



**WP4 – Analisi e diagnostica in-situ e remota**  
**Task 4.4: Analisi e diagnostica in-situ di manufatti metallici**

**Report SAL IV, Gennaio 2020**

*Cecilia Bartuli* (Responsabile Task 4.4)

Dip. Ingegneria Chimica Materiali Ambiente, Università “La Sapienza” di Roma

L'attività del Task 4.4 si è conclusa con l'analisi critica dei dati combinati di spessore e di velocità di corrosione relativi alle patine superficiali presenti sulle formelle novecentesche in bronzo del portale centrale della Chiesa di Santa Maria del Popolo in Roma.

In Fig. 1 sono riassunti, a titolo di esempio, i valori di spessore (in micron, rivelati mediante spessimetro a correnti indotte) e velocità di corrosione (in micron/anno, rilevati attraverso misure di resistenza di polarizzazione lineare) nelle formelle A7 e A8. In generale i valori riscontrati sono, come spesso si riscontra nei bronzi moderni patinati artificialmente, abbastanza elevati (variabili tra 0.5 e 10  $\mu\text{m}/\text{anno}$ ) e paragonabili quindi a quelli misurati durante il procedimento di taratura della strumentazione elettrochimica e corrispondenti a sottili patine superficiali.

La distribuzione molto varia dei valori di velocità di corrosione è da attribuirsi a diversi effetti, nel seguito discussi, ma è in particolare caratteristica di bronzi patinati artificialmente mediante trattamento superficiale con agenti acidi, e successivamente parzialmente e disuniformemente rinettati dall'artista. Si veda ad esempio in Fig. 1c un difetto nella uniformità cromatica della patina in corrispondenza all'accumulo e alla successiva colatura della soluzione corrosiva impiegata per la patinatura.

Al fine di individuare relazioni significative tra la qualità delle patine osservate e la loro capacità di offrire protezione nei confronti dei processi elettrochimici di corrosione a umido del substrato bronzeo, sono state analizzate correlazioni tra i principali parametri investigati.

In Fig.2 si riporta la correlazione tra i dati di spessore medio della patina superficiale - misurati nelle diverse aree delle formelle analizzate, caratterizzate da diverso colore, aspetto e lucentezza - e i dati di velocità di corrosione media in corrispondenza delle medesime aree. Si osserva che i dati sono tra loro molto poco correlati, come evidenziato da un coefficiente di correlazione,  $R^2$ , molto basso, pari a solo 0.1. In ogni caso, una correlazione inversa può eventualmente essere identificata tra lo spessore della patina e la sua capacità protettiva, ad indicare che patine più spesse, prodotte mediante aggressivi processi di patinatura artificiale acida, non rappresentano sempre un sistema di protezione efficace e mostrano un effetto barriera nei confronti delle specie aggressive talvolta meno evidente. D'altro canto, patine più sottili, accresciutesi naturalmente a partire da superfici nude per interazione con l'ambiente umido ossidante, possono in alcuni casi offrire un più efficace effetto di protezione del bronzo sottostante.

In Fig. 3 si evidenzia invece la correlazione tra la deviazione standard dei valori di spessore misurati su zone caratterizzate da qualità uniforme (espressi come % rispetto al valore medio) e la relativa velocità di corrosione media. Tale correlazione è stata investigata allo scopo di identificare eventuali effetti della disuniformità delle patine analizzate sulla capacità protettiva delle stesse. Risulta evidente che la correlazione è in questo caso più forte della precedente, come dimostrato da un valore di  $R^2$  pari a 0.37. Ciò può indicare che le patine più uniformi sono le più

compatte e sono verosimilmente caratterizzate da una minore porosità/permeabilità, risultando quindi mediamente più protettive.

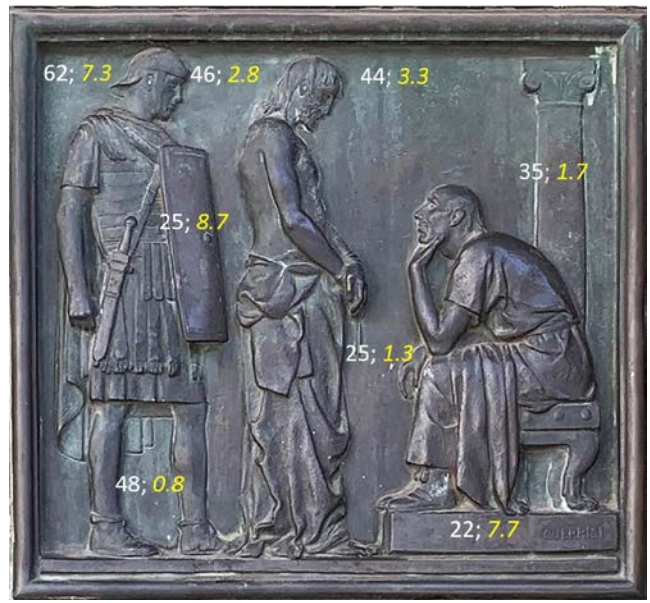
Infine, un esame più attento ed organico dei dati sperimentali raccolti può permettere di giungere alle seguenti conclusioni, utili anche a guidare eventualmente gli operatori nell'intervento di restauro delle porte bronzee:

1. Le patine caratterizzate da un colore verde acceso e da una tessitura superficiale grossolana (Fig. 1 d-e), corrispondente ad una più elevata rugosità, sono localizzate generalmente nella parte alta delle diverse formelle e raggiungono spessori dell'ordine del centinaio di micron, con deviazioni standard piuttosto elevate (30-50%). Lo spessore elevato è da attribuirsi alla volontà dell'artista di rappresentare la luminosità dei cieli utilizzando una patina più chiara e meno brillante, e nello stesso tempo, è una conseguenza dell'effetto schermante della cornice superiore delle formelle rispetto all'azione dilavante della pioggia. Per queste patine, porose e grossolane, la velocità di corrosione mostra valori piuttosto elevati pari a 7-10  $\mu\text{m}/\text{anno}$ .
2. Le patine più critiche dal punto di vista della pulitura appaiono certamente quelle di colore bruno scuro. Esse sono infatti generalmente caratterizzate da spessori ridotti (appena 20-30  $\mu\text{m}$ ), non molto variabili (deviazioni standard del 20-30%), ma ad esse corrispondono valori generalmente elevati di velocità di corrosione (8-10  $\mu\text{m}/\text{anno}$ ). È molto probabile che esse siano il risultato di un'azione abrasiva effettuata dall'artista sulla originale patina artificiale, per perseguire effetti cromatici o di contrasto particolari (si vedano in Fig.1 lo sfondo dietro al dorso del Cristo nella formella A7, lo scudo del soldato in A8 o la base su cui poggia il seggio di Erode in A8, dove è visibile la firma dell'autore). Mantenere invariato lo spessore di tali aree risulterà particolarmente importante, e un effetto di pulitura potrà verosimilmente portare ad un iniziale importante incremento della velocità di corrosione.
3. L'effetto della lucidatura e dell'assottigliamento delle patine dovuto all'azione ripetuta del contatto con le mani dei visitatori (per atto di devozione o semplice curiosità) è talvolta visibile in alcuni dettagli di maggiore rilievo nelle formelle posizionate ad altezza d'uomo. Si confrontino, ad esempio, la patina indisturbata sopra il dorso del Cristo in A7 (spessore 38  $\mu\text{m}$ ,  $v_{\text{corr}}$  9.2  $\mu\text{m}/\text{anno}$ ) con la patina lucida in corrispondenza del dorso della figura (spessore di poco inferiore, pari a 32  $\mu\text{m}$ , e  $v_{\text{corr}}$  molto più limitata, pari 3.8  $\mu\text{m}/\text{anno}$ ). Si evidenzia quindi una leggera compattazione della patina, un effetto di pulitura continua dagli agenti aggressivi e una probabile sigillatura ad opera di polvere o sostanze grasse nei pori dello strato superficiale, che assume quindi una maggior capacità protettiva. Anche in questo caso è molto probabile che si possa prevedere, in fase di intervento di pulitura, un subitaneo consistente aumento della velocità di corrosione in tali zone, che dovrà essere efficacemente contrastato da opportuni rivestimenti protettivi.

Roma, 22 Gennaio 2020



a



b



c

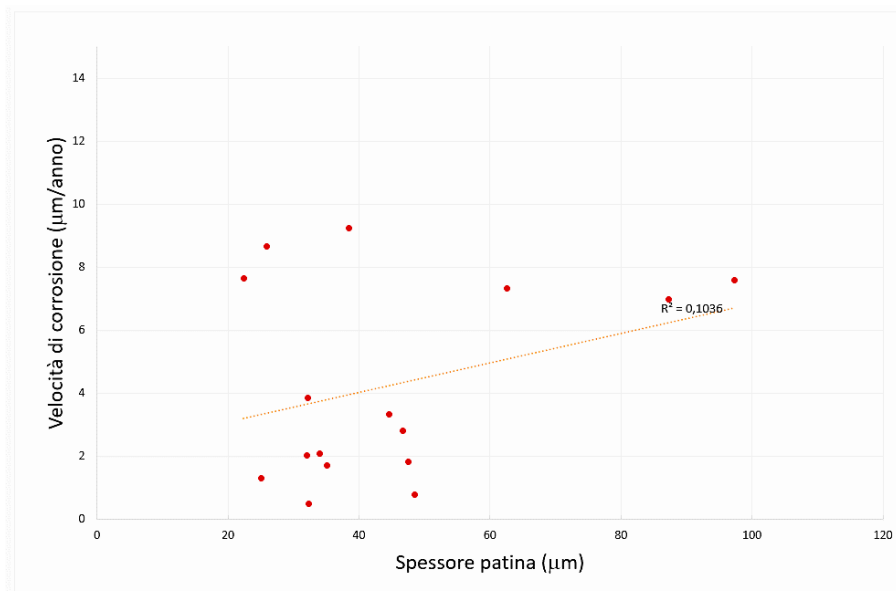


d

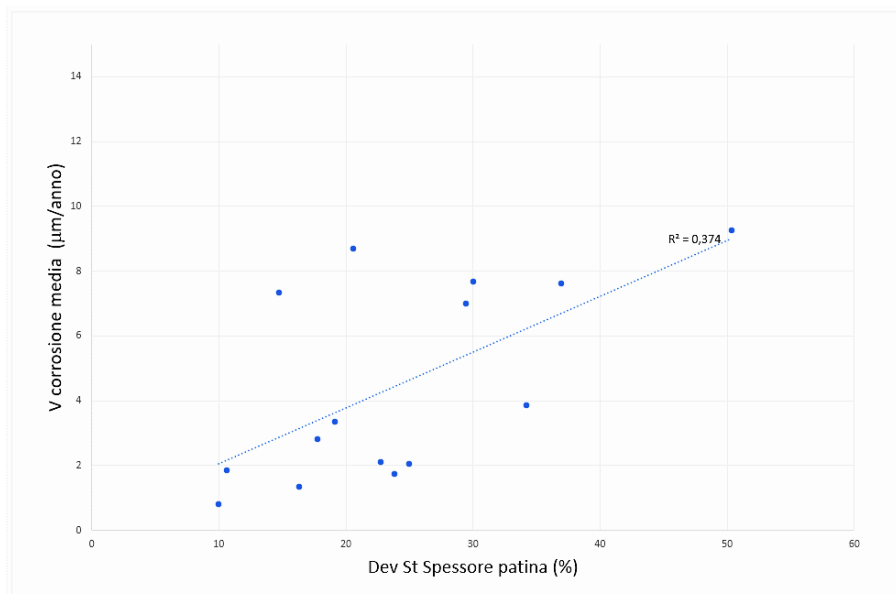


e

Fig. 1 Formelle A7 (a) e A8 (b): indicazione dello spessore medio della patina (espresso in  $\mu\text{m}$ , in bianco) e della velocità media di corrosione (espressa in  $\mu\text{m}/\text{anno}$ , in giallo). Dettaglio di probabile colatura della soluzione patinante (c). Dettagli delle patine grossolane caratterizzate dai maggiori spessori (d ed e)



**Fig. 2** Correlazione tra lo spessore (in mm) delle patine rilevato mediante spessimetro a correnti indotte in aree di diverso aspetto e colore delle formelle analizzate e la relativa velocità di corrosione (espressa in mm/anno) rilevata mediante misure di resistenza di polarizzazione lineare.



**Fig. 3** Correlazione tra la deviazione standard dei valori di spessore delle patine (in % rispetto al valore medio) in ogni punto caratterizzato da diverso colore, aspetto e lucentezza, e la relativa velocità di corrosione media.