

# Simulazione di fenomeni corrosivi in componenti automotive

A. Ferrarotti, R. Rocca, M. Baricco, R. Costa, C. Errigo, G. Marchiaro

Lo studio dei fenomeni di corrosione è di primaria importanza nell'industria metallurgica e automotive. Con l'avvento e l'utilizzo di veicoli ad alimentazione e propulsione elettrica è cresciuto l'interesse verso la corrosione delle parti connesse con le batterie e con il loro sistema di ricarica. Da qui è nata la necessità di effettuare test di corrosione su componenti del pacco batterie, dette "busbars". Inoltre, la simulazione di fenomeni fisici tramite software basati sugli elementi finiti, è divenuta recentemente largamente diffusa, offrendo la possibilità di risparmiare in termini di tempo e costi. Per questo studio è stata considerata una busbar di rame rivestita con uno strato di lega a base nichel (Alloy 600) di 2  $\mu\text{m}$  di spessore medio iniziale. L'obiettivo del lavoro è valutare, tramite simulazione FEM e prove empiriche, il consumo nel tempo del rivestimento, esposto ad una nebbia salina (NaCl 5%wt). La simulazione oggetto di questo studio, effettuata utilizzando il software COMSOL Multiphysics, è stata condotta per un tempo di esposizione all'agente corrosivo fino a 1000 h, con intervalli di 100 h.

**PAROLE CHIAVE:** CORROSIONE, BUSBAR, SIMULAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI

## INTRODUZIONE

Lo studio dei fenomeni di corrosione è di primaria importanza nell'industria manifatturiera, sia per quanto riguarda i componenti strutturali sia per quelli funzionali. In componenti metallici rivestiti, il fenomeno di corrosione si manifesta come deterioramento dei prodotti, causato dall'interazione con agenti esterni (suolo, atmosfera, acqua). La corrosione di componenti metallici può essere generale o localizzata, a seconda di quale parte dei prodotti è soggetta a deterioramento, rendendo il suo controllo e la prevenzione fondamentali per evitare il verificarsi di danni di grande entità. [1] Nel settore automotive, l'attenzione è rivolta principalmente alla prevenzione di fenomeni corrosivi che interessano sia le parti dei veicoli esposte agli agenti atmosferici, sia quelle sottoposte ad altri tipi di aggressione, tra cui sollecitazioni termiche o meccaniche relativamente elevate. [2,3] Generalmente lo studio di questi fenomeni è condotto attraverso prove empiriche, tra cui trovano largo impiego le prove di corrosione accelerata, che simulano il meccanismo corrosivo cercando di avvicinarsi il più possibile a condizioni "reali". Nello specifico, nell'industria automobilistica, i test di corrosione accelerata riguardano principalmente

**A. Ferrarotti, M. Baricco**

Dipartimento di Chimica e NIS - INSTM,  
Università degli Studi di Torino

**G. Marchiaro, C. Errigo, R. Costa**

Centro Ricerche Fiat, C.R.F. S.C.p.A, Torino

L'analisi dei componenti sottoposti ad aggressione in nebbia salina ed esposizione all'umidità. [4,5] Nelle prove in nebbia salina, eseguite in specifiche apparecchiature sperimentali, la soluzione viene nebulizzata sul componente, simulando le condizioni esterne di esposizione agli agenti atmosferici, e viene misurata la degradazione del substrato in funzione del tempo. Durante l'esposizione alla nebbia salina, l'atmosfera di prova è statica, al fine di mantenere un unico ambiente aggressivo, con precisi valori di temperatura e umidità. [4-6] L'interazione dell'umidità viene anche studiata riflettendo le condizioni di servizio di un veicolo mediante l'applicazione, in specifiche camere sperimentali, di livelli di umidità controllati, tipicamente variabili dal 60% al 95%. Inoltre, i cicli di umidità vengono frequentemente alternati a cicli a secco e abbinati ad una variazione di temperatura, al fine di prevedere alterazioni del sistema in condizioni altamente critiche. Pertanto, lo scopo di queste prove è misurare o lo spessore dello strato di ossido che si forma o l'assottigliamento, a diversi intervalli di tempo, del rivestimento metallico applicato al componente. Apparentemente, questi metodi sperimentali sono semplici e relativamente poco costosi, tuttavia richiedono molto tempo, poiché alcuni componenti devono essere testati per lunghi periodi. [4,5,7]

Per i motivi sopra citati, la simulazione dei fenomeni di corrosione basata su regole termodinamiche, elettrochimiche e proprietà intrinseche dei materiali, è diventata oggi sempre più importante e spesso impiegata in alternativa o a supporto delle prove sperimentali. La simulazione dei fenomeni corrosivi risulta utile poiché, in primo luogo, può essere utilizzata per effettuare valutazioni preliminari sui materiali più adatti per l'applicazione richiesta e, inoltre, perché può sostituire o coadiuvare le prove empiriche per valutare la resistenza alla corrosione dei manufatti. [8,9] Uno dei principali approcci per simulare i fenomeni di corrosione è l'utilizzo del FEM (Finite Elements Method, metodo agli elementi finiti). [8,10] Le analisi basate su questo metodo sono costruite partendo dal presupposto che un componente complesso possa essere suddiviso in tanti piccoli domini (i cosiddetti 'elementi finiti'), all'interno dei quali semplici equazioni, relative alla termodinamica, cinetica o fenomeni di trasporto, possono essere applicate per descriverne il comportamento chimico-fisico. Le proprietà globali dell'oggetto

sono quindi date dalla somma di tutti i singoli elementi finiti in cui l'oggetto è suddiviso, ciascuno caratterizzato da uno specifico comportamento. [10]

Diversi software che si basano su FEM, per risolvere le equazioni alle derivate parziali, sono attualmente distribuiti, e uno dei più popolari è COMSOL Multiphysics. [11] Il termine "multiphysics" indica che molti meccanismi fisici possono essere combinati e implementati per descrivere accuratamente i complessi fenomeni reali. Il 'workflow' di questo software inizia con la selezione del sistema di input su cui verrà effettuata l'analisi; si può importare un file preesistente, costruito con altri programmi di modellazione o disegno tecnico (ad esempio AutoCAD), oppure si può disegnare il componente direttamente con il software, utilizzando alcuni strumenti implementati. Il secondo step è la selezione dei materiali e dei fenomeni fisici coinvolti, con l'assegnazione di parametri adeguati a ciascun componente del sistema. Dopo questi passaggi preliminari, è necessaria la definizione della struttura in elementi finiti (la cosiddetta 'mesh' o griglia), per descrivere il componente, ed in particolare il substrato protettivo. La dimensione della mesh può essere stabilita dall'utente o definita automaticamente dal software. Più fine è la mesh, più accurata e puntuale sarà la simulazione, a discapito però del tempo e delle risorse di calcolo necessarie. Infine, al termine dei calcoli di simulazione, il software restituirà grafici e tabelle che possono essere interpretati e analizzati direttamente o tramite altri programmi basati su fogli di calcolo (ad esempio Excel, Origin). [8-10,12]

Lo scopo dell'attività svolta e presentata in questo lavoro è quello di applicare il metodo degli elementi finiti, utilizzando il software di simulazione COMSOL Multiphysics, per prevedere l'entità della corrosione nel tempo in una busbar, componente essenziale dei veicoli a propulsione elettrica.

## **MATERIALI E METODI**

L'oggetto di studio è una busbar, componente interna al pacco batteria di veicoli a propulsione elettrica. La busbar, di dimensioni 40 mm x 100 mm, presenta al centro un foro di 10 mm ed è costituita da rame e rivestita con uno strato protettivo di lega a base nichel (Alloy 600) di 2  $\mu\text{m}$  di spessore medio iniziale. La lega Alloy 600 è una lega nichel-cromo-ferro utilizzata per applicazioni che richie-

dono sia resistenza a corrosione sia tolleranza a temperature elevate. Tale lega presenta una percentuale minima di nichel del 72%, una di cromo compresa tra 14% e 17%, una di ferro tra 6% e 10% e percentuali inferiori all'1% di altri elementi (Mn, Si, Cu, C, S). Questo costituisce il rivestimento resistente alla corrosione, del quale occorre valutare il degrado al variare del tempo di esposizione ad una nebbia salina all'interno di una camera sperimentale SC/KWT 1000, prodotta da Weiss Technik. Gli standard di riferimento per il corretto svolgimento del test e per la definizione dei parametri di prova sono: ISO 9227 e ASTM B117. Come elettrolita è stata utilizzata una soluzione acquosa di cloruro di sodio al 5% in peso, con conducibilità ionica (Sigma) pari a 7 S/m, una temperatura di 35 °C, un'umidità relativa (RH) del 95% e un pH con valore 6.5. I parametri sperimentali corrispondono alle condizioni di test aziendali standard presso il CRF (Centro Ricerche Fiat) per la valutazione di fenomeni di corrosione su componenti automotive.

Le proprietà fisiche del materiale di rivestimento sono state selezionate tra quelle disponibili nella libreria implementata all'interno del software di simulazione. I parametri iniziali della simulazione sono stati selezionati in modo da rispecchiare fedelmente le condizioni sperimentali (Sigma, RH) e da letteratura. [13] I parametri di input utilizzati nella simulazione sono riassunti in Tab. 1. La curva di

polarizzazione del materiale di rivestimento della busbar, richiesta in input dal software, è stata misurata sperimentalmente, allo scopo di valutare la densità di corrente in funzione della tensione applicata. L'elettrodo di lavoro è stato accoppiato a un elettrodo di riferimento SCE (Saturated Calomel Electrode - elettrodo a calomelano saturo) contenente una soluzione satura di KCl. La velocità di scansione è stata impostata a 10 mV/s e la tensione è stata fatta variare da -1 V a +1 V. Il potenziale a circuito aperto (OCP) è stato misurato per 30 minuti prima di iniziare la misura potenziodinamica. Differenti ripetizioni indipendenti della stessa misura su un set di campioni omogeneo hanno dato luogo a risultati riproducibili.

Lo spessore del rivestimento nel tempo è stato misurato tramite analisi a fluorescenza a raggi-X (XRF). Esso è un metodo non distruttivo che permette di misurare con elevata precisione lo spessore del rivestimento e la sua composizione chimica, sia in caso di rivestimenti singoli che multipli. Lo strumento utilizzato è X-STRATA 980 di Oxford Instrument e gli standard di riferimento per la misura sono conformi alle norme DIN ISO 3497 e ASTM B 568.

La simulazione è stata effettuata per un tempo di esposizione della busbar all'agente corrosivo fino ad un massimo di 1000 h, raccogliendo i risultati ad intervalli regolari di 100 h.

**Tab.1** - Parametri di input per la simulazione / Input parameters for the simulation.

Parametro	Valore	Descrizione
Sigma	7 S/m	Conducibilità dell'elettrolita
s_change	- 2.0·10 <sup>-6</sup> m	Spessore film nichel
RH	0.95	Umidità relativa
Eeq_Ni [13]	114.82	0.0275
- 0.25 V	Potenziale di equilibrio nichel	0.0900
Eeq_O <sub>2</sub> [13]	112.41	0.0020
1.23 V	Potenziale di equilibrio ossigeno	Potenziale di equilibrio ossigeno
d_film	1.49·10 <sup>-5</sup> m	Spessore film elettrolita

## RISULTATI

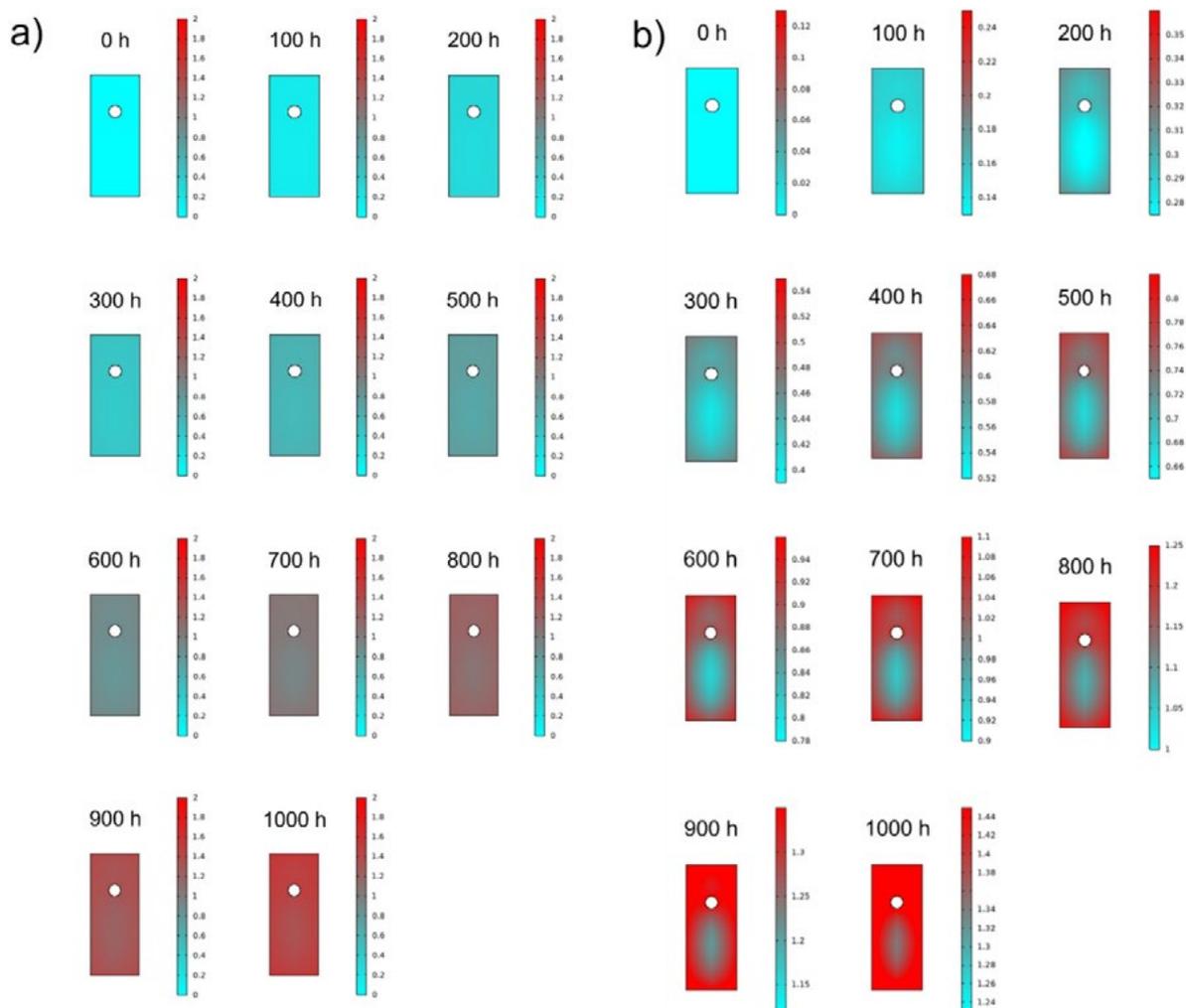
### Simulazione

Il risultato della simulazione della variazione dello spessore del rivestimento in lega di nichel, in funzione del

tempo di esposizione alla nebbia salina, è mostrato in Fig. 1. Come è possibile osservare, l'andamento della corrosione nel tempo è progressivo. Lo spessore dello strato superficiale tende a dimezzarsi approssimativamente in-

torno a 500-600 h, arrivando a consumarsi del tutto a circa 900-1000 h. Riportando i medesimi risultati in scala relativa di minore ampiezza (Fig. 1 b), è possibile apprezzare in modo più evidente come la corrosione dello strato superficiale non sia uniforme sulla superficie della busbar, ma si inneschi in via preferenziale sui bordi e attorno al foro centrale. Ciò è dovuto al fatto che la simulazione è effettuata su un modello tridimensionale della busbar la cui rugosità superficiale è considerata nulla, vale a dire

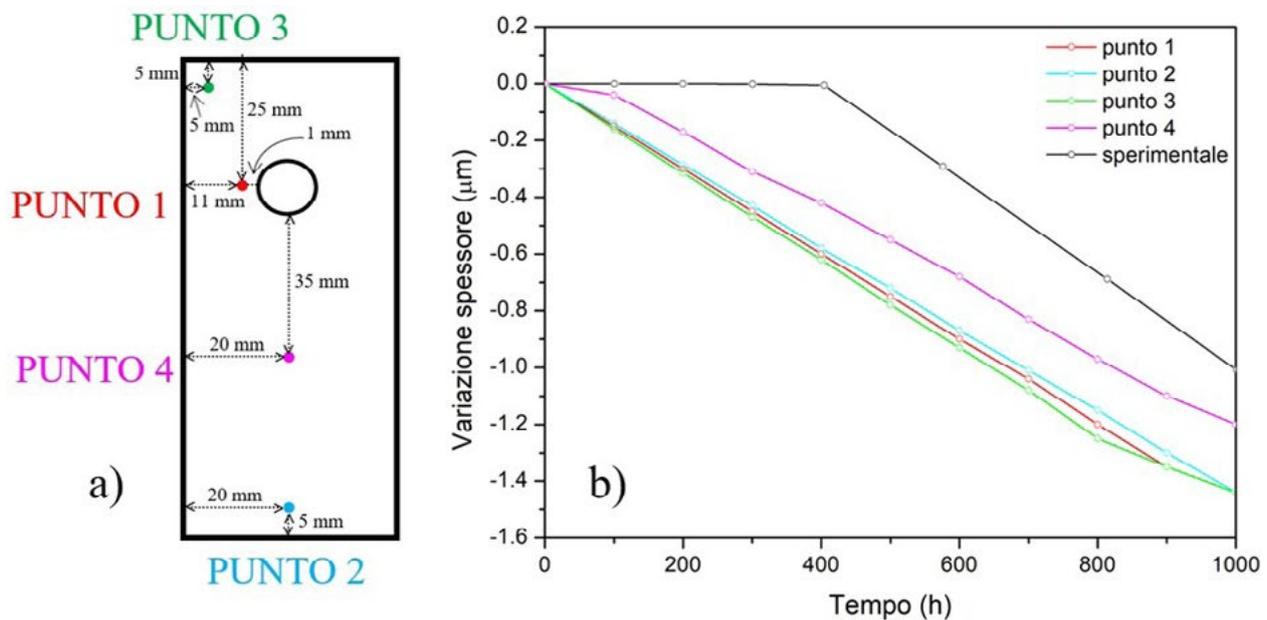
dotata di superfici esenti da difetti. Essendo dunque gli spigoli, i vertici e i bordi del foro centrale i punti a energia superficiale maggiore, tali sono le zone di innesco preferenziali dei fenomeni di corrosione nella simulazione. È infatti possibile notare come il core della busbar, ovvero la zona del campione più lontana dai bordi del manufatto, sia l'area che presenta il minor livello di riduzione dello spessore del film di rivestimento.



**Fig.1** - Risultati della simulazione di corrosione su busbar partendo dalla situazione iniziale (pari a 0 h, corrispondenti a degrado del coating nullo) fino ad arrivare a 1000 h. a) variazione di spessore in micrometri del rivestimento in scala assoluta (da degrado nullo fino al totale di 2  $\mu\text{m}$ ); b) variazione di spessore in micrometri del rivestimento in scala relativa; l'innesco dei fenomeni di corrosione a partire dai bordi della busbar e il diverso livello di degradazione nel tempo del rivestimento tra bordi e core sono qui più evidenti / Results of the corrosion simulation on the busbar starting from the initial situation (equal to 0 h, corresponding to a coating degradation equal to zero, up to 1000 h. a) thickness variation in micrometres of the coating represented on an absolute scale (from zero degradation up to a total of 2  $\mu\text{m}$ ); b) thickness variation in micrometres of the coating on a relative scale; the initiation of corrosion phenomena starting from the edges of the busbar and the different level of degradation over time of the coating between the edges and the core are here more evident.

Nel caso reale, tuttavia, bisogna considerare che, anche al centro del componente, possono essere presenti difetti, spigoli e asperità legate alla rugosità superficiale, e pertanto non si possono escludere punti di corrosione loca-

lizzati al centro, aspetto che la simulazione non è in grado di prevedere.



**Fig.2** - a) Ubicazione dei punti di interesse, in corrispondenza dei quali sono stati calcolati i valori di spessore del film di rivestimento della busbar; b) variazione dello spessore del film di Ni calcolato in corrispondenza dei quattro punti di interesse e andamento sperimentale dopo test in nebbia salina / a) location of the points of interest at which the thickness values of the coating film of the busbar were calculated; b) variation of the thickness of the Ni film calculated at the four points of interest and experimental trend after test in salt fog.

In Fig. 2 è mostrato l'andamento della variazione dello spessore del rivestimento nel tempo, valutato in quattro punti diversi della busbar. L'ubicazione esatta di tali punti è mostrata in Fig. 2 a). Come è possibile notare dalla Fig. 2 b), la variazione di spessore nel tempo in corrispondenza dei punti 1 (in prossimità del foro centrale), 2 (in prossimità dello spigolo inferiore) e 3 (in prossimità del vertice) è quantitativamente confrontabile. Coerentemente con quanto precedentemente riportato, si nota anche che la degradazione in corrispondenza del punto 4, ovvero in prossimità del core della busbar, è più lenta. Il tempo di dimezzamento dello strato di nichel superficiale (ovvero il tempo al quale si ha degradazione dello strato di rivestimento pari a 1  $\mu\text{m}$ ) si attesta infatti intorno a 670 h nei primi tre casi, mentre nel quarto si verifica a 825 h. Dopo 1000 h, la simulazione prevede una degradazione del rivestimento di 1.43  $\mu\text{m}$  (equivalente a uno spessore finale del film pari a 0.57  $\mu\text{m}$ ) in corrispondenza dei punti 1, 2 e 3, mentre

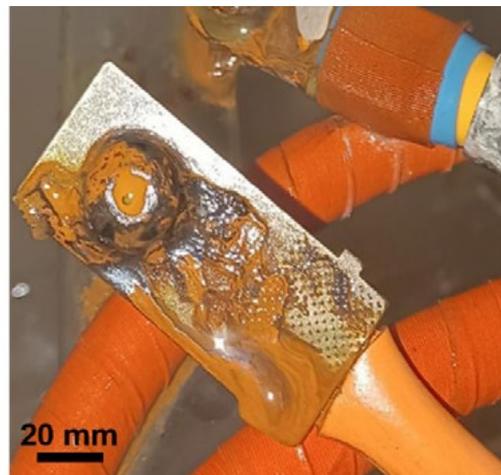
in corrispondenza del punto 4 la perdita in spessore dopo 1000 h è di 1.20  $\mu\text{m}$  (equivalente a uno spessore finale rimanente di 0.80  $\mu\text{m}$ ). Le velocità di corrosione sono tra loro confrontabili e pari a circa  $1.5 \cdot 10^{-2} \mu\text{m/s}$  per i punti 1, 2, 3 (in prossimità dei bordi) e  $1.3 \cdot 10^{-2} \mu\text{m/s}$  per il punto 4.

### Test sperimentali

L'andamento della riduzione di spessore dello strato superficiale simulato è stato confrontato con i dati sperimentali ottenuti con prove di corrosione in nebbia salina. A seguito del trattamento in nebbia salina per 1000 h, il processo di corrosione è risultato non trascurabile dopo valutazione visiva (Fig. 3). I prodotti di corrosione sono presenti prevalentemente su un lato, ma risultano distribuiti in modo approssimativamente omogeneo lungo la dimensione maggiore della busbar. In Fig. 2 b) è mostrato l'andamento della riduzione dello spessore del film di rivestimento misurato nei test sperimentali. I valori di spes-

sore si riferiscono in questo caso a valori medi, avendo valutato un livello di corrosione sufficientemente omogeneo su tutto il campione. Il tempo di dimezzamento dello

spessore dello strato di Ni si attesta intorno a 1000 h, durata totale del test, con una perdita di spessore di circa 1  $\mu\text{m}$ .



**Fig.3** - Ispezione visiva di una busbar a seguito di test in nebbia salina dopo 1000 h / Visual inspection of a busbar after 1000 h salt fog tests.

Si può notare come i dati simulati e sperimentali concordino meglio tra loro quando si prende in considerazione l'andamento calcolato in corrispondenza del core della busbar. Nonostante ciò, è possibile notare come sperimentalmente non si osservi un significativo assottigliamento del film di rivestimento prima di 400 h. Dopo 400 h, l'assottigliamento dello strato di Ni procede in modo lineare nel tempo così come correttamente previsto dalla simulazione. La velocità di corrosione da 0 h a 400 h è pressoché nulla, mentre tra 400 h e 1000 h è stata misurata essere pari a  $1.7 \cdot 10^{-2} \mu\text{m/s}$ . Tale velocità è confrontabile con quelle calcolate a partire dai dati simulati. Dal confronto tra dati simulati e sperimentali si osserva che, sebbene vi sia discordanza sui tempi di dimezzamento e di innesco del processo corrosivo, e quindi sullo spessore finale raggiunto ad un determinato tempo, le velocità di corrosione è prevista in modo corretto. La discrepanza tra i dati simulati e quelli sperimentali è principalmente dovuta al tempo di incubazione. Infatti, nei test sperimentali, si osserva una velocità di corrosione prossima a zero per circa 400 h, mentre nelle simulazioni i fenomeni corrosivi si innescano immediatamente, a partire da 0 h.

Come è noto, i fenomeni di corrosione possono seguire diversi meccanismi. [14] Nel caso della corrosione localizzata, per l'innesco del processo risultano necessari i fe-

nomeni di nucleazione, a cui farà seguito la crescita progressiva dei prodotti di corrosione. La nucleazione della corrosione localizzata non è sempre facilmente prevedibile, e può dipendere da molti fattori, quali la presenza di asperità superficiali, impurezze o inclusioni. [15] La crescita dei prodotti di corrosione, che determina la riduzione di spessore dello strato protettivo, è invece principalmente legata a fenomeni diffusivi. I metodi di simulazione agli elementi finiti, che si basano sui parametri di input inseriti, non sono in grado di prevedere la presenza di difetti di superficie, e trascurano pertanto il fenomeno della nucleazione. Per questa ragione, per tutti i punti considerati sulla busbar, la riduzione di spessore inizia a 0 h. Al contrario, nelle prove sperimentali, il fenomeno corrosivo ha richiesto il processo di nucleazione, ritardando in modo significativo il tempo di inizio a circa 400 h. Come già osservato, quando la corrosione è dominata dal processo di crescita, la simulazione è in grado di riprodurre in modo adeguato i risultati sperimentali. Al fine di ottimizzare in futuro l'uso dei metodi di calcolo per lo studio dei fenomeni di corrosione, risulta pertanto fondamentale l'introduzione di una descrizione accurata dei processi di nucleazione nei software di simulazione agli elementi finiti.

## CONCLUSIONI

Il processo di corrosione di una busbar, importante componente in veicoli ad alimentazione elettrica, è stato studiato confrontando un approccio computazionale, con metodo agli elementi finiti utilizzando il software COMSOL Multiphysics, con un approccio sperimentale, con prove di corrosione accelerata. Il principale parametro utilizzato per valutare il tempo di vita del manufatto, sottoposto a condizioni di corrosione accelerata (nebbia salina 5% in peso NaCl), è stata la variazione di spessore del coating protettivo in lega di Ni (Alloy 600) di spessore iniziale pari a 2  $\mu\text{m}$ . La simulazione del processo di assottigliamento, valutato in funzione del tempo, ha restituito dati che prevedono una corrosione graduale e lineare nel tempo, con

innesco preferenziale e maggiore velocità in prossimità di vertici, spigoli e del foro centrale, corrispondenti a zone della superficie con energia più elevata. Dal confronto tra simulazione e test sperimentali, si evince che, nonostante il calcolo non sia in grado di prevedere in modo accurato il tempo di dimezzamento e lo spessore finale del coating, le velocità di degradazione sono invece state previste in modo accurato. Questo aspetto può essere parzialmente spiegato dal fatto che la simulazione trascura gli effetti di nucleazione, legati alla rugosità superficiale, alla presenza di asperità e altri fattori non inclusi nel modello, che potrebbero alterare il processo corrosivo così come formulato sul software di calcolo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Bardal, *Corrosion and protection*, Springer, 2004.
- [2] H. Wang, E.H. Han, Simulation of metastable corrosion pit development under mechanical stress, *Electrochim Acta*. 90 (2013) 128–134. DOI: 10.1016/j.electacta.2012.11.056.
- [3] D. Mizuno, Automotive corrosion and accelerated corrosion tests for zinc coated steels, *ISIJ International*. 58 (2018) 1562–1568. DOI: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-159.
- [4] F. Altmayer, *Choosing an accelerated corrosion test*, Chicago, 2002.
- [5] C.L. Meade, *Accelerated corrosion testing*, Sylvania, Ohio, 2000.
- [6] X. Xie, R. Holze, Experimental methods in corrosion research, *ChemTexts*. 4 (2018). DOI: 10.1007/s40828-018-0057-0.
- [7] N. Lebozec, N. Blandin, D. Thierry, Accelerated corrosion tests in the automotive industry: A comparison of the performance towards cosmetic corrosion, *Materials and Corrosion*. 59 (2008) 889–894. DOI: 10.1002/maco.200804168.
- [8] E.J.F. Dickinson, H. Ekström, E. Fontes, COMSOL Multiphysics®: Finite element software for electrochemical analysis. A mini-review, *Electrochem Commun*. 40 (2014) 71–74. DOI: 10.1016/j.elecom.2013.12.020.
- [9] D. Britz, J. Strutwolf, *Digital simulation in electrochemistry*, Springer, 2005.
- [10] C. Liu, R.G. Kelly, A review of the application of finite element method (FEM) to localized corrosion modeling, *Corrosion*. 75 (2019) 1285–1299. DOI: 10.5006/3282.
- [11] C. Multiphysics, *Introduction to comsol multiphysics®*, 1998.
- [12] M. Vajdi, F.S. Moghanlou, F. Sharifianjazi, M.S. Asl, M. Shokouhimehr, A review on the Comsol Multiphysics studies of heat transfer in advanced ceramics, *Journal of Composites and Compounds*. 2 (2020) 35–43. DOI: 10.29252/jcc.2.1.5.
- [13] J.C. Kotz, P.M. Treichel, J. Townsend, D. Treichel, *Chemistry & chemical reactivity*, Cengage Learning, 2014.
- [14] G. Bianchi, F. Mazza, *Corrosione e protezione dei metalli*, Associazione italiana di metallurgia, 2000.
- [15] T. Goswami, D.W. Hoepfner, Review of pit nucleation, growth and pitting corrosion fatigue mechanisms, *J Mech Behav Mater*. 8 (1997) 169–196. DOI: 10.1515/JMBM.1997.8.2.169.

# Simulation of corrosion phenomena in automotive components

The study of corrosion phenomena is of primary importance in the metallurgical industry and in the automotive sector. With the advent and use of electric power and propulsion vehicles, industries become also interested in all aspects concerning the corrosion of the constituting parts connected to batteries and to their recharging system. So, there is a need to perform experimental corrosion tests on components called "busbars". Furthermore, the simulation of physical phenomena using software based on finite elements, has recently become largely widespread, because of time saving and costs reduction. In this paper, a Cu busbar coated with a Ni-based alloy film (Alloy 600) of 2  $\mu\text{m}$  of initial average thickness has been investigated. The objective is to evaluate the thinning over time of the coating exposed to a salt fog (5%wt NaCl) through both FEM simulation and empirical tests. The simulation object of this study, carried out using COMSOL Multiphysics software, was conducted for a total time of exposure to corrosive agent up to 1000 h, with intervals of 100 h.

**KEYWORDS:** CORROSION, BUSBAR, FINITE ELEMENT SIMULATION

[TORNA ALL'INDICE >](#)