

# PROXIMAL REMOTE SENSING E SPATIAL ANALYSIS PER LA CONSERVAZIONE DELLE PITTURE PARIETALI POMPEIANE. IL CASO DEL GYMNASIUM

di Maria Danese, Maria Sileo, Rosa Lasaponara, Nicola Masini

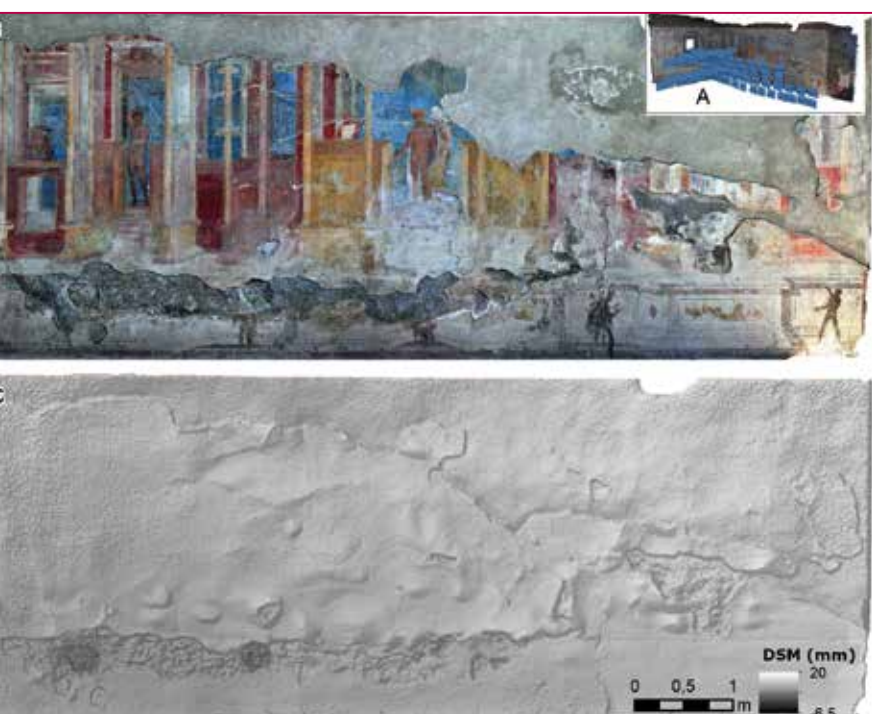


Fig. 1 - Risultati della SfM (nell'angolo in alto a destra): RGB (in alto) e DSM (in basso).

Gli affreschi pompeiani rappresentano una delle più importanti ed innovative espressioni artistiche dell'antichità la cui influenza stilistica ed estetica sulla pittura è durata fino a tutto l'800. Venivano eseguite su intonaco di calce fresca con colori macinati e diluiti in acqua. I motivi decorativi e i contenuti narrativi consentono di individuare quattro fasi storiche o stili che coprono un arco temporale che va dalla fine del II secolo a.C. al 79 d.C.

Il primo stile collocabile tra 150 a.C. e 80 a.C., imprecisiva sia edifici pubblici che le domus private e tendeva a riprodurre il rivestimento delle pareti in opus quadratum, che veniva chiamato anche “stile dell'incrostazione”. Si articolava in tre fasce: una al livello superiore caratterizzata da cornici in stucco sporgente, la seconda intermedia dipinta con i colori predominanti rosso e nero imitava il marmo e il granito, l'ultimo era uno zoccolo dipinto di colore giallo.

Il secondo stile pompeiano, anche detto stile architettonico, è datato ad un periodo compreso tra l'80 a.C. e la fine del I secolo a.C. Si contraddistingue per le eleganti scene architettoniche e paesaggi, imprecisati podi, colonnati, frontoni sporgenti, edicole e porte, attraverso le quali si aprivano vedute prospettiche nelle quali erano raffigurate scene tragiche, comiche o satiriche.

Il terzo stile detto ornamentale, collocabile tra la fine del I sec. a.C. e la metà del I sec. d.C. abbandona la prospettiva e la tridimensionalità del secondo stile per preferire scene e figure piatte con un solo colore, in prevalenza scure, a mò di piccoli pannelli che raffiguravano ornamenti, solitamente a tonalità più chiare, quali candelabri, figure alate, motivi vegetali.

Infine il quarto stile pompeiano, detto dell'*illusionismo prospettico*, si afferma in età neroniana. Si distingue dagli altri per l'introduzione di architetture dotate di grande scenicità e caratterizzata da un ricco decorativismo. Si ripropongono, infine, l'imitazione dei rivestimenti marmorei e l'illusione di oggetti reali e tridimensionali.

I danni causati dall'evento eruttivo del 79 d.C., le caratteristiche tecnico-esecutive, la lunga esposizione a fattori degradanti, nonostante i diversi interventi di restauro effettuati tra '800 e '900, rendono generalmente le pitture parietali di Pompei molto fragili e bisognose di particolare attenzione dal punto di vista della conservazione. A tal fine è necessario analizzare e mappare le patologie di degrado attraverso l'impiego di efficaci e non invasive tecniche di diagnostica ed imaging.

Tale approccio è stato adottato nel Gymnasium di Pompei dove sono state integrate tecniche geofisiche (georadar ad alta frequenza), imaging nell'infrarosso termico e nello spettro del visibile e metodi di analisi spaziale.

Il remote sensing oggi, grazie allo sviluppo dei sensori, al miglioramento delle procedure di elaborazione dati, ed alla non invasività è una tecnologia impiegata con crescente successo nel settore del patrimonio culturale da quello archeologico (Lasaponara & Masini 2008) a quello architettonico (Masini, Persico, Rizzo et al. 2010), dalla conoscenza alla conservazione delle diverse componenti costruttive ed artistiche (dalle murature portanti agli elementi lapidei decorativi (Masini, Nuzzo et Rizzo 2007) e dipinti parietali (Danese, Sileo et Masini 2018)

Parallelamente si è anche avuto lo sviluppo di avanzati strumenti di analisi per l'estrazione di pattern dai dati rilevati da remoto. Tra questi, si sta rivelando molto efficace, anche per "spazi geografici impropri" quali le superfici verticali, l'uso delle analisi spaziali, dalla cluster analysis ai metodi derivanti dalla Geovisualization (Danese, Sileo et Masini 2018 Danese, Demšar, Masini & Carlton 2010).

In questo studio è presentato il lavoro svolto su un affresco di Pompei per il quale sono state utilizzate tecnologie geofisiche integrate con metodi di analisi spaziale.

### IL CASO DI STUDIO: GLI AFFRESCHI DEL GYMNASIUM (POMPEI)

L'affresco studiato decora la parete Est del Gymnasium delle Terme del Sarno, nell'insula 2 della Regio VIII in Pompei. Il dipinto, datato al 50 d.C., raffigura atleti e scene di battaglia. Come altre pitture parietali di Pompei è costituito da tre strati. Il primo, l'intonachino, è uno strato di intonaco bianco sottile costituito da legante a base di calce con calcite cristallina come aggregati. Il secondo strato, di spessore 1-1.5 cm, è composto di vari strati di colore grigio (posato a fresco), costituiti da legante a base di calce e aggregato contenente sabbia vulcanica nera e grumi di materiale calcareo. Un sotto strato di intonaco è costituito da aggregati con granulometria più grossolana rispetto allo strato superiore. Infine il terzo strato è il cosiddetto arriccio, di spessore 3-4 cm, la cui funzione è quella di favorire una adeguata azione di "aggrappaggio" alla parete e fornire una buona riserva di umidità per gli strati soprastanti.



Fig. 2 - Estensione dell'area e profili di acquisizione con il GPR.

### METODOLOGIA

Lo studio è stato effettuato integrando tecniche di rilievo e di imaging basate sul telerilevamento prossimale, (incluso il georadar (GPR) e l'infrarosso termico multitemporale (MIRT)), con metodologie di analisi spaziale e Geovisual Analytics, quali la Map Algebra, la Trasformazione da RGB ad HSV, la Cluster Analysis e la Self-organizing map (SOM). L'obiettivo è stato quello di facilitare i processi di riconoscimento, estrazione e interpretazione delle patologie di degrado dei dipinti parietali con riferimento sia alla superficie pittorica che agli strati di intonaco che compongono l'affresco.

Segue la spiegazione delle diverse di metodologie di imaging e delle analisi impiegate.

### METODI DI RILIEVO ED IMAGING

*SfM (Structure-from-Motion photogrammetry)*

La prima indagine condotta sull'affresco del Gymnasium è stata eseguita elaborando, con il metodo *structure-from-motion*, più immagini parzialmente sovrapposte scattate utilizzando una macchina fotografica Nikon D90, con un obiettivo NIKKOR NIKON 18-55 AF-S Dx con una risoluzione

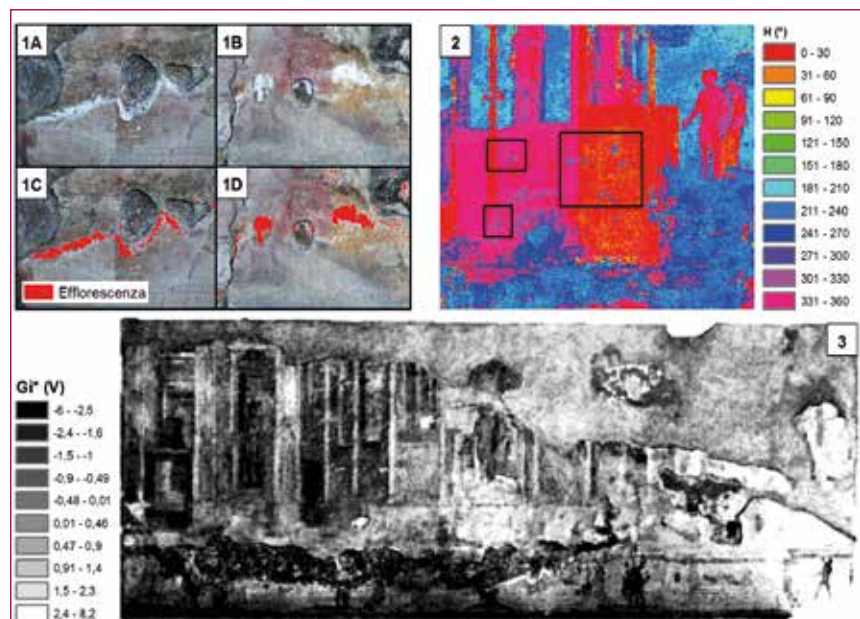


Fig. 3 - (1) Estrazione di sali sull'affresco: confronto tra RGB (1A e 1B) e la corrispondente perimetrazione dell'efflorescenza (1C e 1D). (2) Individuazione di decolorazioni locali tramite il raster della tonalità H. (3) Cluster analysis applicata all'intensità V: viene enfatizzata una progressiva decolorazione spostandosi verso la sinistra dell'affresco.

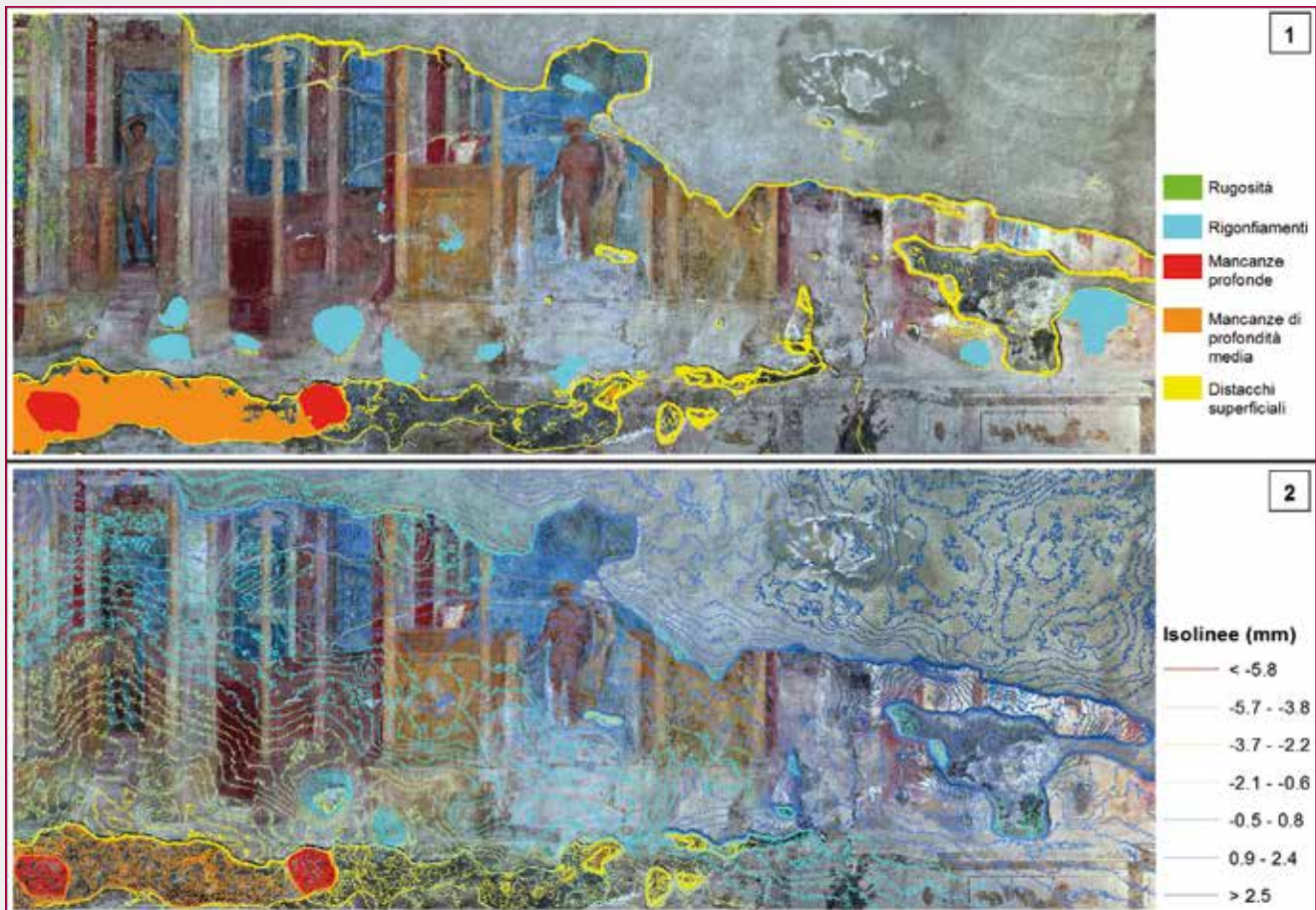


Fig. 4 - (1) Estrazione di mancanze, rigonfiamenti e rugosità sulla parete affrescata. (2) Isolinee derivate dal DSM della parete.

di 12,3 Megapixel. Da questa indagine sono state prodotte (Fig. 1) una ortofoto (risoluzione di 0.77mm) ed un DSM (Digital Surface Model, con risoluzione di 1.74mm).

#### GPR (Ground Penetrating Radar)

I dati GPR sono stati acquisiti utilizzando il Georadar IDS Hi-Mod GPR con un'antenna di frequenza a 2 GHz. L'acquisizione dei dati è stata effettuata su una piccola parte della superficie totale dell'affresco (Fig.2). La non invasività è garantita grazie all'interposizione di un pannello di plastica tra lo strumento e l'affresco, spostando l'antenna in direzione orizzontale. I dati GPR sono stati acquisiti utilizzando una funzione di guadagno manuale con una scansione di 512 campioni per una finestra di registrazione di 30 ns. La spaziatura tra le diverse strisciate di acquisizione orizzontali è stata di 20 cm (che è anche la risoluzione delle immagini raster di output) per una lunghezza massima dei profili longitudinali pari a cinque metri e fino a 0,8-1,0 m di altezza a partire da un metro circa dalla pavimentazione. La velocità nel mezzo dell'onda elettromagnetica è stata stimata intorno a 0,10 m/ns.

#### MIRT (Multitemporal Infrared Thermography)

Le immagini all'infrarosso termico sono state catturate utilizzando una termocamera FLIR SC660 con microbolometro non raffreddato e rivelatore FPA (Focal Plane Array) che lavora nell'intervallo spettrale tra 7,5 e 13 14  $\mu\text{m}$ . L'indagine è stata effettuata il 21/04/2015 nel pomeriggio (dopo le 14:30) con una distanza dal muro affrescato di circa 3 metri

e una temperatura esterna di 26,6 ° C e un'umidità relativa di 88,0%. Sono stati presi tre termogrammi, aventi una risoluzione spaziale di 1.51cm e una risoluzione temporale di 8 minuti.

#### METODI DI ANALISI SPAZIALE

##### Trasformazione da RGB ad HSV

Il primo metodo usato consiste nella trasformazione della immagine realizzata con SfM dal sistema RGB (Red, Green, Blue) al sistema HSV (tonalità, saturazione ed intensità). Ciò perché il sistema HSV si mostra più efficace, nonché più vicino anche alla visione umana, ai fini della classificazione. Di minore efficacia risulta invece il sistema RGB in cui di solito viene effettuata l'acquisizione delle immagini per via della correlazione tra queste tre bande.

##### Map Algebra

La Map Algebra è più che uno strumento di processamento di dati raster: si tratta di un vero e proprio linguaggio di modellazione dei dati spaziali di alto livello, che include operatori, funzioni ed istruzioni che permettono di programmare e sviluppare modelli anche complessi (De Mers 2002). Gli strumenti di map algebra vengono classificati in letteratura come locali, focali e zionali (Tomlin 1990) oltre alle tecniche derivanti dalla combinazione di essi. In questo caso sono state usate le Surface analysis, in particolare la costruzione di isolinee estratte dal DSM e semplici metodi di riclassificazione.

##### Cluster analysis

La cluster analysis permette di valutare il tipo di autocorre-

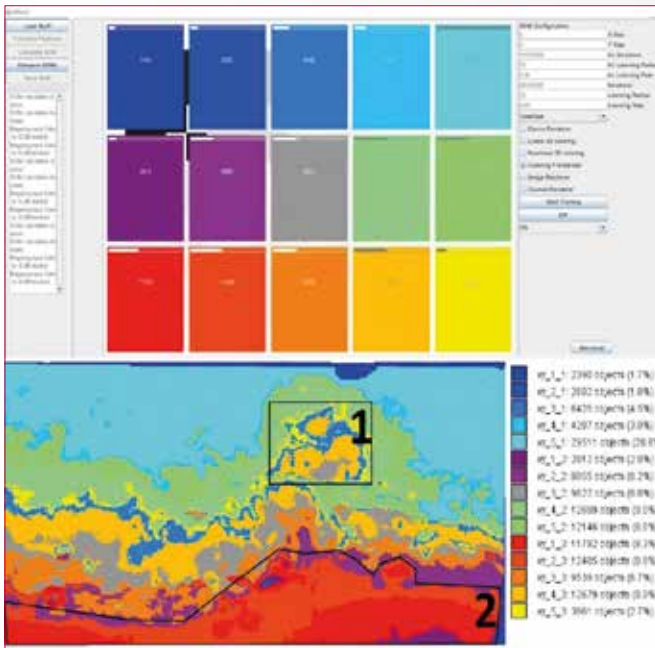


Fig. 5 - Screenshot della SOM analysis con il V-Analytics. (1) Estrazione dell'efflorescenza sulla parete, nella parte dove l'affresco è ormai scomparso. (2) Individuazione del fenomeno di ascisa capillare.

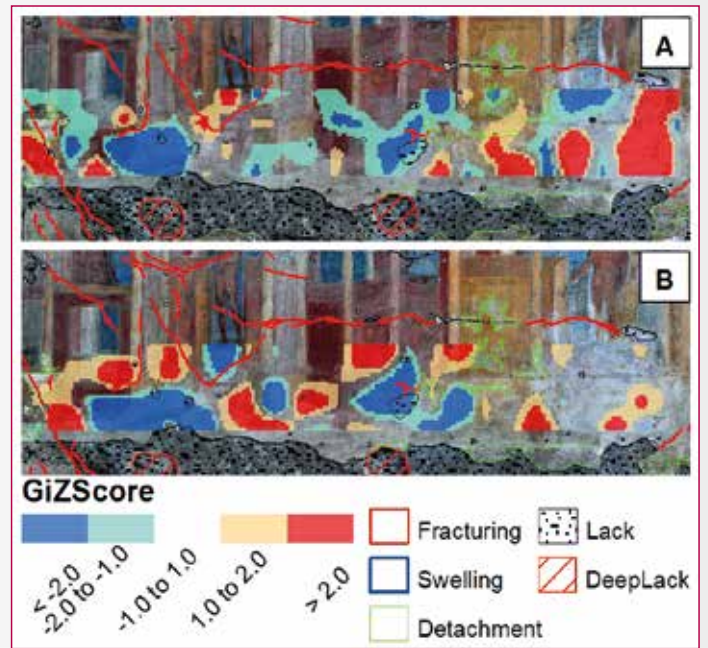


Fig. 6 - Esempio di cluster analysis svolta su una time slice derivante da GPR survey ad una profondità di 0.25 (A) e 3.5cm (B). Le aree in blu e in rosso evidenziano i cold e gli hot spot.

lazione spaziale presente nel campione di dati analizzato. Nello specifico, per gli affreschi, la contemporanea prossimità e somiglianza (autocorrelazione positiva) tra eventi spaziali (pixel) rappresenta le proprietà dei materiali costituenti e aiuta a caratterizzare il loro livello di conservazione o degrado.

In questo lavoro è stato usato l'indice  $G_i^*$  di Getis & Ord (Getis & Ord 1992), definito nella formula 1

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\left[ n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left( \sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2 \right] / (n-1)}}$$

in cui

- ▶  $n$ , nel caso di analisi di un dato raster, è il numero totale di pixel del dataset.
- ▶  $x_j$  rappresenta l'intensità del  $j$ -esimo pixel. Nel caso di studio l'intensità prescelta è data dal valore derivante dai diversi metodi di indagine usati in fase di survey.
- ▶  $\bar{X}$  è il valore atteso degli eventi (media).
- ▶  $w_{i,j}$  è un elemento della matrice dei pesi, usata per concettualizzare e quantificare le relazioni spaziali e quantitative tra gli elementi studiati, ovvero il metodo scelto per la modellazione delle distanze e i criteri di contiguità e influenza tra eventi. In questo lavoro, per il calcolo della matrice dei pesi, sono stati usati sempre i seguenti parametri: la distanza euclidea per la modellazione delle distanze,



Fig. 7 -Mappa finale con le diverse tipologie di degrado individuate, definite e quantizzate in tabella.

il Fixed Distance Band, come metodo per valutare se gli elementi devono essere considerati contigui o meno, con uno spatial lag di 2, essendo il dato trattato di tipo raster (Nolè et al. 2012).

S è la deviazione standard.

L'indice  $G_i^*$  deve essere valutato in contemporanea con l'intensità: alti (bassi) valori di  $G_i^*$  e di intensità indicano autocorrelazione spaziale positiva alta, cioè un hot (cold) spot; lo stesso concetto viene espresso in maniera sintetica dalla versione standardizzata dell'indice, lo  $G_z$  score: maggiore è lo  $G_z$ , maggiore sarà anche l'intensità e si avrà quindi correlazione spaziale positiva.

#### *SOM (Self-organizing map)*

La SOM è uno dei metodi di analisi appartenenti alle Geovisual Analytics, basata sull'organizzazione di processi di informazione in rete analoghi alle reti neurali artificiali.

L'obiettivo di tale metodo è quello di analizzare dati geografici caratterizzati da multidimensionalità ed eterogeneità delle informazioni, allo scopo di ridurre la complessità e la quantità dei dati processati. Le Geovisual Analytics fanno parte della Geovisualization, disciplina finalizzata all'analisi dell'informazione geografica e che integra le grandi capacità di processamento dei computer con l'abilità umana di individuare pattern visivi (MacEachren & Kraak 2001).

Nello specifico la SOM usa l'architettura delle reti neurali per ridurre la multidimensionalità del dataset analizzato ad un lattice bidimensionale tramite un algoritmo di apprendimento non supervisionato (Kohonen 1997). I pixel vengono associati ai nodi di tale lattice e quindi colorati come essi. La clusterizzazione così ottenuta può essere valutata tramite interpretazione visuale e quantitativa allo scopo di estrarre pattern utili, in questo caso, alla caratterizzazione dello stato di degrado dell'affresco analizzato. In questo studio è stato usato il software V-Analytics (Andrienko & Andrienko 2005).

## **RISULTATI**

#### *Conversione in HSV*

I primi risultati si ottengono convertendo l'RGB ottenuto con la SfM in HSV. Dalle analisi effettuate, è emerso che le aree aventi una intensità V superiore a 0.85 sono utili per l'identificazione e l'estrazione di aree caratterizzate dalla formazione di sali sull'affresco (Fig. 3.1A-1B-1C-1D). Inoltre dalla immagine raster della tonalità (corrispondente all'immagine H) è possibile evidenziare ed estrarre le aree con piccoli distacchi locali di pigmenti (Fig. 3.2). Ulteriori informazioni si possono ottenere dall'analisi spaziale, infatti, l'intensità V è stata analizzata con l'indice  $G_i^*$  e ne risulta che, guardando da sinistra verso destra si ha un progressivo fenomeno di decolorazione dei pigmenti pittorici esistenti (Fig. 3.3). Questo è probabilmente dovuto ad una maggiore esposizione di quest'area al sole e più in generale agli agenti esterni.

#### *Analisi del DSM*

Il DSM è stato utilizzato per estrarre i pattern relativi a rigonfiamenti, distacchi e lacune/mancanze, effettuando un contouring su di esso con un intervallo di 0.2mm. A tale scopo, le feature ottenute dal contouring sono state riclas-

sificate in quantili, ottenendo, in tal modo classi, convertite in poligoni, che si differenziano per essere poligoni aperti o chiusi. In particolare, i pattern di interesse, ovvero rigonfiamenti, distacchi e lacune/mancanze sono rappresentati dai poligoni chiusi. Per quanto riguarda, nello specifico, le lacune, sono state individuate tre tipologie, classificate come: superficiali, mediamente profonde e profonde in relazione alla profondità in tre intervalli (Fig. 4.1). È importante considerare che un'analisi di tipo visivo dell'RGB consente di individuare solo le lacune profonde. D'altro canto, dalle analisi effettuate è anche emerso un limite della metodologia utilizzata, essa consente di evidenziare ed identificare solo le fratture maggiori.

Sempre con il contour è stata enfatizzata e rilevata, nella parte a sinistra in alto dell'affresco (precisamente in corrispondenza dello spigolo delle due pareti) un'area caratterizzata da una intensa rugosità (Fig. 4.1). Sulla base della posizione occupata da tale intensa rugosità, se ne può dedurre che essa è stata in larga parte causata da una maggiore esposizione agli agenti esterni ed in particolare al vento, avutasi soprattutto in passato quando non ancora stata installata la tettoia che copre l'affresco.

Infine, è interessante osservare l'andamento complessivo delle isolinee: le aree coperte dai distacchi superficiali hanno la stessa "quota" di alcune aree poste in alto in cui è ancora presente l'affresco (Fig. 4.2, in ciano e bluette). Si ipotizza, pertanto, che in futuro queste aree potrebbero essere più esposte al rischio di distacco, come le zone caratterizzate da rigonfiamento.

#### *Analisi dei dati MIRT in combinazione con la SOM*

Il dataset MIRT è caratterizzato da 425115 osservazioni (603 colonne x 235 righe x 3 valori di temperature derivanti dalle tre misurazioni) per cui sono state analizzate con una SOM di 5x3 elementi. Da questa analisi è stato possibile estrarre il pattern dell'efflorescenza presente sulla parte di parete su cui non c'è più l'affresco (Fig. 5.1). Inoltre, è stato possibile delimitare in basso le aree caratterizzate da un fenomeno di ascesa capillare, con tre diversi livelli di gravità (in Fig. 5.2 dal viola in basso all'arancione chiaro e scuro). Infine, si è ottenuto un risultato che è concorde con quanto ottenuto dall'analisi del DSM: nella parte superiore dell'affresco la SOM clusterizza parte della fascia superiore dell'affresco con una parte della parete in cui l'affresco è già distaccato per cui, ancora una volta quest'area potrebbe essere a più alto rischio di distacco rispetto al resto dell'affresco.

#### *Analisi dei dati derivanti dal GPR in combinazione con la cluster analysis*

Il dataset rilevato con GPR indica le anomalie di adesione tra i diversi layer che compongono la stratigrafia dell'affresco, per cui ogni time slice ottenuta per diverse profondità è stata analizzata con la cluster analysis per evidenziare tale adesione o, eventualmente, la mancanza di essa. In figura sono state individuate in rosso e blu le zone fredde e calde dell'analisi, cioè le zone caratterizzate da migliore e peggiore aderenza. Queste ultime sono visibili soprattutto dalle time slice più superficiali (Fig. 6) e ciò è in perfetto accordo con alcune anomalie trovate con l'infrarosso termico.

# Leica BLK360

**Cattura la realtà 3D premendo un pulsante.**

Leica BLK360 cattura il mondo che ci circonda con immagini panoramiche a colori sovrapposte a una nuvola di punti accurata.

**Il laser scanner imaging più piccolo e leggero**



# Leica BLK3D

**Fai una foto. Misura qualunque cosa.**

Leica BLK3D cattura immagini e fornisce misure precise a portata di dito.

**Condividi immagini e misurazioni in diversi formati.**



Scopri di più



PART OF  
**HEXAGON**

**Leica**  
Geosystems

## CONCLUSIONI

L'analisi degli affreschi è ancora ad oggi prevalentemente affidata all'interpretazione visiva degli output ottenuti dalle analisi strumentali. L'uso di statistiche, analisi spaziali, classificazioni e la combinazione delle diverse metodologie, incluse indagini geofisiche, anche se condotte su uno spazio "geografico improprio", è molto utile all'estrazione e quantificazione di pattern di degrado, poiché permettono di ottenere una mappa oggettiva (Fig. 7) dello stato di conservazione più precisa e completa anche di fenomeni che non sono individuabili solo con l'analisi visiva.

Tramite questo approccio è stato possibile ottenere i seguenti risultati:

- ▶ È stato ricostruito un modello 3D della parete che costituisce la mappa di deformazione della parete stessa e dell'affresco che su di essa si trova.
- ▶ Sono stati estratti e quantificati in automatico diversi pattern di degrado.
- ▶ Sono state individuate delle zone con maggior rischio di ulteriore deterioramento.
- ▶ La mappa finale realizzata (Fig. 7) caratterizza su più livelli l'affresco analizzato e costituisce un primo passo per il restauro, la protezione e la mitigazione dei rischi dell'affresco.

Codice	Tipo di degrado	Estensione (mq)
0	Area con lo stato di conservazione dell'affresco migliore	6.42
	Degrado superficiale:	
1	- Sali	0.93
2	- Aree con rischio di decolorazione	6.62
3	- Rugosità	1.47
	Danno interessante tutta la stratigrafia:	
4	- Rigonfiamenti	0.46
	- Distacchi	
5	- Superficiali	14.95
6	- A media profondità	2.17
7	- Profondi	1.51
8	- Area con rischio di distacco	8.48
	Risalita capillare:	
9	- Bassa	2.37
10	- Media	2.24
11	- Alta	0.59

Fig. 7 - Mappa finale con le diverse tipologie di degrado individuate, definite e quantizzate in tabella

Questo tipo di approccio contiene tuttavia alcune limitazioni, si deve considerare che i diversi layer realizzati con le diverse metodologie di survey hanno risoluzione spaziale e talvolta anche estensione spaziale diversa e ciò comporta un livello di accuratezza variabile dei diversi pattern estratti. Questo aspetto dovrebbe essere ulteriormente approfondito, anche allo scopo di individuare quella che potrebbe essere una risoluzione spaziale "ottimale" ai fini di questo tipo di analisi. Inoltre, la metodologia proposta richiede ulteriore sperimentazione, poiché ciò consentirebbe non solo di sperimentarla su altre tipologie di affreschi ma anche di perfezionarla e migliorarla.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrienko N, Andrienko G (2005) Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach. Springer-Verlag New York, Inc., Avdelidis N.P., Moropoulou A. (2004) "Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures". Journal of Cultural Heritage 5 (2004) 119-127.
- Danese M., Sileo M., Masini N. (2018) Geophysical Methods and Spatial Information for the Analysis of Decaying Frescoes. Survey in Geophysics 39(6), 1149-1166.
- Danese M., Demšar U., Masini N., Charlton M. (2010). Investigating material decay of historic building using Visual Analytics with multi-temporal infrared thermographic data. Archaeometry, 52 (3), 482-501
- De Mers M.N. (2002) - GIS Modeling in raster. USA, p. 55.
- Getis, A., Ord, J. K. (1992) - The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geographical Analysis, 24, 189-206.
- Kohonen T (1997) Self-organizing maps. 3rd edition edn. Springer, Berlin.
- Koloski Ostrow A (1990) The Sarno Bath Complex Roma : "L'Erma" di Bretschneider.
- Lasaponara R., Masini N. (Eds) 2008, Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management, Proc. of I International EARSeL Workshop "Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management", Aracne, Roma, ISBN: 978-88-548-2030-2
- MacEachren AM, Kraak M-J (2001) Research Challenges in Geovisualization Cartography and Geographic Information Science 28:3-12 doi:10.1559/152304001782173970.
- Masini N., Persico R., Rizzo E. et al. 2010, Integrated Techniques for Analysis and Monitoring of Historical Monuments: the case of S. Giovanni al Sepolcro in Brindisi (Southern Italy), Near Surface Geophysics, 8(5), 423-432, doi:10.3997/1873-0604.2010012
- Masini N., Nuzzo L., Rizzo E. (2007) GPR investigations for the study and the restoration of the Rose Window of Troia Cathedral (Southern Italy), Near Surface Geophysics, 5(5), 287-300, doi:10.3997/1873-0604.2007010
- Masini N., Sileo M., Leucci G., et al. (2017) Integrated In Situ Investigations for the Restoration: The Case of Regio VIII in Pompeii, in: N. Masini, F. Soldovieri (eds) Sensing the Past. Geotechnologies and the Environment", vol. 16, Springer, 557-586.
- Masini N., Capozzoli L., Chen P., Chen F., Romano G., Lu P., Tang P., Sileo M., Ge Q., Lasaponara R. (2017). Towards an operational use of geophysics for Archaeology in Henan (China): Archaeogeophysical investigations, approach and results in Kaifeng. Remote Sensing 9 (8), 809, doi: 10.3390/rs9080809
- Nolè G., Danese M., Murgante B., Lasaponara R., Lanorte A. 2012 Using spatial autocorrelation techniques and multi-temporal satellite data for analyzing urban sprawl. International Conference on Computational Science and Its Applications 512-527 Springer, Berlin, Heidelberg
- Tomlin C.D. (1990) - Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

## ABSTRACT

The paper presents a combination of geophysics technologies and spatial analysis methods for the analysis of an improper geographical space: the frescoes of the east wall at the Gymnasium (Pompeii). This allows to construct a decay map and to quantify decay patterns found as a first step for restoration, protection and mitigation of the risk that involves the frescoes.

## PAROLE CHIAVE

AFFRESCHI, ANALISI SPAZIALI, STRUCTURE-FROM-MOTION, TERMOGRAFIA MULTITEMPORALE, GPR

## AUTORE

MARIA DANESE, MARIA.DANESE@CNR.IT

NICOLA MASINI, NICOLA.MASINI@CNR.IT

MARIA SILEO, MARIA.SILEO@CNR.IT

ISTITUTO DI SCIENZE PER IL PATRIMONIO CULTURALE (ISPC)-CNR  
CONTR.DA S. LOJA, 85050 TITO (Pz)

ROSA LASAPONARA, ROSA.LASAPONARA@CNR.IT

ISTITUTO DI METODOLOGIE DI ANALISI AMBIENTALE (IMAA)-CNR  
CONTR.DA S. LOJA, 85050 TITO (Pz)

# S800A Oltre l'immaginazione

Ricevitore GNSS con 394 canali e alte prestazioni



## atlas®

- aRTK, è in grado di continuare a generare posizioni precise fino a 20 minuti in caso di perdita del segnale RTK
- SureFix, fornisce posizioni RTK ad alta fedeltà anche in condizioni avverse
- ATLAS, servizio di correzione globale GNSS per un posizionamento di precisione in tutto il mondo
- Non è richiesta alcuna stazione base o network RTK
- Tre diversi livelli di correzione a seconda della precisione richiesta



**H100**  
1 m 95% (50 cm RMS)



**H30**  
30 cm 95% (15 cm RMS)



**H10**  
8 cm 95% (4 cm RMS)