

# II RILEVAMENTO DI REPERTI ARCHEOLOGICI

Leandro BORNAZ, Chiara PORPORATO, Fulvio RINAUDO(\*)

(\*) Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino  
C.so Duca degli Abruzzi, 24, 10129, Torino,  
Tel: 011.564.7687 / 7719 / 7659 – Fax: 011.564.7699  
leandro.bornaz@polito.it, chiara.porporato@polito.it, fulvio.rinaudo@polito.it.

## Riassunto

Le tematiche inerenti l'analisi di reperti archeologici occupano un importante posto nello studio della storia e delle radici culturali dei popoli.

L'attività svolta dal DITAG (Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie) del Politecnico di Torino nell'ambito della valorizzazione artistico-culturale dei beni archeologici si sviluppa attraverso l'introduzione in tale campo di metodologie di indagine altamente specializzate.

Il primo degli aspetti che è necessario considerare nell'effettuare il rilevamento di reperti archeologici è legato alla scelta della strumentazione più adatta, sia in termini di contenuto tecnologico che di innovazione, in modo da rendere più dinamiche alcune fasi del rilevamento. Da ultimo, si devono esaminare e definire i criteri per condurre correttamente le fasi di rilevamento e trattamento dati.

## Abstract

The analysis of archaeological finds is a very important and actual topic of cultural and historical research.

The research, carried out by the DITAG (Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie) at the Politecnico di Torino to increase the artistic and cultural value of archaeological finds, is developed by using specialized methodologies.

The first stage to plan an archaeological survey is to select the more technologically suitable and innovative instrument for this work in order to speed up some steps. Then, it is also necessary to define some correct criteria to carry out properly the survey and the data analysis stages.

## Introduzione

Nello studio archeologico dei reperti provenienti da scavi, viene data particolare importanza alla determinazione delle dimensioni, della forma e delle caratteristiche di colorazione di ogni frammento.

In questo ambito l'impiego di specifici strumenti di rilevamento e di procedure di elaborazione dei dati acquisiti potrebbe fornire agli archeologi alcune informazioni utili per la classificazione dei reperti (Tornincasa, Pizzetti, 2002-2003).

## Valutazione delle problematiche esistenti relative all'oggetto da analizzare (campo di applicazione- Requisiti della strumentazione)

La scansione di oggetti rinvenuti, siano essi interi o frammenti, vuole essere finalizzata alla generazione di modelli digitali completi ed esaustivi con un contenuto informativo tale da poterne ipotizzare le forme originarie (Boccalatte et al., 2004).

Attualmente, per lo studio della forma dei frammenti archeologici, sono utilizzate particolari apparecchiature, chiamate macchine di misura a coordinate (MMC) (De Crescenzo et al., 2004).

Le MMC sono strumentazioni meccaniche di laboratorio dotate di una sonda rigida che permette di rilevare in modo manuale o automatico i punti sull'oggetto fisico. In genere, per utilizzare questo tipo di strumentazione è necessario definire a priori il numero di punti da acquisire e stabilire il percorso della macchina. Il volume di lavoro e le tolleranze ottenibili sul dato coincidono con quelli della macchina di misura ed in uscita si dispone di un file contenente le coordinate dei punti digitalizzati.

Se la precisione è uno dei punti di forza delle MMC esistono alcuni aspetti che le rendono non del tutto adatte ad operare in ambito di rilevamento dei beni archeologici. Innanzitutto, l'impiego per l'acquisizione dei punti di tastatori meccanici, che possono danneggiare il reperto archeologico graffiandone o incidendone la superficie e, in secondo luogo, i tempi necessari all'acquisizione, che sono particolarmente lunghi, sia per predisporre il percorso della macchina che per rilevare le coordinate dei punti (la velocità massima di acquisizione varia tra 1-5 punti al secondo).

In ogni caso in letteratura sono presenti pubblicazioni relative a studi di reperti archeologici condotti con l'impiego di macchine di misura a coordinate (MMC).

Con l'avvento dei sensori laser scanner, ed in particolare di quelli triangolatori, si apre la strada ad un nuovo metodo di rilevamento e diagnosi dei reperti archeologici. I sensori laser scanner sono strumenti che consentono di effettuare la misura di una grande quantità di coordinate tridimensionali di punti operando in modalità "non a contatto" ed in tempi ridotti con elevate precisioni.

Il mercato dei laser scanner propone oggi una grande varietà di differenti soluzioni. La scelta della strumentazione da impiegare in campo archeologico risulta perciò condizionata da precise esigenze alcune delle quali di tipo pratico ed altre di carattere più specificatamente scientifico.

Prima tra tutte la precisione. Oggi gli strumenti di rilevamento "non a contatto" permettono di raggiungere precisioni molto elevate dell'ordine del micron a fronte di accuratezze e risoluzioni del centesimo di micron.

Da alcune indagini bibliografiche condotte in merito è possibile capire come in ambito archeologico i limiti minimi, in termini di valori numerici, che le grandezze statistiche relative ai dati misurati devono presentare sono riassunte in tabella 1.

Precisione [mm]	Accuratezza	Risoluzione[mm]
0.1	0.01	0.01

Tabella 1 –Valori numerici delle grandezze statistiche relative al singolo punto.

Altro aspetto che è necessario valutare è la portabilità dello strumento. Le MMC normalmente sono alloggiare in appositi laboratori. Se si potesse localizzare direttamente *in situ* la fase di diagnosi-rilievo dei reperti ritrovati, i tempi necessari sarebbero ridotti e, contemporaneamente, si eliminerebbe il rischio di danneggiare i frammenti durante il loro trasporto in laboratorio. Molti strumenti laser scanner sono facilmente trasportabili e possono operare in luoghi molto differenti. Nella scelta dello strumento da utilizzare è quindi necessario valutare quanto la strumentazione laser sia maneggevole. In particolare poi, deve presentare dimensioni ridotte e peso limitato in modo da poter essere utilizzata *in situ* direttamente dagli studiosi senza richiedere l'ausilio di dispositivi meccanici ingombranti.

Risulta evidente che la strumentazione debba anche presentarsi come non particolarmente sensibile alle condizioni ambientali di lavoro, dovendo prevederne l'impiego in zone climatiche anche molto differenti fra loro. I "range" di temperatura e di umidità a cui verrebbe sottoposta possono variare (anche notevolmente) a seconda del sito archeologico.

Va preso in considerazione il fatto che, dovendo utilizzare la strumentazione direttamente in cantiere, essa debba lavorare in presenza di polveri senza subire danni di tipo meccanico-fisico e senza compromettere il dato acquisito o pregiudicare il funzionamento dell'apparecchiatura stessa.

In ambito archeologico particolare importanza assume non solo la geometria degli oggetti ma anche la loro decorazione e la variazione di colorazione che la loro superficie presenta. (vedi fig. 2)

In questa ottica è assolutamente opportuno non “toccare” il reperto con apparecchiature meccaniche per non correre il rischio di danneggiarlo.

Nella scelta dello strumento di rilevamento è quindi preferibile rivolgere l’attenzione a quella strumentazione in grado di registrare, oltre alla geometria, anche le informazioni radiometriche proprie dell’oggetto.



*Figura 2 – Alcune delle decorazioni presenti sulle maioliche arcaiche rinvenuti al Carmine. Si riconoscono motivi vegetali, geometrici, animali e con stemmi familiari.*

*(<http://www.paesaggimedievali.it/volta/ceramica/cer04.html>)*

Il risultato ottenuto da questo tipo di approccio è un modello digitale del frammento colorato con i colori reali dell’oggetto.

### **Indagini di mercato e bibliografica relative alle strumentazioni**

Per individuare uno strumento idoneo al rilievo di reperti archeologici si è svolta una accurata indagine bibliografica nel campo delle strumentazioni laser ad oggi in produzione.

In particolare, si sono esaminati i laser scanner triangolatori che operano nel vicino e nel vicinissimo in quanto tra tutti i sensori laser sono i soli che garantiscono le precisioni richieste dallo studio di oggetti di modeste e piccole dimensioni quali i reperti archeologici.

Nella ricerca della strumentazione più adatta è necessario valutare, oltre alla precisione ottenibile, anche la possibilità di acquisire, congiuntamente ai dati metrici, le informazioni radiometriche dei punti analizzati. In ultimo, la scelta della strumentazione deve che essere effettuata valutando uno strumento che presenti dimensioni, peso, compattezza e resistenza meccanica necessari per l’impiego diretto in cantiere.

Esaminando le caratteristiche dei sensori laser triangolatori presenti sul mercato, la casa produttrice Minolta è risultata essere quella che risponde in modo più esauriente alle esigenze tecniche e fisiche che l’applicazione in campo archeologico comporta. In particolare, il laser VI-9i (fig. 3) fornisce un buon rapporto tra caratteristiche tecniche possedute e prezzo di mercato.

In letteratura sono stati individuati casi di studio simili a quello di nostro interesse relativi all’applicazione di strumentazioni laser scanning in campo archeologico (Peripimeno, 2005).



Figura 3 – Laser Scanner VI-9i Minolta e strumentazione accessoria.

### **Analisi e definizione di corrette procedure di rilievo e trattamento dati.**

La scelta dello strumento rappresenta solo la prima e più semplice delle fasi che vanno prese in considerazione quando si deve affrontare il rilevamento dei reperti archeologici.

L'aspetto tecnico e teorico da prendere in esame, dopo la scelta della strumentazione, riguarda le differenti fasi di elaborazione cui i dati misurati devono essere sottoposti.

Le nuvole di punti che i laser scanner acquisiscono sono spesso affette da errori di varia natura (determinati dalla riflettività della superficie degli oggetti acquisiti, dalla divergenza del raggio laser, etc.) che, per una corretta valutazione della forma dell'oggetto, è necessario eliminare attraverso l'impiego di specifici filtri.

Nel rilievo di oggetti attraverso strumentazione laser scanner una singola scansione non è in genere sufficiente a descrivere in modo completo il soggetto in esame in quanto esso può presentare delle zone defilate che il raggio laser non è in grado di raggiungere e che quindi non è possibile misurare. Nella maggior parte dei casi è necessario eseguire più scansioni da punti di vista differenti in modo da ottenere un modello privo di zone defilate o coni d'ombra. Ogni scansione possiede un proprio sistema di riferimento locale. Per ottenere un unico modello tridimensionale dell'oggetto è quindi necessario allineare tutte le scansioni, ovvero esprimerle in un unico sistema di riferimento.

Ogni porzione di oggetto essere può essere rilevata o variando la posizione del laser scanner e lasciando fermo il reperto, oppure adottando un altro metodo operativo che prevedere l'impiego di strumenti accessori (ad es. tavolette rotanti) che consentano di variare globalmente la posizione dell'oggetto senza spostare la strumentazione laser.

L'allineamento delle scansioni consiste in una stima dei parametri di rototraslazione spaziale di tutti i modelli in modo da esprimerli in uno unico sistema di riferimento. Per allineare due o più scansioni queste devono avere tra loro una zona di sovrapposizione sufficientemente ampia che funge da collegamento tra le due.

Sono stati pubblicati diversi studi relativi alla realizzazione di algoritmi che siano in grado di effettuare gli allineamenti in modo automatico o semiautomatico. Diffuso è l'impiego di *markers* posti nella zona di sovrapposizione fra due scansioni adiacenti che fungono da punti di legame.

Per il rilevamento i reperti archeologici, nel caso di utilizzo di *markers* per l'allineamento delle scansioni, questi devono essere esterni all'oggetto misurato e non posizionati sopra il reperto per non danneggiare la superficie e non occultare parte dell'oggetto.

Se per allineare due scansioni adiacenti si utilizza la tecnica dei *markers*, nel caso di zone di sovrapposizione molto ridotte, è comunque possibile ottenere la registrazione di un modello nei confronti di quello adiacente ma possono crearsi problemi di mal condizionamento che si traducono in un non corretto allineamento tra le due nuvole di punti. Questo mal condizionamento è recuperabile se si utilizza, per affinare l'allineamento, un algoritmo iterativo in grado di allineare due oggetti utilizzando tutti i punti presenti nella zona di sovrapposizione (ad esempio l'algoritmo ICP, *Iterative Closest Points*, e le sue innumerevoli variazioni). Per prima cosa l'algoritmo si occupa

di trovare una corrispondenza fra i punti appartenenti a due scansioni limitrofe da allineare, in funzione della loro vicinanza. Valutati i possibili punti di legame in funzione della loro prossimità l'algoritmo stima la trasformazione rigida dei due modelli in modo da minimizzare gli scarti sui punti omologhi individuati. La procedura è ripetuta fino ad un limite imposto di convergenza.

Questo tipo di algoritmo necessita di una buona soluzione approssimata iniziale. Inoltre, esso non è utilizzabile nel caso si vogliano allineare superfici di rotazione (ad esempio una sfera) in quanto in questi casi esistono innumerevoli soluzioni possibili che soddisfano i criteri di convergenza.

Viene anche usato lo studio che fa ricorso al concetto delle *spin-images* per l'allineamento 3D. La tecnica delle *spin-images* permette di ottenere un allineamento iniziale approssimato di scansioni adiacenti in modo automatico senza l'utilizzo di marker di riferimento. Per l'allineamento definitivo è necessario ricorrere ad algoritmi iterativi di tipo ICP.

Oggi nel campo del rilevamento di piccoli oggetti per mezzo di sensori laser scanner sono sempre più frequentemente impiegate tavolette rotanti su cui viene posizionato l'oggetto da scansionare. La tavoletta permette di ottenere un insieme di scansioni aventi dei valori di allineamento approssimati (in funzione della posizione della tavoletta). Per ottenere l'allineamento finale sono quindi utilizzati metodi di allineamento di forma (ICP).

Come evidenziato in precedenza, esistono situazioni in cui questo tipo di approccio può presentare problemi di convergenza e quindi fornire un risultato finale errato.

Ancora da indagare risulta quindi la metodologia di allineamento completamente automatica di scansioni adiacenti utilizzando anche informazioni finora non impiegate quali la radiometria dei punti acquisiti.

### Test Minolta Vi- 9i

Per ottenere una maggiore ed approfondita visione del problema sono state realizzate, grazie alla disponibilità della Minolta Italia, alcune scansioni di un coccio di vaso di terra cotta (fig. 4).

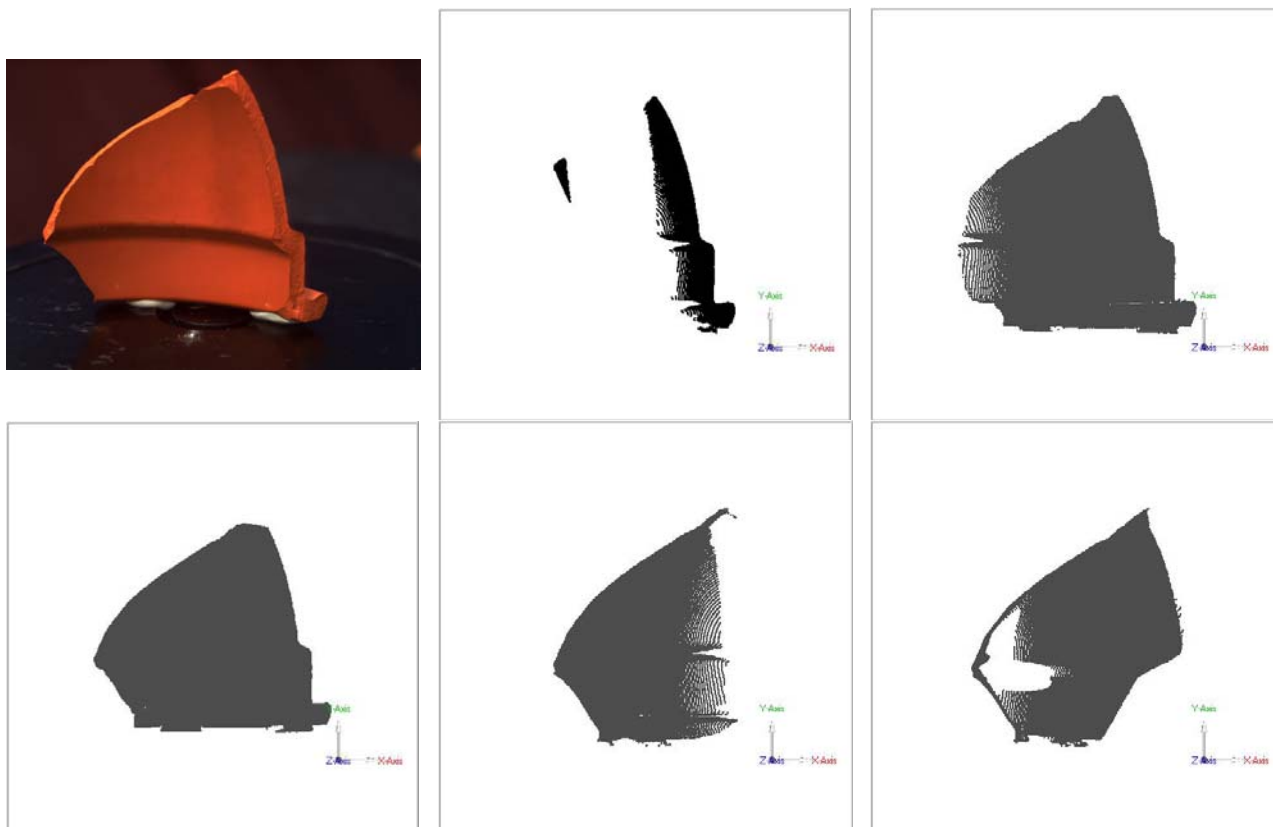


Figura 4 – Coccio di terra cotta e scansioni dello stesso.

Si è scelto di analizzare un simile campione perché il materiale di cui è composto, le sue dimensioni e la forma che presenta sono prossimi a quelli dei frammenti archeologici al cui studio la ricerca è finalizzata.

Il frammento di vaso è stato acquisito con l'impiego del laser scanner VI-9i prodotta dalla Minolta con una risoluzione pari a  $\pm 0.005$  mm accoppiato ad una tavoletta rotante automatica.

In figura 4 sono riportate le diverse nuvole di punti del coccio ottenute variando la posizione dell'oggetto e lasciando inalterata quella del laser scanner.

## **Conclusioni**

L'indagine relativa al rilevamento di frammenti archeologici può ritenersi esaurientemente conclusa nella parte di studio bibliografico e indagine di mercato.

Al termine di questa prima parte si ritiene che la strumentazione più adatta a condurre un rilievo di reperti archeologici sia rappresentata dai laser scanner triangolatori; in particolare, alcuni di questi strumenti soddisfano l'esigenza di acquisire anche le informazioni radiometriche, indispensabili per lo studio dei reperti, relative all'oggetto stesso.

Inoltre, la strumentazione laser consente di rilevare l'oggetto senza danneggiarne minimamente la superficie non essendo necessario un contatto di tipo fisico con l'oggetto rilevato.

Il sistema di misura di cui si avvale lo scanner risulta perciò ideale per l'impiego nell'ambito dei beni culturali potendo acquisire informazioni metriche e radiometriche relative ad oggetti e materiali.

Per quanto riguarda la fase di trattamento dati si sono esaminati alcuni degli esistenti metodi utilizzati per l'allineamento delle scansioni adiacenti per ottenere una sola nuvola di punti in un unico sistema e si sta indagando la metodologia di allineamento completamente automatica che sia basata anche sull'informazione radiometrica acquisita.

## **Bibliografia.**

Boccalatte A., De Crescenzo F., Fantini M., Persiani F. (2004), "Analisi e classificazione di frammenti ceramici a simmetria assiale mediante tecniche interattive di realtà virtuale", Convegno Nazionale XV ADM-XXXIII AIAS Innovazione nella progettazione Industriale, Bari, 31 agosto – 2 settembre 2004.

De Crescenzo F., Fantini M., Flamini F. (2004), "Acquisizione della geometria di frammenti archeologici mediante l'impiego di macchine di misura a coordinate (MMC) e realizzazione dei modelli digitali", Convegno Nazionale XV ADM-XXXIII AIAS Innovazione nella progettazione Industriale, Bari, 31 agosto – 2 settembre 2004.

Peripimeno M. (2005) (laboratorio di informatica Applicata all'Archeologia Medievale (LIAAM) Università di Siena), "Sperimentazione di tecniche 3D laser scanning per l'analisi e la conservazione del patrimonio archeologico e storico-monumentale. Definizione di procedure e campi di utilizzo" presentato al convegno nazionale SIFET 2005 "Integrazione tra tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali".

Tornincasa S., Vizzetti E. (2002-2003), "Studio e sviluppo di una metodologia per l'archiviazione digitale dei reperti archeologici" pubblicato in Atti del Convegno di Modena 2002 e 2003 "La funzione trasversale della reverse Engineering e il suo ruolo strategico".