

“FRAMMENTI DI STORIA”

IL RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DEI MOTIVI DECORATIVI DELLA CERAMICA KAMARES

di Filippo Stanco

In questi ultimi anni, l'avvicinamento dell'Informatica alla ricerca archeologica ha dato come risultato diverse soluzioni originali a problemi posti dagli archeologi, offrendo punti di vista del tutto nuovi su argomenti studiati anche da molto tempo. Tutto ciò ha fatto crescere negli studiosi dei Beni Culturali la sensibilità al dialogo con gli informatici ed ha fatto superare il limitativo e datato concetto di informatica come “scienza sussidiaria”.



Figura 1 - Esempi di ceramiche di stile Kamares (da Guarnera et alii 2010).

In diversi ambienti accademici nazionali ed internazionali, si è cercato di definire e precisare questo nuovo e profondo legame tra informatica ed archeologia attribuendo a questo tipo di studi un nome proprio quale ad esempio Informatica archeologica, Informatica per l'Archeologia, Archeologia computazionale e Archeologia virtuale. Tutte queste proposte tradiscono punti di vista e preferenze relativamente al campo di studi in esame. Probabilmente la denominazione che meglio descrive e comprende la relazione oggi stabilita tra Informatica e Scienza archeologica è *Digital Archaeology*. Tale proposta si fa forte di un principio che condivido appieno: *il futuro del passato è digitale* (Stanco, Tanasi 2011).

Il Progetto Archeomatica (www.archeomatica.unict.it), inaugurato nel 2007 presso l'*Image Processing Lab* dell'Università di Catania, ha tra i suoi obiettivi più ambiziosi la definizione di un linguaggio multidisciplinare tra informatici e operatori dei Beni Culturali, oltre che alla creazione di strumenti informatici efficienti, moderni ed economicamente sostenibili per la gestione, elaborazione e archiviazione di dati 2D e 3D. Questi obiettivi, che sono molto generali e condivisi da molti importanti progetti analoghi, nel caso di Catania si rivolgono in maniera più specifica alle tematiche della classificazione assistita dal computer dei manufatti e alla costruzione di repliche digitali fedeli a scopi di consultazione e fruizione in modalità virtuali.

Digital Kamares è uno dei casi di studio più avanzati e interessanti che sono stati sviluppati come parte del Progetto Archeomatica. Esso si riferisce alla classe ceramica di stile Kamares (dal nome del piccolo villaggio del massiccio del Monte Ida prossimo alla grotta nella quale fu per la prima volta rinvenuto alla fine dell'800 un consistente deposito di tale ceramica), caratterizzata da una decorazione esuberante

e complessa, composta da una moltitudine di motivi elementari ricombinati in un numero elevatissimo di varianti, dettate dalla creatività del ceramista (Fig. 1).

Essa è oggi ampiamente documentata da dati visuali la cui eterogenea tipologia procede dall'acquerello al disegno al tratto, dalle foto analogiche in bianco e nero alle immagini digitali a colori di materiali integri e frammentari a scansioni laser 3D ad alta risoluzione. Per questa classe di ceramica, la Computer Vision e il Pattern Recognition propongono algoritmi per lo *shape matching and retrieval* capaci di associare immagini catturate sul campo con altre presenti in raccolte iconografiche, anche quando gli elementi su cui si basa l'associazione sono soggetti ad alterazioni. L'utilizzo e l'adattamento al caso specifico di queste tecniche ha offerto la possibilità di mettere a punto un sistema automatico di riconoscimento e classificazione dei motivi della ceramica Kamares, siano essi integri o parziali (Stanco et alii 2011).

LA CERAMICA KAMARES

La ceramica Kamares è dipinta in tre colori base, il bianco, il rosso e l'arancione su un fondo nero. Si caratterizza per l'utilizzo di un vastissimo vocabolario elementare di motivi decorativi, quali ad esempio la spirale, la girandola, la racchetta, i petali, le croci (Fig. 2). Tali motivi vengono costantemente combinati, reinterpretati ed alterati dai decoratori secondo canoni fantasiosi e creativi ma rispettosi di alcune regole visuali compositive. Tale enorme variabilità del repertorio decorativo e complessità delle sintassi rendono estremamente arduo per l'archeologo la classificazione su base stilistica delle produzioni utilizzando i tradizionali metodi di documentazione ed archiviazione.

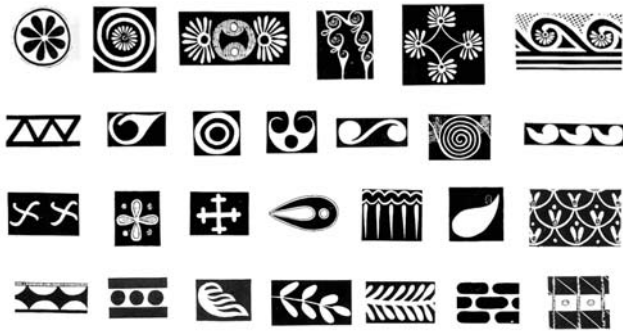


Figura 2 - Motivi elementari presenti nelle decorazioni di stile Kamares (da Walberg 1978).

Una prima catalogazione complessiva è stata tentata da G. Walberg alla fine degli anni '70 (Walberg 1978). Più recentemente, F. Carinci (Levi et alii 1988) ha messo un punto vasto database di immagini di motivi elementari provenienti da Festòs, uno dei siti maggiori di questa produzione. Il corpus include diverse categorie di documenti: disegni al tratto, acquerelli, foto analogiche e digitali in tono di grigio o a foto a colori di varia risoluzione e qualità.

Computer vision e pattern recognition hanno elaborato algoritmi di shape matching and retrieval capaci di associare immagini catturate sul campo con altre presenti in raccolte iconografiche anche quando gli elementi caratteristici, su cui si basa l'associazione, sono soggetti a deformazione, alterazione e rumore. In particolare, l'algoritmo di shape contour flexibility (Xu et alii 2008) è sembrato essere il più promettente per tali problematiche (Fig. 3). Al fine di verificare la capacità di una tecnica di risoluzione dello specifico problema di classificazione automatica dei frammenti, è stata creata una parziale ed iniziale raccolta di shape elementari presenti nelle ceramiche di Kamares provenienti dal sito di Festòs e si è avviata una prima sperimentazione.

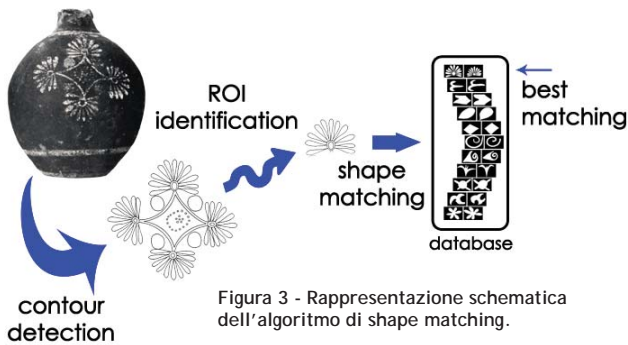


Figura 3 - Rappresentazione schematica dell'algoritmo di shape matching.

L'ALGORITMO PROPOSTO

Per applicare le tecniche basate sulla analisi del contorno delle shape è necessaria una rappresentazione del motivo in forma di linea chiusa senza interruzioni. L'immagine digitale del motivo così trattata mediante opportune operazioni di pre-processing digitale diviene una sequenza di pixel sul piano raster. Tale conversione non è affatto semplice. Abbiamo già accennato ai diversi tipi di input nella nostra immagine: colori a pastello, fotografie o linee disegnate con la matita. Ognuno di questi input richiede una tecnica ad hoc per l'estrazione dei contorni. Tale eterogeneità sin dalle fasi di pre-processing rende ancor più complicato il problema da affrontare anche perchè la qualità della digitalizzazione del contorno in questa fase è soggetta a una grande variabilità. Estratto il contorno, è possibile applicare l'algoritmo di shape contour flexibility (Xu et alii 2008) che illustrerò in seguito. L'idea di base è quella di interrogare un database di forme partendo da un motivo o una sintassi emersa nel corso di

uno studio, scavo archeologico o studio dei materiali nei magazzini. La risposta del database si fonda sulla stima dalla distanza tra la forma in questione e quelle nel database. Ciò richiede la scelta di una definizione operativamente efficiente e semanticamente valida di un concetto di "distanza" che è stato oggetto di moltissime ricerche della Computer Vision e che non può, per ragioni di spazio, essere qui sviluppato in completezza. Oltre alla tecnica citata esistono altre proposte ben documentate nella letteratura scientifica recente. Citiamo come esempio la tecnica dello shape context (Belongie et alii 2002), quella del riconoscimento di loghi in immagini di documenti (Shen et alii 2005), il metodo della distanza di Procruste (McNeill 2006), e il più recente metodo dei descrittori circular blurred shape model (Escalera et alii 2009).

Nonostante le idee disponibili per lo shape recognition siano molto numerose, molte di esse si riferiscono e sono specialmente adattate ad oggetti rigidi per i quali le possibili deformazioni nella silhouette sono solo quelle determinate dalla posizione nell'ambiente reale in cui essi sono collocati e dal punto di vista dell'osservatore. Tuttavia nel presente caso di studio le possibili deformazioni delle forme decorative considerate sono distorsioni anche non affini, come rumore, irregolarità, lacune, ridimensionamento non lineare e non univoche. Tale maggiore variabilità dei contorni ha suggerito di preferire l'algoritmo dello shape contour flexibility (Xu et alii 2008): esso infatti non è sensibile alle trasformazioni appena elencate e funziona bene per le forme chiuse.

L'algoritmo shape contour flexibility è un ottimo esempio di come negli anni recenti la Computer Vision abbia elaborato nuove soluzioni a complessi problemi integrando tecniche e strumenti interdisciplinari: strumenti e algoritmi di informatica, di elaborazione delle immagini, di biologia, di psicologia e delle scienze cognitive. Per esempio, l'importanza dei punti ad elevata curvatura nella percezione delle forme è stata da tempo descritta da Attneave nel 1954 (Attneave 1954) e più di recente da Biderman nel 1985 (Biderman 1985). Seguendo tali teorie, le feature più importanti per il riconoscimento delle forme sono sempre estratte dai punti in cui c'è un massimo locale nella variazione di curvatura (ad esempio gli angoli). Il metodo shape contour flexibility propone l'utilizzo di una opportuna struttura dati per una descrizione del contorno che tenga conto delle potenziali deformazioni in ogni punto lungo una curva chiusa includendo informazioni sia locali che globali. In molti casi, punti con elevata flessione corrispondono a punti con elevata curvatura.

Sia l una curva chiusa nel dominio D . Per ogni punto p sul contorno l e dato un raggio r , la shape contour flexibility è definita come $\omega(p, r) = \min(\omega_+(p, r), \omega_-(p, r))$, dove ω_+ è il contorno interno ed ω_- è il contorno esterno:

$$\omega_+(p, r) = \frac{\int_{C_{p,r}^+} k_+(x) dx}{\int_{C_{p,r}^+} dx} \tag{1}$$

$$\omega_-(p, r) = \frac{\int_{C_{p,r}^-} k_-(x) dx}{\int_{C_{p,r}^-} dx} \tag{2}$$

$C_{p,r}^+$ e $C_{p,r}^-$ sono le componenti connesse contenenti p nell'insieme

$$\{x \in D : \|x - p\| \leq r\} \text{ e } \{x \in \mathbb{R}^2 \setminus D : \|x - p\| \leq r\}$$

k_+ e k_- sono due funzioni per la distanza

$$k_+(x) = d(x, \mathbb{R}^2 \setminus D), x \in \mathbb{R}^2 \tag{3}$$

$d(\cdot, \cdot)$ è la minima distanza euclidea tra i due insiemi.

Il raggio r e il *contour flexibility* sono proporzionali alla scala del contorno sono invarianti per traslazione, rotazione e per scelta del punto di partenza nella parametrizzazione del contorno.

$$\text{Sia } z(t) = (x(t), y(t)), 0 \leq t < 1 \quad (4)$$

la lunghezza dell'arco del contorno l da parametrizzare. Poiché molto difficile fare il *match* tra le parti flessibili in due contorni, la strategia utilizzata è quella di dare un peso maggiore alle regioni che non variano e un peso minore a quelle molto variabili, usando più campioni nei segmenti che sono più inflessibili. Sia

$$\gamma(t) = \frac{\int_0^t \omega(z(u), r) du}{\int_0^1 \omega(z(u), r) du} \quad (5)$$

il campionamento ottimale ottenuto con frequenza di campionamento $d\lambda / dt$.

Si consideri ogni *landmark* come un numero complesso del tipo $o^k = x^k + jy^k$, il contorno può quindi essere trattato come un vettore complesso del tipo $\Phi = (z^1, z^2, \dots, z^n)^T$ e la distanza di Procruste tra le due sequenze è così definita:

$$\hat{d}(\bar{\Phi}_1, \bar{\Phi}_2) = \cos^{-1}(\max_{s \in N} |\langle \bar{\Phi}_1, \sigma^s(\bar{\Phi}_2) \rangle|) \quad (6)$$

dove $\sigma^s(\bar{\Phi}_2)$ è una permutazione ciclica di $\bar{\Phi}_2$, dove " $<$ ", " $>$ " indicano il prodotto interno tra i due vettori complessi. Il *matching* scorre tra le due forme rappresentate da $\bar{\Phi}_1$ e $\bar{\Phi}_2$ è determinata da

$$M_d = \frac{\alpha}{\pi} \hat{d}(\bar{\Phi}_1, \bar{\Phi}_2) + D(\Omega_1, \Omega_2) \quad (7)$$

dove $D(., .)$ è la distanza di *warping* tra le due sequenze estratte dai contorni.

Si osservi che la procedura proposta per lo *shape matching* cerca le similarità tra forme elementari. Le combinazioni di forme elementari in pattern più elaborati è un *task* più complesso e che richiede ulteriori studi dato il numero elevato di ambiguità per l'interpretazione del *pattern* rappresentato dal motivo decorativo. Tale interpretazione può produrre diversi risultati in base al fatto che essa venga fatta da un archeologo o da un informatico (Fig. 4).

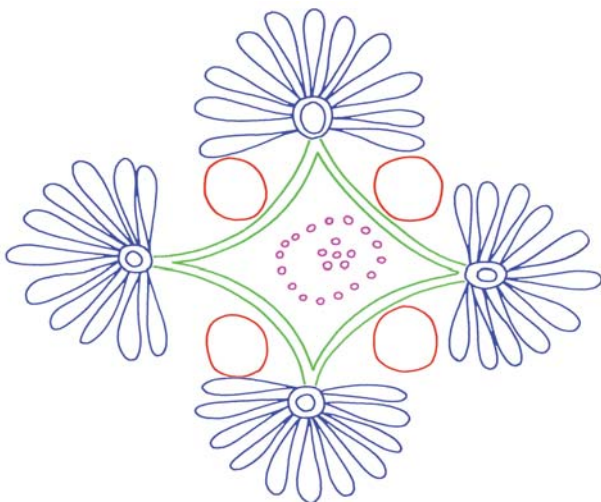


Figura 4 - Interpretazione di un motivo decorativo da parte di un archeologo (a) o di un informatico (b). Pattern uguali sono colorati alla stessa maniera.

RISULTATI SPERIMENTALI

Per testare il metodo proposto, prima di tutto occorre costruire un database di tutti i motivi decorativi noti. In fase sperimentale, abbiamo scelto dei motivi decorativi dove alcuni campioni sono mostrati nella Fig. 5. Per ognuno di essi abbiamo memorizzato nel *database* altre sette versioni degli stessi. In particolare abbiamo tenuto conto delle rotazioni, delle variazioni in scala e delle deformazioni sia rigide che elastiche. La Fig. 6 mostra, come esempio, le variazioni relative al decoro in Fig. 5(j). Si noti inoltre che alcuni dei motivi proposti, sono molto semplici ed hanno una bassa variabilità interclasse (Fig. 5(g) e 5(h)). Tale bassa variabilità potrebbe portare a degli errori nella applicazione dell'algoritmo.

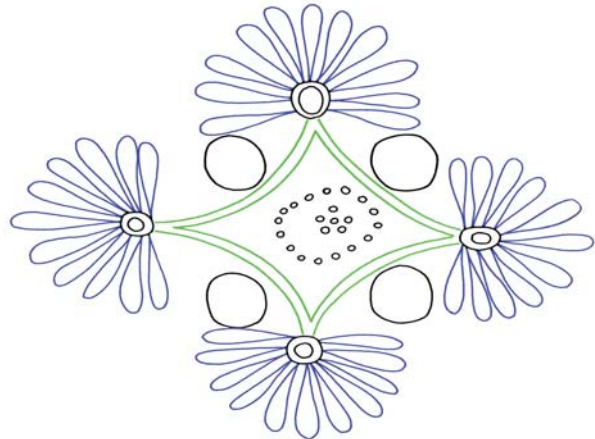
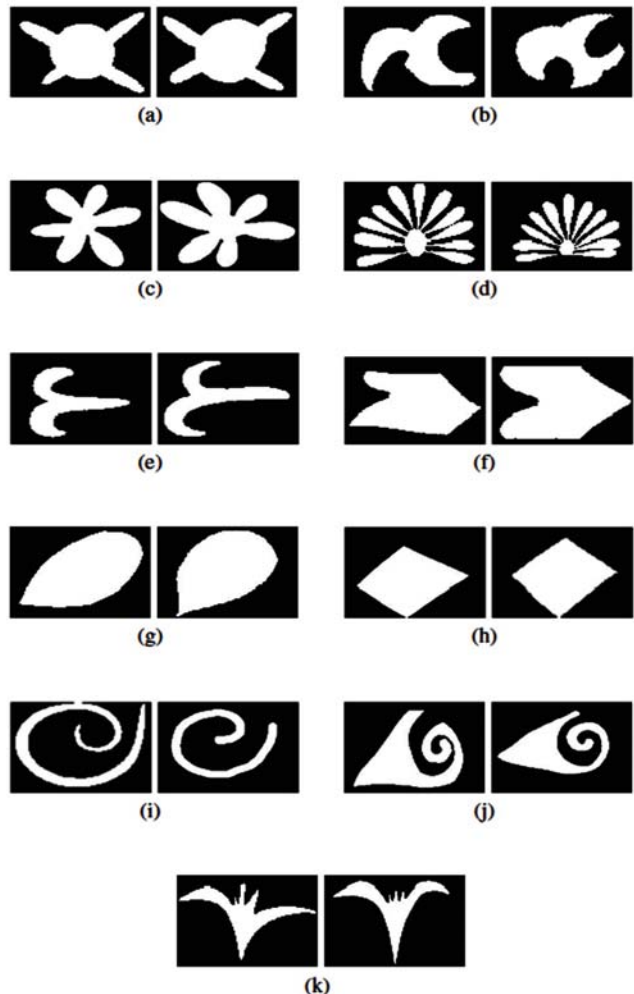


Figura 5 - Esempi di elementi presenti nel database.

Figura 6 - Esempi di trasformazioni applicate ad ogni motivo decorativo presente del database.



Le immagini dei motivi sono state digitalizzate come immagini binarie in modo da avere lo sfondo colorato in nero e l'oggetto in primo piano, colorato di bianco. Ogni contorno è stato quindi campionato usando il valore di $n=100$ punti e quindi per ogni forma i si ha una sequenza Φ_i di n campioni non uniformi ed una sequenza Ω_i di n campioni uniformi.

Ogni forma nel database è stata usata come immagine di input per la query e le immagini con distanza minore sono fornite in output come il migliore *match* possibile. La percentuale di successo è del 75%. La possibilità sale a circa il 95/100% se le forme non sono semplici ma ben articolate, come nel caso dei petali o dei diamanti, che hanno molti più dettagli che consentono variazioni di flessibilità. Il metodo fallisce se la forma è troppo semplice e non ha alcuna variazione lineare. L'algoritmo funziona bene anche se si considerano dei motivi decorativi estratti realmente da un frammento di ceramica (Fig. 7). Come si può osservare in figura la risposta dell'algoritmo è coerente con quanto potrebbe essere ipotizzato da un archeologo. La conoscenza a priori della catalogazione di ogni singolo decoro presente nel database associato alla risposta dell'algoritmo suggerisce all'archeologo una possibile attribuzione che nella maggior parte dei casi risulta essere coerente (Stanco et alii 2011; Guarnera et alii 2010).

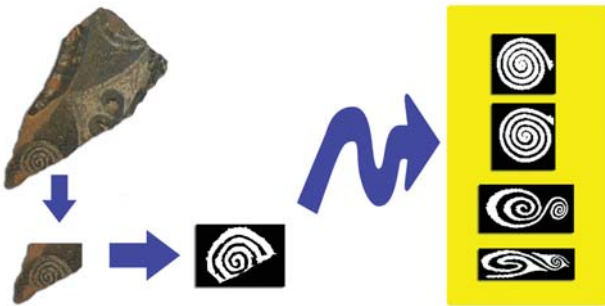


Figura 7 - Esempio di corretto riconoscimento di un motivo decorativo.

Va sottolineato che la metodologia proposta è perfettamente esportabile ad altri classi di manufatti che presentino dati visuali incompleti o alterati (come ad esempio bollo anforari, monete e sigilli).

CONCLUSIONI

I primi risultati ottenuti in questo particolare settore del restauro virtuale, orientato più al supporto cognitivo dell'archeologo che allo sviluppo di tecniche alternative di conservazione a basso costo, confermano ulteriormente quelli che sono i presupposti teorici della *Digital Archaeology* (Stanco, Tanasi 2011). L'idea che gli studiosi del mondo antico rappresentino gli utenti finali di soluzioni richieste a scatola chiusa al mondo dell'Informatica, e quella che gli esperti di elaborazione dati siano degli "operatori bendati" incapaci, per le ovvie diversità di linguaggio, di rapportare il loro prodotto con il caso studio di turno, appartengono ad una visione superata della ricerca interdisciplinare. Diversamente, il concorso tra la due discipline, e la mutua specializzazione degli operatori della ricerca nei rispettivi mondi, può offrire come nel caso studio del Kamares, sviluppato in seno al Progetto Archeomatica, un considerevole salto in avanti nel campo della conoscenza. È auspicabile quindi, nell'immediato futuro, che esperienze come quella del restauro virtuale della ceramica minoica di stile Kamares possano diventare il volano di questa disciplina terza rispetto all'Archeologia ed all'Informatica.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare per la preziosa collaborazione i Proff. Giovanni Gallo, Vincenzo La Rosa, Filippo Carinci, Davide Tanasi e G. Claudio Guarnera.

ABSTRACT

An important feature of the Minoan culture is the pottery of Kamares style, which documents the Cretan cultural production between the first half of the 2nd millennium BC. This high level painted production, characterized by the combination of several diverse motifs, presents an enormous decorative repertoire. The extraordinary variety of combinations between elementary motifs according to a complex visual syntax makes interesting the automatic identification of the motifs, particularly upon potsherds.

A completely automatic pipeline to accomplish this task is still a challenge even for today state-of-the-art Computer Vision and Pattern Recognition. Here we describe a possible approach to this daunting task and report about the promising results obtained. More precisely, starting from the identification of the region of interest in a digital image, motif extraction, and robust contour detection should be performed to obtain a bag of digital shapes. In a second phase each of the extracted shapes has to be classified according to prototypes in a database produced by an expert. The co-occurrence of the different shapes in a specimen will, in turn, be used to help the archaeologists in the cultural and even chronological setting.

PAROLE CHIAVE

CERAMICA, COMPUTER VISION, PATTERN RECOGNITION, DATABASE.

AUTORE

FILIPPO STANCO

FSTANCO@DMI.UNICT.IT

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA, UNIVERSITÀ DI CATANIA, VIALE A. DORIA, 6 - 95125 CATANIA.

BIBLIOGRAFIA

- Attneave F. (1954), *Some informational aspects of visual perception*, in *Psychological Review* 61, pp. 183-193.
- Belongie S., Malik J., Pizicha J. (2002), *Shape matching and object recognition using shape contexts*, in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24, pp. 509-522.
- Biderman I. (1985), *Human image understanding: Recent research and a theory*, in *Computer Vision Graphics Image Processing* 32, , pp. 29-73.
- Escalera S., Fornes A., Pujol O., Escudero A., Radeva P. (2009), *Circular blurred shape model for symbol spotting in documents*, in *Proceedings of ICIP, 16th IEEE International Conference on Image Processing*, Cairo, pp. 2005-2008.
- Guarnera G. C., Stanco F., Tanasi D., Gallo G. (2010), *Classification of decorative patterns in Kamares pottery*, in M. Samuelcik (a cura di), *Proceedings of SCCG 26th Spring Conference on Computer Graphics*, pp. 20-23.
- Levi D., Carinci F. (1988), *Festòs e la Civiltà Minoica*, vol. II. Roma.
- McNeill G., Vijayakumar S. (2006), *Hierarchical Procrustes matching for shape retrieval*, in *CVPR '06: Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 885-894.
- Shen D., Jin L., Chang H., Wu H. (2005), *Trademark retrieval based on block feature index code III*, pp. 177-180.
- Stanco F., Tanasi D., Guarnera G., Gallo G., (2011) *Automatic classification of decorative patterns in the Minoan pottery of Kamares style*, in C. Papaodysseus (a cura di), *Pattern Recognition and Signal Processing in Archeometry: Mathematical and Computational Solutions for Archeology*, IGI Global.
- Stanco F., Tanasi D., (2011) *Experiencing the Past. Computer Graphics in Archaeology*, in F. Stanco, S. Battiato, G. Gallo, (a cura di), *Digital Imaging for Cultural Heritage*, CRC Press.
- Walberg G., 1978, *The Kamares style. Overall effects*, in *Acta Universitatis Upsaliensis*, vol. 10, Uppsala.
- Xu C., Liu J., Tang X., (2008), *2d shape matching by contour flexibility*, in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 31, pp. 180-186.