

IL METODO FOTOGRAFICO RTI
(REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING) PER LA
DOCUMENTAZIONE DELLE SUPERFICI ARCHEOLOGICHE.
L'APPLICAZIONE AI MATERIALI DI ETÀ PROTOSTORICA

1. RTI¹

Quando la luce giunge sulla superficie di un oggetto si frammenta: una parte è riflessa, una parte è trasmessa e una parte è assorbita. La riflettanza indica il fattore di risposta di ogni punto della superficie colpito da un raggio luminoso. Superfici nere o molto scure hanno una scarsa capacità di riflettere la luce, mentre altri materiali respingono anche il 95% dell'energia luminosa che ricevono (DOCCI, DOCCI 2005; PALLADINO 2005).

Naturalmente gli oggetti che ci circondano (compresi i manufatti archeologici) presentano spesso delle irregolarità superficiali e quindi non riflettono la luce in modo omogeneo. Le zone lisce e quelle rugose di un oggetto appariranno in modo diverso (in termini di chiarezza) sotto la stessa luce. Inoltre, sotto una luce radente, a causa delle asperità, si vengono a creare zone d'ombra che rivelano la "trama" superficiale (ARENA 2013, 7). Ciò significa che l'ombreggiatura di un oggetto dipende dall'interazione della luce con i caratteri tridimensionali della sua superficie. Questo principio ha spinto verso lo sviluppo di procedure informatiche in grado di documentare la forma degli oggetti, senza l'ausilio di tecniche di modellazione vettoriale, a partire da semplici foto della superficie, illuminata da direzioni differenti. L'algoritmo determina la "normale" di ogni punto della superficie in base alla riflettanza misurata nelle diverse condizioni di luce, in altre parole deduce l'orientamento spaziale di ogni porzione di superficie esaminando come questa risponde alla luce proveniente da punti diversi.

L'immagine ottenuta con questa tecnica di trasformazione della riflettanza è detta RTI (Reflection Transformation Imaging). Mentre i comuni file-immagine (JPG, TIFF, etc.) registrano solo le informazioni sul colore dell'oggetto, un file RTI registra – insieme ai valori RGB – anche le normali della

¹ Questo articolo è il risultato di un proficuo scambio di opinioni con diversi docenti e ricercatori. In particolare, al prof. Maurizio Cattani (Università di Bologna) si esprime sincera gratitudine per aver messo a disposizione il materiale di studio e aver seguito lo sviluppo di questa ricerca. Inoltre, si ringraziano la dott.ssa Maria Pia Maiorano (Università degli Studi di Napoli "L'Orientale") per aver disegnato il materiale litico, il dott. Andrea La Torre (Università di Bologna) per l'esame delle tracce individuate nei reperti ceramici, il prof. Michele Pagani (Università di Bologna) e il dott. Davide Mengoli (Lares srl) per aver partecipato alla discussione dei risultati. Infine, si ringrazia la dott.ssa Florencia Ines Debandi (Università di Bologna) per i dati descrittivi dei materiali archeologici in esame.

superficie (CHI 2013a, 13). Il documento RTI “ricorda” la forma dell’oggetto che riproduce e pertanto, se introduciamo nella scena virtuale una sorgente di luce, si otterrà una visualizzazione ombreggiata della superficie che tiene conto dei suoi caratteri tridimensionali. Infatti, per riferirsi a questo tipo di documento, si usa l’espressione “immagine re-illuminabile” (SCOPIGNO, MONTANI 2015, 21). Si prenda, ad esempio, un manufatto ceramico con decorazione a solcature. Impostando una luce radente proveniente da destra appariranno più chiari tutti i pixel che rappresentano di quella solcatura le parti esposte a destra (ovvero che “guardano” in quella direzione). E allo stesso tempo saranno più scuri i pixel corrispondenti alle parti esposte a sinistra.

La principale diversità tra una comune foto e un documento RTI è quindi la possibilità di variare interattivamente la posizione della sorgente luminosa ed esaminare in tempo reale il cambiamento dell’ombreggiatura (shading). In questo modo il sistema percettivo del nostro cervello ha tutto ciò di cui ha bisogno per vedere il soggetto in tre dimensioni (CHI 2013a, 13). In altre parole, muovendo la sorgente luminosa si ha l’impressione del rilievo superficiale, sebbene non vi sia alcun modello vettoriale della superficie: un vantaggio e un limite allo stesso tempo. In effetti, i documenti RTI non registrano le coordinate spaziali dei punti di una superficie, pertanto non possono fornire dati dimensionali (quote, distanze, aree e volumi) se non attraverso successive elaborazioni informatiche.

L’esplorazione interattiva di un documento RTI è un’esperienza interessante che diventa straordinaria quando si enfatizzano le irregolarità superficiali dell’oggetto tramite particolari modalità di contrasto dell’immagine. Il programma gratuito RTI Viewer applica trasformazioni matematiche alle normali di superficie e alle informazioni sul colore RGB migliorando la percezione del rilievo superficiale. Selezionando, ad esempio, la modalità “Specular enhancement” si possono rimuovere le informazioni sul colore per enfatizzare solo la riflettività consentendo all’osservatore di scoprire caratteristiche che non possono essere viste con condizioni di luce naturali.

Per questi motivi l’RTI ha suscitato grande interesse nel settore archeologico e in quello più ampio dei Beni Culturali. In diverse sedi universitarie e museali (tra cui il Louvre di Parigi e il British Museum), la tecnica RTI viene utilizzata quotidianamente come strumento di studio e monitoraggio dello stato conservativo dei manufatti (NURSE 2015). Le pubblicazioni che descrivono i risultati ottenuti nell’ambito di test applicativi sono numerosissime e dimostrano la versatilità di questo strumento (EARL, MARTINEZ, MALZBENDER 2010). In genere, la documentazione delle tracce superficiali risponde a una duplice esigenza: approfondire le conoscenze su determinati aspetti storici (dunque di ricerca) ed evidenziare lo stato di salute del manufatto (restauro). In particolare, si segnalano i seguenti contesti applicativi: graffiti parietali (MUDGE *et al.* 2005; BENEFIEL, DI BIASIE, SYPNIEWSKI 2016); decori pittorici

su manufatti ceramici (ARTAL-ISBRAND, KLAUSMEYER 2013); monete (MUDGE *et al.* 2005; KOTOULA, KYRANOUDI 2013; PALMA *et al.* 2014); dipinti a olio (PADFIELD, SAUNDERS, MALZBENDER 2005).

Il primo algoritmo per la produzione di immagini RTI fu sviluppato quasi 20 anni fa negli Hewlett Packard Labs e venne chiamato Polynomial Texture Map (PTM) (MALZBENDER *et al.* 2000; MALZBENDER, GELB, WOLTERS 2001). Il secondo tipo (Hemispherical Harmonics Map) è invece open source e fu messo a punto qualche anno dopo dall'Università della California a Santa Cruz in collaborazione con la fondazione Cultural Heritage Imaging (MUDGE *et al.* 2008; CHI 2011). Entrambi gli algoritmi sono implementati nel software gratuito RTI Builder e conducono a risultati soddisfacenti solo se vengono rispettate le seguenti norme: 1) l'inquadratura dell'oggetto deve rimanere fissa per l'intera sessione fotografica; 2) il posizionamento della luce deve seguire uno schema regolare e uniforme; 3) le condizioni ambientali non devono interferire con l'illuminazione artificiale; 4) accanto all'oggetto si deve porre una sfera nera in grado di riflettere la luce (la posizione sulla sua superficie del "punto di riflesso speculare", detto highlight, indicherà al software l'esatta direzione della luce).

2. LA SPERIMENTAZIONE

L'obiettivo principale di questa ricerca è di stabilire se l'RTI può essere impiegata per documentare i segni dovuti al ciclo produttivo e alle vicende di sfruttamento di un reperto ceramico. Il secondo obiettivo è di verificare se l'immagine RTI può essere utilizzata, in alternativa alla comune fotografia, per realizzare il disegno archeologico di un manufatto in pietra scheggiata.

I manufatti ceramici, e i resti di contenitori in particolare, sono i reperti più numerosi di uno scavo archeologico e dal loro studio (artistico, tipologico, tecnologico e contestuale) si ottengono dati fondamentali per la ricostruzione storica (demografia, economia, dieta, produzione, commercio, società). Alla base di qualsiasi classificazione tipologica vi sono cinque caratteri produttivi: il materiale, la forma, la dimensione, la finitura delle superfici, i decori. L'approccio tecnologico allo studio delle ceramiche antiche si focalizza, in particolare, sul tipo di materiale e sui sistemi di finitura allo scopo di ricostruire la manifattura e, da questa, trarre considerazioni di ordine produttivo, economico, sociale. Inoltre, dall'esame delle superfici si possono ricavare dati sull'uso effettivo di un recipiente nell'arco di tempo in cui rimase "in vita" prima di rompersi (MOLINARI 2000; GIANNICCHEDDA 2002; LEVI 2010). Dunque, il ciclo produttivo e le vicende di sfruttamento di un reperto si ricostruiscono a partire dalla documentazione dei segni presenti sulla sua superficie. L'obiettivo principale di questa ricerca è di stabilire se l'RTI può essere impiegata per questo tipo d'indagine.

Il secondo obiettivo riguarda i manufatti in pietra scheggiata. La fase più complicata del disegno dell'industria litica è la misurazione sul pezzo dei punti che serviranno di riferimento al rilievo di tutti gli elementi morfologici. Per eseguire questo lavoro si adottano metodi un po' laboriosi (ad es. la triangolazione) oppure procedimenti più speditivi basati sull'immagine. In genere si procede fotografando le due facce e scontornando i caratteri morfologici (perimetri dei distacchi principali e dei ritocchi) con un programma di disegno (ad es. Adobe Illustrator). Mentre si disegna sulle due foto, si operano direttamente sul pezzo osservazioni integrative girandolo sotto la luce per rivelare i dettagli della sua struttura e fabbricazione. Spesso gli elementi morfologici (scheggiature e ritocchi) sono difficilmente visibili e quindi si cerca di evidenziare i loro contorni tramite vari espedienti come strofinare la mina di una matita sulle asperità della faccia oppure utilizzando una illuminazione radente (INIZAN *et al.* 1999, 101-127; PENNACCHIONI 2004, 18-37).

La fase successiva consiste nella stampa del disegno per aggiungere a mano l'ombreggiatura e, tramite misurazioni dirette, realizzare la sezione e la vista laterale. Questo procedimento è relativamente rapido: i tempi variano in base alla complessità dell'oggetto e, naturalmente, in rapporto all'esperienza dell'operatore. Il secondo obiettivo della ricerca è di verificare se l'immagine RTI può sostituire la comune fotografia per realizzare il disegno archeologico di un manufatto in pietra scheggiata.

Per dare una risposta a questi interrogativi, l'RTI è stata sperimentata nell'autunno del 2017 su 7 reperti di età del Bronzo provenienti dagli scavi dell'abitato di via Ordiera a Solarolo (RA) diretti da Maurizio Cattani dell'Università di Bologna (CATTANI 2009). I manufatti ceramici sono 6 e appartengono a un contesto stratigrafico databile alla media età del Bronzo tra XVI e XIV secolo a.C. Il materiale è stato scelto in funzione dei seguenti requisiti: innanzitutto non sono eccezioni, ma fortemente rappresentativi dello standard della manifattura ceramica dell'età del Bronzo; inoltre sono frammenti di piccole dimensioni e caratterizzati da una superficie piatta con elementi decorativi o con particolari trattamenti della superficie. A questo lotto di materiali si aggiunge una punta di freccia in selce che appartiene a una tipologia frequente nelle fasi iniziali della media età del Bronzo. Questo reperto è stato scelto per due motivi: da una parte per la complessità di esecuzione a ritocco coprente, dall'altra per l'aspetto relativamente appiattito, adatto alla sperimentazione con tecnica RTI.

Complessivamente si sono realizzati 10 progetti RTI che riguardano, in alcuni casi, anche le pareti interne dei reperti:

- 1) parete con decorazione a solcature, superficie lisciata ma non levigata (nome progetto: ORD SUP SOLCATURE1);
- 2) parete con decorazione a tre segmenti di solcatura, superficie lisciata e levigata (nome progetto: ORD SUP SOLCATURE2 esterna);

- 3) parete interna del precedente manufatto (nome progetto: ORD SUP SOL-CATURE2 interna);
- 4) frammento di scodella, impasto semifine, superficie lisciata con numerose tracce di rifinitura ottenuta presumibilmente con uno strumento in corno (nome progetto: ORD SUPD esterna);
- 5) parete interna del precedente manufatto (nome progetto: ORD SUPD interna);
- 6) frammento di parete di grande contenitore, impasto grossolano, superficie irregolare di colore nero con tracce di lisciatura realizzata con strumento non identificabile (pettine?) che ha lasciato striature parallele (nome progetto: ORD16 US154);
- 7) frammento di parete di grande contenitore, impasto grossolano, superficie lisciata di colore bruno chiaro con tracce di presumibile spatolatura (nome progetto: ORD16 US154 quadrato A139);
- 8) frammento di fondo di grande contenitore, impasto grossolano, superficie interna lisciata di colore grigio con tracce di spatolatura (nome progetto: ORD17 US749 quadrato AC138);
- 9) punta di freccia in selce proveniente dai Monti Lessini, forma triangolare con peduncolo triangolare. Ritocco foliato bifacciale (nome progetto: ORD16063 US381 quadrato C140, dorsale);
- 10) faccia ventrale del precedente manufatto (nome progetto: ORD16063 US381 quadrato C140, ventrale).

I principali strumenti utilizzati per questa sperimentazione sono: un apparecchio di illuminazione LED; bollini adesivi per pre-segnalizzare a terra i punti di stazione dell'apparecchio; un treppiedi per sostenere la fotocamera (Nikon D7100) dotata di obiettivo macro e accessorio per attivare il comando di scatto da smartphone (WU-1a); una sfera riflettente; un piano in vetro e alcuni distanziatori in plastilina per la corretta disposizione del manufatto; un metro pieghevole (Fig. 1). Per quanto riguarda il trattamento informatico dei dati, si sono impiegati i seguenti programmi: Camera Raw (per la visualizzazione delle foto e la gestione del colore); ColorChecker Passport versione 1.1.1 (per il calcolo di dati correttivi sul colore); RTIBuilder (per ottenere il file RTI); RTIViewer (per la visualizzazione del file RTI).

Dopo aver disposto gli strumenti e acceso il dispositivo d'illuminazione si sono oscurate tutte le altre fonti di luce (naturali e artificiali). Successivamente è stato eseguito il bilanciamento del bianco in modo da eliminare nelle foto la "dominante colore" introdotta dal led. Per questa operazione ci si è serviti del ColorChecker (X-Rite), un accessorio che si apre a libro e presenta nella terza pagina un riquadro di colore bianco. In seguito è stata fotografata la tavolozza di 24 colori presente nella seconda pagina. I valori RGB di questi campioni sono noti al software (ColorChecker Passport versione 1.1.1),

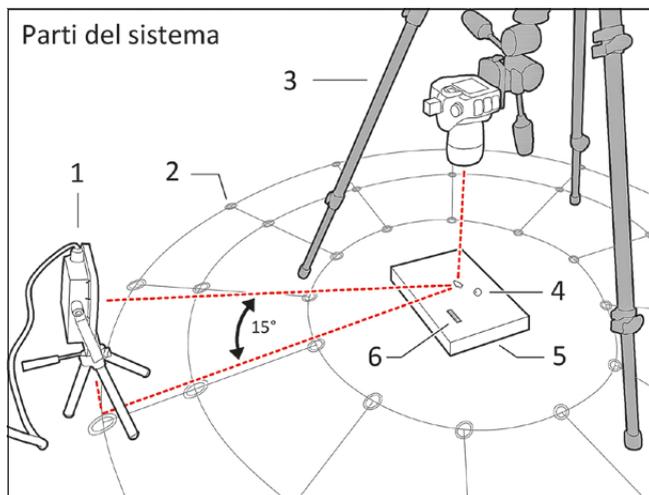


Fig. 1 – Schema che descrive un momento della fase di acquisizione dei dati (primo giro di foto con inclinazione della luce a 15°). Gli strumenti impiegati per lo svolgimento di questa attività: 1) apparecchio di illuminazione; 2) bollini adesivi; 3) treppiedi e fotocamera; 4) sfera riflettente; 5) piano in vetro; 6) metro pieghevole.

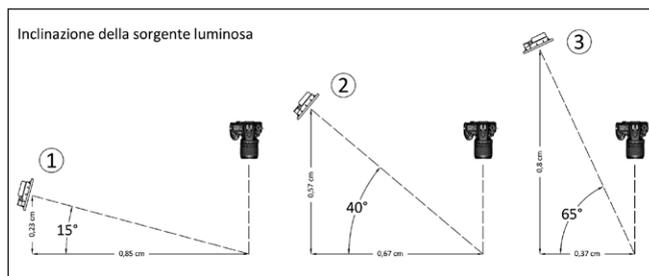


Fig. 2 – Schema che descrive la diversa angolazione della sorgente luminosa durante la fase di acquisizione dei dati fotografici.

pertanto, durante la fase di elaborazione dei dati, si potranno individuare eventuali differenze con quelli memorizzati nell’immagine fotografica. Il processo di comparazione genera un file (chiamato profilo colore) che serve al software (Camera Raw) per compensare eventuali differenze e visualizzare i colori effettivi. Il ColorCheker è stato posto sotto la stessa luce che sarà utilizzata nella sessione fotografica; in tal modo i dati correttivi derivati dalla foto della tavolozza (il profilo colore) si potranno applicare anche alle immagini del reperto archeologico.

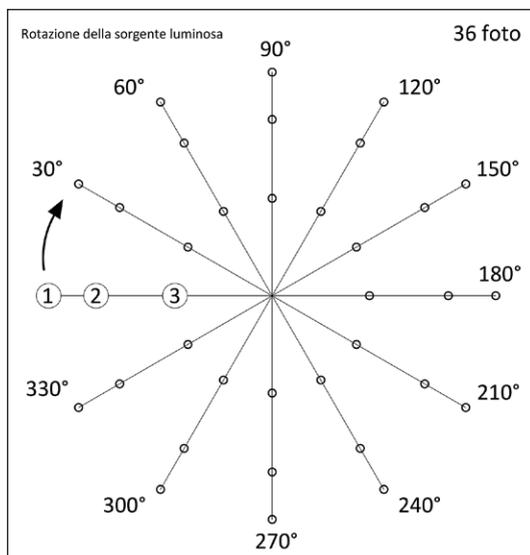


Fig. 3 – Schema che descrive la diversa posizione della sorgente luminosa durante la fase di acquisizione dei dati fotografici.

Il lavoro di acquisizione dei dati fotografici è stato svolto in laboratorio e da un solo operatore. In primo luogo, per ridurre il fenomeno del micro-mosso si sono ancorati al treppiede alcuni pesi. La qualità dell'immagine RTI dipende inoltre dai punti di stazionamento dell'apparecchio luminoso: è fondamentale che la distanza luce-oggetto sia più costante possibile e che i punti attorno all'oggetto siano equidistanti (CHI 2013b, 31), pertanto lo schema di distribuzione è stato precedentemente studiato al computer e poi materializzato a terra con bollini di carta adesiva. Per questa sperimentazione si sono adottate 3 diverse angolazioni (15°, 40° e 65°) e da ognuna sono state realizzate 12 foto attorno all'oggetto, con passo di 30°. Il led è stato fissato sulla cima di un mini-treppiedi dotato di gambe estensibili, pertanto anche la distanza dal pavimento è costante in ogni punto di stazionamento (Fig. 2). In altre parole, la luce è stata collocata lungo le nervature di una cupola immaginaria che avvolge l'oggetto. Questo schema porta alla realizzazione di 36 fotografie per ogni reperto, ma alcuni test condotti con meno scatti hanno fornito risultati altrettanto soddisfacenti (Fig. 3). Riguardo alle tempistiche, per la fase di rilevamento fotografico si sono impiegati da un minimo di 10 minuti a un massimo di 25 minuti (Fig. 4).

La variazione è legata ai seguenti problemi strumentali che, di tanto in tanto, si sono manifestati causando incrementi del tempo di attesa tra uno

RTI	SIGLA REPERTO	Acquisizione foto (minuti)	Elaborazione (minuti)	TOTALE (minuti)
1	ORD SUP SOLCATURE1	18	5	23
2	ORD SUP SOLCATURE2 esterna	12	6	18
3	ORD SUP SOLCATURE2 interna	15	6	21
4	ORD SUPD esterna	10	7	17
5	ORD SUPD interna	20	6	26
6	ORD16 US154	16	5	21
7	ORD16 US154 A139	19	6	25
8	ORD17 US749 AC138	11	5	16
9	ORD16063 US381 C140 dorsale	17	6	23
10	ORD16063 US381 C140 ventrale	25	5	30

Fig. 4 – Tabella di riepilogo di tutte le tempistiche per le operazioni di acquisizione ed elaborazione dei dati.



Fig. 5 – Confronto tra foto e immagine RTI. Parete con decorazione a tre segmenti di solcatura, media età del Bronzo (tra XVI e XIV secolo a.C.), abitato di via Ordiere, Solarolo (RA). Progetto RTI 2 (per un elenco dei progetti v. Fig. 4).

scatto e l'altro: 1) l'instabilità della connessione tra fotocamera e smartphone; 2) la difficile e lenta movimentazione del cavo di alimentazione dell'apparecchio led per evitare contatti accidentali con il treppiede che avrebbero causato variazioni, se pur minime, all'inquadratura dell'oggetto e quindi un'immagine RTI sfocata.

Per processare le foto è stato impiegato il software gratuito RTIBuilder. Il file RTI è stato prodotto tramite una pipeline di elaborazione dei dati definita Highligh Based (HSH Fitter). Riguardo alle tempistiche, si sono impiegati da un minimo di 5 minuti a un massimo di 7 minuti². Pertanto, considerando

² Il trattamento informatico delle foto è stato eseguito con un Notebook Dell Inspiron 7559 dotato di processore Intel Core i7-6700HQ CPU 2.6 GHz, 8 GB RAM, scheda grafica NVIDIA GeForce GTX 960M e sistema operativo Microsoft Windows 10 Home 64 bit.



Fig. 6 – Confronto tra foto e immagine RTI. Parete con decorazione a solcature, media età del Bronzo (tra XVI e XIV secolo a.C.), abitato di via Ordiere, Solarolo (RA). Progetto RTI 1 (per un elenco dei progetti v. Fig. 4).

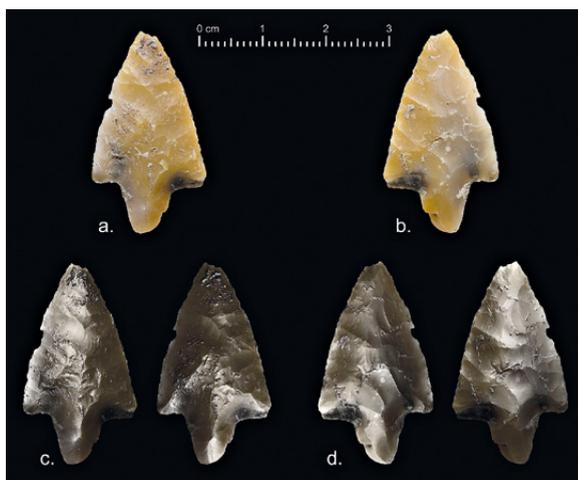


Fig. 7 – Confronto tra foto e immagine RTI. Punta di freccia in selce, fasi iniziali della media età del Bronzo, abitato di via Ordiere, Solarolo (RA): a) foto della faccia dorsale; b) foto della faccia ventrale; c) due immagini RTI della faccia dorsale; d) due immagini RTI della faccia ventrale.

l'intera catena operativa (acquisizione + elaborazione), si sono impiegati da un minimo di 16 a un massimo di 30 minuti (Fig. 4).

Per visualizzare i file RTI è stato impiegato il programma gratuito RTI Viewer. Qui, in primo luogo, la superficie dell'oggetto è stata osservata senza alcun miglioramento matematico dell'ombreggiatura (Rendering mode = Default). In questo caso la scena è caratterizzata da un'illuminazione uniforme, priva di ombre e senza zone luminose particolarmente evidenti: si tratta perciò di una distribuzione armonica della riflessione superficiale che consente un esame preliminare dell'oggetto. Successivamente, passando alla modalità di rendering Specular Enhancement e variando la direzione della luce virtuale, si è cercato di evidenziare la presenza di tracce di lavorazione e altre discontinuità formali significative. Infine, le viste più interessanti sono state salvate in formato JPG e archiviate a supporto di ulteriori indagini di approfondimento (Figg. 5-7).

3. RISULTATI E POSSIBILI SVILUPPI

Le immagini RTI non si devono intendere come risultato finale, bensì come dato da utilizzare per lo sviluppo di altri elaborati che possono aiutare il ricercatore a ricostruire il ciclo produttivo e le vicende di sfruttamento di un reperto. Nel caso specifico, due sono gli utilizzi: il disegno archeologico di industrie litiche e l'allestimento di un repertorio delle tracce individuate nei contenitori ceramici.

Il disegno della punta di freccia (rinvenuta nel sito di Solarolo e descritta nel § 2) è il risultato di una catena operativa che combina le tecniche di rilievo tradizionale (necessarie alla restituzione grafica delle sezioni e delle viste laterali) con immagini RTI da cui trarre il disegno in pianta delle facce, in scala "al vero" (scala 1:1). Per prima cosa, con RTI Viewer si sono ottenute alcune immagini della faccia ventrale e di quella dorsale. In genere, per distinguere chiaramente la totalità degli elementi morfologici di una faccia sono state sufficienti 3 immagini, ognuna caratterizzata da una diversa impostazione di luce e dedicata a una specifica parte del manufatto: la prima immagine con luce frontale per un'ottimale visione generale, la seconda illuminata da destra e la terza da sinistra. Queste immagini sono state caricate in Adobe Illustrator e sulla prima è stato realizzato il disegno dei contorni di tutti i distacchi visibili; la seconda è stata utilizzata per aggiungere i dettagli poco visibili sulla prima e così anche la terza (Fig. 8).

Si è ripetuta la medesima operazione per la faccia ventrale e, al termine dell'operazione, i disegni delle due facce sono stati copiati su una nuova board e stampati su carta lucida, assieme alla scala grafica. La caratterizzazione dei distacchi è stata eseguita a mano, largamente agevolata dalla visualizzazione del reperto su RTI Viewer per mezzo del quale la sorgente di luce viene posta

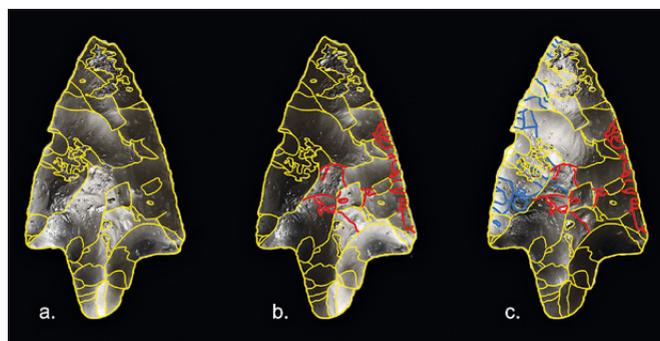


Fig. 8 – Fasi del disegno archeologico: a) bordi identificati sulla prima immagine RTI (in giallo); b) sovrapposizione del disegno sulla seconda immagine e nuove integrazioni (in rosso); c) integrazioni conclusive (in azzurro). Punta di freccia in selce, fasi iniziali della media età del Bronzo, abitato di via Ordiere, Solarolo (RA).

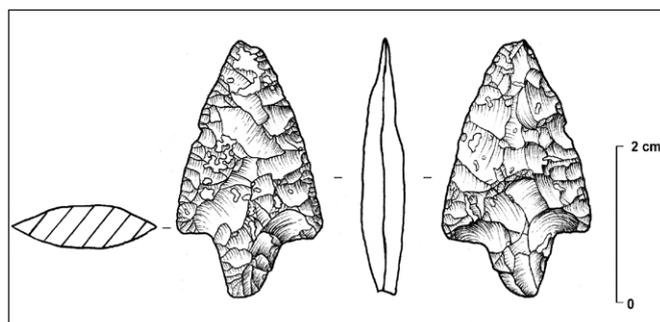


Fig. 9 – Disegno archeologico realizzato con il supporto della tecnica RTI. Punta di freccia in selce, fasi iniziali della media età del Bronzo, abitato di via Ordiere, Solarolo (RA). Disegno a cura di Maria Pia Maiorano.

in alto a sinistra, come previsto dalle norme per il disegno archeologico. La vista laterale e la sezione invece sono state ottenute con il metodo della misurazione diretta sul pezzo, per mezzo di un calibro ventesimale di tipo a becco (Fig. 9). Il disegno ottenuto mostra chiaramente tutte le variazioni morfologiche dell'oggetto, tuttavia ottenere la pianta di una faccia riunendo le parti derivate da tre immagini RTI è un procedimento complicato che deve essere rivisto se si vogliono documentare centinaia di materiali.

La sperimentazione condotta sui reperti ceramici (rinvenuti nel sito di Solarolo e descritti nel § 2) ha permesso di costruire un repertorio delle tracce superficiali. Il repertorio è stato creato in tre fasi: individuazione delle

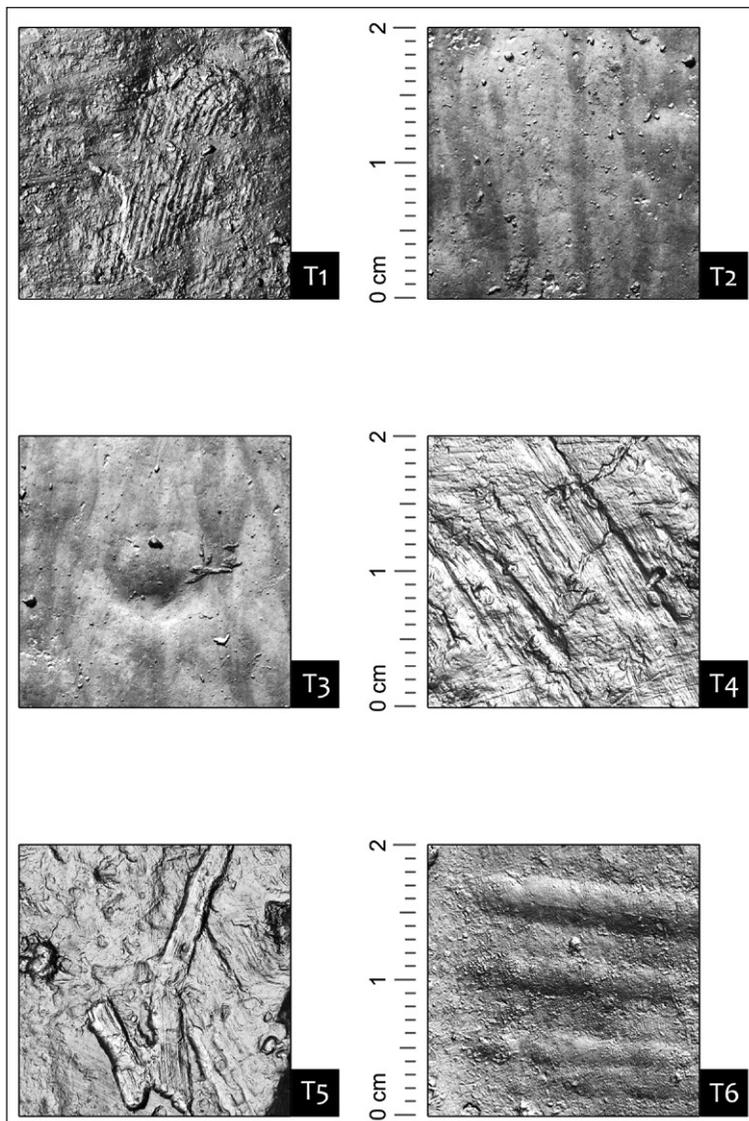


Fig. 10 – Alcune tracce del repertorio: T1. rifinitura a polpastrello; T2. lucidatura per mezzo di uno strumento duro dalla superficie liscia (fasce più chiare); T3. probabile errore di lavorazione durante la fase di lisciatura (area circolare); T4. lisciatura per mezzo di uno strumento duro dalla superficie irregolare; T5. trascinamento di incluso durante la fase di lisciatura; T6. decorazione a solcature per mezzo di uno strumento duro dalla superficie liscia. Materiale ceramico della media età del Bronzo (XVI e XIV secolo a.C.), proveniente dall'abitato di via Ordiere, Solarolo (RA). Riconoscimento e analisi delle tracce a cura di Andrea La Torre.



Fig. 11 – Confronto tra foto e immagine RTI. A destra si distinguono chiaramente le tracce dovute a una rifinitura a polpastrello con minima aggiunta di acqua. Sperimentazione a cura di Andrea La Torre.

tracce con gli strumenti di RTI Viewer; esportazione in formato JPG delle immagini; ritaglio e assemblaggio delle immagini avendo cura di mantenere la stessa scala. In questa sede si presentano le irregolarità superficiali più evidenti e rilevanti, dovute agli strumenti impiegati durante il ciclo produttivo del manufatto (T1, T2, T4 e T6), a errori di lavorazione (T3) oppure al trascinarsi involontario di impurità (T5). Allo stato attuale della ricerca il catalogo raccoglie le seguenti tracce (Fig. 10):

- T1. rifinitura a polpastrello (traccia individuata nel progetto RTI 3);
- T2. lucidatura per mezzo di uno strumento duro dalla superficie liscia (fasce più chiare) (traccia individuata nel progetto RTI 7);
- T3. probabile errore di lavorazione durante la fase di lisciatura (area circolare) (traccia individuata nel progetto RTI 7);
- T4. lisciatura per mezzo di uno strumento duro dalla superficie irregolare (traccia individuata nel progetto RTI 8);
- T5. trascinarsi di incluso durante la fase di lisciatura (traccia individuata nel progetto RTI 8);
- T6. decorazione a solcature per mezzo di uno strumento duro dalla superficie liscia (traccia individuata nel progetto RTI 1).

I risultati ottenuti consentono una prima riflessione sulle prospettive della ricerca. Considerando l'elevata quantità di tracce che in genere è possibile distinguere nei documenti RTI è auspicabile uno sviluppo della sperimentazione che possa coinvolgere altre classi di materiale archeologico (ad es. manufatti in materia dura animale). Ma non è tutto. Oltre ai reperti, si potrebbero documentare le loro riproduzioni sperimentali allo scopo di ottenere un repertorio di confronto che serva al miglior riconoscimento delle tracce sul record

archeologico. Un primo tentativo è stato condotto recentemente, durante la revisione editoriale di questo articolo, sui materiali ceramici rinvenuti nel sito di Solarolo. I trattamenti superficiali di questi manufatti sono stati riprodotti su tavolette di argilla foggiate a mano. Seguirà quindi la documentazione RTI delle superfici ed infine l'analisi delle tracce di lavorazione (Fig. 11). Le indagini sono ancora in corso e i risultati saranno presentati successivamente³.

La tecnica RTI è da tempo utilizzata su reperti incisi, come ad es. tavolette e sigilli prismatici, in quanto migliora la visibilità delle figure e dei caratteri cuneiformi presenti nelle loro superfici (EARL *et al.* 2011). Pertanto, terminate le attività sperimentali, si rivolgerà l'attenzione ai reperti caratterizzati da scritte o disegni, provenienti da altri contesti di scavo. Lavorando direttamente sulle immagini RTI, si potranno realizzare rilievi più precisi e completi, favorendo enormemente la lettura e l'interpretazione del testo (o della raffigurazione). Inoltre, dallo studio delle superfici, si potranno ricavare informazioni sulle tecniche di incisione e lavorazione del supporto.

4. CONCLUSIONI

La sperimentazione condotta sui reperti ceramici e litici di età protostorica ha permesso di identificare gli aspetti negativi e positivi della tecnica RTI.

Per quanto concerne le criticità e i limiti, la fase di acquisizione dei dati fotografici è sicuramente l'anello più debole della catena operativa. In effetti, appare troppo lunga e delicata, pertanto non si addice alla documentazione di centinaia di reperti. Inoltre, le vibrazioni accidentali trasmesse alla fotocamera producono effetti spesso significativi sull'inquadratura penalizzando la nitidezza dell'immagine RTI. Dunque, le necessità principali sono due: ridurre il tempo impiegato per spostare l'apparecchio d'illuminazione e garantire una maggiore stabilità in ripresa per minimizzare il fenomeno del micromosso e ottenere la massima nitidezza di dettaglio possibile. Tali necessità possono essere soddisfatte utilizzando una struttura che viene chiamata *light dome*. Si tratta di una cupola dotata di un foro sommitale per l'alloggiamento della fotocamera e di led equidistanti che consentono di illuminare l'oggetto da punti differenti. In rete ne esistono diversi modelli e nei più evoluti il lampo dei led è sincronizzato con lo scatto della fotocamera (PADFIELD, SAUNDERS, MALZBENDER 2005, 505; EARL *et al.* 2011, 148-149; MACDONALD 2011, 156; PALMA *et al.* 2014).

Un'altra criticità del sistema è stata rilevata durante il disegno della punta di freccia. Ottenere la pianta di una faccia riunendo le parti derivate da tre immagini è un procedimento macchinoso. Occorre invece un solo file (in

³ Le riproduzioni sperimentali sono state realizzate da Andrea La Torre nell'ambito del suo lavoro di tesi di laurea (LA TORRE 2018).

formato JPG) che mostri chiaramente tutte le variazioni morfologiche dell'oggetto. Fortunatamente anche questo ostacolo sembra facilmente superabile attraverso un supplemento di elaborazione della "mappa delle normali". In questa immagine (generata sempre da RTI Viewer) i colori esprimono uno specifico orientamento della normale e non dipendono dalla posizione della fonte luminosa. Trattandosi di un'immagine "a falsi colori" l'aspetto della superficie è piuttosto insolito. Tuttavia, lavorando l'immagine con i filtri di un qualsiasi programma di grafica è possibile ottenere risultati sorprendenti (PAWLOWICZ 2015).

Un altro limite riguarda la documentazione di superfici curve o caratterizzate dalla presenza di elementi aggettanti. Quando la luce incontra queste parti, si generano estese zone d'ombra che limitano l'osservabilità della superficie e di conseguenza impediscono una corretta individuazione delle tracce. L'oggetto più indicato è quello che presenta una superficie ampia e piatta.

Infine, un'altra criticità è l'assenza d'informazioni numeriche sulla terza dimensione. In effetti, con l'RTI non si ottiene un modello vettoriale dell'oggetto ma un'immagine raster dove vengono enfatizzate, tramite filtri specifici, le irregolarità formali della sua superficie. Ciò significa che di una traccia si può misurare la lunghezza e lo spessore ma non la profondità. Per questo motivo – senza un esame autoptico del reperto – anche gli andamenti curvilinei della sua superficie potrebbero passare inosservati penalizzando la corretta valutazione del contesto formale della traccia. Quindi, per eseguire l'analisi tracciologica di un reperto ceramico, il flusso di lavoro che appare più corretto è composto dai seguenti step operativi: valutazione autoptica della sua forma generale; analisi della sezione per comprendere le modalità di montaggio; rilievo RTI della superficie (parete interna ed esterna); analisi delle irregolarità superficiali in ambiente RTI (segni di lavorazione e d'uso); verifica autoptica delle tracce individuate; interpretazioni del ciclo produttivo e delle vicende di sfruttamento del reperto. Si tratta pertanto di una catena operativa basata su un approccio multi-strumentale all'analisi tracciologica e tesa alla documentazione rigorosa dell'evidenza archeologica, una condizione essenziale per proporre interpretazioni non generiche di qualsiasi evento storico.

Per quanto concerne i pregi di questa metodologia, l'immagine RTI evidenzia "dati" che in molti casi le osservazioni a occhio nudo e le comuni fotografie non riescono a documentare. Sulle superfici dei manufatti ceramici i risultati ottenuti sono estremamente convincenti e dimostrano l'utilità del metodo, le sue prerogative e le sue ricadute rispetto ai metodi di documentazione tradizionali. Inoltre, questa tecnica può essere impiegata sulla litica per facilitare l'esame delle irregolarità morfologiche dovute alla lavorazione. Infatti, modificando interattivamente la posizione della sorgente luminosa e osservando in tempo reale il modo in cui la luce interagisce con la superficie dell'oggetto si percepiscono meglio i limiti dei distacchi e dei ritocchi.

Altri elementi positivi sono la gratuità, la semplicità d'uso e il limitato peso computazionale dei programmi coinvolti nella catena operativa. Relativamente leggeri sono anche i file RTI (nel caso specifico da 126 a 281 MB) che quindi possono essere condivisi senza particolari impedimenti. Si pensi ad esempio alla possibilità di coinvolgere studiosi dislocati in zone lontane dal luogo di conservazione dei materiali.

Infine, un altro vantaggio dell'archiviazione di documenti RTI consiste nella possibilità di accedere al contenuto informativo in qualsiasi momento, dunque anche dopo la loro realizzazione, per incrementare le conoscenze su determinati caratteri tecnologici e per implementare i repertori comparativi delle tracce.

ANDREA FIORINI

Dipartimento di Storia Culture Civiltà (DiSCi) - Sezione di Archeologia
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
andrea.fiorini6@unibo.it

BIBLIOGRAFIA

- ARENA S. 2013, *La luce nella fotografia digitale: da semplici istantanee a grandi scatti*, Milano-Torino, Pearson.
- ARTAL-ISBRAND P., KLAUSMEYER P. 2013, *Evaluation of the relief line and the contour line on Greek red-figure vases using reflectance transformation imaging and three-dimensional laser scanning confocal microscopy*, «Studies in Conservation», 58, 4, 338-359.
- BENEFIEL R.R., DI BIASIE J., SYPNIEWSKI H. 2016, *Herculaneum Graffiti Project: Initial field season, 2014*, «The Journal of Fasti Online», 1-23 (<http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2016-361.pdf>; ultimo accesso 21/11/2017).
- CATTANI M. 2009, *Gli scavi nell'abitato di via Ordiere a Solarolo (RA) e il progetto di ricerca sull'età del Bronzo in Romagna*, «IpoTESI di Preistoria», 2, 1, 115-130 (<https://ipotesidipreistoria.unibo.it/article/view/1602/967>; ultimo accesso 20/11/2017).
- CHI 2011, *Reflectance Transformation Imaging: Guide to Highlight Image Processing v1.4*, Cultural Heritage Imaging (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rtibuilder/RTI_hlt_Processing_Guide_v14_beta.pdf; ultimo accesso 15/11/2017).
- CHI 2013a, *Guide to RTIViewer v 1.1*, Cultural Heritage Imaging (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rtiviewer/RTIViewer_Guide_v1_1.pdf; ultimo accesso 19/11/2017).
- CHI 2013b, *Reflectance Transformation Imaging: Guide to Highlight Image Capture v 2.0*, Cultural Heritage Imaging (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/RTI_Hlt_Capture_Guide_v2_0.pdf; ultimo accesso 19/11/2017).
- DOCCI M., DOCCI M. 2005, *L'uso della riflettanza: un nuovo capitolo per il restauro delle superfici*, in T. FIORUCCI (ed.), *Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente*, Roma, Gangemi, 48-51.
- EARL G., MARTINEZ K., MALZBENDER T. 2010, *Archaeological applications of polynomial texture mapping: Analysis, conservation and representation*, «Journal of Archaeological Science», 37, 8, 2040-2050.
- EARL G., BASFORD P., BISCHOFF A., BOWMAN A., CROWTHER C., DAHL J., HODGSON M., ISAKSEN L., KOTOULA E., MARTINEZ K., PAGI H., PIQUETTE K.E. 2011, *Reflectance Transformation Imaging systems for ancient documentary artefacts*, in S. DUNN, J. BOWEN, K. NG (eds.), *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2011)*, London, BCS, The Chartered Institute for IT, 147-154 (http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev11_s8paper3.pdf; ultimo accesso 21/11/2017).

- GIANNICCHEDDA E. 2002, *Storie di ceramica*, «Archeo», 18, 9 (211), 66-93.
- INIZAN M.-L., REDURON-BALLINGER M., ROCH H., TIXIER J. 1999, *Technology and Terminology of Knapped Stone*, *Préhistoire de la Pierre Taillée* 5, Nanterre, C.R.E.P.
- KOTOULA E., KYRANOUDI M. 2013, *Study of ancient Greek and Roman coins using reflectance transformation imaging*, «e-conservation», 25, 75-88 (https://www.academia.edu/3515894/Study_of_Ancient_Greek_and_Roman_coins_using_Reflectance_Transformation_Imaging; ultimo accesso 21/11/2017).
- LA TORRE A. 2018, *Apporto dell'archeologia sperimentale allo studio funzionale dei trattamenti superficiali della ceramica protostorica*, Tesi di Laurea in Preistoria e Protostoria, Corso di Laurea in Archeologia e Culture del Mondo Antico, Scuola di Lettere e Beni culturali, Università di Bologna, rel. prof. Maurizio Cattani, a.a. 2016-2017 (data di discussione della tesi: 12 marzo 2018).
- LEVI S.T. 2010, *Dal cocchio al vasaio. Manifattura, tecnologia e classificazione della ceramica*, Bologna, Zanichelli.
- MACDONALD L.W. 2011, *Visualising an Egyptian artefact in 3d: Comparing RTI with laser scanning*, in S. DUNN, J. BOWEN, K. NG (eds.), *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2011)*, London, BCS: The Chartered Institute for IT, 155-162 (http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev11_s8paper4.pdf; ultimo accesso 21/11/2017).
- MALZBENDER T., GELB D., WOLTERS H. 2001, *Polynomial texture maps*, in L. POCOCK (ed.), *Computer Graphics, SIGGRAPH 2001 Proceedings (Los Angeles 2001)*, New York, ACM, 519-528.
- MALZBENDER T., GELB D., WOLTERS H., ZUCKERMAN B. 2000, *Enhancement of shape perception by surface reflectance transformation*, Hewlett-Packard Laboratories Technical Report, HPL-2000-38R1 (www.hpl.hp.com/techreports/2000/HPL-2000-38R1.pdf; ultimo accesso 13/11/2017).
- MOLINARI A. 2000, s.v. *Ceramica*, in R. FRANCOVICH, D. MANACORDA (eds.), *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*, Laterza, Roma-Bari, 53-61.
- MUDGE M., MALZBENDER T., CHALMERS A., SCOPIGNO R., DAVIS J., WANG O., GUNAWARDANE P., ASHLEY M., DOERR M., PROENCA A., BARBOSA J. 2008, *Image-based empirical information acquisition, scientific reliability, and long-term digital preservation for the natural sciences and Cultural Heritage*, in M. ROUSSOU, J. LEIGH (eds.), *Eurographics 2008 Tutorials*, The Eurographics Association (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/eurographics2008/eurographics_2008_tutorial_notes.pdf; ultimo accesso 16/11/2017).
- MUDGE M., MALZBENDER T., SCHROER C., LUM M. 2006, *New reflection transformation imaging methods for rock art and multiple-viewpoint display*, in M. IOANNIDES, D. ARNOLD, F. NICCOLUCCI, K. MANIA (eds.), *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, The Eurographics Association, 195-202 (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/vast2006/VAST2006_final.pdf; ultimo accesso 21/11/2017).
- MUDGE M., VOUTAZ J.-P., SCHROER C., LUM M. 2005, *Reflection transformation imaging and virtual representations of coins from the Hospice of the Grand St. Bernard*, in M. MUDGE, N. RYAN, R. SCOPIGNO (eds.), *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, The Eurographics Association, 29-39 (http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/vast2005/VAST2005_final.pdf; ultimo accesso 21/11/2017).
- NURSE J. 2015, *RTI Dome: Casting new light on our past*, «Future Worlds», University of Southampton (<https://futureworlds.com/rti-dome-casting-new-light-past/>; ultimo accesso 29/11/2017).
- PADFIELD J., SAUNDERS D., MALZBENDER T. 2005, *Polynomial texture mapping: A new tool for examining the surface of paintings*, in I. VERGER (ed.), *ICOM Committee for Conservation (The Hague 2005)*, vol. 1, London, James and James/Earthscan, 504-510.
- PALLADINO P. (ed.) 2005, *Manuale di illuminazione*, Milano, Tecniche nuove.

- PALMA G., BALDASSARRI M., FAVILLA M., SCOPIGNO R. 2014, *Storytelling of a coin collection by means of RTI images: The case of the Simoneschi collection in Palazzo Blu*, in N. PROCTOR, R. CHERRY (eds.), *Museums and the Web 2013*, Silver Spring, MD: Museums and the Web (<http://mwf2014.museumsandtheweb.com/paper/storytelling-of-a-coin-collection-by-means-of-rti-images-the-case-of-the-simoneschi-collection-in-palazzo-blu/>; ultimo accesso 21/11/2017).
- PAWLOWICZ L.M. 2015, *Documentation of lithic artifacts using an inexpensive reflectance transformation imaging system*, in *The 80th Annual Meeting of the Society for American Archaeology (San Francisco 2015)*, extended video version (<https://youtu.be/c3YEKjL6OS0>; ultimo accesso 02/12/2017).
- PENNACCHIONI M. 2004, *Metodologie e tecniche del disegno archeologico. Manuale per il disegno dei reperti archeologici*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- SCOPIGNO R., MONTANI C. 2015, *Visual Computing Lab: 30 anni di grafica 3D in Italia*, «Archeomatica», 6, 3, 18-22.

ABSTRACT

RTI is a photographic method that allows to enhance any unevenness on the surface of an object. In archaeology, the RTI method is used for various purposes, for instance, to study superficial markings on ceramic artefacts and to understand their possible causes (natural unevenness of the materials, manufacturing techniques, intended use). This article describes a research that has been conducted thanks to the RTI method on some ceramic artefacts dating back to the Bronze Age, from the village located in Via Ordiera, in Solarolo (RA). The research aims to test the limits of use of this instrument and its actual potential to give information on certain aspects of the production process of a ceramic artefact, such as the tools used to refine the surface (smoothing or polishing). Moreover, the RTI images have been tested as auxiliary tool for archaeological design of lithic artefacts from the same sites (arrowheads). The first part of the article is dedicated to the methodological aspects of the research: the processing chain, the tools and the time needed to complete each phase of the work. In the second part, the results of the research and the possible developments are discussed. The points of strength and the limits of this method are both summarised in the last section of the article.