

# ARCHEOLOGIA QUO VADIS?

Riflessioni metodologiche  
sul futuro di una disciplina

a cura di  
Daniele Malfitana



# ARCHEOLOGIA QUO VADIS?

*RIFLESSIONI METODOLOGICHE SUL FUTURO  
DI UNA DISCIPLINA*

*ATTI DEL WORKSHOP INTERNAZIONALE  
CATANIA, 18-19 GENNAIO 2018*

*a cura di  
Daniele Malfitana*

CATANIA 2018

© *All right reserved.* Except in those case expressly determined by law, no part of the publication may be multiplied, saved in an automated datafile or made public in any way whatsoever without the express prior written consent of the publisher and editor.

MONOGRAFIE DELL'ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI (IBAM), 14  
CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

*Direttore responsabile:* DANIELE MALFITANA

**ARCHEOLOGIA, QUO VADIS?**  
*Atti del workshop internazionale*  
*Catania, 18 - 19 gennaio 2018*

448 pp., 21x28 cm.  
ISBN: 9788889375228  
ISSN: 2037-9064

I. Archeologia  
II. Metodologia della ricerca archeologica  
III. Archeologia pubblica

*Ideazione, progettazione grafica ed impaginazione:* Federica Guzzardi  
*Curatela redazionale:* Maria Luisa Scrofani  
*Copertina:* Federica Guzzardi

# INDICE

INTRODUZIONE	
ARCHEOLOGIA, QUO VADIS? 'E SE NON FOSSE LA BUONA BATTAGLIA?'	9
<i>Daniele Malfitana</i>	
L'ARCHEOLOGIA DEL MEDITERRANEO: VIE PERCORSE E DESTINAZIONI FUTURE	15
<i>Emanuele Papi</i>	
PER UN'ARCHEOLOGIA AL FUTURO: GLOBALE, PUBBLICA, PARTECIPATA (E ANCHE PIÙ CORAGGIOSA)	21
<i>Giuliano Volpe</i>	
L'ARCHEOLOGIA TRA SCIENZA E SOCIETÀ	39
<i>Daniele Manacorda</i>	
ARCHEOLOGIA TRA RICERCA, DIDATTICA E PROFESSIONE	
ARCHEOLOGIA E DIDATTICA: I CORSI DI STUDIO IN ARCHEOLOGIA E LE NUOVE SFIDE	49
<i>Pietro Militello</i>	
ARCHEOLOGIA: PERCHÉ SCAVARE? PERCHÉ SCAVARE	57
<i>Michel Gras</i>	
RICERCA, DIDATTICA, PUBLIC ENGAGEMENT. IDEE, STRATEGIE E SFIDE PER LE SCIENZE DEL PATRIMONIO CULTURALE. RUOLO E MISSION DI UN ISTITUTO DI RICERCA DEL CNR	69
<i>Daniele Malfitana, Antonino Mazzaglia, Lorianca Arena, Silvia Iachello, Mario Indelicato, Giusi Meli, Claudia Pantellaro, Maria Luisa Scrofani</i>	
L'ARCHEOLOGO IN SICILIA TRA AMMINISTRAZIONE PUBBLICA E LIBERA PROFESSIONE	129
<i>Mariarita Sgarlata</i>	

<p>ARCHEOLOGIA, QUALE LAVORO DOPO L'UNIVERSITÀ?  UN'ANALISI MULTIDISCIPLINARE DEL RAPPORTO TRA RICERCA, FORMAZIONE,  PROFESSIONE E OPPORTUNITÀ IMPRENDITORIALI  <i>Vincenzo Vignieri, Claudia Pantellaro, Francesco Pillitteri</i></p>	135
<p>ARCHEOLOGIA E COMUNICAZIONE: DALLO SCAVO AL MUSEO</p>	
<p>ARCHEOLOGIA PUBBLICA: DALLA PRATICA DELLA CONDIVISIONE ALLA RICERCA  DELLA SOSTENIBILITÀ  <i>Enrico Zanini</i></p>	175
<p>IL MODELLO GESTIONALE MANN: CONNESSIONE DI UN MUSEO CON NAPOLI, L'ITALIA  E L'ESTERO  <i>Paolo Giulierini</i></p>	191
<p>ARCHEOLOGIA E SCUOLE STRANIERE IN ITALIA</p>	
<p>ARCHEOLOGIA E SCUOLE STRANIERE A ROMA  <i>Kristian Göransson</i></p>	211
<p>L'ISTITUTO ARCHEOLOGICO GERMANICO: DALL'ARCHEOLOGIA CLASSICA ALL'AR-  CHEOLOGIA DELL'ITALIA NEL CONTESTO MEDITERRANEO  <i>Ortwin Dally</i></p>	215
<p>ARCHEOLOGIA, TUTELA E CITTÀ/TERRITORIO/PAESAGGIO</p>	
<p>L'ISTITUTO CENTRALE PER L'ARCHEOLOGIA. RICERCA ARCHEOLOGICA E TUTELA OGGI  <i>Elena Calandra</i></p>	229
<p>L'ATLANTE DI ROMA. UNA PROPOSTA PER L'ARCHEOLOGIA DI OGGI  <i>Paolo Carafa</i></p>	239
<p>IL PAESAGGIO STORICO: FRA LEGISLAZIONE, TECNOLOGIE E COMPLESSITÀ  <i>Antonino Mazzaglia</i></p>	255
<p>ARCHEOLOGIA IN EUROPA: ALCUNI CASI</p>	
<p>CLASSIFICARE LE CERAMICHE: DAI METODI TRADIZIONALI ALL'INTELLIGENZA  ARTIFICIALE. L'ESPERIENZA DEL PROGETTO EUROPEO ARCHAIIDE  <i>Gabriele Gattiglia</i></p>	285
<p>REINVENTARSE PARA FORMAR ARQUEÓLOGOS: DESAFIOS DE LA UNIVERSIDAD  ESPAÑOLA EN UN MUNDO GLOBALIZADO  <i>Dario Bernal Casasola</i></p>	299

## SICILY IN CONTEXT.

### UNO SGUARDO SULL'ARCHEOLOGIA SICILIANA: TUTELA, RICERCA, COMUNICAZIONE

INTRODUZIONE <i>Maria Luisa Scrofanì</i>	315
L'ATTIVITÀ DELLA SEZIONE ARCHEOLOGICA DELLA SOPRINTENDENZA BB.CC.AA. DI AGRIGENTO <i>Domenica Gulli</i>	321
L'ATTIVITÀ DELLA SEZIONE ARCHEOLOGICA DELLA SOPRINTENDENZA BB.CC.AA. DI CATANIA <i>Laura Maniscalco</i>	327
L'ATTIVITÀ DELLA SEZIONE ARCHEOLOGICA DELLA SOPRINTENDENZA BB.CC.AA. DI ENNA <i>Pinella Marchese</i>	331
L'ATTIVITÀ DELLA SEZIONE ARCHEOLOGICA DELLA SOPRINTENDENZA BB.CC.AA. DI MESSINA <i>Gabriella Tigano</i>	339
L'ATTIVITÀ DELLA SEZIONE ARCHEOLOGICA DELLA SOPRINTENDENZA BB.CC.AA. DI TRAPANI <i>Rossella Giglio Cerniglia</i>	347
LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE PER I SITI CULTURALI - MUSEO ARCHEOLOGICO 'PIETRO GRIFFO' DI AGRIGENTO <i>Gioconda Lamagna, Carla Guzzone, Donatella Mangione</i>	361
LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE DI PIAZZA ARMERINA, AIDONE ED ENNA PER I SITI CULTURALI - PARCHI ARCHEOLOGICI DELLA VILLA DEL CASALE E MORGANTINA <i>Giovanna Susan, Rosario P. A. Patanè</i>	367
LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE DELLE ISOLE EOLIE PER I SITI CULTURALI - PARCO ARCHEOLOGICO - MUSEO 'LUIGI BERNABÒ BREA' <i>Maria Amalia Mastelloni</i>	375
LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE DI RAGUSA PER I SITI CULTURALI - PARCHI ARCHEOLOGICI DI CAMARINA E CAVA D'ISPICA <i>Carmela Bonanno</i>	383

LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE DI SIRACUSA PER I SITI E I MUSEI ARCHEOLOGICI - MUSEO ARCHEOLOGICO REGIONALE 'PAOLO ORSI'	389
<i>Maria Musumeci</i>	
LE ATTIVITÀ DEL POLO REGIONALE DI TRAPANI E MARSALA PER I SITI CULTURALI, IL MUSEO E IL PARCO ARCHEOLOGICO DI LILIBEO DI MARSALA	395
<i>Maria Grazia Griffò</i>	
LE ATTIVITÀ DEL PARCO ARCHEOLOGICO E PAESAGGISTICO DELLA VALLE DEI TEMPLI DI AGRIGENTO	403
<i>Giuseppe Parello</i>	
LE ATTIVITÀ DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI NAXOS TAORMINA	411
<i>Vera Greco</i>	
LE ATTIVITÀ DEL PARCO ARCHEOLOGICO DI SEGESTA	413
<i>Agata Villa</i>	
LE ATTIVITÀ DELL'UNIVERSITÀ DI CATANIA - DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANISTICHE	417
<i>Rodolfo Brancato, Erica Platania, Paolo Sferrazza</i>	
LE ATTIVITÀ DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ENNA KORE - FACOLTÀ DI STUDI CLASSICI, LINGUISTICI E DELLA FORMAZIONE	423
<i>Paolo Barresi, Rossana De Simone, Daniela Patti, Flavia Zisa</i>	
LE ATTIVITÀ DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA - DIPARTIMENTO DI CIVILTÀ ANTICHE E MODERNE	431
<i>Lorenzo Campagna, Eligio Daniele Castrizio, Caterina Ingoglia, Gioacchino Francesco La Torre, Fabrizio Mollo, Mariangela Puglisi, Grazia Spagnolo</i>	
LE ATTIVITÀ DELL'UNIVERSITÀ DI PALERMO - DIPARTIMENTO CULTURE E SOCIETÀ	435
<i>Sergio Aiosa, Nunzio Allegro, Oscar Belvedere, Aurelio Burgio, Monica de Cesare, Gioacchino Falsone, Antonella Mandruzzato, Chiara Portale, Simone Rambaldi, Emma Vitale</i>	

## INDICE DEGLI AUTORI

# CLASSIFICARE LE CERAMICHE: DAI METODI TRADIZIONALI ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE. L'ESPERIENZA DEL PROGETTO EUROPEO ARCHAIDE

*Gabriele Gattiglia*

## INTRODUZIONE

ArchAIDE ([www.archaide.eu](http://www.archaide.eu)) è un progetto Europeo triennale legato alla Research and Innovation Action sotto la Call H2020-REFLECTIVE-6-2015. Il progetto, iniziato a giugno 2016, finirà a maggio 2019 ed è coordinato dal Dipartimento di Civiltà e Forma del Sapere dell'Università di Pisa attraverso il MAPPA Lab (P.I. Maria Letizia Gualandi, Coordinatore Gabriele Gattiglia). MAPPA Lab è un'unità di ricerca multidisciplinare creata nel 2011 che comprende archeologi, matematici, geologi, specialisti GIS, storici e sviluppatori web. Le sue attività di ricerca riguardano principalmente i campi della metodologia della ricerca archeologica, della raccolta e gestione dei dati archeologici, dei dati archeologici aperti, dei modelli matematici e statistici, della geoarcheologia, della comunicazione e della narrazione archeologica. Il MAPPA Lab ha anche creato 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.

## IL PROGETTO ARCHAIDE

Il progetto ArchAIDE coinvolge archeologi, matematici e informatici, riu-

niti in un consorzio di ricerca multidisciplinare e transnazionale, di cui fanno parte, oltre al già citato MAPPA Lab, sia partner accademici, nell'ambito delle Scienze Umane (Università di Barcellona<sup>1</sup>, Università di Colonia<sup>2</sup> e Università di York<sup>3</sup>) e in quello delle *Information and Communication Technologies* (CNR-ISTI<sup>4</sup> e Tel Aviv Univer-

<sup>1</sup> Il team dell'Università di Barcellona è composto dal Laboratorio di Cultura Materiale e Archeometria (ARQUB), un'unità di ricerca focalizzata sulla promozione di studi sulla cultura materiale, e in particolare sulla ceramica archeologica, incorporando approcci archeometrici.

<sup>2</sup> Il Dipartimento di Archeologia dell'Università ospita il Cologne Digital Archaeology Laboratory (CoDArchLab), che cura il database archeologico ARACHNE con oltre 2 milioni di voci e si occupa di strutturazione e archiviazione dei metadati.

<sup>3</sup> L'Università di York è partner del progetto con l'*Archaeology Data Service* (ADS), il principale archivio archeologico digitale per l'archeologia. L'ADS promuove buone pratiche nell'uso dei dati digitali in archeologia, fornisce consulenza tecnica alla comunità di ricerca e supporta l'impiego di tecnologie digitali.

<sup>4</sup> CNR-ISTI è un istituto del CNR, con sede a Pisa e dedicato alla ricerca sulle ICT, attivo su diversi domini importanti che includono Visual Media e Beni Culturali. CNR-ISTI fa parte del consorzio con il Visual Computing Lab (VCL), che si occupa di digitalizzazione/scansione 3D, elaborazione di dati geometrici, sistemi di visualizzazione, rappresentazione multi-risoluzione e *rendering* di enormi *set* di dati, applicazioni Web 3D.

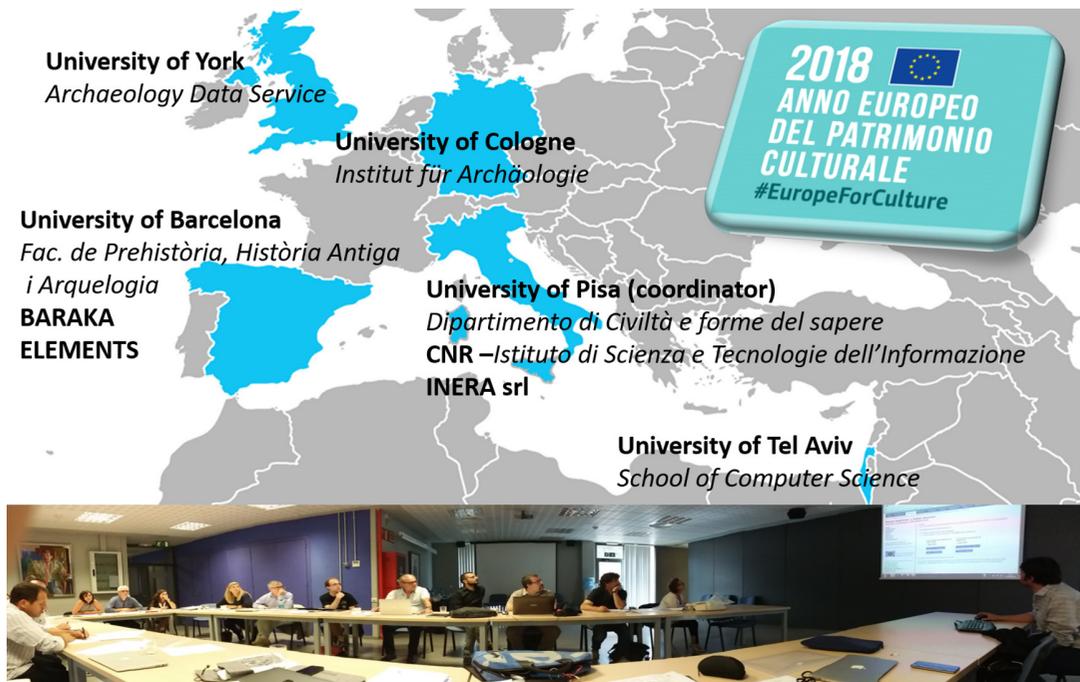


Fig. 1. Il consorzio del Progetto ArchAIDE comprende Enti di ricerca e Piccole e Medie Imprese di 5 differenti nazioni (Italia, Spagna, Regno Unito, Germania, Israele).

sity<sup>5</sup>), sia Piccole e Medie Imprese, in ambito archeologico (BARAKA<sup>6</sup> ed ELEMENTS<sup>7</sup>) e ICT (INERA<sup>8</sup>) (Fig. 1). L’idea alla base di ArchAIDE è quella di supportare il lavoro di classificazione e interpretazione dell’archeologo con strumenti informatici innovativi per il riconoscimento automatico della ceramica archeologica, attraverso lo sviluppo di una nuova piattaforma *software* disponibile su *devices* mobili (*tablet*, *smartphone*) e su *computer desktop*. La classificazione della ceramica è di fondamentale importanza per la comprensione e la datazione dei contesti archeologici e per comprendere le dinamiche della produzione, i flussi commerciali e le interazioni sociali. Sfortunatamente, tale operazione richiede competenze complesse e, poiché è fortemente dipendente dall’ispezione e dall’interpretazione umana, è un’attività

<sup>5</sup> L’Università di Tel Aviv partecipa al progetto con il laboratorio di *Deep Learning* della sua scuola di Informatica. Le attività di laboratorio includono, tra le altre cose, ricerche innovative nell’ambito del riconoscimento facciale, dell’analisi di documenti, della descrizione testuale dell’immagine e della *action recognition*.

<sup>6</sup> Baraka Arqueólogos S.L. è una ditta archeologica fondata nel 2012, composta da cinque ricercatori che lavorano sia nell’ambito dell’archeologia professionale, sia di ricerca. Hanno partecipato a più di 200 interventi archeologici in diversi paesi (principalmente in Spagna, ma anche in Africa, America e Asia).

<sup>7</sup> Elements S.L. è una società privata di consulenza per il patrimonio archeologico e culturale fondata nel 2009. L’attività principale della società è di supportare manager privati e pubblici durante il processo di pianificazione e sviluppo. Ha una elevata specializzazione nella documentazione 3D e nell’analisi dei materiali archeologici.

<sup>8</sup> Inera è una società di *software* fondata nel 2001 che opera nei settori del turismo, beni culturali, media e industria editoriale online.

che richiede molto tempo, sia per i ricercatori, sia per i professionisti. L'automazione digitale della classificazione delle ceramiche potrebbe rivoluzionare la pratica archeologica, riducendo tempi e costi, migliorando l'accesso e la valorizzazione del patrimonio culturale digitale in modo sostenibile e permettendo una conoscenza più approfondita dei contesti archeologici.

Consapevoli della difficoltà di sostituire metodi consolidati, intendiamo sostenere quanto già disponibile in questo specifico dominio in termini di buone pratiche e paradigmi di rappresentazione. Ad esempio, l'approccio basato sulla forma/profilo delle forme ceramiche, fortemente utilizzato nella pratica archeologica, risulta ideale per supportare gli algoritmi di riconoscimento. L'approccio di ArchAIDE parte, quindi, sia dai bisogni, sia dal *modus operandi* degli archeologi. La piattaforma, infine, è pensata per consentire di accedere a strumenti e servizi in grado di migliorare le risorse archeologiche digitali disponibili, attraverso la possibilità di pubblicare come dati aperti i risultati della classificazione, e a strumenti di analisi e visualizzazione dati fornendo strumenti utili per l'interpretazione archeologica. Dal punto di vista tecnologico, la questione chiave è quella di cogliere elementi di similarità tra manufatti ceramici. Tale similarità deve rispettare due requisiti complessi: deve essere invariante (a) rispetto alle condizioni di *imaging* (posa, illuminazione, risoluzione), (b) rispetto alle circostanze specifiche della ceramica, comprese le dimensioni esatte e gli effetti del tempo. Questi due requisiti possono essere trattati solo utilizzando una metodologia basata sul *machine learning*, in particolare utilizzando algoritmi di *Deep Learning*. L'uso del *Deep Learning* ha profondamente modificato

l'approccio a una serie di problemi considerati molto difficili da gestire in modo automatico. In pratica, il *Deep Learning* è l'utilizzo di *Big Data* nell'ambito della *computer vision* e di altri domini sviluppato attraverso un'architettura di rete neurale a più livelli. Dal momento che sia la forma, sia l'aspetto decorativo rappresentano elementi di classificazione delle ceramiche archeologiche, il sistema dovrà lavorare su entrambi. Mentre la somiglianza basata sull'aspetto si ottiene utilizzando una *Convolutional Neural Network* (CNN)<sup>9</sup>, che attualmente risulta piuttosto comune, ma non nel campo del *Cultural Heritage*<sup>10</sup>, la somiglianza basata sulla forma è molto meno studiata e costruire una rete che stimi la compatibilità delle informazioni parziali sulla forma 3D è un ambito ancora da esplorare.

#### IL MODELLO TEORICO

Sottesa al progetto, è l'idea di poter convogliare energie e risorse da una pratica dispendiosa in termini di tempo e costi, e fondamentalmente meccanica, ad una fase analitica, interpretativa, nella quale le risorse siano impiegate per rispondere a domande storico-archeologiche e per approfondire le nostre conoscenze. Alla base di questo ragionamento sono i dati e l'idea di datificazione dei processi archeologici<sup>11</sup>. I dati sono ciò che gli economisti chiamano un bene non rivale, in altre parole, possono essere continuamente processati e il loro valore non diminuisce<sup>12</sup>, al contrario, aumenta da ciò che rivelano in forma ag-

<sup>9</sup> LECUN *et alii* 1998.

<sup>10</sup> HADSELL *et alii* 2006.

<sup>11</sup> ANICHINI-GATTIGLIA 2018.

<sup>12</sup> SAMUELSON 1954.

gregata. I dati sono gli elementi costitutivi del significato e diventano informazioni solo quando vengono elaborati e aggregati con altri dati, ricavandone un senso. Infine, i dati descrivono un fenomeno in un formato quantificato in modo che possa essere tabulato e analizzato (indipendentemente dal loro essere o meno digitali). Attualmente, il costante miglioramento delle applicazioni digitali per produrre, archiviare e manipolare i dati ha portato l'attenzione, anche nelle discipline umanistiche, sul cosiddetto approccio *data-driven*, e la stessa archeologia, negli ultimi decenni, ha abbracciato un vasto processo di digitalizzazione. Il basso costo e il miglioramento della potenza di calcolo (sia *software* che *hardware*) ha offerto l'opportunità di aggregare facilmente enormi quantità di dati provenienti da fonti diverse ad alta velocità, permettendo un approccio *Big Data*. Anche se questo approccio è nato nel mondo dell'informatica ed è fortemente connesso al business, sta rapidamente emergendo nella ricerca accademica, con studiosi di diverse discipline che riconoscono il potenziale di ricerca intrinseco nell'analisi di set di dati compositi ed eterogenei che superano in dimensioni e complessità quelli tradizionalmente impiegati nei rispettivi settori. Negli ultimi anni, anche gli archeologi hanno iniziato a chiedersi se un approccio *Big Data* possa essere applicato all'archeologia sia da un punto di vista teorico, sia pratico<sup>13</sup>. Nel mondo scientifico e accademico ciò che costituisce i *Big Data* varia in modo significativo tra le discipline, ma possiamo sicuramente affermare che lo spostamento di scala del volume di dati è evidente nella maggior parte delle discipline stesse e che l'analisi di grandi quantità di dati ha il potenziale per rivoluzionare la ricerca, anche nelle discipline

umanistiche<sup>14</sup>. Nel campo delle discipline umanistiche, i concetti di *high volume*, *high variety*, *high velocity* tradizionalmente collegati ai *Big Data* non devono essere considerati in modo assoluto, ma in modo relativo<sup>15</sup>. Come suggerito da Mayer-Schönberger-Cukier, *Big Data* significa lavorare con il set completo (o quasi) di dati, cioè con tutti i dati disponibili, provenienti da diverse discipline e che possano essere utili per risolvere un problema<sup>16</sup>. Questo tipo di approccio consente di ottenere più scelte per esplorare i dati da diverse angolazioni, per osservarne da vicino alcune caratteristiche e per comprendere aspetti che non riusciamo a capire utilizzando quantità minori di dati. Come abbiamo accennato, negli ultimi decenni la digitalizzazione, cioè la trasformazione delle informazioni analogiche in un formato leggibile dal computer, ha profondamente cambiato l'archeologia. Questo processo ha aumentato esponenzialmente la quantità di dati che potrebbero essere elaborati, ma da un punto di vista più generale la digitalizzazione non implica di per sé la datificazione. Con il termine datificazione, ci riferiamo ad un nuovo fenomeno messo in evidenza dallo sviluppo delle tecnologie ICT, ed intendiamo l'atto di trasformare oggetti, processi, etc. in un formato quantificato in modo che possano essere tabulati e analizzati<sup>17</sup>. Possiamo sostenere che la datificazione pone maggiormente l'accento sull'*I (Information)* dell'ICT, dis-incorporando le conoscenze associate agli oggetti fisici se-

<sup>13</sup> GATTIGLIA 2015.

<sup>14</sup> WESSON-COTTIER 2014.

<sup>15</sup> GATTIGLIA 2015.

<sup>16</sup> MAYER-SCHÖNBERGER-CUKIER 2013, p. 73.

<sup>17</sup> O'NEIL-SCHUTT 2013, p. 406.

parandole da i dati ad essi associati<sup>18</sup>. La datificazione si manifesta in una varietà di forme e può anche, ma non sempre, essere associata ai sensori e all'*Internet of Things*<sup>19</sup>. La datificazione promette di andare significativamente al di là della digitalizzazione e di avere un impatto ancora più profondo sull'archeologia, mettendo alla prova le basi dei nostri metodi consolidati e offrendo nuove opportunità, perché mentre la digitalizzazione analizza i dati attraverso meccanismi di campionamento tradizionali, la datificazione si adatta ai *Big Data* e fa affidamento sulle nuove forme di quantificazione e tecniche associate di *data mining* che consentono analisi matematiche più sofisticate per identificare relazioni non lineari tra i dati. In altre parole, datificare l'archeologia significherebbe produrre un flusso di dati a partire da quelli prodotti dalla pratica archeologica, ad esempio, luoghi, interazioni e relazioni tra reperti e siti, etc. Un flusso di dati di cui la comunità archeologica dovrebbe poter disporre.

#### **DALLA DIGITALIZZAZIONE ALLA DATIFICAZIONE: I PRIMI RISULTATI**

L'obiettivo principale del progetto ArchAIDE è, come abbiamo detto, fornire agli archeologi uno strumento di supporto al lavoro di classificazione sia durante il lavoro sul campo, sia durante la documentazione post-scavo. L'idea di fondo è che questo avvenga in maniera semplice, utilizzando sistemi informatici facilmente reperibili e mantenendo fondamentale inalterata la metodologia di lavoro già consolidata. La maggior parte degli approcci descritti in letteratura sono basati su una rappresentazione 3D dei frammenti, solitamente acquisiti tramite scansione. Tale soluzione risulta di difficile operabilità sul

campo, venendo meno ad uno dei pre-requisiti di ArchAIDE, la sua facile usabilità. Sistemi automatici per raccogliere e confrontare i dati sono stati proposti anche da Kampel e Sablatnig<sup>20</sup> e Karasik<sup>21</sup>. Tuttavia, il loro uso è limitato dalla mancanza di standardizzazione della definizione della tipologia e dalla eterogeneità dei dati di input. In ogni caso, la maggior parte degli approcci è basata sul confronto di profili estratti dal modello 3D del frammento<sup>22</sup>. Solo recentemente, texture e colori sono stati presi in considerazione<sup>23</sup>. Al contrario, il processo di riconoscimento di 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. Per permettere questo processo, il sistema è supportato da un database che contiene la descrizione dei tipi (forme) di riferimento, dei decori e dei bolli, e che verrà utilizzato dagli algoritmi di classificazione.

#### **INDIVIDUAZIONE DEI REQUISITI, IMPLEMENTAZIONE E POPOLAMENTO DEL DATABASE**

La prima fase ha riguardato la discussione approfondita delle metodologie archeologiche utilizzate sul campo e in labo-

<sup>18</sup> GATTIGLIA 2015.

<sup>19</sup> BAHGA-MADISETTI 2014, p. 37.

<sup>20</sup> KAMPEL-SABLATNIG 2006.

<sup>21</sup> KARASIK 2010.

<sup>22</sup> KAMPEL-SABLATNIG 2002; GILBOA *et alii* 2004; MAIZA-GAILDRAT 2005.

<sup>23</sup> MAKRIDIS-DARAS 2013.

ratorio per il riconoscimento dei frammenti ceramici, al fine di individuare i requisiti necessari al sistema che meglio si adattassero alla metodologia archeologica. L'idea di base è stata quella di 'mappare' il flusso di lavoro degli archeologi per trasferirlo in un sistema automatizzato. In sintesi, possiamo dire, che gli archeologi (soprattutto in Italia e nell'archeologia professionale, ma non solo) dedicano la maggior parte del loro tempo alla fase di scavo, mentre poco tempo è lasciato alla classificazione e allo studio dei reperti, che tipicamente viene eseguita in laboratorio dopo le operazioni di lavaggio. La fase di studio dei reperti ceramici (riconoscimento, quantificazione, classificazione) richiede un elevato livello di specializzazione: è necessario individuare la parte (orlo, ansa, spalla, corpo, fondo, piede, etc.) della forma completa e l'orientamento originale del frammento ceramico (inclinazione, asse di rotazione, etc.). Quando il decoro è un elemento di forte caratterizzazione, come nelle ceramiche medievali e postmedievali, da un punto di vista sia formale, sia cronologico, questa prima fase è sostituita dal riconoscimento delle tecniche decorative (vetrina, ingobbio, graffitura, smalto, etc.). Successivamente, si devono riconoscere la classe del manufatto e individuare la singola forma o il singolo decoro all'interno di un catalogo. Data la presenza di diversi classi ceramiche in un unico sito e data la frammentazione delle conoscenze tra più cataloghi: è necessario consultare diversi cataloghi. Infine, in molti casi può essere richiesta una schedatura del frammento (classe, forma, ubicazione, cronologia, etc.). Tutti queste fasi rendono l'intero processo oneroso sia per i tempi necessari, sia, conseguentemente, per i costi.

Il lavoro di ArchAIDE si configura come *proof of concept*, il cui scopo è dimostrare che

la metodologia e la tecnologia impiegata siano in grado di riconoscere le forme e le decorazioni ceramiche e, nel caso, siano capaci di associare i due sistemi di riconoscimento. A tal fine, sono state scelte tre classi campione di ceramica archeologica: le anfore romane, la Terra Sigillata (italica, *hispanica*, sud-gallica), la maiolica prodotta a Montelupo e le ceramiche medievali e post-medievali diffuse a Barcellona, con l'obiettivo di ampliare progressivamente le classi ceramiche a disposizione in un momento successivo ai tempi di progetto (Fig. 2). La scelta è determinata (a) dalla diffusione e dal buon livello di standardizzazione delle produzioni, (b) dalla presenza di cataloghi cartacei e risorse digitali sufficientemente strutturati da contenere le informazioni relative alle principali caratteristiche per la classificazione (forma, decorazione, bolli, impasti, etc.) tali da poter essere estratti per fornire una descrizione adeguata per il riconoscimento. Sono, così, state selezionate sette caratteristiche chiave per definire una forma ceramica che possono essere estratte non solo dai disegni dei cataloghi, ma anche da immagini acquisite sul campo: (a) profilo esterno ed (b) interno della forma, (c) profilo esterno ed (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*). Tutte queste caratteristiche sono associate al fattore di scala (per poterle confrontare in scala reale). Per eliminare l'eterogeneità dei cataloghi è stato costruito un database<sup>24</sup> di progetto composto da due elementi:

<sup>24</sup> La struttura del database è stata realizzata dall'*Archaeology Data Service* dell'Università di York, la sua trasposizione in applicazione condivisa è stata realizzata da INERA.

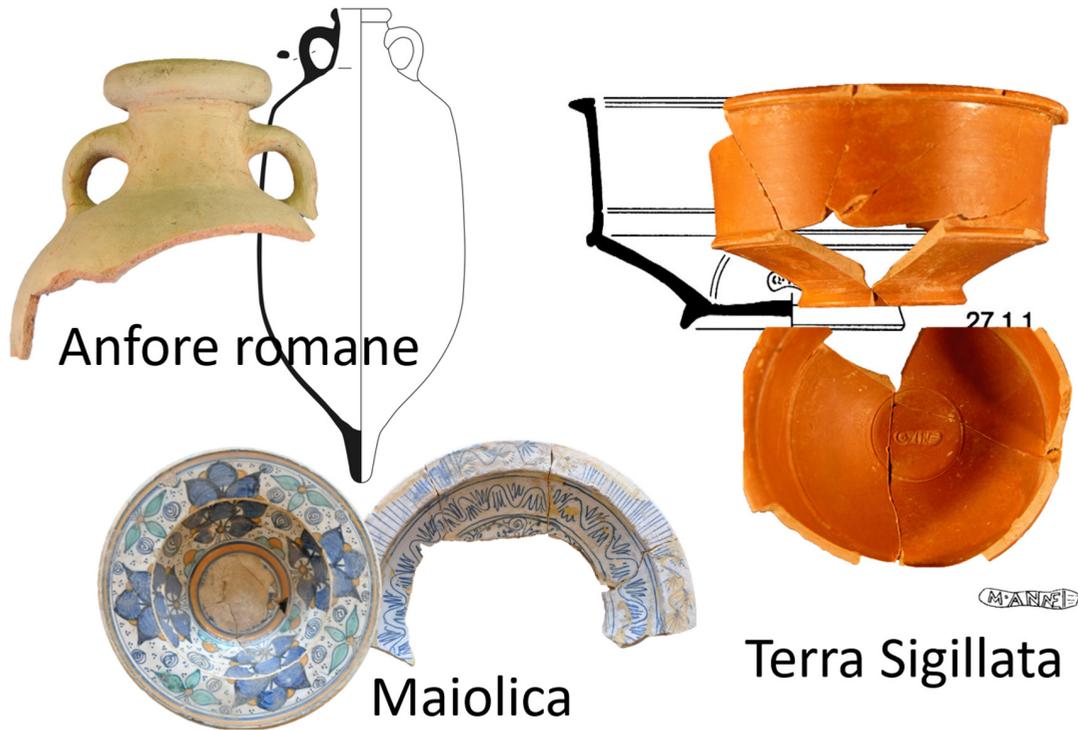


Fig. 2. Le classi ceramiche scelte per sviluppare il sistema di riconoscimento automatico della ceramica. Il progetto si presenta come un *proof of concept*, il cui scopo è dimostrare l'effettiva funzionalità dell'applicazione, per consentirne una futura, più ampia, implementazione.

- *Reference Database*, che contiene la definizione dei tipi ceramici, decorazioni, bolli, impasti e tutte le informazioni ad essi relative necessarie durante l'analisi dei frammenti;

- *Results Database*, che contiene i dati sui frammenti raccolti sul campo utilizzando l'applicazione mobile di ArchAIDE.

La gestione di tutti i dati nello stesso contesto consente 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. (Fig. 3);

- *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 fir-

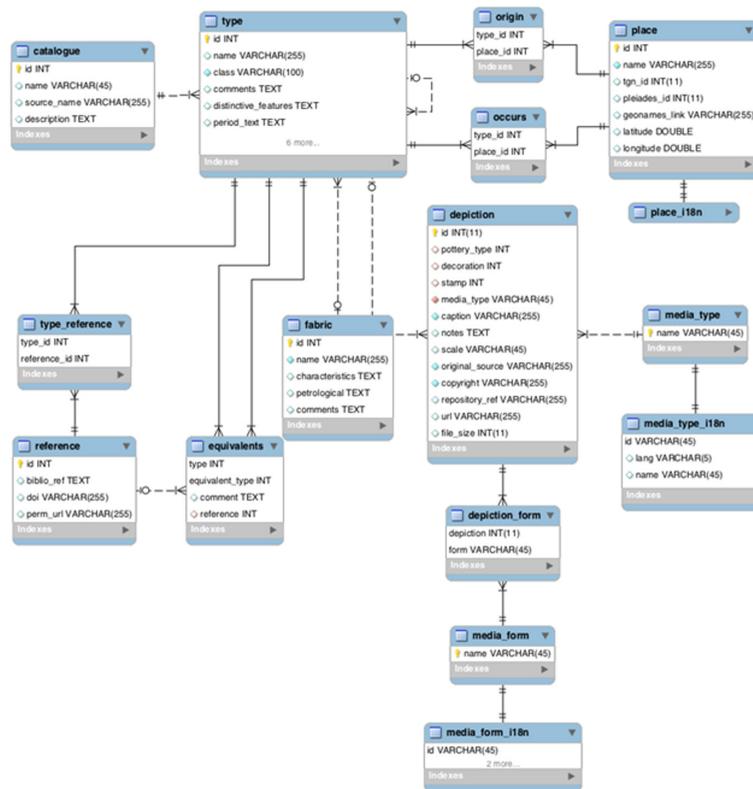


Fig. 3. La tabella Pottery Type rappresenta l'elemento centrale del database. Lo schema, sviluppato dall'Archaeology Data Service dell'Università di York, evidenzia come la tabella si relazioni con le altre entità.

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

Per il popolamento del database, il primo contributo è consistito nel definire una procedura il più possibile automatica per trasformare i cataloghi cartacei in una descrizione digitale<sup>25</sup>, da utilizzare come *dataset* per il processo di *search and retrieval*. La descrizione digitale non comprende solo la digitalizzazione dei cataloghi cartacei, ma anche la trasposizione del significato della rappresentazione grafica della singola forma in una rappresentazione vettoriale digitale semanticamente ricca in grado di descrivere non solo la forma dell'oggetto, ma

anche la sua suddivisione in componenti semantiche (ad es. piede, orlo, corpo, etc.). Pertanto si è deciso di partire dalla scansione della pagina di catalogo, per isolare ed estrarre i disegni e le parti principali del testo. L'estrazione del testo si basa su Tesseract OCR<sup>26</sup> uno strumento JavascriptOCR *open source* che analizza il testo dalla pa-

<sup>25</sup> Le procedure per la digitalizzazione semiautomatica dei cataloghi e per l'estrazione dei profili dai disegni ceramica sono state realizzate dal CNR-ISTI, la loro implementazione all'interno del database è stata effettuata da INERA.

<sup>26</sup> SMITH 2007.

gina e restituisce informazioni strutturali come linee e paragrafi. Da questi è possibile isolare le diverse sezioni e gli elementi di formattazione e, seguendo la struttura descrittiva usata nel singolo catalogo, estrarre i metadati e convertire i blocchi/colonne dell'immagine della pagina in testo. Lo stesso strumento permette di ritagliare i disegni, che vengono successivamente elaborati per estrarre le caratteristiche principali utilizzando i metodi di tracciamento (automatico e semiautomatico) e vengono archiviate in un file SVG annotato con informazioni semantiche. Poiché il corpo ceramico si sviluppa come solido di rotazione, è possibile creare un modello 3D che rappresenta la forma ceramica ruotando il profilo attorno al suo asse. Le prese vengono generate separatamente, estrudendo la sezione lungo il profilo e infine unendole alla geometria del corpo principale<sup>27</sup>.

Una parte significativa del database è stata popolata<sup>28</sup> partendo da risorse digitali esistenti fornite dai partner del progetto (*Roman Amphorae: a digital resource* dell'*Archaeology Data Service* e *CeramAlex* dell'Università di Colonia). La migrazione dei dati è avvenuta utilizzando JSON XML o direttamente query SQL. In futuro, altri cataloghi potrebbero necessitare di una digitalizzazione semi-manuale o totalmente manuale. Pertanto, durante l'implementazione del database, è stato fatto un grande sforzo per l'integrazione degli strumenti OCR descritti sopra. Particolare attenzione, infine, è stata riservata alla visualizzazione delle pagine associate a ciascun tipo ceramico: oltre al download di tutti i file associati, tutte le informazioni importanti sono direttamente visibili per la navigazione interattiva tramite la piattaforma 3DHOP dedicata alla pubblicazione di dati 3D sul Web<sup>29</sup> (Fig. 4).

## CLASSIFICAZIONE E RICONOSCIMENTO

Il progetto, tenendo conto degli elementi definiti nella struttura del database, sta sviluppando un sistema di riconoscimento basato su un approccio *Deep Learning*, che permetta sia il riconoscimento della forma (*shape-based recognition*), sia quella della decorazione (*appearance-based recognition*) partendo da una fotografia effettuata dall'utente tramite un *device* mobile (*smartphone, tablet, etc.*)<sup>30</sup>. Attraverso il *Deep Learning*, il sistema impara automaticamente le regole che portano a una decisione corretta, ma per ottenere risultati sono importanti due fattori: (a) una corretta definizione della classificazione e (b) un set di allenamento (ovvero un insieme di esempi in cui la classificazione è già disponibile, definito *training set*) molto grande (diverse migliaia di esempi) e ben strutturato<sup>31</sup>. Nel settore dei Beni Culturali è difficile avere a disposizione un siffatto set di allenamento, perché la quantità di esempi disponibili è di solito limitata e/o lo sforzo necessario per produrre il set di allenamento è troppo grande. Nel caso del *shape-based recognition*, la strada individuata da ArchAIDE per ovviare alla mancanza di dati per addestrare la rete neurale è stata quella di passare attraverso la frammenta-

<sup>27</sup> BANTERLE *et alii* 2017.

<sup>28</sup> Il popolamento del database è diretto dall'Università di Colonia, con il contributo dell'Università di Pisa e di Barcellona.

<sup>29</sup> POTENZANI *et alii* 2015.

<sup>30</sup> Lo sviluppo della rete neurale è a cura dell'Università di Tel Aviv.

<sup>31</sup> Le immagini necessarie alla creazione dei *training set* sono state realizzate dai partner archeologici (Università di Pisa, Università di Barcellona, Università di Colonia ELEMENTS e BARAKA).

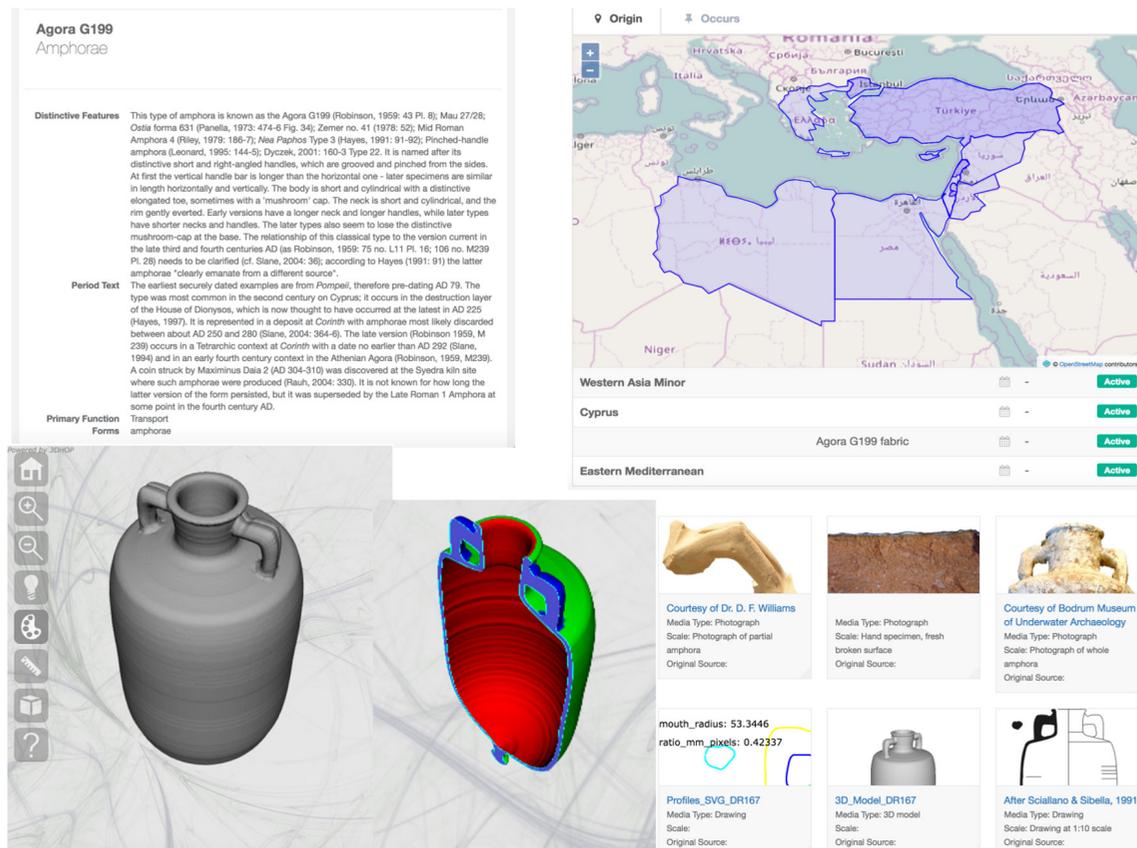


Fig. 4. Le informazioni visualizzabili nel database, oltre alla parte descrittiva testuale, sono presenti le informazioni geografiche sulle località/aree di ritrovamento, le informazioni multimediali (immagini, file SVG del profilo estratto) e la navigazione interattiva tramite la piattaforma 3DHOP del modello 3D della forma. L'interfaccia del database è stata sviluppata da INERA, mentre il modello 3D è frutto del lavoro del CNR-ISTI.

zione virtuale dei modelli 3D (utilizzando il plug-in *Cell Fracture* in Blender) per generare una quantità arbitraria di frammenti che possano essere utilizzati per addestrare e testare il sistema di classificazione, che viene poi rifinito con un numero di esempi reali, ovvero fotografie di frammenti prodotti dai partner del progetto<sup>32</sup>. Questo approccio 'sintetico' consente di produrre una grande quantità di esempi differenti variando la dimensione e la forma dei frammenti, tenendo anche conto della diversa solidità di ogni parte dell'oggetto (ad

esempio codificando il fatto che il piede e l'orlo sono solitamente più robusti). Si tratta di una direzione molto interessante della ricerca che si basa, però, su conoscenze empiriche, in assenza di dati sugli indici di frammentazione delle varie classi ceramiche. Nel sistema di classificazione basato sulla forma, l'input è rappresenta-

<sup>32</sup> BANTERLE *et alii* 2017.

to da un insieme di file SVG contenenti le caratteristiche sia delle tipologie, sia dei frammenti. Il sistema deve eseguire una corrispondenza parziale tra il frammento e il profilo di riferimento e deve imparare come classificarli, partendo dal set di allenamento. La corrispondenza di una forma parziale è un compito difficile, poiché il numero di combinazioni di allineamento tra due forme è praticamente infinito. Inoltre, la definizione e il confronto di misure di similarità potrebbero non essere banali. È stato proposto un precedente lavoro in questa direzione<sup>33</sup>, ma nel caso di ArchAIDE il numero di tentativi per trovare l'abbinamento può essere ridotto prendendo in considerazione punti descrittivi come l'orlo, il piede, il profilo e il fatto che fanno riferimento alla stessa unità di misura.

La decorazione presente sulla superficie ceramica rappresenta un'altra possibile caratteristica guida per la classificazione della ceramica. Nel caso del riconoscimento basato sull'aspetto, poiché il numero di immagini (dell'ordine di migliaia, per molte dozzine di classi), potrebbe non essere ottimale per addestrare la rete neurale, si è scelto di implementare una soluzione ibrida fondata (a) sulla creazione di più versioni di ciascuna immagine originale, basate su differenti ritagli, scale e ribaltamenti, in modo da ottenere un training set più ampio, e (b) su una rete neurale pre-addestrata a classificare le immagini in categorie al di fuori dell'ambito archeologico. Questo sistema è stato addestrato e testato con successo sul dataset di decorazioni della Maiolica di Montelupo (ca. 10.000 immagini reali appartenenti ad oltre 80 generi decorativi) ed è stato possibile ottenere una percentuale del 77% di prime risposte esatte e del 95% di risposte esatte all'interno dei primi 5 risultati.

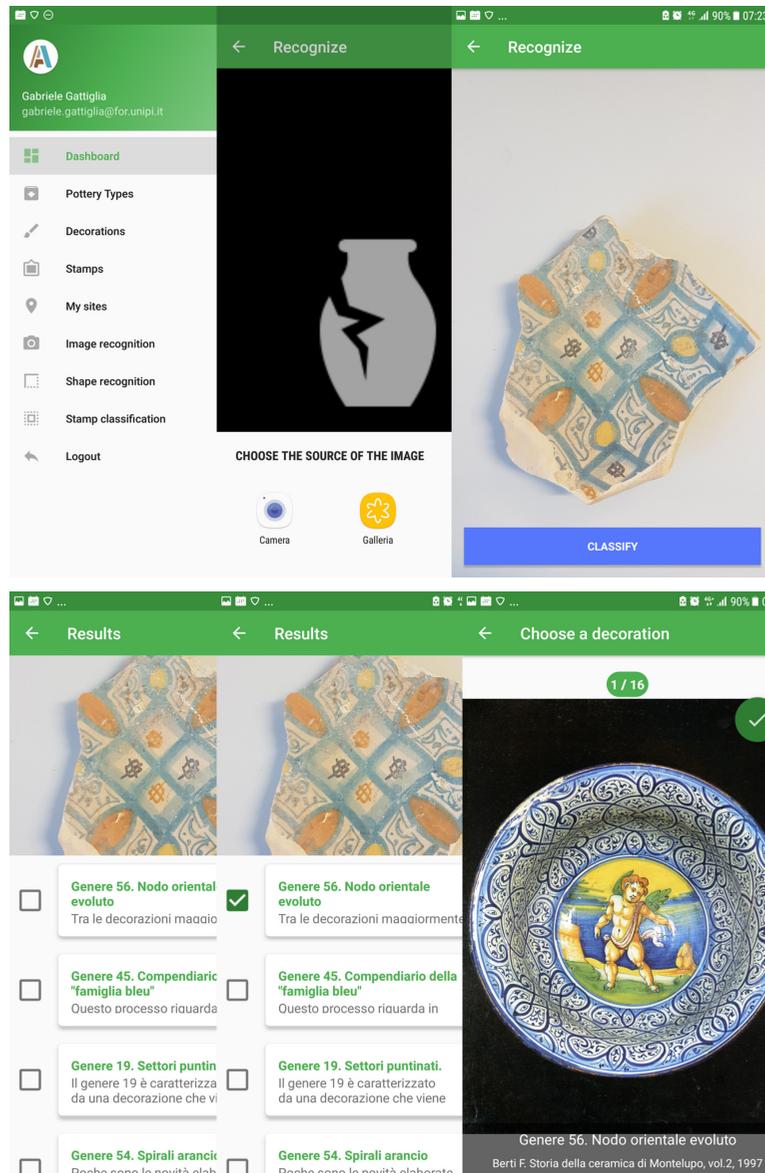
## CONCLUSIONI

Questo articolo descrive brevemente alcuni dei risultati del primo anno di lavoro del progetto ArchAIDE, si tratta, pertanto, di un *work in progress*, mancando ancora più di un anno alla fine del progetto, che finora ha portato ad un primo importante risultato: la creazione di un database coerente di forme ceramiche, che include le informazioni dei principali cataloghi cartacei per le classi selezionate dal progetto. Miriamo a rendere disponibile il database sia per la comunità scientifica, non solo archeologica, sia per altri *stakeholders*. Riteniamo, infatti, che includere una rappresentazione vettoriale 2D e un modello 3D nel database sia essenziale per soddisfare esigenze diverse di comunità differenti. Nella seconda parte del progetto ArchAIDE, il sistema di riconoscimento automatico sarà implementato e testato su *devices* mobili e su piattaforme *desktop*. Nel marzo 2018, il sistema di riconoscimento basato sull'aspetto è stato integrato nella App di ArchAIDE per effettuare i primi test sul campo, e presentato ad un gruppo di esperti italiani nel corso del Workshop tenutosi a Pisa il 23 marzo 2018 (Figg. 5-6). Oltre a questo, gli *steps* futuri riguarderanno l'analisi dei dati raccolti attraverso la digitalizzazione, che saranno arricchiti da quelli raccolti dagli utenti durante il processo di riconoscimento. Ciò consentirà l'analisi e la visualizzazione dei dati in tempo reale. Infatti, tutte le informazioni codificate nel riconoscimento della ceramica (che nascono digitali e comprendono i dati relativi a posizione, classificazione, datazione e così via) saranno condivise, visualizzate e integrate con informazioni sul patrimonio cul-

<sup>33</sup> GILBOA *et alii* 2004.

turale 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. I risultati dell'analisi dei dati saranno resi più comprensibili applicando tecniche di *data visualisation*.



Figg. 5-6. Il riconoscimento automatico delle decorazioni tramite App da smartphone è attualmente nella sua fase di beta testing. Dopo aver scattato una fotografia al frammento da riconoscere, è possibile attivare il tool di riconoscimento tramite l'opzione Classify. Il sistema restituisce 5 risposte, che considera le più probabili, con una percentuale di confidenza nella corretta attribuzione. L'utilizzatore può validare la risposta del sistema utilizzando il confronto con le immagini presenti nel database.

## BIBLIOGRAFIA

- ANICHINI-GATTIGLIA 2018 F. ANICHINI, G. GATTIGLIA, *Big Archaeological Data. The ArchAIDE project approach. Conferenza GARR\_17. Selected papers*, Viterbo 2018, pp. 22-25.
- BAHGA-MADISETTI 2014 A. BAHGA, V. MADISETTI, *Internet of Things (a Hands-On Approach)*, 2014.
- BANTERLE *et alii* 2017 F. BANTERLE, M. DELLEPIANE, T. EVANS, G. GATTIGLIA, B. ITKIN, M. ZALLOCCO. *The ArchAIDE Project: results and perspectives after the first year*, in *EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, a cura di R. Sablatnig, B. Štular, pp. 161-164.
- GATTIGLIA 2015 G. GATTIGLIA, *Think big about data: Archaeology and the Big Data challenge*, in «Archäologische Informationen», 38, 2015, pp. 113-124.
- GILBOA *et alii* 2004 A. GILBOA, A. KARASIK, I. SHARON, U. SMILANSKY, *Towards computerized typology and classification of ceramics*, in «Journal of Archaeological Science», 31 (6), 2004, pp. 681-694.
- HADSELL *et alii* 2006 R. HADSELL, S. CHOPRA, Y. LECUN, *Dimensionality reduction by learning an invariant mapping. Proceedings Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR'06)*, 2006.
- KAMPEL-SABLATNIG 2002 M. KAMPEL, R. SABLATNIG, *Automated segmentation of archaeological profiles for classification. Proceedings of 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec City, 2002*, vol. 1, pp. 57-60.
- KAMPEL-SABLATNIG 2006 M. KAMPEL, R. SABLATNIG, *3D Data Retrieval of Archaeological Pottery. International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2006*, pp. 387-395.
- KARASIK 2010 A. KARASIK, *A complete, automatic procedure for pottery documentation and analysis. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPRWorkshops (San Francisco, CA, June 2010)*, pp. 29-34.
- LECUN *et alii* 1998 Y. LECUN, L. BOTTOU, Y. BENGIO, R. HAFNER, *Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE*, 86 (11), 1998, pp. 2278-2324.

- MAIZA-GAILDRAT 2005 C. MAIZA, V. GAILDRAT, in *The 8th International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence, 3IA'2005, Limoges, France, 11 -12/05/2005, Automatic Classification of Archaeological Potsherds*, a cura di P. Dimitri, pp. 135-147.
- MAKRIDIS-DARAS 2013 M. MAKRIDIS, P. DARAS, *Automatic classification of archaeological pottery sherds*, in «Journal on Computing Cultural Heritage», 5 (4), 2013, pp. 15:1-15:21.
- MAYER-SCHÖNBERGER-CUKIER 2013 V. MAYER-SCHÖNBERGER, K. CUKIER, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Boston 2013.
- O'NEIL-SCHUTT 2013 C. O'NEIL, R. SCHUTT, *Doing Data Science*, Sebastopol 2013.
- POTENZIANI *et alii* 2015 M. POTENZIANI, M. CALLIERI, M. DELLEPIANE, M. CORSINI, F. PONCHIO, R. SCOPIGNO. *3DHOP: 3D heritage online presenter*, in «Computer & Graphics», 52, 2015, pp. 129-141.
- SAMUELSON 1954 P.A. SAMUELSON, *The Pure Theory of Public Expenditure*, in «Review of Economics and Statistics», 36(4), 1954, pp. 387-389.
- SMITH 2007 R. SMITH, *An overview of the tesseract ocr engine. Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007)*, vol. 2, pp. 629-633.
- WESSON-COTTIER 2014 C.B. WESSON, J.W. COTTIER, *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.