

Monitoraggio dello stato di conservazione delle opere d'arte della Collezione Gori = In situ monitoring of the conservation

*Original*

Monitoraggio dello stato di conservazione delle opere d'arte della Collezione Gori = In situ monitoring of the conservation state of the Gori's collection works of art / Es Sebar, L.; Parvis, M.; Grassini, S.; Angelini, E.. - In: LA METALLURGIA ITALIANA. - ISSN 0026-0843. - STAMPA. - 4-12:(2020), pp. 73-77.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2840603 since: 2020-07-17T16:48:58Z

*Publisher:*

Associazione Italiana di Metallurgia

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Monitoraggio dello stato di conservazione delle opere d'arte della Collezione Gori

a cura di: L. Es Sebar, M. Parvis, S. Grassini, E. Angelini

Il monitoraggio dello stato di conservazione dei manufatti metallici è di grande rilevanza nel mondo dei beni culturali ed è essenziale per lo sviluppo di metodologie e buone pratiche per la conservazione preventiva di manufatti metallici d'interesse storico-artistico esposti all'aperto. In questo lavoro è presentato il monitoraggio di una scultura in bronzo appartenente alla Collezione d'arte Gori, raccolta privata di un grande numero di opere d'arte moderna, realizzate all'interno di un programma di arte ambientale. In particolare è stato eseguito uno studio tramite l'impiego di tecniche non invasive, applicabili in situ, che permettessero di attestare la presenza dei fenomeni corrosivi in atto e la caratterizzazione delle patine di corrosione presenti. Le tecniche impiegate sono la spettroscopia di impedenza elettrochimica (EIS), la spettroscopia Raman e la fotogrammetria. Mediante lo sviluppo di un approccio d'indagine multi-analitico è stato possibile valutare nel complesso lo stato di conservazione dell'opera e la capacità protettiva delle patine.

**PAROLE CHIAVE:** bronzo, EIS, Raman, fotogrammetria, corrosione atmosferica

## INTRODUZIONE

La collezione Gori è una raccolta privata di opere d'arte contemporanea e ambientale situata a Santomato, in provincia di Pistoia. La collezione è costituita da 80 opere d'arte, commissionate dai proprietari a artisti nazionali e internazionali ed è attualmente esposta nella Fattoria di Celle. La sua realizzazione si inserisce all'interno di un progetto di arte ambientale, in cui lo spazio che la circonda diventa parte integrante di essa [1]. Gran parte delle opere sono state realizzate in loco e sono esposte alle condizioni ambientali esterne e a contatto con il suolo. Inoltre, nonostante la recente realizzazione delle sculture e delle installazioni costituenti la collezione, sono poche le informazioni riguardanti i materiali impiegati, le tecniche di produzione e l'attuale stato di conservazione delle stesse. Questo lavoro ha quindi come scopo principale quello di eseguire uno studio approfondito dei fenomeni di degrado che interessano le opere in bronzo al fine di poter definire un progetto di conservazione preventiva. È di grande interesse, infatti, lo studio dell'interazione che le opere hanno con l'ambiente e la definizione dei parametri am-

**M. Parvis**

Dip. Elettronica e Telecomunicazioni, Politecnico di Torino, Torino

**L. Es Sebar, S. Grassini, E. Angelini**

Dip. Scienza applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino, Torino

bientali che influiscono sul comportamento a corrosione dei manufatti [2].

Dal 2018 è stata intrapresa una campagna di monitoraggio in situ con un approccio multi-analitico, che ha previsto l'impiego di tecniche portatili, quali la spettroscopia Raman per la caratterizzazione delle patine di corrosione presenti e la spettroscopia di impedenza elettrochimica per la valutazione del comportamento a corrosione dei manufatti e la capacità protettiva delle patine. Le due tecniche di indagine sono state eseguite per poter correlare il colore e la composizione chimica delle patine di corrosione con il loro potere protettivo. Inoltre, sono state eseguite misure di fotogrammetria per la restituzione di un modello 3D, che documentasse in maniera completa lo stato di conservazione delle opere.

La campagna di misure è attualmente in corso; saranno presentati e discussi i risultati preliminari ottenuti in particolare sull'opera nota come "Cavaliere".

## MATERIALI E METODI

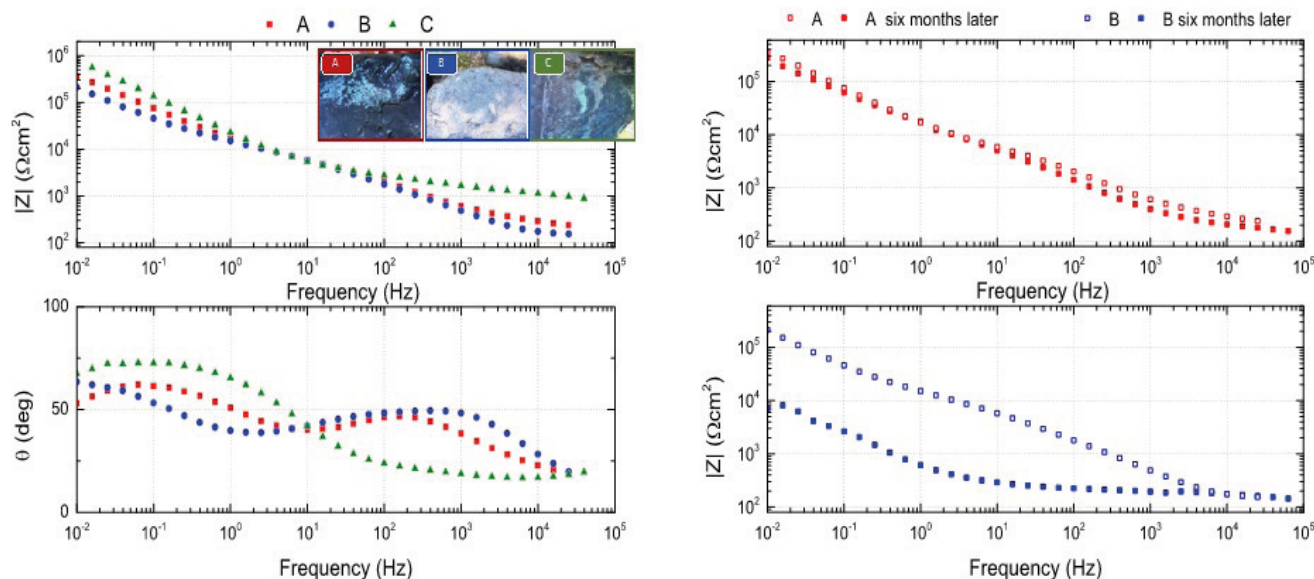
L'opera oggetto di studio è "Cavaliere", scultura in bronzo realizzata dall'artista Marino Marini nel 1980. La scultura è installata presso i giardini della Fattoria, esposta agli agenti atmosferici esterni e in contatto diretto con il suolo. La scultura presenta sulla superficie patine di prodotti di corrosione di colori diversi. Sono presenti ad esempio patine scure e patine verdi di diverse tonalità. Inoltre, la statua presenta zone in cui l'acqua può facilmente ristagnare e zone in cui invece è chiara la presenza di dilavamenti.

I fenomeni corrosivi in atto e la capacità protettiva delle patine di corrosione presenti sono stati studiati mediante misure di spettroscopia di impedenza elettrochimica (EIS) in situ. Le misure d'impedenza sono state condotte utilizzando un'interfaccia commerciale portatile (Ivium-CompactStat.e 10800) e celle di misura appositamente realizzate presso il Politecnico di Torino per l'analisi di manufatti metallici di interesse storico artistico. Le celle di misura, realizzate tramite stampa 3D in acrilonitrile-butadiene-stirene (ABS), sono in grado di aderire al substrato per mezzo di un dischetto biadesivo che, una volta rimosso, non lascia alcuna traccia sulla superficie dell'opera. Le celle sono

dotate di una camera di misura centrale (diametro 8 mm) che viene riempita con la soluzione elettrochimica appropriata [3]. Le misure EIS sono state eseguite in una soluzione 0.1 M di  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  al potenziale di libera corrosione ( $E_{\text{OCP}}$ ), applicando un segnale sinusoidale di 10 mV, nell'intervallo di frequenza  $10^{-2}$ - $10^5$  Hz.

La caratterizzazione chimica e microstrutturale delle patine di corrosione è stata eseguita tramite l'apparato portatile i-Raman Plus con laser di eccitazione a 532 nm e spettrometro BWS465-532S (intervallo di misura: 150 – 4200  $\text{cm}^{-1}$ , risoluzione 7.3  $\text{cm}^{-1}$ ) accoppiato con un sensore CCD ad alta efficienza quantica e ampio intervallo dinamico, assistito da sistema di raffreddamento. Le misure sono state eseguite con il 20% della potenza del laser (potenza 30 mW sul campione), con un tempo di integrazione di 30 s, eseguendo 3 ripetizioni per ogni area.

Una documentazione completa dello stato di conservazione della statua è stata ottenuta mediante misure di fotogrammetria. Per l'acquisizione dei dati è stata impiegata una Nikon D3100 con obiettivo Nikkor 18-55 mm. Le immagini sono state acquisite fissando la lunghezza focale dell'obiettivo a 18 mm, con apertura f/6.3 per assicurarsi che il manufatto fosse sempre a fuoco, un tempo di esposizione di 1/125 e valore ISO 400. All'interno della scena acquisita sono stati inseriti dei marker per facilitare la ricostruzione delle posizioni acquisite dalla fotocamera. Inoltre, la distanza dei marker è stata misurata per poter scalare il modello finale. Sono state acquisite più foto intorno alla scultura ad altezze diverse e anche immagini ravvicinate per definire le aree coperte. Infine è stata acquisita un'immagine completa della scultura con color chart. Le immagini sono state salvate in formato RAW. Per la restituzione del modello 3D è stato impiegato il software Agisoft Photoscan Professional. Inizialmente, l'allineamento delle immagini, la creazione della nuvola densa di punti e della mesh sono stati eseguiti ad una qualità media per poter poi identificare i marker in maniera automatica su tutte le immagini. Successivamente è stata selezionata solo la regione di interesse e si è proceduto con la ricostruzione del modello alla massima qualità.



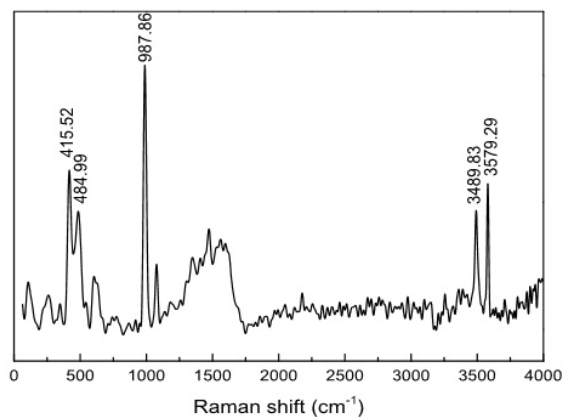
**Fig.1** - Sulla sinistra, andamento del modulo e della fase d'impedenza e immagini delle aree di analisi A, B e C. Sulla destra, confronto dell'andamento del modulo d'impedenza nei punti A e B con distanza di 6 mesi / On the left, impedance spectra and images of the analyzed areas. On the right, comparison of impedance spectra collected with a distance of 6 months.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

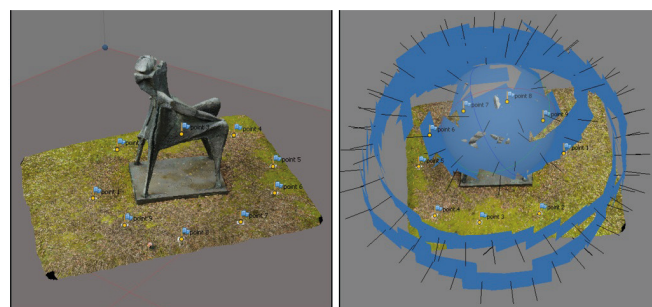
Le misure di impedenza elettrochimica sono state condotte in aree diverse della superficie dell'opera che presentavano patine di colore diverso. In Fig. 1(sx) sono riportati gli spettri d'impedenza registrati durante la prima campagna di misure condotta a novembre 2018. Gli spettri d'impedenza permettono di distinguere tra due diversi comportamenti elettrochimici: gli spettri registrati sui punti di analisi A e B, caratterizzati rispettivamente dalla presenza di una patina nera con cristalli di colore verde brillante e da una patina di colore verde chiaro, presentano un andamento del modulo e della fase dell'impedenza simile, mentre il punto C con patina di colore verde brillante più omogenea, si differenzia soprattutto per quanto riguarda l'andamento della fase. Gli spettri registrati nei punti A e B sono caratterizzati da un valore del modulo d'impedenza,  $|Z|$ , superiore a  $10^5 \Omega\cdot\text{cm}^2$  a basse frequenze, a conferma della buona stabilità elettrochimica della patina. L'andamento della fase, superiore ai  $50^\circ$  a bassa frequenza, indica un comportamento capacitivo-diffusivo correlabile con la presenza di uno strato di prodotti di corrosione caratteriz-

zato da porosità. Il punto C presenta invece uno spettro d'impedenza con valori del modulo che si approssimano ai  $10^6 \Omega\cdot\text{cm}^2$  a bassa frequenza, con una fase che approssima un valore resistivo alle alte frequenze. Nel complesso, le misure d'impedenza evidenziano la buona capacità protettiva delle patine di corrosione.

Una successiva campagna di misure è stata condotta dopo 6 mesi (aprile 2019) al fine di valutare la stabilità e la capacità protettiva delle patine in funzione del tempo di esposizione ai fenomeni di corrosione atmosferica. In Fig. 1(dx) sono riportati i grafici di Bode del modulo d'impedenza registrati sui punti A e B precedentemente analizzati. Come è possibile osservare, gli spettri registrati in corrispondenza del punto A non mostrano alcun cambiamento rilevante dell'andamento del modulo d'impedenza, che a bassa frequenza mantiene valori superiori ai  $10^5 \Omega\cdot\text{cm}^2$ . Al contrario in corrispondenza del punto B si evidenzia una significativa riduzione della capacità protettiva della patina, come confermato dalla riduzione del modulo d'impedenza di circa un ordine di grandezza.



**Fig.2** - Spettro Raman acquisito su area C. / Raman spectrum acquired on area C.



**Fig.3** - Sulla sinistra, modello 3D con indicata la posizione dei marker. Sulla destra, strategia di acquisizione delle immagini. / On the left, 3D model with markers. On the right, the imaging strategy.

## CONCLUSIONI

La possibilità di eseguire un monitoraggio in situ dello stato di conservazione di un'opera in bronzo in funzione del tempo di esposizione ai fenomeni di corrosione atmosferica è un potente strumento per la conservazione preventiva dell'opera stessa. Grazie alle misure di spettroscopia di impedenza elettrochimica ed alle analisi Raman è stato possibile valutare il potere protettivo delle patine presenti e definirne la stabilità, evidenziando l'insorgere di fenomeni corrosivi in corrispondenza di punti specifici dell'opera che potrebbero quindi richiedere un intervento di restau-

ro. La fotogrammetria, ha permesso e permetterà in futuro di documentare in maniera completa l'evolversi dello stato di conservazione del manufatto in funzione del tempo di esposizione all'atmosfera, aiutando i curatori dell'opera a definire un progetto di conservazione preventiva.

## Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il Dr. Giuliano Gori della Fattoria di Celle per aver dato la disponibilità per l'accesso all'opera oggetto di studio e per la preziosa collaborazione alla ricerca in corso.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] [www.goricoll.it](http://www.goricoll.it)
- [2] Angelini E., Posada C.E.A., Di Francia E., Grassini S., Iannucci L., Lombardo L., Parvis M., Indoor and outdoor atmospheric corrosion monitoring of cultural heritage assets, 2018, *La Metallurgia Italiana*, 4: 34-41
- [3] Grassini S., Corbellini S., Parvis M., Angelini E., Zucchi F., A simple Arduino-based EIS system for in situ corrosion monitoring of metallic works of art, 2016, *Measurement*, 508-514
- [4] Bouchard M., Smith D.C., Catalogue of 45 reference Raman spectra of minerals concerning research in art history or archaeology, especially on corroded metals and coloured glass, 2003, *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.*; 59(10):2247-66
- [5] Frost R.L., Raman spectroscopy of selected copper minerals of significance in corrosion, 2003, *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.*, 59(6):1195-204

# In situ monitoring of the conservation state of the Gori's collection works of art

The monitoring of the conservation state of metallic artefacts is of great importance in the world of cultural heritage in particular to develop tailored methodologies and best practices for the preventive conservation of works of art. This work presents the monitoring campaign of a bronze sculpture belonging to the Gori Art Collection, a private collection of a large number of modern works of art, created within an environmental art program. In particular, the study was carried out using non-invasive techniques, performed in situ, which allowed to attest the presence of corrosive phenomena and the characterization of corrosion patinas. The techniques employed are electrochemical impedance spectroscopy (EIS), Raman spectroscopy and photogrammetry. Through a multi-analytical approach it was possible to assess the overall conservation state of the artefact and the protective effectiveness of the patinas.

**KEYWORDS:** bronze artefacts, EIS, Raman spectroscopy, photogrammetry, atmospheric corrosion