

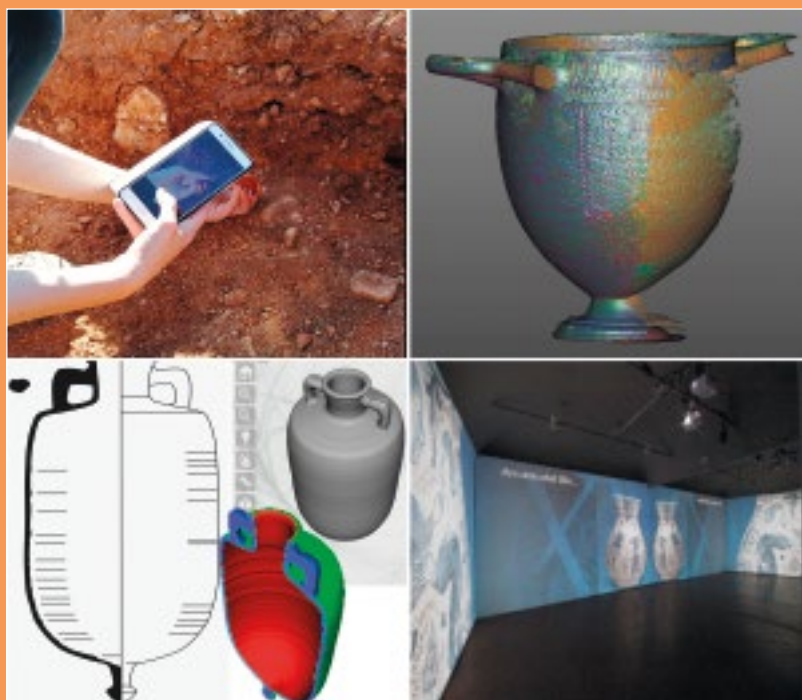
CENTRO LIGURE PER LA STORIA DELLA CERAMICA

# ATTI

LI CONVEGNO INTERNAZIONALE DELLA CERAMICA

2018

**CERAMICA 4.0:  
NUOVE ESPERIENZE E TECNOLOGIE  
PER LA COMUNICAZIONE, CATALOGAZIONE  
E MUSEALIZZAZIONE DELLA CERAMICA**



SAVONA

# CENTRO LIGURE PER LA STORIA DELLA CERAMICA

Corrispondenza: Civico Museo Archeologico e della Città – Complesso Monumentale del Priamar  
Corso Mazzini, 1 – 17100 Savona  
Tel./fax +39 019 822 708  
e-mail: centro.ligure.ceramica@gmail.com – centro.ceramica@museoarcheosavona.it;  
www.museoarcheosavona.it

## CONSIGLIO DIRETTIVO (2016-2019)

RITA LAVAGNA – *Presidente*  
MARCELLA GIORGIO – *Vicepresidente*  
ELEONORA FORNELLI – *Segreteria*

FABRIZIO BENENTE – CARLO BERNAT – LUCA BOTTARO –  
CLAUDIO CAPELLI – CECILIA CHILOSI – ROBERTO GIANNOTTI –  
GIADA MOLINARI – CARLO VARALDO – *Consiglieri*

## REDAZIONE

MARCELLA GIORGIO

## ADESIONI AL CENTRO

SOCIO ORDINARIO	
con diritto agli ATTI dell'anno di Associazione . . . . .	€ 35,00
SOCIO ORDINARIO STUDENTE (FINO A 26 ANNI)	
con diritto agli ATTI dell'anno di Associazione e al Notiziario . . . . .	€ 20,00
SOCI SOSTENITORI . . . . .	€ 50,00
SOCI BENEMERITI . . . . .	a partire da € 150,00

*I soci hanno diritto allo sconto del 30%  
sul prezzo di tutte le pubblicazioni del Centro*

## UNA “RETE NEURALE” PER IL RICONOSCIMENTO AUTOMATICO DELLA CERAMICA. IL PROGETTO ARCHAIDE

### 1. INTRODUZIONE

ArchAIDE (Archaeological Automatic Interpretation and Documentation of cEramics) è un progetto di ricerca triennale (2016-2019) finanziato nell'ambito del programma europeo Horizon 2020<sup>1</sup>. Il progetto è coordinato dal Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere dell'Università di Pisa (UniPI) attraverso il MAPPALab (Laboratorio di Metodologie Digitali APPLICATE all'Archeologia)<sup>2</sup>, un'unità di ricerca multidisciplinare creata nel 2011, che comprende archeologi, matematici, specialisti GIS, storici, esperti di comunicazione e sviluppatori web. Le attività di ricerca del MAPPALab riguardano principalmente i campi della metodologia della ricerca archeologica, della raccolta e gestione dei dati archeologici, dei modelli matematici e statistici, della comunicazione e della narrazione archeologica, con un *focus* particolare sugli *Open Data* e i *Big Data* archeologici<sup>3</sup>.

L'idea di creare uno strumento capace di riconoscere automaticamente i frammenti ceramici nasce in seno al MAPPALab per rispondere a una delle principali esigenze di lavoro degli archeologi, che durante la loro attività sul campo e in laboratorio sono chiamati a riconoscere e classificare migliaia di reperti ceramici: classificare la ceramica costituisce infatti un passaggio ineludibile per comprendere e datare i contesti archeologici e per ricostruire dinamiche di produzione, flussi commerciali e interazioni sociali. Sfortunatamente, però, si tratta di

un'operazione che richiede competenze complesse e tempi lunghissimi, poiché la bibliografia è sconfinata, frammentata, disorganica e quasi esclusivamente cartacea: tempi non più compatibili con quelli di gran parte delle ricerche archeologiche, sempre più legate alle esigenze di crescita e sviluppo di città e campagne (si pensi ad esempio alle indagini di archeologia preventiva).

Il progetto ArchAIDE nasce con l'obiettivo di abbreviare l'operazione di identificazione e classificazione dei frammenti ceramici, mettendo a disposizione degli archeologi strumenti informatici innovativi che utilizzano l'intelligenza artificiale e che sono sviluppati sia per *devices* mobili sia per computer *desktop* (fig. 1). Accorciando la durata di questa fase del lavoro degli archeologi è infatti possibile «convogliare energie e risorse da una pratica dispendiosa in termini di tempo e costi, a una fase analitica, interpretativa, nella quale le risorse siano impiegate per rispondere a domande storico-archeologiche e per approfondire le conoscenze» (GATTIGLIA 2018).

Nel progetto ArchAIDE sono coinvolti nove partner di cinque diversi paesi, in un consorzio di ricerca multidisciplinare e transnazionale di archeologi, matematici e informatici. Oltre al MAPPALab dell'Università di Pisa, per la parte 'archeologica' del progetto vi sono le Università di Barcellona (UB con ARQUB – Laboratorio di Cultura Materiale e Archeometria), di Colonia (UCo con CoDArchLab – Cologne Digital Archaeology Laboratory) e di York (ADS – Archaeology Data Service); per le *Information and Communication Technologies* vi sono il CNR (ISTI – Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione con il VCL – Visual Computing Lab), l'Università di Tel Aviv (laboratorio di *Deep Learning* della Scuola di Informatica) e INERA srl, società italiana che opera in campo ICT, nei settori turismo, beni culturali, media e industria editoriale online; completano il partenariato due imprese archeologiche spagnole BARAKA Arqueólogos S.L. ed ELEMENTS S.L.

1. MAPPALab, Dipartimento di Civiltà e Forme del Sapere, Università di Pisa.

1. Research and Innovation Action, call H2020-REFLECTIVE-6-2015, GA n. 693548: [www.archaide.eu](http://www.archaide.eu).

2. Principal Investigator prof. Maria Letizia Gualandi, Coordinatore dr. Gabriele Gattiglia, Project and communication manager dr. Francesca Anichini.

3. Il MAPPALab ha creato e gestisce il primo *repository Open Data* di dati archeologici in Italia, con lo scopo di preservare e diffondere la documentazione archeologica (*dataset*) e la letteratura grigia (*report*) prodotte durante gli interventi archeologici (MAPPALab Open Data archive <http://www.mappaproject.org/archivio-digitale/>).

## 2. LE BASI METODOLOGICHE E LE SCELTE TECNOLOGICHE

Nella comunità archeologica esistono metodi consolidati per ciò che concerne il riconoscimento e la classificazione dei frammenti ceramici. Metodi che, utilizzando il *know-how* e la manualità degli specialisti di dominio, hanno definito, nel corso degli anni, buone pratiche e paradigmi di rappresentazione universalmente riconosciuti e utilizzati, come il riconoscimento del binomio forma/profilo o di quello rivestimento/decorazione. Tenendo conto di ciò, l'approccio di ArchAIDE è stato quello di partire dall'analisi del *modus operandi* degli archeologi, con l'obiettivo di sostenerne la pratica senza stravolgerne le procedure, nella convinzione che, non alterando in nessun modo i paradigmi metodologici di riferimento, gli utenti potessero mantenere un elevato grado di confidenza con il processo classificatorio operato dallo strumento informatico e riconoscersi in esso.

La piattaforma è stata pensata per fornire strumenti utili all'interpretazione archeologica dei dati mediante *tools* di analisi e *data visualization* e al contempo per permettere di accedere in modalità aperta alle risorse digitali disponibili, consentendo di pubblicare in *Open Data* i risultati delle operazioni di classificazione. L'obiettivo è stato quello di sviluppare uno strumento di facile utilizzo, sia nella fase di acquisizione dei dati (mediante *smartphone* o *tablet*), sia in quella di interrogazione del classificatore. Rispetto alla prassi consolidata, la novità metodologica consiste nella possibilità di utilizzare, per il confronto con i repertori noti, una fotografia del frammento realizzata con un qualsiasi *device*, senza bisogno di procedere con il disegno del profilo o della decorazione.

Premesso che l'identificazione di un frammento ceramico si basa sul riconoscimento della somiglianza della sua forma/profilo o del suo rivestimento/decorazione con quelli degli esemplari pubblicati nei repertori cartacei, occorre dire che, dal punto di vista tecnologico, la ricerca di similarità tra i manufatti è risultata essere una variabile molto complessa, assai più articolata di quanto si possa cogliere in fase di utilizzo del sistema. La similarità fra gli elementi (elemento frammentato, elemento integro) deve infatti rispettare due requisiti complessi: deve essere invariante sia rispetto alle condizioni di *imaging* (posa, illuminazione, risoluzione

dell'immagine), sia rispetto alle peculiarità della ceramica, comprese le dimensioni esatte del frammento e le sue modificazioni prodotte dal tempo e dalle condizioni di conservazione. Questi due requisiti possono essere trattati solo utilizzando una metodologia basata sul *machine learning*, utilizzando algoritmi di *Deep Learning*, vale a dire utilizzando i *Big Data* nell'ambito della *computer vision* e di altri domini, attraverso un'architettura di "rete neurale" a più livelli (GATTIGLIA 2018).

Dal momento che, come abbiamo detto, sia la forma, sia l'aspetto decorativo rappresentano elementi di classificazione delle ceramiche archeologiche, si è scelto di far lavorare il sistema su entrambe queste possibilità di approccio. Mentre l'utilizzo del *Deep Learning* basato sulla somiglianza dell'aspetto risulta essere piuttosto comune – ma non nel campo del *Cultural Heritage* (HADSELL *et al.* 2006) –, il riconoscimento basato sulla somiglianza della forma di un oggetto è molto meno studiato. Pertanto, costruire una "rete neurale" in grado di stimare la compatibilità delle informazioni parziali sulla forma 3D fornite da un frammento è risultata una sfida impegnativa, che ha più volte richiesto di verificare e affinare la metodologia e i protocolli di raccolta dati.

Parallelamente è stato necessario sviluppare un lavoro di confronto sulle modalità e i modelli teorici da applicare in merito alla digitalizzazione e alla datificazione dei dati <sup>4</sup>. La gestione dei dati prodotti dal progetto, ma ancor di più l'opportunità offerta agli archeologi di produrre e archiviare una grande quantità di dati in tempi rapidi richiede necessariamente un modello di previsione per la gestione di questi ultimi basato da una parte sulla standardizzazione e categorizzazione in fase di raccolta, dall'altra su una serie di domande e visioni per le quali prevediamo che i dati, su grande scala, possano darci risposta. Se infatti è vero che dietro al principio di ri-uso degli *Open Data* c'è l'imprevedibilità dei percorsi che possono prendere i dati passando da una condivisione all'altra, da un riutilizzo all'altro, è altresì vero che lavorare con grandi quantità di dati, che possono generare relazioni (*link*) e aggregazioni in modo facilitato, richiede uno sforzo di previsione – almeno in parte – dei possibili scenari di utilizzo, predisponendo i dati

4. Sulla datificazione in campo archeologico: ANICHINI-GATTIGLIA 2018, GATTIGLIA 2017.

affinché possano rispondere anche a esigenze di *data analysis* e *data visualization*.

Spostando quindi la riflessione sul campo dei *Big Data*<sup>5</sup>, è stato indispensabile analizzare i dati di *input* e trasformarli in oggetti tabulabili e analizzabili, anche attraverso necessarie (e inevitabili) sintesi metodologiche; contemporaneamente sono stati definiti i criteri per quelli che sarebbero stati i dati in *output*. Lo sviluppo delle tecnologie ICT impone infatti, anche in campo archeologico, di spendere parte delle energie nel riprogettare l'organizzazione dei dati; chiede cioè di avere una visione molto più ampia – e se vogliamo meno contestualizzata alla singola ricerca – della natura e delle potenzialità dei dati da processare. Il *team* di ArchAIDE ha lavorato in questa direzione sia nelle primissime fasi di definizione metodologia, sia durante tutto il lavoro di *data analysis* e *data visualization*, sia nella definizione dell'*exploitation* del progetto.

### 3. COSTRUZIONE E POPOLAMENTO DEL DATABASE: UN PROTOCOLLO RIPETIBILE

La maggior parte degli approcci *Deep Learning* descritti in letteratura sono basati su una rappresentazione 3D dei frammenti, solitamente acquisiti tramite scansione (elemento che di per sé, nel caso delle ceramiche rinvenute in uno scavo, risulta di difficile operabilità sul campo), e sul confronto di profili estratti dal modello 3D del frammento (GILBOA *et al.* 2004, MAIZA-GAILDRAT 2005). Diversamente ArchAIDE prevede che la classificazione sia ottenuta a partire dalle fotografie scattate dagli archeologi sul campo, sfruttando due elementi distinti, ma fondamentali nel riconoscimento autoptico delle ceramiche: la forma e il decoro.

L'attività di riconoscimento e classificazione dei reperti ceramici richiede di individuare innanzitutto a quale parte dell'esemplare completo sia riconducibile il frammento e quale sia il suo orientamento originale (inclinazione, asse di rotazione, ecc.). Quando il decoro costituisce un elemento di forte caratterizzazione da un punto di vista sia formale sia cronologico – come accade per la maggior

parte delle ceramiche medievali e postmedievali – questa prima fase è sostituita dal riconoscimento delle tecniche decorative (tipo di rivestimento, disegno, colorazione, ecc.). Successivamente si individuano la classe del manufatto e la singola forma/tipo o il singolo decoro all'interno di uno o più repertori. La schedatura del frammento si conclude con l'individuazione della sua cronologia, della provenienza e del contesto di rinvenimento (GATTIGLIA 2018). Per rendere possibile questo processo, il sistema è collegato a un database che contiene la descrizione delle forme/tipi e dei generi decorativi di riferimento, frutto di un'approfondita discussione che ha incrociato gli aspetti tecnologici con quelli metodologici, al fine di individuare i requisiti necessari al sistema che meglio si adattano alla metodologia archeologica: in altri termini, i requisiti in grado di automatizzare il normale flusso di lavoro degli archeologi su un singolo frammento ceramico. Il database è stato strutturato su due livelli<sup>6</sup>:

- un *Reference Database* contenente la definizione dei tipi di ceramica, decorazioni, bolli e tutte le informazioni ad essi relative, necessarie durante la fase di analisi dei frammenti;
- un *Results Database* contenente i dati sui frammenti raccolti sul campo utilizzando l'applicazione *mobile* di ArchAIDE.

La gestione di tutti i dati nello stesso contesto ha permesso di creare un *set* di dati univoco da utilizzare nel *data mining* e nella visualizzazione e di evitare potenziali incoerenze derivanti dalla separazione di due *dataset* che condividono molte delle informazioni.

Le principali entità nel database di riferimento sono:

- *Pottery Type*, che contiene la descrizione dei singoli tipi/forme usati per il riconoscimento dei frammenti, collegata a luoghi di produzione e ritrovamento e arricchita con foto, disegni, modelli 3D, riferimenti bibliografici etc.;
- *Decoration*, che contiene la descrizione dei generi decorativi, comprensiva delle informazioni relative a colori, cronologia, luoghi di produzione e ritrovamento, riferimenti bibliografici e immagini;
- *Stamps*, che contiene la descrizione dei bolli/marchi con cui le botteghe/vasai firmavano i loro

5. Per una definizione di Big Data archeologici: GATTIGLIA 2015.

6. La strutturazione del database è stata realizzata dall'ADS (University of York) e trasposta in versione condivisa da INERA srl.

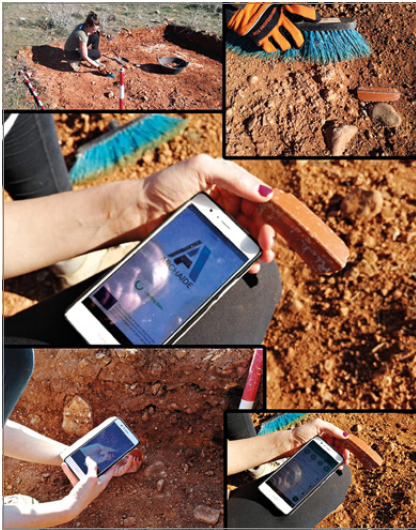


Fig. 1: L'utilizzo della App di ArchAIDE durante uno scavo archeologico.

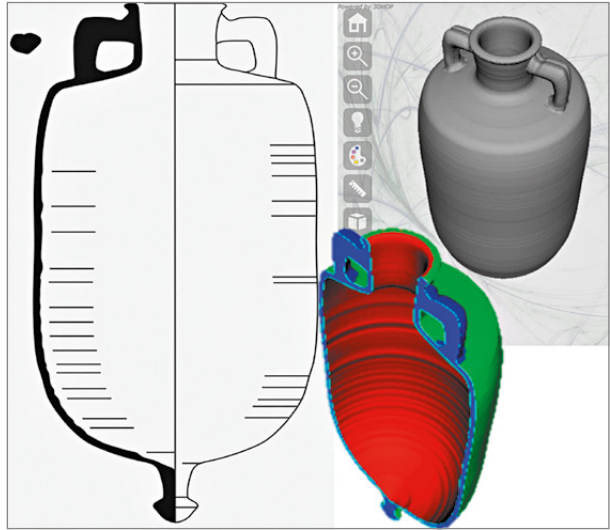


Fig. 4: Il modello 3D di un'anfora, navigabile e interrogabile attraverso un *set* di strumenti posti all'interno del database on-line.

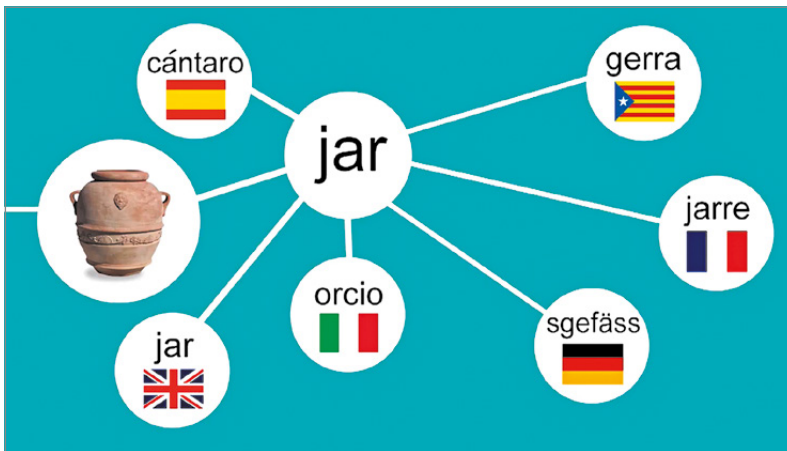


Fig. 2: Il *thesaurus* multi-lingua consente di poter far ricerche all'interno del database, utilizzando il termine noto all'utente, e ottenere tutte le risposte correlate allo stesso termine nelle altre lingue.



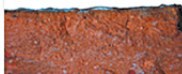




 <p>Courtesy of Dott.ssa Lucrezia Ungaro, Museo Dei Fori Imperiali e Mercati Traianei Media Type: Photograph Scale: Photograph of whole amphora Original Source:</p>	 <p>Courtesy of Dr. D. F. Williams Media Type: Photograph Scale: Photograph of partial amphora Original Source:</p>	 <p>Media Type: Photograph Scale: Hand specimen, fresh broken surface Original Source:</p>	 <p>Courtesy of Bodrum Museum of Underwater Archaeology Media Type: Photograph Scale: Photograph of whole amphora Original Source:</p>
<p>mouth_radius: 53.3446 ratio_mm_pixels: 0.42337</p>  <p>Profiles_SVG_DR167 Media Type: Drawing Scale: Original Source:</p>	 <p>3D_Model_DR167 Media Type: 3D model Scale: Original Source:</p>	 <p>After Sciallano &amp; Sibella, 1991 Media Type: Drawing Scale: Drawing at 1:10 scale Original Source:</p>	

Fig. 3: Le risorse poste a carico della descrizione scritta del tipo ceramico disponibili nel database online, tra le quali il file SVG del profilo e il modello 3D della forma.



Fig. 5: Un momento della campagna fotografica per la creazione del *training set* delle anfore romane, svolta presso i magazzini dell'Università di Roma La Sapienza.



Fig. 6: Un momento della fase del test di riconoscimento *appearance-based* realizzato presso i magazzini del Museo della ceramica di Montelupo Fiorentino (FI).



Fig. 7: Un momento del *workshop* realizzato nel marzo 2018 a Pisa con i colleghi italiani.

prodotti. Come per le entità precedenti, questi sono definiti da informazioni descrittive e allegati multimediali.

Un *thesaurus* multilingua è stato strutturato per permettere, nella fase di *tagging* dei dati sia da catalogo sia da fotografia, l'associazione del frammento a una parte del manufatto (orlo, ansa, spalla, corpo, fondo, piede, ecc.) e alla sua funzione (da mensa, da trasporto, da cottura, etc...) <sup>7</sup> (fig. 2).

Il lavoro di ArchAIDE si configura come *proof of concept*, il cui scopo è dimostrare che la metodologia e la tecnologia impiegata sono in grado di riconoscere le forme e le decorazioni ceramiche. Come *case studies* sono state scelte tre classi ceramiche: le anfore romane, la Terra Sigillata (italica, *hispanica*, sud-gallica) e la Maiolica prodotta a Montelupo (FI). La scelta è stata determinata:

- dalla diffusione delle produzioni,
- dalla presenza di cataloghi cartacei e risorse digitali sufficientemente strutturati, contenenti informazioni relative alle principali caratteristiche dei manufatti, tali da poter essere estratte per fornire una descrizione adeguata al riconoscimento,
- dalle sfide tecnologiche fornite dalle diverse tipologie di materiali al fine di stressare il sistema con prove mirate (frammenti piccoli e sottili, frammenti grandi e spessi, frammenti con rivestimenti riflettenti la luce etc...).

Sono stati selezionati sette punti chiave per definire una forma ceramica, estraibili sia dai disegni dei cataloghi cartacei sia dalle immagini acquisite sul campo, e associati a un fattore di scala per poterli riportare alla scala reale:

- (a) profilo esterno e (b) interno della forma,
- (c) profilo esterno e (d) interno delle prese (se presente) (e) sezione delle prese (se presente),
- (f) massimo punto di altezza (*rim point*),
- (g) massimo punto alla base (*base point*).

Il popolamento del database è avvenuto mediante l'acquisizione delle risorse digitali già

7. La creazione del *thesaurus* (in inglese, italiano, spagnolo, catalano e tedesco), coordinata da ADS in collaborazione con UniPI, UB e UCo, ha visto un articolato lavoro di riflessione per riuscire ad individuare i termini comunemente e internazionalmente riconosciuti per l'identificazione dei frammenti. I *thesaurus* francese e portoghese sono invece il risultato della collaborazione volontaria di archeologi che, grazie all'istituzione della pagina 'Associate' sul website del progetto (<http://www.archaide.eu/associates>), hanno offerto di tradurre i termini nelle lingue mancanti. Per maggiori dettagli: <http://www.archaide.eu/blog/-/blogs/248039?groupId=20181&pk=248039&userId=23312>

disponibili <sup>8</sup> e grazie allo sviluppo di un *tool* per l'acquisizione semi-automatica dei cataloghi cartacei e la loro trascrizione digitale <sup>9</sup> (fig. 3). La descrizione digitale comprende sia la digitalizzazione dei testi e delle immagini, sia la trasposizione del significato della rappresentazione grafica della singola forma in una rappresentazione vettoriale digitale (file SVG), incrementata semanticamente e in grado di descrivere anche le singole componenti dell'oggetto (ad es. piede, orlo, corpo, etc.). L'estrazione dei profili da queste immagini ha permesso di creare i modelli 3D di tutte le forme (fig. 4), utilizzati sia per arricchire il database, sia per allenare la "rete neurale" (*infra*) del sistema (BANTERLE *et al.* 2017).

#### 4. IL SISTEMA DI RICONOSCIMENTO E LA FASE DI TEST

Partendo dalle riflessioni metodologiche sopra descritte e dagli elementi definiti nella struttura del database, il progetto ha sviluppato un sistema di riconoscimento basato su un approccio *Deep Learning*, che permette il riconoscimento sia della forma del frammento (*shape-based recognition*), sia della decorazione (*appearance-based recognition*) a partire da una fotografia effettuata dall'utente tramite *smartphone* o *tablet* <sup>10</sup>. Attraverso il *Deep Learning*, il sistema impara automaticamente le regole che portano a un'identificazione corretta. Per fare ciò sono necessari:

- una puntuale definizione della classificazione,
- un *set* di allenamento (ovvero un insieme di esempi di cui la classificazione è già nota e disponibile, definito *training set*) molto ampio (diverse migliaia di esempi) e ben strutturato.

La creazione dei *training set* è stata curata dai partner archeologici del progetto (UniPI, UB, UCo, ELEMENTS e BARAKA), attraverso campagne fotografiche mirate presso i magazzini di diversi enti statali, musei e università in Italia, Spagna

e Austria <sup>11</sup>, con un grosso investimento di tempo, energie e risorse (fig. 5). Mettere a punto il *set* di allenamento, infatti, non è stata impresa facile, perché i reperti archeologici sono conservati in magazzini diversi, non sempre accessibili con facilità e, ancora più spesso, non sono studiati e classificati.

Nel caso della *shape-based recognition*, per ovviare alla scarsità di frammenti 'reali' si è scelto di frammentare virtualmente i modelli 3D mediante il *plug-in Cell Fracture* in Blender, che ha permesso di generare una quantità di frammenti casuali, utilizzati per addestrare e testare il classificatore insieme a un numero di fotografie di manufatti (BANTERLE *et al.* 2017) <sup>12</sup>. Grazie ai dati in *input*, il sistema lavora allineando il profilo del frammento con il profilo di riferimento e verificandone la parziale corrispondenza.

Nel caso del riconoscimento basato sulla decorazione, per ottenere un *training set* più ampio si è scelto di implementare una soluzione ibrida, fondata:

- sulla creazione di più versioni di ciascuna immagine originale (differenti ritagli, scale e ribaltamenti, variazione di esposizione, viraggio dei colori, ecc...),
- su una "rete neurale" pre-addestrata a classificare immagini non di ambito archeologico.

Un'attività di *testing*, portata avanti sia sul campo sia in laboratorio <sup>13</sup>, ha consentito la verifica sia dell'efficienza del sistema di riconoscimento in sé, sia della sua implementazione all'interno della *App* per *mobile devices* e computer (fig. 6). La creazione di una griglia di *feedback*, sviluppata dai partner archeologici, ha permesso di verificare e correggere il modello della "rete neurale" iniziale, migliorando progressivamente le *performances* in successive *releases*. Tale fase è ancora in corso di ultimazione per

8. *Roman Amphorae: a digital resource* dell'ADS dell'Università di York e *CeramAlex* dell'Università di Colonia.

9. Le procedure per la digitalizzazione semi-automatica dei cataloghi e per l'estrazione dei profili dai disegni ceramici sono state realizzate dal CNR-ISTI; la loro implementazione all'interno del database è stata effettuata da INERA.

10. La "rete neurale" è stata sviluppata dall'Università di Tel Aviv.

11. In Italia, le campagne fotografiche per la creazione del *training set* sono state realizzate presso i magazzini MiBAC di Arezzo, Ostia, Perugia, Roma-Colle Oppio, Pisa-Cantiere delle Navi Romane di San Rossore, presso il Museo di Montelupo Fiorentino e i magazzini dello scavo di Spolelino (condotto dall'Università di RomaTre) e presso le Università di Pisa, Siena e Roma La Sapienza: si ringraziano i responsabili di queste istituzioni per la loro cortese disponibilità.

12. In assenza di dati sugli indici di frammentazione delle varie classi ceramiche, i frammenti sono stati generati variandone la dimensione e la forma e tenendo conto della diversa consistenza di ogni parte dell'oggetto (cioè codificando il fatto che il piede e l'orlo sono solitamente più robusti).

13. I test sono stati realizzati da UniPI in Italia e da UB, BARAKA e ELEMENTS in Spagna.



ciò che concerne il sistema *shape-based*<sup>14</sup>, mentre sul *dataset* di decorazioni della Maiolica di Montelupo (ca. 10.000 immagini reali, appartenenti a 84 generi decorativi) è già stato possibile ottenere una percentuale dell'83,8% di risposte corrette all'interno dei primi cinque risultati forniti dalla *App*.

Ulteriori suggerimenti sono stati raccolti al di fuori del *team* di progetto, coinvolgendo le comunità archeologiche dei diversi paesi in *workshops* mirati a illustrare le potenzialità del sistema e a testarne praticamente il funzionamento<sup>15</sup>. Questa attività *user-experience* si è dimostrata estremamente utile all'ottimizzazione della *App* e dei servizi correlati (fig. 7).

## 5. I PRODOTTI DI ARCHAIDE E LE POTENZIALITÀ DI SVILUPPO FUTURE

Alla scadenza del progetto (maggio 2019), ArchAIDE rilascerà due prodotti principali: il *database on-line* della ceramica (fig. 8) e la *App* di riconoscimento automatico implementata su *devices* mobili e su computer *desktop* (fig. 9). Il database è pensato come strumento di lavoro per la comunità scientifica archeologica e non solo. All'opportunità di poter accedere alle informazioni dei cataloghi in forma digitale<sup>16</sup>, si aggiunge infatti la possibilità di avere una rappresentazione vettoriale 2D e un modello 3D di ciascuna forma ceramica catalogata, liberamente fruibile come *Open Data*, che consente di allargare l'utilizzo del sistema a possibili *stakeholders* al di fuori dell'ambito dei Beni archeologici: si pensi, ad esempio, all'utilizzo dei modelli 3D nel mondo dei *Games* o all'opportunità di realizzare stampe 3D degli oggetti sia a fini sia turistico/commerciali, sia didattico/educativi.

Una serie di *tools* verrà integrata nella *App* per consentire l'archiviazione e la condivisione dei dati raccolti dagli utenti durante il processo di

riconoscimento. Tutte le informazioni codificate nel riconoscimento della ceramica (che nascono digitali e comprendono i dati relativi a posizione, classificazione, datazione e così via) potranno essere condivise, visualizzate e integrate con informazioni sul patrimonio culturale provenienti da fonti diverse, al fine di produrre un impatto davvero significativo nel progresso della disciplina e nell'accessibilità per gli utenti professionali e non professionali. Infine, il MAPPALab, con la sua vocazione all'integrazione della ricerca matematico-statistica in campo archeologico, ha realizzato una serie di analisi, prendendo come *case study* la Terra Sigillata, che permetteranno la visualizzazione di carte di distribuzione dei centri produttivi e dei luoghi di ritrovamento dei frammenti e il loro variare nel corso del tempo su scala europea<sup>17</sup> (fig. 10).

Lo sviluppo del classificatore ceramico attraverso il *Deep Learning* oggi dà fondatezza a quelle che, all'inizio del progetto, si configuravano solo come ipotesi di ricerca. La strutturazione dei prodotti del lavoro fin qui realizzato rendono ArchAIDE un progetto aperto a enormi potenzialità di implementazione, sia per quanto riguarda l'estensione a qualunque altra classe ceramica, sia per lo sviluppo di nuovi applicativi su tipologie diverse di materiali archeologici. La piena adesione del MAPPALab, così come di ArchAIDE, ai principi dell'*Open Data* traccia infine un futuro caratterizzato da un'idea di condivisione della conoscenza archeologica, nel quale possiamo immaginare di arricchire esponenzialmente i risultati del progetto attraverso il contributo e la cooperazione di un mondo di archeologi sempre più vasto.

### Nota

Queste pagine sono dedicate al ricordo di Matteo Delle Piane, eccellente ricercatore del CNR di Pisa, con cui abbiamo lavorato alla progettazione di ArchAIDE e nelle prime fasi della ricerca, che ci ha lasciato prematuramente per una grave malattia.

Nelle more della pubblicazione di questo lavoro, alla fine di maggio 2019 il progetto ArchAIDE è giunto a conclusione. Come previsto, alla pagina <https://archaide-desktop.inera.it/> sono disponibili in formato open data sia il database on line della ceramica, sia il tool per il riconoscimento automatico delle forme e delle decorazioni.

14. Ad oggi i risultati parziali vedono percentuali pari al 50,8% di risultati corretti entro le prime cinque risposte fornite dal sistema e del 18,9% come risposta corretta al primo posto.

15. Tra dicembre 2017 e dicembre 2018 sono stati realizzati 4 *workshops* in UK, Italia, Germania e Spagna. Archeologi delle Università, delle Soprintendenze e del mondo delle professioni sono stati chiamati a dare i loro *feedback* sul progetto nella sua globalità e sulle funzionalità della *App*.

16. Per le informazioni provenienti da cataloghi coperti da Copyright, ArchAIDE ha creato un accordo 'test' con un gruppo di editori per verificare le possibili opportunità, anche a fini commerciali, dell'apertura di tali dati.

17. I risultati delle analisi saranno resi più comprensibili applicando tecniche di *data visualisation*.



Fig. 8: La consultazione dei cataloghi così come appare nella App.

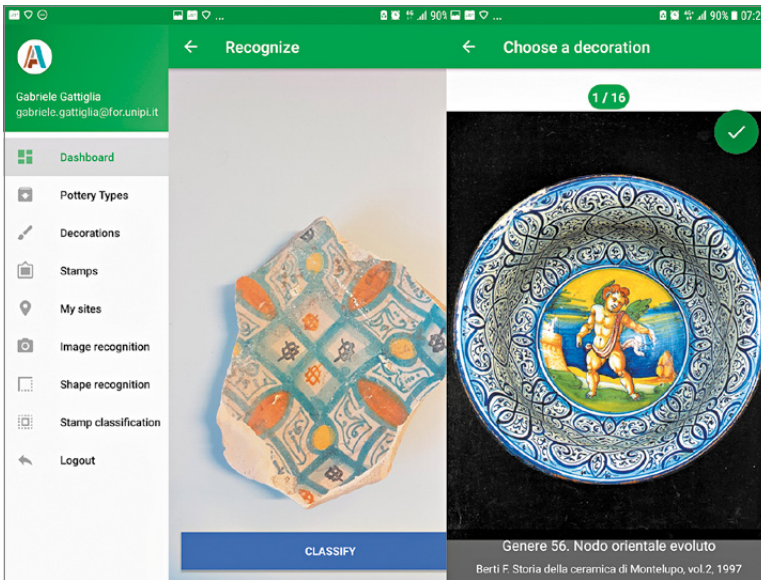


Fig. 9: La prima *release* della App per il riconoscimento dei frammenti sulla base della decorazione. Il frammento da classificare (a sinistra) viene confrontato con le immagini di riferimento del catalogo per il genere decorativo specifico.

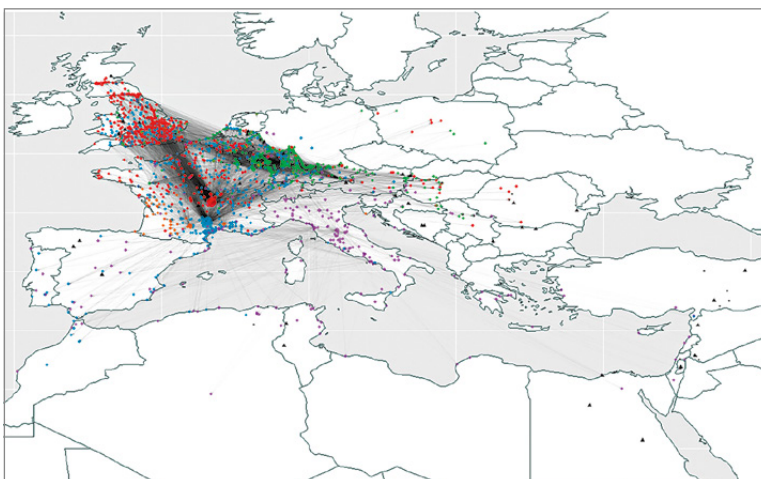


Fig. 10: Una delle mappe realizzate dal MAPPA Lab per visualizzare la distribuzione della Terra Sigillata.

## BIBLIOGRAFIA

- ANICHINI F., GATTIGLIA G. 2018, *Big Archaeological Data. The ArchAIDE project approach*, in *Conferenza GARR\_17. Selected papers*, Viterbo, pp. 22-25.
- BAHGA A., MADISSETTI V. 2014, *Internet of Things (a Hands-On Approach)*, www.internet-of-things-book.com.
- BANTERLE F., DELLEPIANE M., EVANS T., GATTIGLIA G., ITKIN B., ZALLOCCO M. 2017, *The ArchAIDE Project: results and perspectives after the first year*, in SABLATNIG R., STULAR B. (a cura di), *EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, pp. 161-164.
- GATTIGLIA G. 2018, *Classificare le ceramiche: dai metodi tradizionali all'intelligenza artificiale. L'esperienza del progetto europeo ArchAIDE*, in MALFITANA D. (a cura di), *Archeologia Quo Vadis? Riflessioni metodologiche sul futuro di una disciplina*, Catania, pp.285-298.
- GATTIGLIA G. 2017, *From digitization to datafication. A new challenge is approaching archaeology*, in "Proceedings of AIUCD 2017 Conference, 3<sup>rd</sup> EADH Day DiXiT Workshop, *The educational impact of DSE*", Rome 23-28 January 2017, pp. 33-37.
- GATTIGLIA G. 2015, *Think big about data: Archaeology and the Big Data challenge*, in "Archäologische Information", 38, 2015, pp. 113-124.
- GILBOA A., KARASIK A., SHARON I., SMILANSKY U. 2004, *Towards computerized typology and classification of ceramics*, in "Journal of Archaeological Science", 31 (6), 2004, pp. 681-694.
- HADSELL R., CHOPRA S., LECUN Y. 2006, *Dimensionality reduction by learning an invariant mapping*, in "Proceedings Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR '06)", New York, 2006.
- KAMPEL M., SABLATNIG R. 2006, *3D Data Retrieval of Archaeological Pottery*, in "International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM 2006)", pp. 387-395.
- KARASIK A. 2010, *A complete, automatic procedure for pottery documentation and analysis*, in "IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPRWorkshops)", San Francisco, CA, June 2010, pp. 29-34.
- LECUN T., BOTTOU L., BENGIO Y. HAFFNER P. 1998, *Gradient-based learning applied to document recognition*, in "Proceedings of the IEEE", 86 (11), pp. 2278-2324.
- MAIZA C., GAILDRAT V. 2005, *Automatic Classification of Archaeological Potsherds*, in DIMITRI P. (a cura di), *The 8th International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence, 3IA'2005*, Limoges (France), 11-12 Maggio 2005, pp. 135-147.
- MAKRIDIS M., DARAS P. 2013, *Automatic classification of archaeological pottery sherds*, in "Journal on Computing Cultural Heritage", 5 (4), 2013, pp. 15:1-15:21.
- MAYER-SCHÖNBERGER V., CUKIER K. 2013, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Boston, 2013.
- O'NEILL C., SCHUTT R. 2013, *Doing Data Science*, Sebastopol, 2013.
- POTENZIANI M., CALLIERI M., DELLEPIANE M., CORSINI M., PONCHIO F., SCOPIGNO R. 2015, *3DHOP: 3D heritage online presenter*, in "Computer & Graphics", 52, 2015, pp. 129-141.
- SAMUELSON P.A. 1954, *The Pure Theory of Public Expenditure*, in "Review of Economics and Statistics", 36 (4), 1954, pp. 387-389.
- SMITH R. 2007, *An overview of the tesseract OCR engine*, in "Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)", vol. 2, pp. 629-633.
- WESSON C.B., COTTIER J.W. 2014, *Big Sites, Big Questions, Big Data, Big Problems: Scales of Investigation and Changing Perceptions of Archaeological Practice in the Southeastern United States*, in "Bulletin of the History of Archaeology", 24 (16), 2014, pp. 1-11.

## PUBBLICAZIONI DEL CENTRO

1968 – CATALOGO	Mostra retrospettiva della ceramica ligure Albisola 29 giugno-21 luglio 1968 . . . . . (esaurito)	1990 – ATTI	XXIII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 25-27 maggio 1990 . . . . . € 31,00
1968 – ATTI	La ceramica ligure nella storia e nell'arte Albisola 29 giugno-1 luglio 1968 . . . . . (esaurito)	1991 – ATTI	XXIV Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 24-26 maggio 1991 . . . . . € 28,00
1969 – ATTI	II Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-2 giugno 1969 . . . . . (esaurito)	1992 – ATTI	XXV Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 29-31 maggio 1992 . . . . . € 31,00
1970 – CATALOGO	Mostra della Ceramica Ligure dell'800 . . . . . € 15,00	1993 – ATTI	XXVI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 28-30 maggio 1993 . . . . . € 49,00
1970 – ATTI	III Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-2 giugno 1971 . . . . . € 21,00	1994 – ATTI	XXVII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 27-29 maggio 1994 . . . . . € 46,50
1971 – ATTI	IV Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 28 maggio-3 giugno 1971 . . . . . € 18,00	1995/96 – ATTI	XXVIII-XXIX Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 26-28 maggio 1995 – 24-25 maggio 1996 . . . . . € 46,50
1972 – CATALOGO	Mostra della Ceramica Monregalese dell'800 Albisola 31 maggio-30 settembre 1972 . . . . . € 15,00	1997/98 – ATTI	XXX-XXXI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 16-18 maggio 1997 – 29-31 maggio 1998 . . . . . € 46,50
1972 – ATTI	V Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-4 giugno 1972 . . . . . € 18,00	1999/00 – ATTI	XXXII-XXXIII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 28-29 maggio 1999 – Savona, 26-28 maggio 2000 € 46,50
1973 – ATTI	VI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 30 maggio-3 giugno 1973 . . . . . € 18,00	2001 – ATTI	XXXIV Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 25-26 maggio 2001 . . . . . € 32,00
1974 – CATALOGO	Mostra di collezioni precolumbiane. Ceramica Peruviana Albisola 31 maggio-25 agosto 1974 . . . . . € 18,00	2002 – ATTI	XXXV Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 31 maggio-1 giugno 2002 . . . . . € 35,00
1974 – ATTI	VII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-3 giugno 1974 . . . . . € 18,00	2003 – ATTI	XXXVI Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 30-31 maggio 2003 . . . . . € 35,00
1975 – ATTI	VIII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 30 maggio-2 giugno 1975 . . . . . € 18,00	2004/05 – ATTI	XXXVII-XXXVIII Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 28-29 maggio 2004 – 27-28 maggio 2005 . . . . . € 65,00
1976 – ATTI	IX Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 28-31 maggio 1976 . . . . . € 21,00	2006 – ATTI	XXXIX Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 26-27 maggio 2006 . . . . . € 35,00
1977 – ATTI	X Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 26-29 maggio 1977 . . . . . € 21,00	2007 – ATTI	XL Convegno Internazionale della Ceramica Savona-Albisola Marina, 11-12 maggio 2007 . . . . . € 35,00
1978 – ATTI	XI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 1-4 giugno 1978 . . . . . € 18,00	2008 – ATTI	XLI Convegno Internazionale della Ceramica Savona-Albisola Superiore, 30-31 maggio 2008 . . . . . € 40,00
1979/80 – ATTI	XII e XIII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-3 giugno 1979, 29 maggio-1 giugno 1980 . . . . . € 26,00	2009 – ATTI	XLII Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 29-30 maggio 2009 . . . . . € 45,00
1981 – ATTI	XIV Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 5-7 giugno 1981 . . . . . € 18,00	2010 – ATTI	XLIII Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 28-29 maggio 2010 . . . . . € 45,00
1982/83 – ATTI	XV e XVI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 27-31 maggio 1982, 28-30 maggio 1983 . . . . . € 26,00	2011 – ATTI	XLIV Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 27-28 maggio 2011 . . . . . € 48,00
1984 – ATTI	XVII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 25-27 maggio 1984 . . . . . € 18,00	2012 – ATTI	XLV Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 25-26 maggio 2012 . . . . . € 48,00
1985 – ATTI	XVIII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 31 maggio-2 giugno 1985 . . . . . € 18,00	2013 – ATTI	XLVI Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 24-25 maggio 2013 . . . . . € 50,00
1986 – ATTI	XIX Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 30 maggio-1 giugno 1986 . . . . . € 26,00	2014 – ATTI	XLVII Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 23-24 maggio 2014 . . . . . € 45,00
1987/88 – ATTI	XX e XXI Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 29-31 maggio 1987, 27-22 maggio 1988 . . . . . € 31,00	2015/16 – ATTI	XLVIII-XLIX Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 29-30 maggio 2015 – 27-28 maggio 2016 . . . . . € 70,00
1989 – ATTI	XXII Convegno Internazionale della Ceramica Albisola 26-28 maggio 1989 . . . . . € 21,00	2017 – ATTI	L Convegno Internazionale della Ceramica Savona, 6-7 ottobre 2017 . . . . . € 45,00
1968-89 INDICE	Indice per volumi e per autori degli Atti dei Convegni I-XXII (1968-1969) . . . . . € 10,00		

ATTI  
2018

€ 58,00

ISSN 2035-5483

ISBN 978-88-7814-960-1

e-ISBN 978-88-7814-961-8

ALB-LI-2018



9 788878 149601