da superfici accuratamente lavorate e generalmente non ingobbiate [fig. 3b].
- ***Ceramica metallica***: tipologia di ceramica che presenta un impasto molto compatto e una superficie altamente vetrificata [6]. La serie di campioni analizzati consiste in frammenti con caratteristiche cromatiche e mineralogiche diverse e comprende due campioni di ceramica metallica grigia [fig. 3c] e un campione di ceramica di colore verde, definita in molti testi anche *stone ware* [fig. 3d] [7,8].
- ***Ceramica corsiva***: campioni con impasto a granulometria grossolana che presenta numerosi inclusi di varia dimensione, visibili sia in superficie che in sezione [fig. 3e].
- ***Ceramica da cucina***: classe rappresentata da un unico campione caratterizzato da un impasto a grana grossolana e tessitura mediamente compatta in cui è stato impiegato uno smagrante prevalentemente di origine minerale. La superficie appare in questo caso trattata (ulteriori indagini saranno rivolte alla caratterizzazione del rivestimento) con lo

scopo di diminuire la porosità superficiale e di aumentare la refrattarietà del manufatto [fig. 3f].

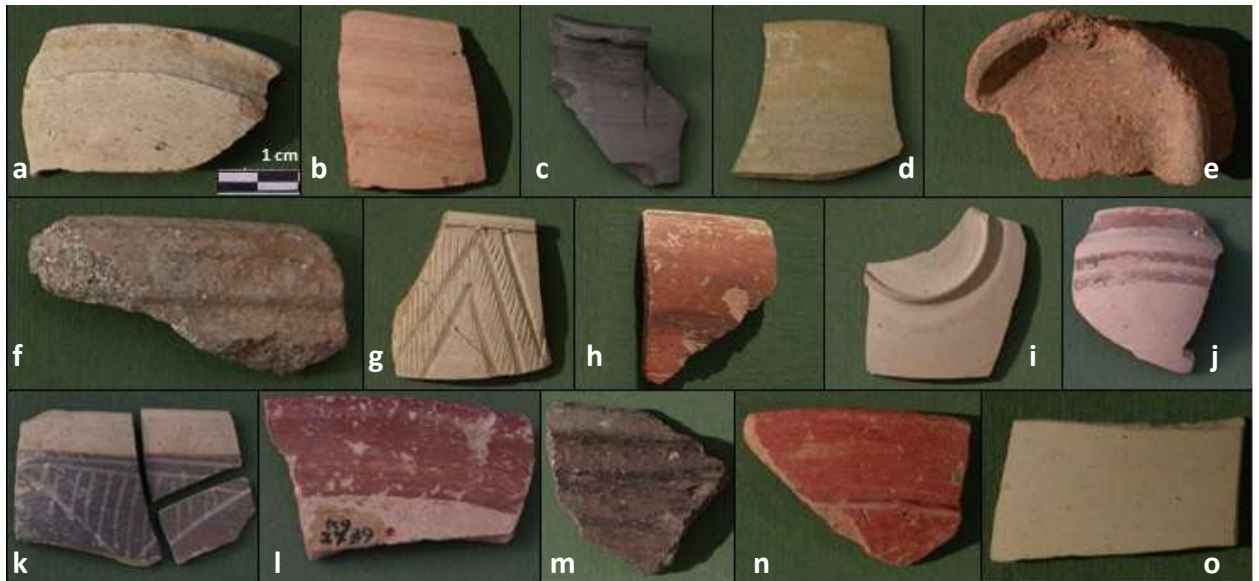


Figura 3 – Alcuni frammenti di ceramica analizzati. (a) Ceramica comune (settore A-D 7-10, strato 22 Età del Ferro). (b) Ceramica fine (settore A-D 1-6, strato 35, fine Bronzo antico). (c) Ceramica metallica (settore A-D 1-6, strato 37, fine Bronzo Antico). (d) Stone ware (settore A-D 1-6, strato 37, fine Bronzo Antico). (e) Ceramica corsiva (settore A3, strato 37, inizio Bronzo Antico). (f) Ceramica da cucina (settore A-D 7-10, strato 33B, Bronzo Tardo). (g) Ceramica Ninivite V (settore A-D 1-6, strato 43, inizio Bronzo Antico). (h) Ceramica DROB (settore A-D 1-6, strato 35A, fine Bronzo Antico). (i) Taya ware (settore A-D 1-6, strato 37, fine Bronzo Antico), (j) Khabur ware (settore A-D 1-6, strato 33, Bronzo Medio). (k) Nuzi ware (settore A-D 7-10, strato 36, Bronzo Tardo). (l) Red-Edged Bowl (settore A-D 7-10, strato 38, Bronzo Tardo). (m) Grooved ware (settore A-D 7-10, strato 24, Età del Ferro). (n) Red-slipped ware (settore A-D 7-10, strato 22, Età del Ferro). (o) Palace ware (settore A-D7-10, strato 22, Età del Ferro).

Completano la serie alcuni campioni rinvenuti presso il *tell* e considerati di probabile importazione:

- **Ninivite V**: il campione in esame rappresenta una variante incisa/excisa con impasto a granulometria molto fine nel quale, ad un primo esame macroscopico, non sono visibili tracce di smagranti [8, 9, 10] [fig. 3g].
- **Coppe arancioni con bordo scuro o DROB (Dark-Rimmed Orange Bowls)**: il campione analizzato consiste di un frammento di colore rosso-arancio che presenta una tipica fascia bruna in prossimità del bordo del manufatto [fig. 3h]. Questo tipo di ceramiche è il frutto di una produzione specializzata che si è diffusa a partire dalla fine del III millennio a.C. e che, al di fuori della valle superiore del Tigri, a nord del Tur Abdin, è attestata nei siti della Giazira siriana (Tell Brak, Chagar Bazar, Tell Mozan), ma anche anche nell'alta valle dell'Eufrate, in territorio turco, come Norşuntepe. [5].

- **Taya ware:** ceramica fine e compatta che presenta una superficie brunita o, in alcuni casi, decorazioni a pettine molto sottili. Caratteristica della Giazira nord-orientale (Tell Taya, Tell Brak, Tell Al-Rimah Ninive) a partire dal III millennio a.C. [11] [fig. 3i].
- **Khabur e Nuzi ware:** produzione ceramica ampiamente diffusa anche in Mesopotamia settentrionale e che si sviluppò fra il Bronzo Medio e il Tardo Bronzo (XIV/XIII sec. a.C. circa) [2, 12]. I frammenti esaminati sono riconducibili sia alla fase antica di produzione (1900-1700 a.C.) sia alla fase recente (all'incirca 1700-1400/1300 a.C.) [13, 14] [fig. 3j], periodo che vide anche la fioritura della ceramica dipinta, detta *Nuzi*, che riprende le forme di quella *Khabur* e che si diffuse dalla Mesopotamia settentrionale, alla Siria occidentale fino all'Anatolia sud-orientale [15, 16] [fig. 3k].
- **Ciotole dal bordo rosso o Red-edged bowls:** si tratta di una categoria di ciotole curve troncoconiche molto basse e svasate caratterizzate da una banda dipinta di colore rosso-bruno che copre parte del bordo interno ed esterno [17]. Il frammento analizzato è caratterizzato da una granulometria fine e una bassa porosità e presenta un sottile strato di ingobbatura/scialbatura di colore rosso bruno [fig. 3l].
- **Ceramica scanalata o Grooved ware:** tipologia ceramica molto diffusa in diverse regioni della Turchia orientale e caratterizzata da coppe a profilo curvo e olle di forma tendenzialmente globulare, di colore generalmente bruno (spesso la superficie appare lucidata) e con profondi incavi o incisioni lungo il bordo [18, 19] [fig. 3m].
- **Red-slipped ware:** ceramica a ingobbio rosso, ottenuta a partire da un impasto eterogeneo a granulometria media, in cui sono visibili inclusi di varia dimensione [fig. 3n]. Tipologie simili di ceramica si trovano su un'ampia area geografica che si estende dalla Siria occidentale, al Levante e all'Anatolia.
- **Palace ware:** ceramica di lusso (principalmente coppe e ollette potorie) prodotta a partire da argille a granulometria finissima e caratterizzata da un'accurata levigatura della superficie e da spessori delle pareti estremamente bassi [20].

Tab. 1 – Campioni analizzati.

Campione	Sigla	Settore	Strato	Classe ceramica	Datazione ‘Tecnologica’	Datazione
1	K18.1825	A-D 7-10	22	Comune	Ferro I-III	1000-612 a.C
2	K18.1753	A-D 7-10	22	Ceramica fine	Ferro I-III	1000-612 a.C
3	K18.1738	A-D 7-10	22	Red Slipped ware	Ferro I-III	1000-612 a.C
4	K18.3783	A-D 7-10	22	Palace ware	Ferro I-III	1000-612 a.C
5	K19.1035	A-D 7-10	24	Comune	Ferro I-III	1000-612 a.C
6	K19.1102	A-D 7-10	24	Grooved ware	Ferro I-III	1000-612 a.C
7	K19.2983	A-D 7-10	25	Comune	Ferro I-III	1000-612 a.C
8	K20.2987	A-D 7-10	28	Grooved ware	Ferro I	1000-800a.C.
9	K22.2516	A-D 7-10	33B	Comune	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
10	K22.2379	A-D 7-10	33B	Comune	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
11	K22.6735	A-D 7-10	33C	Da cucina	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
12	K4.G7.1F	A-D 3-4	33C (ex 4)	Comune	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
13	K4.G.1C	A-D 7-10	33 (ex 1C)	Comune	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
14	K4.G8-10	A-D 7-10	34 (ex 1C)	Comune	Tardo Bronzo II	1200-1050 a.C.
15	K23.4252	A-D 7-10	35B	Grigia	Tardo Bronzo I	1400-1270 a.C
16	K11.446	A-D 5-6	36 (ex 19)	Nuzi ware	Tardo Bronzo I	1400-1270 a.C
17	K10.3879	A-D 5-6	36 (ex 17)	Nuzi ware	Tardo Bronzo I	1400-1270 a.C
18	K9.2793	A-D 3-4	38 (ex 5)	Red -edged bowl	Tardo Bronzo I	1400-1270 a.C
19	K9.1831	A-D 3-5	39 (ex 5)	Late Khabur ware	Tardo Bronzo I	1400-1270 a.C
20	K18.4416	A-D 1-6	33	Comune	Bronzo Medio I-II	1900-1700 a.C.
21	K18.3160	A-D 1-6	33	Khabur ware	Bronzo Medio II	1800-1600 a.C.
22	K18.3193	A-D 1-6	33	Grigia	Bronzo Medio II	1800-1600 a.C.
23	K18.4155	A-D 1-6	34	Comune	Bronzo Medio I	2000-1800 a.C.
24	K18.4082	A-D 1-6	34	Comune dipinta, possibile Khabur ware	Bronzo Medio I	2000-1800 a.C.
25	K18.4081	A-D 1-6	34	Khabur ware	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
26	K21.111	A-D 1-6	35	Ceramica fine brunita	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
27	K20.4814	A-D 1-6	35	Grigia, possibile ceramica metallica	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
28	K20.4812	A-D 1-6	35A	Dark-Rimmed Orange Bowl (DROB)	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
29	K19.4552	A-D 1-6	35B	Comune	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
30	K9.187	A3	37	Corsiva	Bronzo Antico	2900-2600 a.C.
31	K21.3503	A-D 1-6	37	Ceramica fine, possibile ceramica metallica calcarea	Bronzo Antico	2350-2170 a.C.
32	K22.305	A-D 1-6	37	Metallica	Bronzo Antico	2350-2170 a.C.
33	K21.3960	A-D 1-6	37	Taya ware	Bronzo Antico	2350-2000 a.C.
34	K24.5042	A-D 1-6	43	Ninivite V	Bronzo Antico	2700-2600 a.C.
35	K9.5813	A1	44	Fine brunita	Bronzo Antico	2700-2600 a.C.
36	s.n.	A-D 1-6		Frammento vetrificato	transizione Bronzo Medio-Tardo Bronzo	1700-1600 a.C.

METODOLOGIE ANALITICHE e PROCEDURE SPERIMENTALI

Le analisi colorimetriche sono state realizzate con un colorimetro Minolta CR-200 che permette di esaminare un'area di 8mm di diametro con una geometria $d/0^\circ$ (illuminazione diffusa/osservazione a 0°); una lampada xenon pulsata permette di illuminare in maniera diffusa tutta la superficie interessata, mentre un sistema di rivelazione a doppio raggio con 6 fotocellule al silicio viene utilizzato per misurare sia la componente incidente che quella riflessa, essendo in grado di rilevare ogni piccola deviazione della distribuzione spettrale della lampada xenon e di operare automaticamente una compensazione.

Con il colorimetro Minolta CR-200 possono essere effettuate misure assolute del colore in coordinate Yxy (CIE 1931), $L^*a^*b^*$ (CIE 1976) o L^*C^*h , utilizzando un illuminante CIE C (6774 K). Nello spazio CIEL $^*a^*b^*$ le coordinate L^* (luminosità), a^* (asse verde-rosso), b^* (asse giallo-blu) vengono derivate a partire dai valori di tristimolo CIE, mentre le coordinate relative allo spazio CIEL $^*C^*h$, L^* (luminosità), C^* (croma/saturazione) e h (tonalità/tono cromatico) possono essere ricavate ricorrendo alle formule $C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ e $h=\arctang(b^*/a^*)\cdot 180/\pi$ [22].

Le indagini colorimetriche sono state effettuate su polveri ottenute macinando una piccola quantità di campione, facendo attenzione ad eliminare tracce di eventuali rivestimenti superficiali. Le polveri sono state quindi alloggiate in un apposito vetrino portacampioni e coperte da un ulteriore vetrino per evitarne il contatto con la testa di misura [fig.4a].

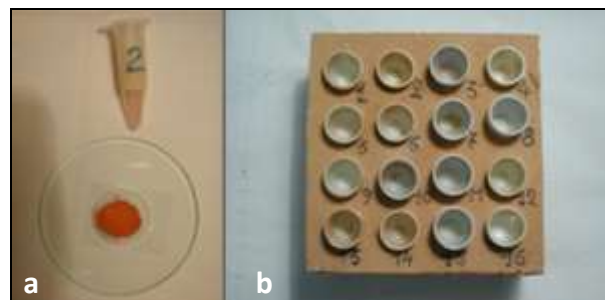


Figura 4 - Campione 2 preparato per la misurazione colorimetrica (a) e crogiuoli per la ricottura delle polveri (b).

I valori colorimetrici ottenuti in questa prima fase, risultato della media di tre acquisizioni, sono stati quindi assunti come *target* di riferimento per le successive misurazioni.

Le polveri prelevate sono state quindi sottoposte a 5 distinti processi di riscaldamento (ricottura) in una muffola, durante i quali sono state raggiunte le temperature finali (T_r) di 600° , 700° , 800° , 900° , 1000° e 1100° [fig.4b]. Al termine di ogni fase di riscaldamento i campioni sono stati lasciati raffreddare a temperatura ambiente e sottoposti nuovamente a indagini colorimetriche e diffrattometriche.

Ogni processo di riscaldamento è stato suddiviso in 4 fasi a diverse velocità di innalzamento della temperatura: *step 1*, raggiungimento di 500°C con velocità di riscaldamento pari a 400°C/h, *step 2*, raggiungimento della T_r con velocità di riscaldamento pari a 200°C/h, *step 3*, mantenimento della T_r per 3h per il raggiungimento dell'equilibrio, *step 4*, raffreddamento in muffola per circa 8h a temperatura ambiente [tab. 2].

	T_r						
	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1200°C
<i>step 1</i>	75	75	75	75	75	75	75
<i>step 2</i>	30	60	90	120	150	180	210
<i>step 3</i>	180	180	180	180	180	180	180
<i>step 4</i>	Raffreddamento durante la notte						

Tab. 2- Durata (min) degli step di riscaldamento delle polveri al variare della T_r da raggiungere.

Le coordinate a^* e b^* sono state utilizzate per la definizione della temperatura di cottura e, attraverso l'elaborazione di curve colorimetriche sullo stesso piano, per studiare l'entità delle variazioni colorimetriche del campione al variare della temperatura di ricottura. Altre curve sono invece state costruite tenendo conto del rapporto esistente fra i valori delle coordinate C^* (chroma/saturazione), o h (tonalità/tono cromatico), e la temperatura di ricottura.

Sulle polveri utilizzate per le indagini colorimetriche sono inoltre state eseguite analisi diffrattometriche [21] (sia sul campione tal quale, che a seguito di ogni processo di ricottura) per le quali è stato impiegato un diffrattometro a raggi X Bragg-Brentano Philips X'Pert PRO PW 3040, equipaggiato di rilevatore allo stato solido X'Celerator PW 3015.

Le analisi diffrattometriche eseguite sul campione tal quale hanno permesso di stimare la temperatura di cottura del manufatto (in base alla presenza/assenza di specie mineralogiche con specifiche temperature di formazione/decomposizione) e di eseguire un confronto con i valori ottenuti a seguito delle indagini colorimetriche, mentre le analisi eseguite a seguito dei processi di ricottura hanno invece consentito di associare le variazioni colorimetriche osservate a una specifica variazione di composizione del campione.

Tab. 3 – Composizione mineralogica dei campioni.

sample	Ak	Alb	Anl	Anr	Ca	Cl	Cr	Dps	Do	Ep	Fo	Ge	Gy	Hem	Hed	Il	Ma	Mi	Mo	Mul	Mus	Or	Qz	Sp		
1	x	x		x	x			x														x	x			
2		x			x			x					x	x		x		x						x		
3		x			x			x								x		x						x		
4		x						x						x				x							x	
5		x						x				x		x									x		x	
6					x		x															x	x		x	
7					x		x	x				x		x											x	
8	x	x			x			x								x									x	
9		x						x				x		x					x						x	
10		x			x			x				x		x					x						x	
11		x			x			x						x					x						x	
12		x			x			x						x											x	
13				x				x				x		x					x						x	
14	x	x						x						x									x		x	
15		x			x			x				x				x			x						x	
16	x			x	x			x											x						x	
17	x			x	x			x						x					x						x	
18	x	x			x			x						x					x						x	
19	x	x			x			x						x											x	
20		x			x																	x	x		x	
21	x	x			x			x						x											x	
22																										
23		x			x				x							x			x				x		x	
24	x	x			x			x			x	x		x											x	
25	x	x			x			x						x											x	
26							x	x				x		x					x						x	
27		x			x	x			x												x	x	x		x	
28		x			x			x		x				x		x									x	
29	x			x				x				x					x				x	x			x	
30		x			x				x										x	x					x	
31	x			x				x																	x	
32				x	x																x		x		x	x
33			x		x			x													x				x	
34	x			x	x		x	x																	x	
35		x			x			x					x	x								x			x	
36				x	x							x				x									x	

Ak=Akermanite, Al=Albite, Anl= Analcime, Anr=Anorthite, Ca=Calcite, Cl=Clinocloro, Cr=Cristobalite, Dps=Diopside, Do=Dolomite, Ep=Epidoto, Fo=Forsterite, Ge=Ghelenite, Gy=Gypsum, Hed=Hedembergite, Hem=Hematite, Il=Illite, Ma=Magnetite, Mi=Microcline, Mo=Montmorillonite, Mul=Mullite, Mus=Muscovite, Or=Orthoclase, Qz=Quartz, Sp=Spinel.

Occorre precisare, infine, che la corretta valutazione dei risultati ottenuti è stata influenzata dall'esigua quantità di materiale campionabile, dalla mancanza di standard e dall'indisponibilità delle argille presenti nel bacino del Khabur da utilizzare come riferimento. Le indagini eseguite in occasione di questo lavoro hanno quindi riguardato una singola aliquota di ogni campione a differenza di quanto riportato nelle fonti bibliografiche, dove quantità diverse di campione sono state impiegate per ogni processo di riscaldamento.

RISULTATI E DISCUSSIONE

In tabella 3 sono riportati i risultati delle analisi diffrattometriche effettuate sui campioni tal quali.

Una correlazione fra le variazioni delle coordinate colorimetriche a^* e b^* e le temperature di cottura cui è stato sottoposto un campione, è stata evidenziata in una serie di studi eseguiti su argille e ceramiche archeologiche [23, 24]. Una volta superata di 100°C l'originale temperatura di cottura si registra, in molti casi, una netta variazione di almeno una delle due coordinate colorimetriche, identificabile, sul piano a^*b^* , come un netto discostamento del punto relativo a

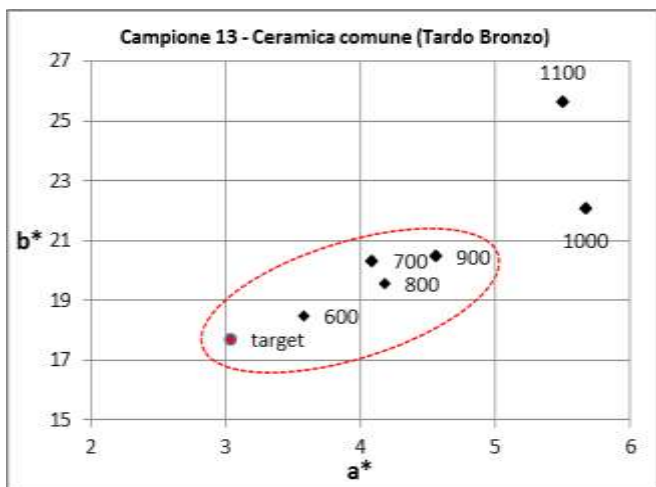


Figura 5 – Coordinate colorimetriche relative alle fasi di ricottura del campione 13. Il punto identificato dalle coordinate a^* e b^* relative alla ricottura a 1000°C mostra un netto discostamento rispetto a quelli ottenuti a temperature inferiori, permettendo di ipotizzare che la T_c sia stata intorno ai 900°C .

quella temperatura si ricottura ($T_{r,j}$) rispetto agli altri [fig. 5]. Una volta identificato un punto con tali caratteristiche, è quindi possibile affermare che $T_c = T_{r,j} - 100$.

La corretta valutazione delle temperature di cottura può essere, tuttavia, influenzata da fenomeni chimico-fisici quali la formazione di ematite a $T < 600^\circ\text{C}$, nelle ceramiche originariamente cotte in ambiente riducente [25], e la decomposizione di calcite primaria, o secondaria intorno agli 800°C .

Questi due fenomeni possono portare a sottostimare le temperature raggiunte all'interno della fornace ed è quindi necessario porre attenzione nella valutazione dei risultati colorimetrici ottenuti [26].

I problemi di valutazione citati sono stati riscontrati, ad esempio, nel campione 23 (ceramica comune), dove la decomposizione della calcite secondaria [27] (rilevata mediante microscopio ottico polarizzatore) ha causato una netta variazione delle coordinate colorimetriche nella

polvere ricotta a 800° rispetto al target (campione non sottoposto a ricottura) e al campione ricotto a 600°C e 700°C [fig.6].

Nel campione 8 [fig.7], corrispondente invece a un manufatto cotto in ambiente riducente, la formazione di ematite a seguito della riossidazione dei composti ferrosi porta, a partire da 600°C, a una variazione del colore verso tonalità rossastre che aumenta di intensità all'aumentare della temperatura di ricottura, come conseguenza di un progressivo aumento della cristallinità dell'ematite stessa [4].

Le osservazioni fatte hanno trovato riscontro nei dati mineralogici, riportati nella tab. 4, dove, per questi e altri casi, viene specificato il fenomeno che ha causato l'anomalia nella variazione del colore.

Nei casi di difficile interpretazione, la temperatura di cottura del manufatto è stata pertanto stimata attraverso l'analisi della composizione mineralogica del campione tal quale [tab.3]. Nel caso del campione 23, la presenza di dolomite e illite (minerali con temperature di decomposizione intorno a 800°C e 900°C) ha permesso di ipotizzare che la T_c sia stata inferiore a 800°C, mentre la presenza di diopside (con temperatura di formazione intorno ai 900°C) e illite nel campione 8 ha permesso di risalire a una T_c di circa 900°C.

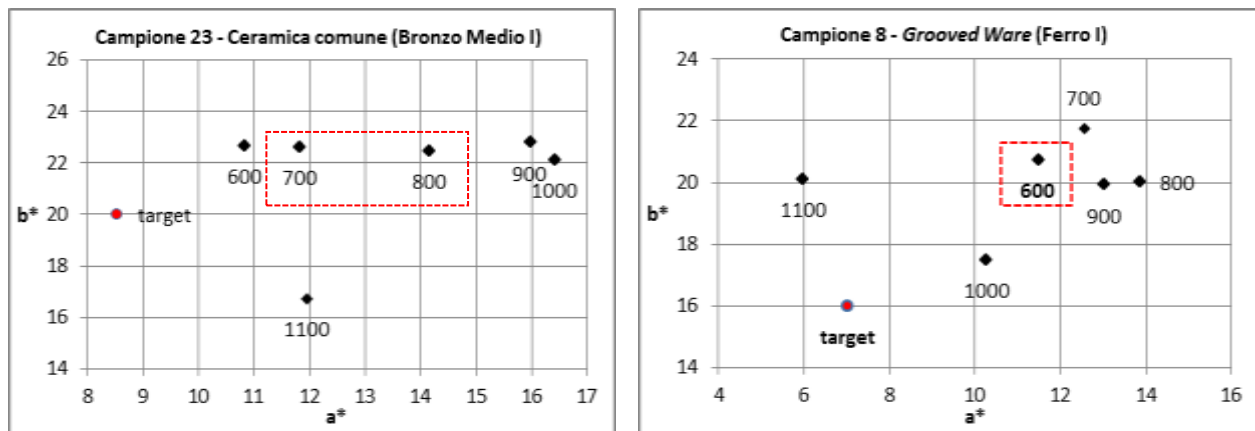


Figure 6 e 7 - Coordinate colorimetriche relative alle fasi di ricottura del campione 23 (sin) e 8 (des).

La costruzione di curve colorimetriche è basata invece sul presupposto che manufatti realizzati a partire dallo stesso tipo di argilla, e sottoposti allo stesso processo di lavorazione, producano curve con andamento simile [21]. Le curve ottenute, costruite sui piani a^*b^* , TC^* e Th , sono state quindi confrontate e ripartite in base a criteri di somiglianza di andamento, ottenendo in questo modo una suddivisione dei campioni in classi che hanno rispecchiato in molti casi la classificazione indicata dagli archeologi (ceramica comune, ceramica metallica, Khabur ware etc.).

Tab. 4 – Composizioni mineralogiche delle polveri di alcuni campioni tal quali e a seguito dei processi di ricottura a 600°C e 1100°C.

Refiring	Sample	Ak	Alb	Ank	Anr	Ca	Cl	Cr	Dps	Do	Ep	Ge	Gl	Gy	Hem	Il	Mi	Mul	Mus	Or	Qz	Ra	Ri	Sp	Wo	ΔCol
NO	1	x	x		x	x			x											x	x					
600°C		x	x		x	x			x											x	x					Hem
1100°C		x	x		x					x						x						x				
NO	6					x													x	x	x					
600°C			x			x									x				x	x	x					Hem
1100°C			x						x	x					x					x	x				x	
NO	8	x	x			x			x							x					x					
600°C		x	x			x			x				x		x						x					Hem
1100°C		x	x						x						x					x					x	
NO	11		x			x			x								x				x					
600°C			x			x			x								x				x					Hem
1100°C		x	x						x						x					x	x				x	Calc
NO	15		x			x			x			x				x	x				x					
600°C			x			x			x							x	x				x					Calc
1100°C		x	x						x							x	x				x				x	
NO	22			x		x											x				x					
600°C			x			x										x				x	x					Hem
1100°C		x	x						x						x					x	x					Calc
NO	23		x			x				x						x	x		x		x					
600°C																					x	x				Calc
1100°C									x		x										x	x			x	
NO	27		x			x	x			x								x		x	x					
600°C			x				x								x		x	x			x					Hem
1100°C			x						x						x		x	x			x					
NO	28		x			x			x		x	x				x					x					
600°C			x						x			x				x					x					Hem
1100°C			x						x						x		x				x					Calc
NO	32				x	x												x		x	x			x		
600°C					x													x		x	x			x		Hem
1100°C					x										x			x		x	x					

Ak=Akermanite, Al=Albite, Anr=Anorthite, Ca=Calcite, Cl=Clinocloro, Cr=Cristobalite, Dps=Diopside, Do=Dolomite, Ep=Epidoto, Ge=Ghelenite, Gl= Glauconite, Gy=Gypsum, Hem=Hematite, Il=Illite, Mi=Microcline, Mul=Mullite, Mus=Muscovite, Or=Orthoclase, Qz=Quartz, Ra= Rankinite, Ri= Richterite, Sp= Spinel, Wo= Wollastonite, ΔCol= Variazione di colore.

Hem= variazione del colore dovuta alla formazione di ematite.







Calc= Variazione del colore dovuta alla decomposizione della calcite.

I campioni 6 e 8 [fig.8], ad esempio, sono relativi a frammenti di *Grooved ware* risalenti rispettivamente alla media (strato 24) e all'antica Età del Ferro (strato 28). Trattandosi di due campioni cotti in ambiente riducente, l'analisi della distribuzione dei punti sul piano $a*b^*$ permette, in questo caso, di risalire non all'originale temperatura di cottura, ma a quella alla quale è avvenuta la ri-ossidazione dei composti ferrosi, coincidente con il momento in cui è stata ripristinata la circolazione di ossigeno nella fornace [21]. Durante i processi di cottura in cui si alternano fasi in ambiente riducente a fasi in ambiente ossidante, la temperatura massima viene infatti raggiunta in condizioni riducenti, mentre la ri-ossigenazione della fornace avviene durante il processo di raffreddamento. L'analisi del comportamento colorimetrico permette quindi di stabilire a quale temperatura è avvenuta la ri-ossidazione e, in particolare, se questa è avvenuta durante o al termine del processo di raffreddamento.

Osservando, ad esempio, la distribuzione dei punti del campione 8 [fig. 9] è possibile riscontrare un addensamento dei punti fra le temperature di 600°C e 900°C che permette di ipotizzare che la ri-ossidazione sia avvenuta intorno ai 900°C, mentre per quanto riguarda il campione 6 l'introduzione di ossigeno nella fornace potrebbe essere avvenuta al termine del processo di raffreddamento ($T < 500^\circ\text{C}$).

L'impossibilità di risalire alla temperatura di cottura per questi campioni è dovuta, come specificato in precedenza, alla formazione di ematite a seguito della riossidazione dei composti ferrosi durante le fasi di ricottura in ambiente ossidante. La presenza di ematite è confermata anche dai risultati delle indagini diffrattometriche [tab. 5] che mostrano come il minerale sia assente nel campione originale e venga invece rivelato già a seguito della ricottura a 600°C. Dalla presenza di cristobalite nel campione 6 e di akermanite e diopside nel campione 8 (non sottoposti a ricottura) è possibile comunque ipotizzare che la temperatura di cottura sia stata superiore rispettivamente a 1000°C e 900°C.

Tab.5 – Composizioni mineralogiche e variazioni del colore dei campioni 6 e 8 tal quali e a seguito dei processi di ricottura a 600°C e 1100°C.

Sample	Colour	Rifiring	Ak	Alb	Calc	Cristob	Diops	Hem	Microcl.	Musc	Orthocl	Qz	Woll
6		NO			X	X				X	X	X	
		600°C		X	X	X		X		X	X	X	
		1100°C		X			X	X			X	X	X
8		NO	X	X	X		X		X			X	
		600°C	X	X	X		X	X		X		X	
		1100°C	X	X			X	X			X	X	X

Ak=Akermanite, Al=Albite, Ca=Calcite, Cr=Cristobalite, Dps=Diopside, Hem=Hematite, Mi=Microcline, Mus=Muscovite, Or=Orthoclase, Qz=Quartz, Wo= Wollastonite.

Osservando invece le caratteristiche delle curve colorimetriche è possibile osservare che entrambi i campioni mostrano un andamento molto simile sia sul piano a^*b^* [fig.10], con una caratteristica forma ad anello, che non è stata riscontrata in nessun altro dei manufatti analizzati, sia sui piani TC^* [fig.11] e Th [fig.12].



Figura 8 – Campioni 6 (a) e 8 (b). Grooved ware.

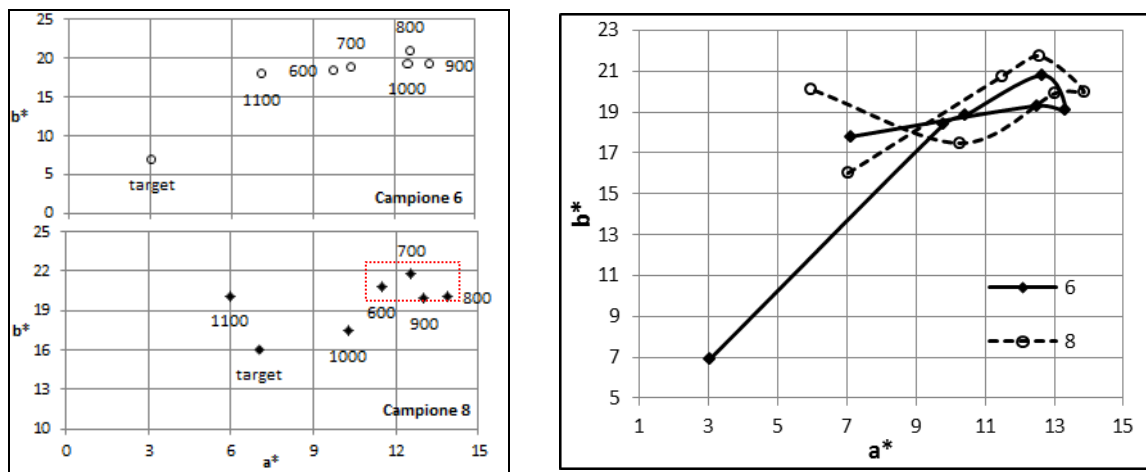


Figure 9 e 10 - Curve colorimetriche sul piano a^*b^* .

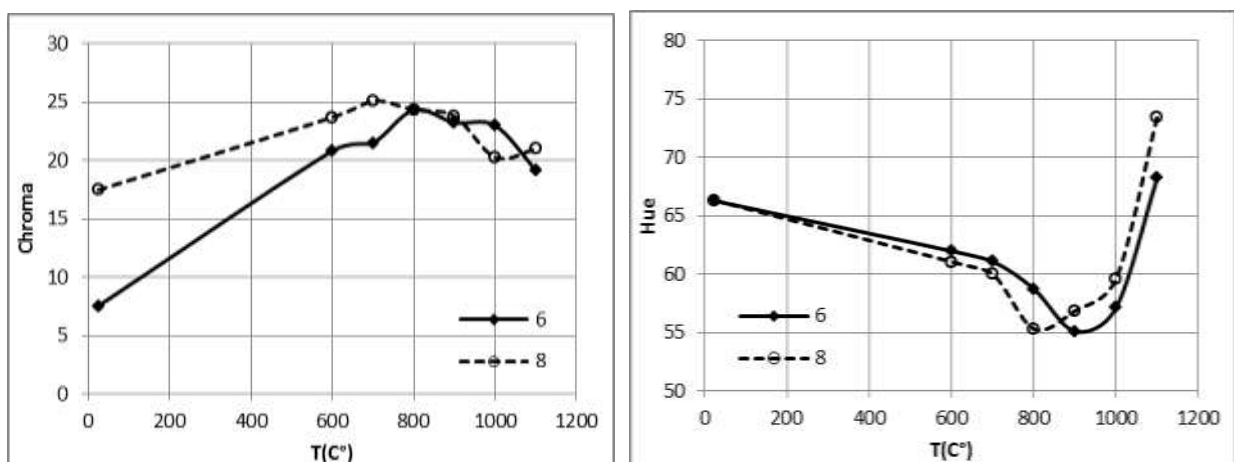


Figure 11 e 12 - Curve colorimetriche sul piano TC^* e Th .

Il confronto fra le curve relative ai campioni di ceramica *Khabur* 19, 20, 24 e 25 [fig.13] permette invece di suddividere i manufatti in base al periodo di fabbricazione (Tardo Bronzo per il 19, Bronzo Medio II per il 21e Bronzo Medio I per il 24 e 25).

Sul piano a^*b^* è infatti possibile notare che il campione 19 (*Late Khabur ware*) mostra, rispetto agli altri, una più marcata diminuzione della coordinata b^* dopo il primo riscaldamento a 600°C , per poi ripresentare un massimo a 700°C in accordo con gli altri campioni [fig.14].

Le analogie fra i quattro campioni sono rese ancora più evidenti sul piano Th [fig.16], dove è possibile osservare un comune comportamento della tinta all'aumentare della temperatura di cottura, riscontrando un minimo fra gli 800°C e i 1000°C , seguito da un netto aumento della tinta verso i 1100°C . Sul piano TC^* [fig. 15] viene invece evidenziata la somiglianza fra i campioni 19 e 21, mentre il campione 24 mostra un andamento con caratteristiche intermedie fra il 21 e il 25.

Le informazioni ottenute possono quindi permettere di focalizzare al meglio le future indagini da eseguire sui campioni, cercando ad esempio di individuare quali caratteristiche (tecnologiche, composizionali etc.) rendano simili, sul piano TC^* , i campioni 19 e 21, o quali provochino il particolare andamento del campione 24.

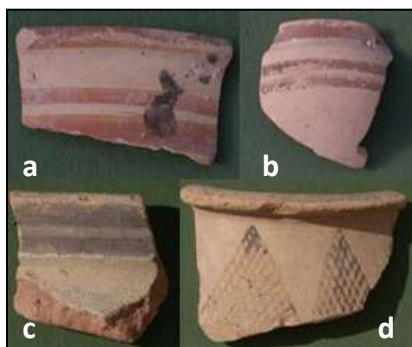


Figura 13 - Campioni 19 (a), 21 (b), 24 (c) e 25(d). Khabur ware.

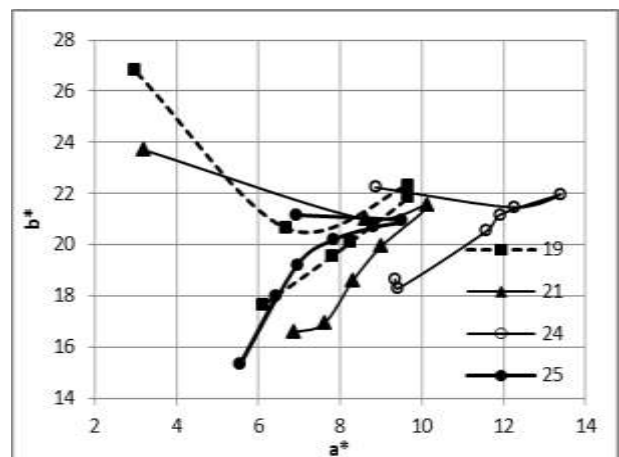


Figura 14 - Curve colorimetriche sul piano a^*b^* dei campioni di ceramica Khabur.

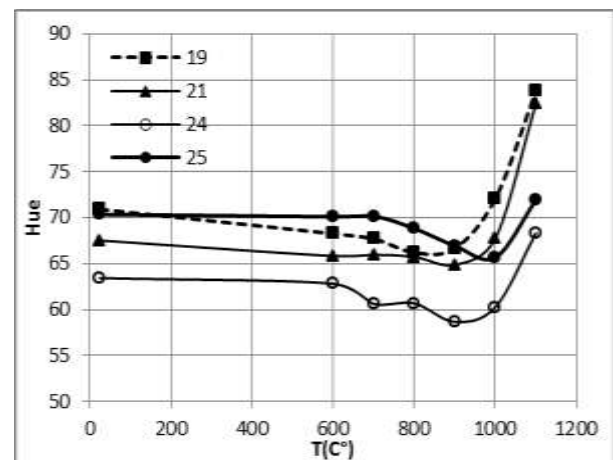
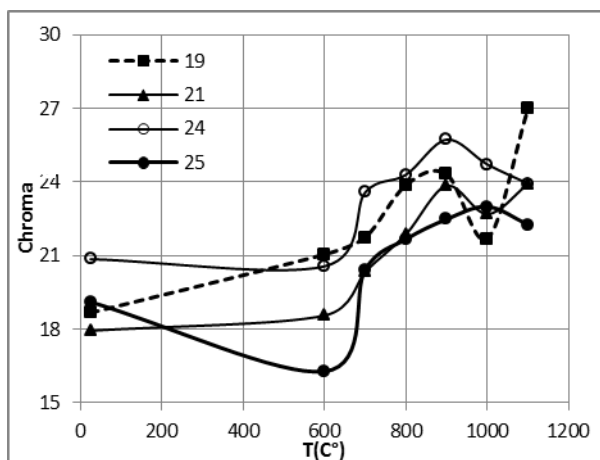


Figura 15 e 16 - Curve colorimetriche dei campioni di ceramica Khabur sui piani TC^* (sin) e TH (des).

Un altro caso riguarda le ceramiche comuni che costituiscono la classe i cui reperti abbracciano l'intervallo di tempo più lungo. Le curve colorimetriche hanno permesso di evidenziare analogie anche fra campioni provenienti da epoche molto lontane fra loro, come nel caso dei campioni 1 (strato 22, Età del Ferro), 12 (strato 33, Tardo Bronzo II), 20 (strato 33, Bronzo Medio I-II) e 23, (strato 34 Bronzo Medio I) [fig. 17].

Sul piano a^*b^* [fig.18] tutti i campioni mostrano un comportamento simile, con il raggiungimento di un massimo alla temperatura di 800-900°C seguito da una diminuzione dei valori di entrambe le coordinate una volta superata questa soglia; l'analogia fra le curve viene riscontrata anche sul piano Th [fig.20], dove è possibile identificare un flesso intorno a 700°C ed un minimo a 1000°C.

Osservando le caratteristiche delle curve fra le temperature di 700°C e 900°C sui piani a^*b^* e TC^* [fig.19], è inoltre possibile suddividere i campioni in due distinte classi che raggruppano i campioni 1 e 12 (più recenti) e 20 e 23.



Figura 17 (sopra) – Campioni 1 (a), 12 (b), 20 (c) e 23 (d). Ceramica comune.

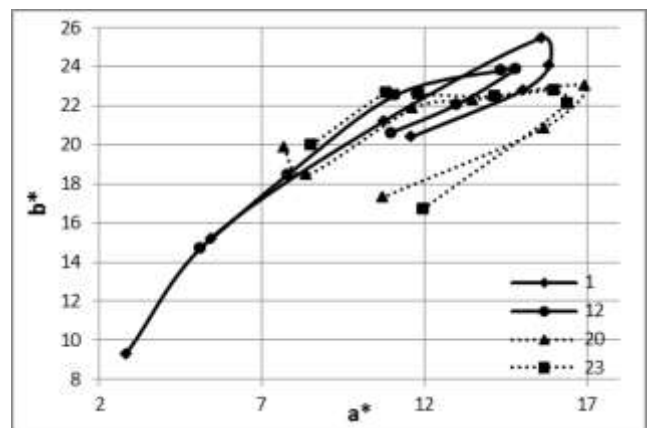


Figura 18 – Curve colorimetriche sul piano a^*b^* .

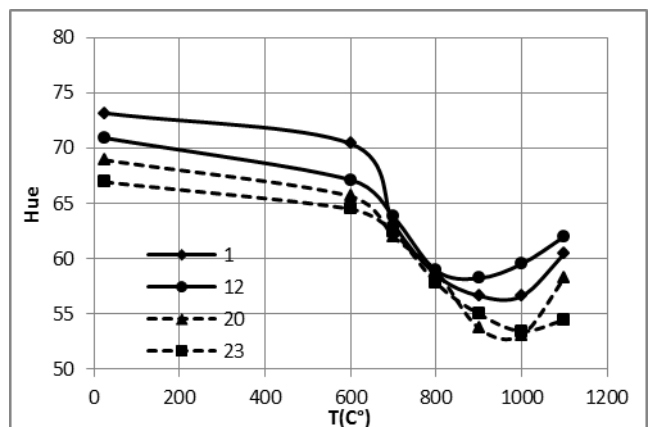
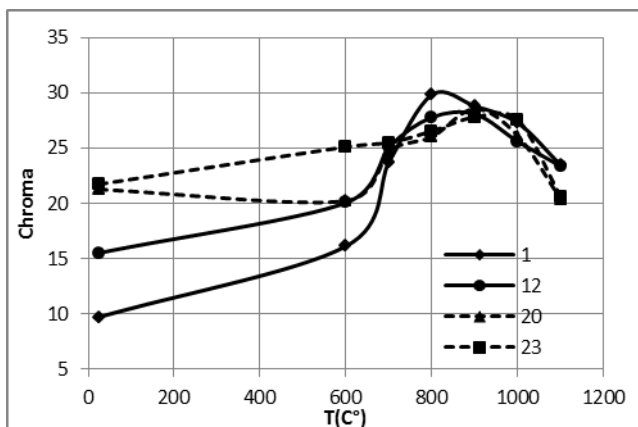


Figure 19 e 20 - Curve colorimetriche sui piani TC^* (sin) e Th (des).

I campioni di ceramica comune 5 e 7 [fig.21], molto simili a livello macroscopico e risalenti alla medesima epoca, presentano invece caratteristiche colorimetriche molto particolari.

Le curve ottenute sui piani a^*b^* [fig.22] e TC^* [fig.23] mostrano, infatti, andamenti opposti nell'intervallo di temperature compreso fra 700°C e 900°C, mentre, sul piano Th [fig.24], è stata riscontrata una buona sovrapposizione, con la presenza di un minimo a 600°C e di massimo a 700°C. Indagini più approfondite permetteranno in seguito di capire quali fattori comportano un comportamento colorimetrico di questo tipo.



Figura 21 (sopra) - Campioni 5 (a) e 7 (b). Ceramica comune.

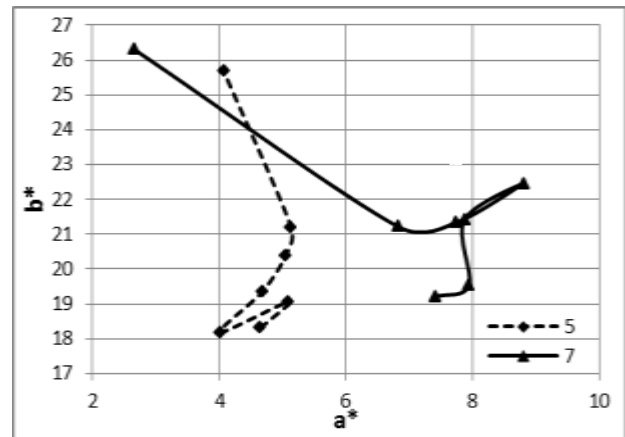


Figure 22 – Curve colorimetriche dei campioni 5 e 7 sui piani a^*b^* (a fianco).

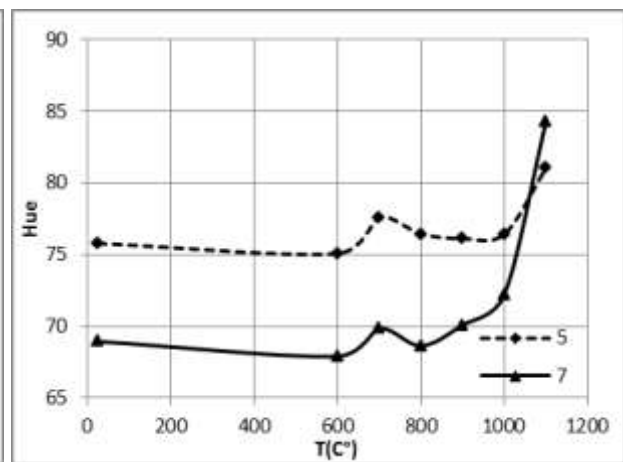
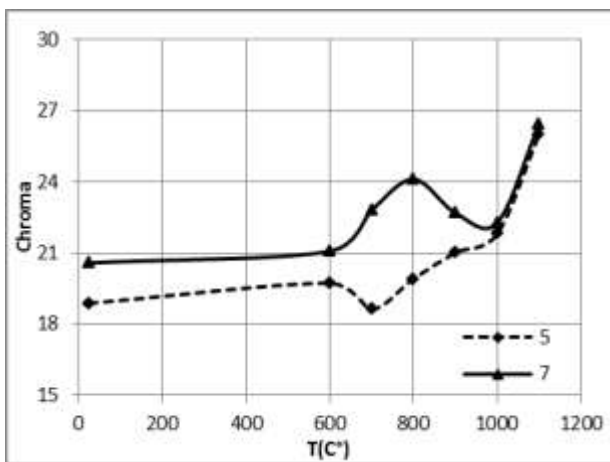


Figure 23 e 24 – Curve colorimetriche dei campioni 5 e 7 sui piani TC^* e Th .

CONCLUSIONI

Le analisi colorimetriche svolte sulla serie di campioni ceramici in studio hanno permesso di risalire alla temperatura di cottura di numerosi manufatti, ad eccezione dei casi in cui la formazione di ematite o la decomposizione della calcite (primaria o secondaria) hanno influenzato i dati ottenuti e la loro corretta interpretazione. Nel primo caso, la riossidazione dei composti ferrosi presenti nell'impasto porta alla formazione di ematite, il cui grado di

cristallizzazione aumenta all'aumentare della temperatura di ricottura e causa una netta variazione del colore della polvere verso tonalità rossastre; in presenza invece di argille calcaree cotte a temperature prossime a quella di decomposizione della calcite o per quanto riguarda manufatti sepolti in suoli calcarei si osserva invece una netta variazione del colore intorno agli 800°C.

In tutti i casi è stato tuttavia possibile costruire delle curve colorimetriche in grado di mostrare le risposte del campione ai vari processi di ricottura e di suddividere i 36 frammenti in base alle caratteristiche delle curve ottenute; questo ha permesso in primo luogo di poter verificare la suddivisione fornita dagli archeologi e di riscontrare, in alcuni casi, analogie anche fra campioni molto diversi, sia dal punto di vista tecnologico che temporale.

Stabilire quali siano i motivi (mineralogici, chimici o tecnologici) che legano questi campioni sarà il punto di partenza per la realizzazione di ulteriori indagini (microscopia ottica, XRD, XRF e SEM-EDS) che permetteranno di porre in relazione il comportamento colorimetrico del campione con le sue caratteristiche composizionali.

RINGRAZIAMENTI

I campioni analizzati sono tuttora oggetto di un ampio studio archeometrico portato avanti nell'ambito del progetto TEMART (*Tecniche avanzate per la conoscenza materica e la conservazione del patrimonio storico-artistico*) promosso dalla Regione Toscana (POR CReO/FESR 2007-2013, Asse 1, Attività 1.1, Linea di intervento d, Capo fila IFAC-CNR) e finalizzato alla caratterizzazione della tecnologia produttiva e delle materie prime impiegate grazie all'applicazione di metodi di indagine tradizionali (microscopia ottica, SEM-EDS, μ XRD, XRF, spettroscopia Raman e colorimetria) e innovativi (LIPS, XRD e Raman portatili, video-microscopia 3D).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] PECORELLA P.E. (a cura di), 1998 - *Tell Barri /Kahat 2. Relazione sulle campagne 1980–1993 a Tell Barri/ Kahat, nel bacino del Khabur (Siria)*, (Documenta Asiana V), Roma-Firenze.
- [2] OGUCHI H., 1997 - *A Reassessment of the Distribution of Khabur Ware: An Approach from an Aspect of Its Main Phase*. Al-Rafidan vol.18, pag. 195–224.

- [3] PIEROBON BENOIT R. (a cura di), 2008 - Tell Barri – *Storia di un insediamento antico tra Oriente e Occidente*. In *La Parola del Passato*, vol. LXIII, pp. 261-277. Edited by R. Pierobon Benoit. Napoli: Gaetano Macchiaroli Editore.
- [4] NODARI L, MARCUZ E., MARITAN L., MAZZOLI C., RUSSO U., 2007 - *Hematite nucleation and growth in the firing of carbonate-rich clay for pottery production*. *Journal of the European Ceramic Society* 27, 4665–4673.
- [5] KIBAROĞLU M., 2008 - *Petrographische und geochemische Untersuchungen an archäologischer Keramik aus Nordost-Syrien, Südost-Anatolien, Ost-Anatolien und Ost-Georgien*, Tesi di Dottorato in Scienze, Facoltà di Geoscienze, Università di Tubinga Eberhard Karls.
- [6] BROEKMANS T., ADRIAENS A., PANTOS E., 2006 - *Insights into north Mesopotamian 'metallic ware'*. *Archaeometry* 48, 2 (2006) 219–227. Printed in Singapore.
- [7] SCHNEIDER G., 1989 - *A Technological Study of North-Mesopotamian Stone Ware*. *World Archaeology*, Vol. 21, No. 1, Ceramic Technology (Jun., 1989), pp. 30-50. Published by: Taylor & Francis, Ltd.
- [8] ROVA E., 1988 – *Distribution and Chronology of the Nineveh 5 Pottery and its Culture*. (CMAO II), ROMA, Università di Roma "La Sapienza"
- [9] SCHNEIDER G., DASZKIEWICZ M., 2002 - *Stone Ware and Ninevite 5. Notes on composition and technology of pottery from Tell Brak*. In: D. OATES, J. OATES, H. MCDONALD: *Excavations at Tell Brak*, Vol. 2: Nagar in the third millennium, Cambridge, 2002, pp. 194-216.
- [10] SCHWATRZ G.M., 1985 - *The Ninivite V Period and Current Research*. *Paléorient*, vol. 11, n.1, pp. 53-70.
- [11] ORSI V., 2011 - *Persistenze e discontinuità nella tradizione ceramica dall'Alta Mesopotamia tra la fine del III e l'inizio del II millennio a.C.. Il contributo degli scavi di Tell Barri e Tell Mozan (Siria)*. Tesi di dottorato in Storia e Civiltà del Mondo Antico, Università degli Studi di Firenze.

- [12] FAIVRE X., NICOLLE C., 2007 - *La Jézireh au Bronze moyen et la céramique du Khabur*, in M. al-Maqdissi, V. Matoïan, C. Nicolle (a cura di), *Céramique de l'âge du bronze en Syrie, II. L'Euphrate et la région de Jézireh*, (BAHT 180), Beyrouth, pp. 179-313.
- [13] OGUCHI, H., 2001 - *The Origins of Khabur Ware: a tentative note. Al-Rafidan XXII*, 71-87; 1997, *A Reassessment of the Distribution of Khabur Ware: An Approach from an Aspect of its Main Phase. Al Rafidan XVIII*, Tokyo, 195-224.
- [14] AKKERMANS Peter M. M. G., SCHWARTZ Glenn M., 2003 - *The Archaeology of Syria: From Complex Hunter-Gatherers to Early Urban Societies (c. 16,000–300 BC)*. Cambridge University Press. p. 309.
- [15] ERB-SATULLO N. L., SHORTLAND A. J., EREMIN K., 2011 – *Chemical and mineralogical approaches to the organization of Late Bronze Age Nuzi ware production. Archaeometry Volume 53, Issue 6*, pp. 1171–1192.
- [16] PFÄLZNER P., 2007 - *The Late Bronze Age ceramic traditions of the Syrian Jazirah*. In M. al-Maqdissi, V. Matoïan, C. Nicolle (eds.), *Céramique del l'Âge du Bronze en Syrie, II*. (Bibliothèque Archéologique et Historique, Vol. 180), Beirut, 231-291.
- [17] D'AGOSTINO, A. 2008 - *Between Mitannians and Middle-Assyrians: Changes and Links in Material Culture at Tell Barri and in Jazirah during the second half of 2nd Millennium B.C.* In J.M. Córdoba, M. Molist, M.C. Pérez, I. Rubio, S. Martínez, *Proceedings of 5th International Congress on the Archaeology of the Ancient Near East*, (Universidad Autónoma de Madrid, 3-8 April 2006), pp. 525-548. Madrid: UAM Ediciones.
- [18] BARTL K., 2001- *Eastern Anatolia in the Early Iron Age*. In Enchman R., Partinger H., (eds), *Migration und Kulturtransfer. Der Wandel vorter – und zentralasiatischer Jahrtausend: Akten des Internationalen Kolloquim Berlin, 23. Bis 26. November 1999 / Eurasien – und Orient – Abteilung des Deutschen Archäologischen Instituts, Bonn*. Pp383-410.
- [19] RUSSELL H., 1980 - *Pre-Classical Pottery of Eastern Anatolia*. BAR International Series 214. Oxford.

- [20] ENGSTROM Christin M. A., (2004) - *The Neo-Assyrians at Tell el-Hesi: A Petrographic Study of Imitation Assyrian Palace Ware*. Bulletin of the American Schools of Oriental Research, No. 333, pp. 69-81.
- [21] MATTEINI M., MOLES A., 2002 – *Scienza e restauro. Metodi di indagine*. Nardini Editore, 127-135.
- [22] MALACARA D., 2002- *Color vision and colorimetry: theory and applications*. Bellingham, SPIE press, vii, 165 p.
- [23] MIRTI P., 1998 - *On the use of colour coordinates to evaluate firing temperatures of ancient pottery*. Archaeometry, **40**, 1, 45-57
- [24] MIRTI P., DAVIT P., 2004 - *New developments in the study of ancient pottery by colour measurement*. Journal of Archaeological Sciences, **31**, 741-751.
- [25] RATHOSSI C., PONTIKES Y., 2010 - *Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour*. Journal of the European Ceramic Society 30, 1841–1851.
- [26] DUMINUCO P., MESSIGA B., RICCARDI M.P., 1998 - *Firing process of natural clays. Some microtextures and related phase compositions*. Thermochimica Acta 321, 185-190.
- [27] RICCARDI M.P., MESSIGA B., DUMINUCO P., 1999 - *An approach to the dynamics of clay firing*. Applied Clay Science 15, 393–409.