

CORROSIONE E PROTEZIONE DELL'ALLUMINIO

C. Sinagra*, A. Atienza*, R. Zocchi*, G. Lapelazzuli°, L. De Rosa°, T. Monetta°, F. Bellucci°

In questo lavoro vengono esposti i risultati ottenuti dall'analisi delle prestazioni di laminati in lega di alluminio utilizzati per batterie di scambio termico. Le leghe utilizzate sono state la 8006, la 8011, la 8079 e la 3105, trattate con un tipico processo di fosfocromatazione e con nuovi trattamenti disponibili sul mercato. Sono riportati, inoltre, alcuni risultati relativi a campioni verniciati. Sia i provini che hanno subito il pretrattamento di conversione, sia quelli rivestiti con film polimerici sono stati studiati con una innovativa tecnica di monitoraggio denominata Electrochemical Impedance Spectroscopy. Questa tecnica permette di avere informazioni quantitative, e non solo qualitative, sulle prestazioni di trattamenti superficiali e rivestimenti in tempi brevi se comparati con quelli necessari con i test in nebbia salina.

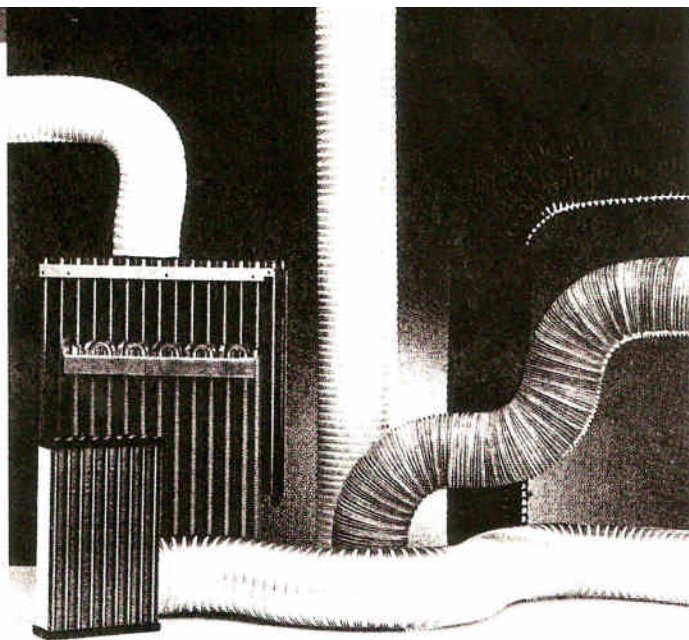
L'alluminio è da tempo utilizzato per la produzione di alette di raffreddamento di scambiatori di calore destinati sia ad impianti di condizionamento che di refrigerazione dell'aria. L'ottimo coefficiente di scambio termico, il basso peso per l'unità di area e le buone proprietà meccaniche (che facilitano il processo di stampaggio) hanno decretato il successo di questo metallo in un ampio settore di utilizzazione, che va dai radiatori delle automobili ai climatizzatori di piccole e grandi dimensioni, dai banchi frigo di refrigerazione alle grosse unità per le camere di congelamento.

Molte unità di scambio termico operano in condizioni gravose, non solo in termini di ventilazione e temperatura, ma anche per quanto riguarda l'aggressività degli ambienti esterni. La presenza di contaminanti quali NaCl in zone marine e SO₂ in zone industriali contribuisce a creare, sui manufatti di alluminio, condizioni per l'innescò e lo sviluppo di severe forme di corrosione, tali da limitarne le prestazioni. Allo scopo di limitare la degradazione dei manufatti, i laminati di Al vengono sottoposti ad un pretrattamento di conversione chimica della superficie e, successivamente, all'applicazione di un rivestimento protettivo polimerico mediante verniciatura.

*Italcoat Srl - gruppo Laminazione Sottile Spa

°Laminazione Sottile Spa

°Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione, Università degli Studi di Napoli "Federico II"



Nell'ambito delle problematiche connesse a questi due trattamenti superficiali si pongono le seguenti domande:

- (i) quale processo di conversione chimica è opportuno? Quale tipo di rivestimento organico scegliere?
- (ii) quali sono i criteri che ne devono guidare la scelta?
- (iii) di quale spessore deve essere il film organico?
- (iv) quando scegliere un rivestimento idrofilo e quando uno idrofobo?
- (v) qual è l'influenza della composizione chimica della lega di alluminio sul processo di corrosione?

Sono queste, in sintesi, le domande che pongono gli utilizzatori di laminati di alluminio, spesso disorientati dalle notizie sull'argomento, scarse e non corredate da supporto tecnico-scientifico.

Scopo di questo lavoro è fornire agli addetti ai lavori utili criteri da utilizzare ai fini della scelta degli opportuni sistemi di protezione dalla corrosione di manufatti in lega di alluminio.

CONCETTI GENERALI

L'alluminio, pur essendo un metallo molto reattivo e con una forte affinità verso l'ossigeno, mostra una buona resistenza alla corrosione nella maggior parte degli ambienti aggressivi a causa della formazione, nei primi secondi di esposizione all'atmosfera, di un sottile strato compatto di ossido passivante (Al₂O₃) di circa 10 Angström di spessore. Generalmente, l'alluminio è stabile in un ampio intervallo di pH, risultando, invece, poco resistente alla corrosione in ambienti acidi, alcalini o neutri contenenti ioni cloruro (Cl⁻). In questi ultimi, è possibile mitigare la velocità di corrosione dell'alluminio mediante uso di opportuni rivestimenti protettivi. In presenza di un tale rivestimento, ed esposto ad un ambiente contenente ioni Cl⁻, l'alluminio si degrada con un meccanismo del tipo riportato schematicamente in Fig. 1 (1).

Per l'attivazione del processo di corrosione di un metallo rivestito è necessaria la presenza all'interfase metallo/rivestimento di acqua, elettrolita ed ossigeno. Questi reagenti attraversano il rivestimento protettivo, in misura più o meno rilevante, sulla base della loro "permeabilità". La "permeabilità" della resina all'acqua, all'ossigeno ed all'elettrolita è, pertanto, tra le grandezze che concorrono a determinare l'entità della protezione offerta da un rivestimento organico. Questa grandezza dipende, a sua volta, dalla natura e composizione della resina, dalla tecnologia di applicazione del ri-

vestimento e dal "ciclo di cura". Una volta che si sono determinate le condizioni potenziali per l'innesco del processo corrosivo, la velocità con cui questo processo si propaga dipende, tra l'altro, dal tipo di substrato metallico e dalla presenza o meno di un processo di conversione superficiale. Il ruolo della lega e del tipo di pretrattamento verranno discussi nei prossimi paragrafi.

LA SCELTA DELLA LEGA

Nell'ultimo decennio, le aziende produttrici di batterie di alluminio per scambio termico hanno cercato di utilizzare, nella produzione delle alette, nastri di alluminio sempre più sottili per la realizzazione di collarini con altezza sempre crescente. Ciò ha indotto i produttori di laminati a ricercare leghe che permettessero di sopportare le ingenti deformazioni meccaniche richieste, in quanto i materiali tradizionali 1050 e 1200 (alluminio puro) non offrivano allo stato di fornitura (incruditi per laminazione) gli allungamenti richiesti a causa della loro tendenza ad ingrossare i grani e a formare strutture metallografiche alquanto grossolane.

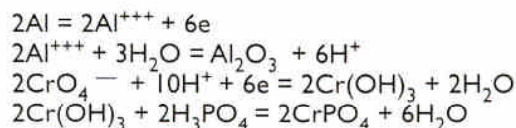
Per tali motivi, i produttori di laminati misero in commercio nastri in lega 8006 che, per le sue ottime caratteristiche meccaniche e per la semplicità del trattamento termico a spessore finale, fu subito adottata, soprattutto nel mercato europeo, come lega per la produzione di alette per scambio termico. Per quanto concerne la resistenza alla corrosione dell'alluminio, bisogna dire che tutti gli elementi "alliganti" (tranne il magnesio, che ha un potenziale elettrochimico più basso rispetto a quello dell'alluminio) concorrono ad aumentare la velocità di degradazione della lega a causa del loro comportamento catodico rispetto all'alluminio stesso.

Questo effetto è particolarmente significativo in presenza di ioni Cl⁻ (ambiente marino) che induce fenomeni localizzati di corrosione. In altri termini, in quest'ambiente è preferibile impiegare la lega 8079 rispetto alla lega 8006 a causa del più elevato contenuto in elementi catodici in quest'ultima. La lega 8006 può essere utilizzata in ambienti industriali ove il meccanismo di corrosione (dovuto alla presenza di "piogge acide") è di tipo generalizzato (Tab. I).

chimica od elettrochimica ed aventi un legame chimico con il metallo sottostante, sono detti "strati di conversione".

I processi che portano alla formazione di questi strati sono detti "pretrattamenti". Attualmente, il pretrattamento utilizzato nel processo produttivo del gruppo Laminazione Sottile è la fosfocromatazione (fc) (2).

Durante questo processo si hanno dissoluzione di alluminio e successiva riduzione di acido cromico attraverso il seguente meccanismo di ossido riduzione:



Lo strato di conversione chimica appena formato contiene fosfato di cromo idrato $\text{CrPO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ tra il 76 e l'88% ed ossido idrato di alluminio $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$ tra il 12 e il 24%. All'uscita dal bagno di fosfocromatazione, il film depositato risulta idrofilo e solubile in acido nitrico; l'eliminazione dell'acqua occlusa nello strato di conversione, tramite riscaldamento a circa 70 °C, rende il film insolubile in acido nitrico, pur non variandone le proprietà idrofile.

LA SCELTA DEL "COATING" ORGANICO

Accanto al processo di conversione chimica, i laminati di Al sono ulteriormente protetti dalla corrosione mediante applicazione di un rivestimento organico (verniciatura) ottenuto con processo "coil-coating". Non sempre, però, l'utilizzatore sceglie il rivestimento organico in funzione dell'ambiente dove lo scambiatore dovrà lavorare e ciò può causare problemi di tenuta della vernice e, conseguentemente, di corrosione del pacco alettato.

Allo scopo di contribuire a fornire elementi utili per la scelta del rivestimento, appare opportuna una classificazione di questi ultimi in rivestimenti con caratteristiche "idrofile" e "idrofobe".

Rivestimenti "idrofilo" devono essere perfettamente im-

Lega	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Altre impurità	
									Singolo	Totale
8006	1.2-2.0	0.40	0.30	0.30-1.0	0.10	-	0.10	-	0.05	0.15
8011	0.6-1.0	0.5-0.9	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.08	0.05	0.15
8079	0.7-1.3	0.05-0.3	0.05	-	-	-	0.10	-	0.05	0.15
3105	0.70	0.60	0.30	0.3-0.8	0.2-0.8	0.2	0.4	0.1	0.05	0.15

Dove compare il singolo valore, si intende come massimo

Tab. I - Composizione chimica delle leghe utilizzate espressa in % in peso conforme alle norme AA.

TRATTAMENTI DI SUPERFICIE PER CONVERSIONE CHIMICA

Sofferamoci, ora, sui trattamenti di superficie dell'alluminio mediante processi di conversione chimica. Gli strati superficiali a carattere protettivo formati per via

piegati in tutte quelle condizioni ove si utilizzano pacchi alettati a passo ridotto, ottenuti cioè mediante pressatura "drawless" o anche "draw type". In questi elementi, infatti, la presenza di condensa può causare una perdita di efficienza dello scambiatore in quanto l'acqua, ostruendo il

Lega	Trattamento	Sol. di NaCl 3.5%				Sol. di Na ₂ SO ₄ 3.5%			
		Impedenza $ Z _{0.02\text{Hz}}$ KΩcm ²		Capacità μF/cm ²		Impedenza $ Z _{0.02\text{Hz}}$ KΩcm ²		Capacità μF/cm ²	
		0 g.	7 g.	0 g.	7 g.	0 g.	7 g.	0 g.	7 g.
8006	Nessuno	120	32	2	15	315	68	2	4
8006	Fosfocromatazione	400*	30	1.6	6.5	43	2400	0.8	1.4
8079	Nessuno	56	129	2.3	3.6	251	31	1.6	1.8
8079	Fosfocromatazione	316	402	1.6	2.5	58	1165	1.4	1.3
8011	Fosfocromatazione	70	138	1.3	9.5	858	867	1.8	2.0
8011	Fluotitanazione	0.96	34	1.16	2.55	93	234	1.6	2.5
8011	Fluotitanazione + Pass.	50	93	0.93	4.1	25	50	1.4	2.0
8011	Fluozirconatura	91	38	0.96	4.3	3540	360	1.1	2.5

*Valore estrapolato in presenza di loop pseudo induttivo

Tab. 2 - Modulo dell'impedenza (0,02 Hz) e capacità dei campioni in lega d'alluminio pretrattati a diversi tempi di immersione nelle soluzioni aggressive.

passaggio dell'aria tra le alette, limita lo scambio termico. La presenza di un rivestimento "idrofilo", cioè ad elevata tensione superficiale, fa sì che, quando la superficie dell'aletta è bagnata da una goccia d'acqua, essa assuma una forma schiacciata con un angolo di contatto inferiore ai 15°. In queste condizioni, è sempre possibile la circolazione di aria tra le alette con notevoli benefici per lo scambio termico. Viceversa, in presenza di un rivestimento "idrofobo", l'acqua di condensa assume una forma sferoidale con un angolo di contatto superiore a 50°. In queste condizioni, è parzialmente inibita la circolazione di aria con riduzione dell'efficienza dello scambiatore di calore.

• Rivestimenti idrofili

I rivestimenti "idrofili" sono di natura stirolo-acrilica di spessore, normalmente, dell'ordine di $\pm 1.5 \mu\text{m}$. Questi rivestimenti mostrano una resistenza alla corrosione superiore alle 300 ore nel test classico in nebbia salina (5% NaCl). Tale rivestimento può essere additivato con speciali sostanze antibatteriche e fungicide che esercitano la loro funzione nel tempo riducendo i cattivi odori che sono indice di proliferazione batterica (3). In conclusione, i rivestimenti "idrofili" possono essere utilizzati per batterie a passo ridotto e dove i problemi di condensa possono provocare un brusco decadimento dell'efficienza termica dello scambiatore. D'altro lato, la resistenza alla corrosione di questi rivestimenti è buona in ambienti marini, ma scarsa in ambienti industriali e in presenza di sostanze acide.

• Rivestimenti idrofobi

I rivestimenti "idrofobi" vanno scelti, invece, per la loro resistenza ai diversi tipi di corrosione e attacchi da parte di agenti esterni. Essi variano per spessore del film e tipologia del rivestimento; quelli maggiormente in uso sono di natura epossidica, poliuretanicca e, talvolta, vinilica. Dal punto di vista generale, i rivestimenti epossidici hanno, se ben curati, una buona resistenza alla nebbia salina e al Kesternich (il test che simula l'aggressione industriale), ma hanno un grave

limite: si degradano velocemente in presenza dei raggi ultravioletti e, quindi, non possono essere utilizzati in zone ove l'irraggiamento solare è forte. I rivestimenti a base di resine poliuretanicche offrono una buona resistenza alla nebbia salina e all'esposizione a raggi UV, mentre degradano facilmente in presenza di contaminanti industriali.

Recentemente, Italcocat ha messo a punto cicli di verniciatura "mirati" per specifiche esigenze. In alcuni casi (come, ad esempio, il prodotto fornito alla Carrier sita in Montluell, Francia, e sottoposto a prove di resistenza alla corrosione presso i laboratori della Carrier in Syracuse, Usa), è stato realizzato un rivestimento dell'ordine di $4\pm 5 \mu\text{m}$ di spessore su ogni superficie del nastro stabile, sia in ambiente marino che industriale, ed in presenza di esposizione a raggi UV. Questo risultato è stato conseguito sulla base di una scelta opportuna del supporto, del trattamento di conversione chimica, del tipo e composizione del film di vernice e di un opportuno ciclo termico per la cura ottimale del rivestimento organico.

METODOLOGIA DI INDAGINE

La resistenza alla corrosione dei materiali viene valutata, generalmente, dopo prove accelerate del tipo "nebbia salina" (simulante un ambiente marino) e "Kesternich" (simulante un ambiente industriale). In questo contesto, è opportuno sottolineare che esistono altri criteri di valutazione della resistenza alla corrosione basati sulla "Spettroscopia di Impedenza Elettrochimica" (Eis) (4). Questa metodologia di indagine, utilizzata ampiamente a livello scientifico, è stata recentemente adottata anche a livello di normativa in sede Astm. I risultati presentati in questa comunicazione sono stati ottenuti facendo uso di tale metodologia, impiegando, per la valutazione della resistenza alla corrosione, i criteri comunemente adottati nella letteratura scientifica (5-7). In particolare, i dati sperimentali vengono rappresentati in diagrammi che riportano il modulo dell'impedenza complessa in funzione della frequenza (diagramma di Bode) da

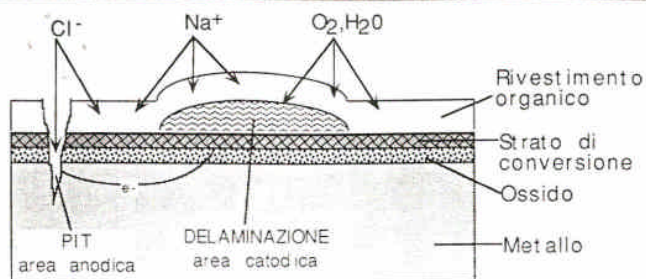


Fig. 1 - Rappresentazione schematica del processo di corrosione di un laminato rivestito.

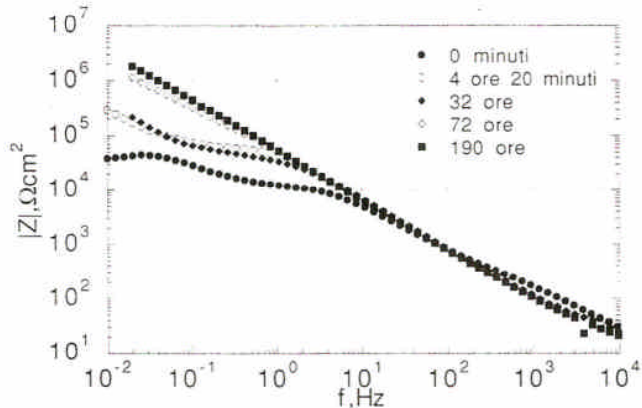


Fig. 2 - Diagramma di Bode, in funzione del tempo di esposizione alla soluzione aerata 0.6 N di Na_2SO_4 , di un provino fosfocromatato costituito dalla lega 8006.

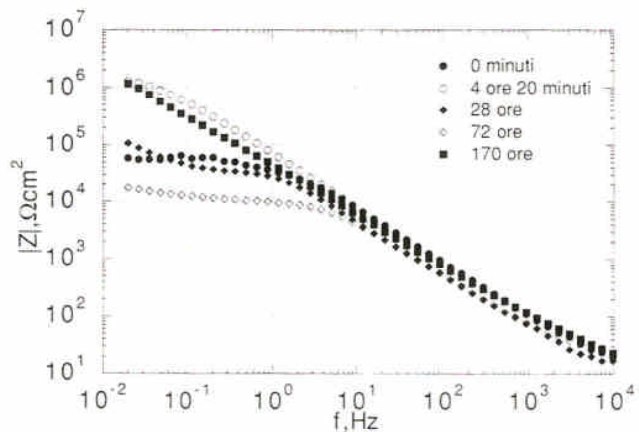


Fig. 3 - Diagramma di Bode, in funzione del tempo di esposizione alla soluzione aerata 0.6 N di Na_2SO_4 , di un provino fosfocromatato costituito dalla lega 8079.

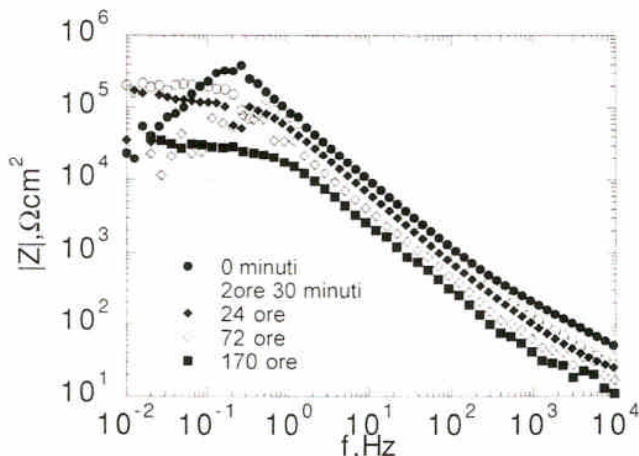


Fig. 4 - Diagramma di Bode, in funzione del tempo di esposizione alla soluzione aerata 0.6 N di NaCl , di un provino fosfocromatato costituito dalla lega 8006.

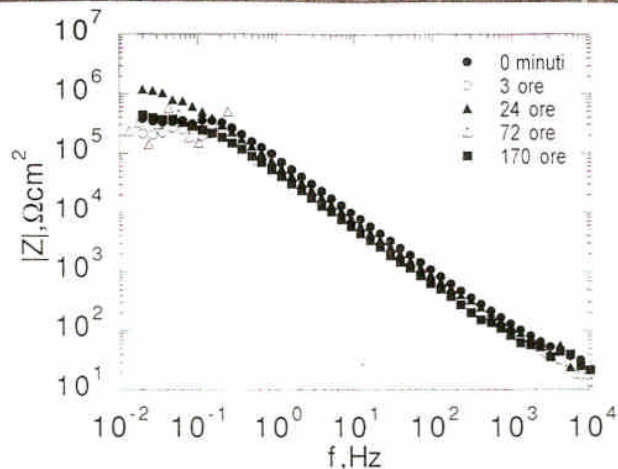


Fig. 5 - Diagramma di Bode, in funzione del tempo di esposizione alla soluzione aerata 0.6 N di NaCl , di un provino fosfocromatato costituito dalla lega 8079.

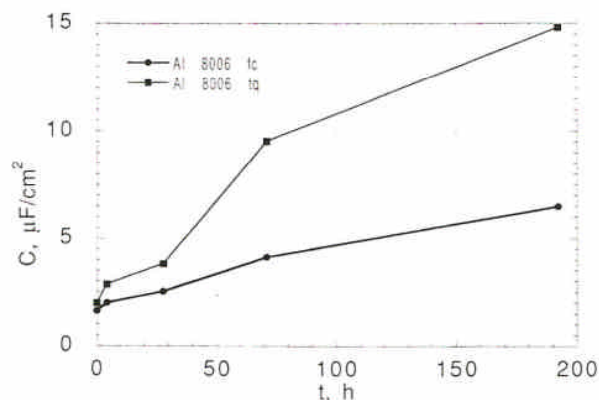


Fig. 6 - Capacità di doppio strato elettrico in funzione del tempo di esposizione alla soluzione 0.6 di NaCl della lega 8006 "tal quale" e fosfocromatata.

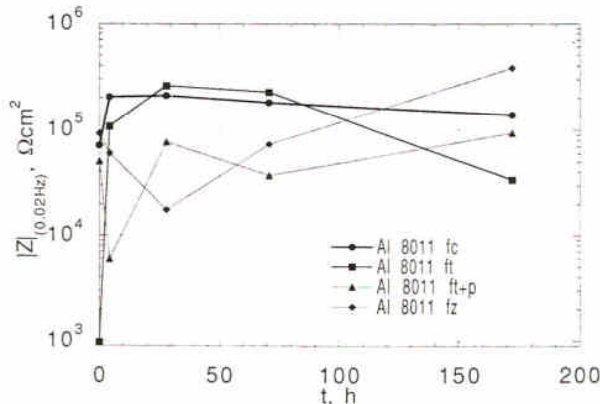


Fig. 7 - Modulo dell'impedenza a 0.02Hz della lega 8011 al variare del tempo, in funzione dei vari cicli di pretrattamento in soluzione aerata 0.6 N di NaCl .

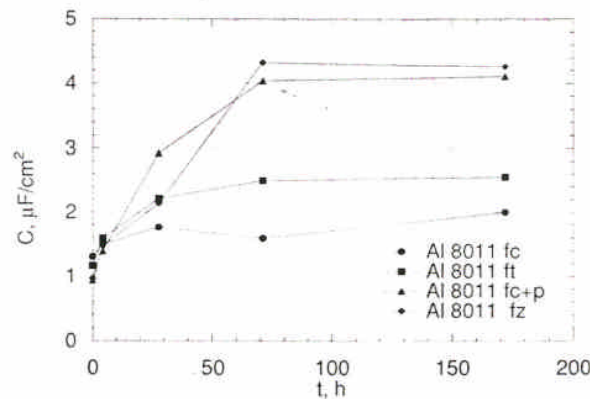


Fig. 8 - Capacità di doppio strato elettrico della lega 8011 al variare del tempo, in funzione dei vari cicli di pretrattamento in soluzione aerata 0.6 N di NaCl .

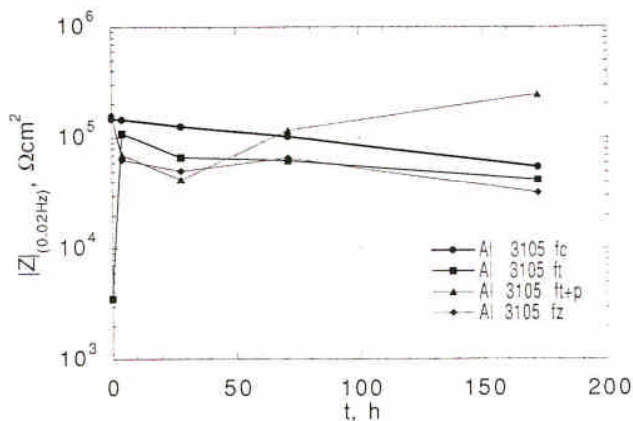


Fig. 9 - Modulo dell'impedenza a 0.02Hz della lega 3105 al variare del tempo, in funzione dei vari cicli di pretrattamento in soluzione aerata 0.6 di NaCl.

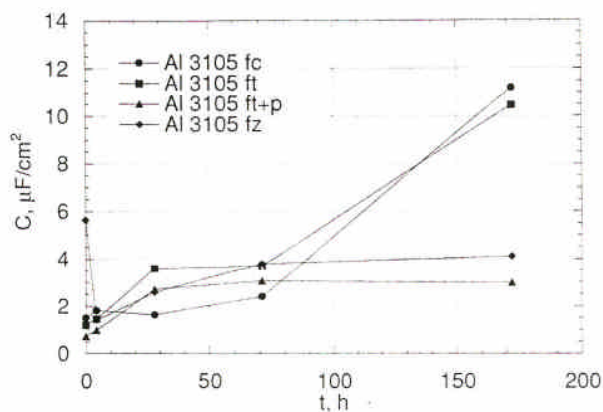


Fig. 10 - Capacità di doppio strato elettrico della lega 3105 al variare del tempo, in funzione dei vari cicli di pretrattamento in soluzione aerata 0.6 N di NaCl.

cui si valutano i seguenti parametri:

- (i) il modulo dell'impedenza a bassa frequenza (0.02Hz);
- (ii) il valore della capacità di doppio strato valutata a valori più elevati della frequenza (100÷5000 Hz).

La prima grandezza è pari alla resistenza offerta dall'interfaccia metallo/soluzione al passaggio di cariche, R_{ct} . Elevati valori di R_{ct} sono indicativi di sistemi scarsamente reattivi con l'ambiente con cui sono in contatto, oppure di metalli sottoposti a pretrattamento superficiale (presenza di strati di conversione), oppure di metalli rivestiti. La capacità di doppio strato viene generalmente utilizzata come ulteriore grandezza caratterizzante la struttura del doppio strato elettrico all'interfaccia metallo/soluzione. Valori bassi e stabili di questa grandezza nel tempo sono rappresentativi di sistemi poco reattivi. La scarsa reattività può, a sua volta, essere dovuta:

- (i) alla elevata stabilità del metallo base;
- (ii) alla presenza di uno strato di conversione chimico protettivo;
- (iii) alla presenza di un rivestimento organico.

Nel seguito, vengono presentati e discussi i diagrammi di Bode relativi ai sistemi investigati nel corso di questa attività.

RISULTATI DELL'INDAGINE

La fosfocromatazione (fc), oltre a garantire un'ottima aderenza dei film polimerici applicati mediante successiva ver-

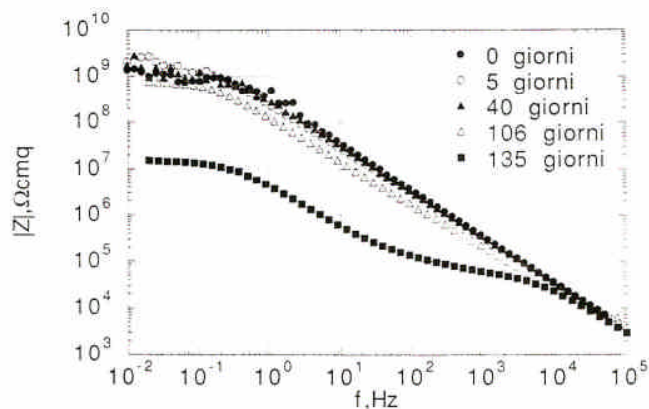


Fig. 11 - Diagramma di Bode in funzione del tempo di esposizione in una soluzione di Na_2SO_4 1N + H_2SO_4 a pH = 4, per un provino rivestito con doppio strato di resina organica (epossifenolico/poliuretano, 5+8 g/m^2).

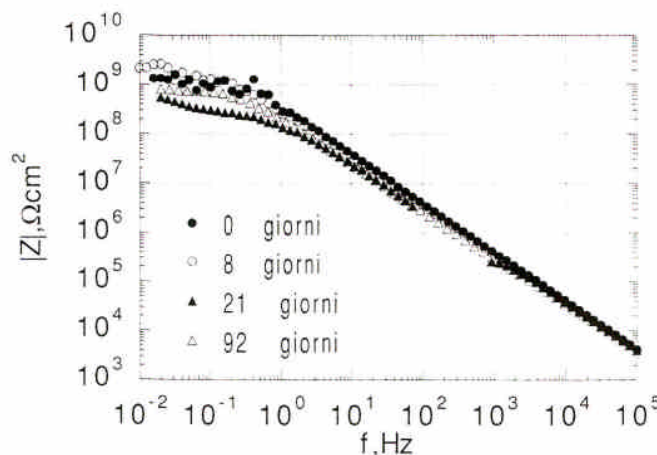


Fig. 12 - Diagramma di Bode, in funzione del tempo di esposizione in una soluzione di NaCl al 3.5% in peso, per un provino a doppio strato (epossifenolico/poliuretano, 5+8 g/m^2).

niciatura, migliora la resistenza alla corrosione del laminato di alluminio.

A titolo di esempio viene mostrato, nella Fig. 6, un confronto tra gli andamenti della capacità di doppio strato elettrico nel tempo della lega 8006 in una soluzione di NaCl prima (tq) e dopo il processo di fosfocromatazione. Risultano evidenti i miglioramenti apportati dallo strato di conversione: infatti, la capacità del campione fosfocromatato presenta valori più bassi ed una maggiore stabilità nel tempo rispetto a quelli osservati per la lega non trattata. Nelle Figg. 2 e 3 sono, invece, presentati i diagrammi di Bode delle leghe 8006 e 8079 dopo fosfocromatazione ed esposizione ad una soluzione aerata 0.6 N di Na_2SO_4 , mentre nelle Figg. 4 e 5 sono mostrati gli analoghi diagrammi per le stesse leghe esposte ad una soluzione aerata 0.6 N di NaCl. In presenza di una soluzione di NaCl, è da attendersi un fenomeno di corrosione localizzato a causa della presenza di ioni Cl^- , come precedentemente detto.

Da tali figure si può osservare che, in una soluzione di Na_2SO_4 , il comportamento della lega 8079 è, all'istante iniziale, solo leggermente superiore a quello della lega 8006. Nella soluzione di NaCl la lega 8079 mostra, invece, valori più elevati di impedenza e, quindi, una resistenza alla

corrosione maggiore della lega 8006. Inoltre, la lega 8006 mostra un andamento induttivo iniziale (0 minuti) che tende a scomparire dopo 2 ore di immersione nella soluzione di NaCl. Questo andamento, indice della tendenza a corrosione localizzata, non appare così marcato per la lega 8079. A conferma di questa indicazione (e solo dopo 2 giorni di esposizione alla soluzione salina), si osservano "pits" sul campione in lega 8079. Le migliori prestazioni offerte da quest'ultima legate sono in accordo con i valori più elevati di impedenza a bassa frequenza (dell'ordine di $10^5 \div 10^6 \Omega \text{cm}^2$) osservati rispetto a quelli misurabili per la lega 8006 (dell'ordine di $10^4 \div 10^5 \Omega \text{cm}^2$). Questo risultato è da attribuire al minor contenuto in elementi catodici presenti nella lega 8079.

Accanto al processo classico di fosfocromatazione, sono stati sviluppati (per ragioni ecologiche) e proposti sul mercato trattamenti superficiali alternativi privi di cromo. Tra questi, i più diffusi nella pratica industriale sono la fluotitanazione (ft), la fluozirconatura (fz) e la fluotitanazione seguita da una successiva passivazione allo zirconio (ft+p).

Allo scopo di fornire indicazioni sulla efficacia di questi trattamenti di conversione, campioni in lega 8011 e 3105 sono stati sottoposti a pretrattamenti alternativi in un impianto pilota della Henkel di Caleppio di Settala (Mi), e a quello di fc nell'impianto di produzione della Laminazione Sottile.

Nella Fig. 7 sono mostrati i risultati del comportamento della lega 8011 dopo i diversi cicli di pretrattamento al variare del tempo di immersione in una soluzione aerata 0.6 N di NaCl. Da questa figura si osserva che il pretrattamento fc conferisce valori più elevati di impedenza rispetto ai pretrattamenti alternativi. Il provino fluozirconato mostra elevati valori iniziali di impedenza seguiti da un brusco decadimento dopo un giorno di immersione nella soluzione salina. Il trattamento ft mostra, invece, valori bassi di impedenza dall'istante iniziale di immersione, indicativo di scarse proprietà protettive. Questi risultati sono confermati dagli andamenti della capacità di doppio strato al variare del tempo di immersione mostrati nella Fig. 8.

Nella Fig. 9 sono riportati i confronti tra i diversi pretrattamenti oggetto di indagine sulla lega 3105 dopo esposizione ad una soluzione di NaCl. Anche in questo caso, pur se in misura inferiore rispetto alla lega 8011, le prestazioni dei provini fosfocromatati appaiono superiori a quelle dei provini trattati in modo alternativo. Il campione fosfocromatato mostra, infatti, impedenze mediamente superiori agli altri campioni e caratterizzate da un'ottima stabilità. Tra i pretrattamenti alternativi, appare interessante quello ft+p che mostra un'ottima capacità di auto-protezione, come si evince dal valore elevato di impedenza dopo 7 giorni di immersione. È interessante porre in evidenza che in NaCl i primi segni di corrosione appaiono dopo circa 24 ore sui campioni fz e ft+p e dopo oltre 2 giorni sul fluotitanato. Per i campioni fc occorre attendere più di 3 giorni prima di osservare segni di corrosione.

Dai risultati conseguiti nel corso di questa attività di ricerca, è possibile trarre la conclusione che il processo fc conferisce, alle leghe di alluminio oggetto di indagine, proprietà protettive superiori rispetto ai pretrattamenti alternativi disponibili a tutt'oggi sul mercato. Tra questi ultimi

mi appare interessante quello di fluotitanazione. Per quanto riguarda il comportamento alla corrosione di campioni pretrattati con il processo fc e successivamente verniciati, si riportano, nelle Figg. 11 e 12, i risultati ottenuti con un provino a doppio strato (epossifenolico/poliuretano, $5 \div 8 \text{ g/m}^2$) rispettivamente in una soluzione di NaCl al 3.5% in peso e in una soluzione di Na_2SO_4 1N + H_2SO_4 a pH = 4. La prima soluzione simula la nebbia salina, la seconda il classico test Kesternich. Questo rivestimento è stato messo a punto allo scopo di offrire la massima resistenza alla corrosione in ambiente sia marino che industriale. I risultati riportati nelle Figg. 11 e 12 mostrano che i campioni in esame offrono, in entrambi gli ambienti, una elevata resistenza alla corrosione durante tutto il periodo di prova. Tali risultati sono stati confermati in un test in nebbia salina acetica (5% NaCl acidificata con 0.6% di CH_3COOH): dopo 1500 ore di esposizione non si evidenziano rilevanti fenomeni corrosivi, nemmeno in prossimità dei bordi o dell'intaglio praticato sul campione.

CONCLUSIONI

I risultati riportati in questo lavoro mostrano che molteplici sono le variabili che influenzano la resistenza alla corrosione di laminati di alluminio rivestiti.

Tra questi, quelli significativi appaiono essere il supporto, il pretrattamento, la natura del film polimerico e i cicli di applicazione degli stessi in relazione al sito di allocazione (area marina o industriale) della batteria di scambio termico.

BIBLIOGRAFIA

- (1) E.L. Koelher, "Corrosion control by organic coating", Ed. Leidesher Nace 1981.
- (2) R. Zocchi, C. Sinagra, A. Atienza e A. Vignati, "Caratterizzazione microstrutturale di strati superficiali di conversione su laminati di leghe d'alluminio ottenuti per fosfocromatazione", Alluminio Magazine n. 3/4, 1991.
- (3) C. Sinagra e R. Zocchi, "Proprietà antibatteriche e fungicide di rivestimenti idrofili su nastri di alluminio per finstock", Alluminio Magazine n.3/4, 1996.
- (4) J.R. Mac Donald, "Impedence Spectroscopy Emphasizing Solid State Materials", Ed. J. Wiley & Sons, 1987.
- (5) F. Mansfeld, *Elettrochimica Acta*, 38, 1891, (1993).
- (6) P. Carbonini, T. Monetta, L. Nicodemo e F. Bellucci, "Prog. Org. Coatings", 29, 12, (1996).
- (7) F. Bellucci, T. Monetta, L. Nicodemo e L. Nicolais, "Prog. Org. Coatings", 21, 353, (1991)

Gli autori desiderano ringraziare A. Cappellini, M. Martorelli e A. Vignati della Henkel Surface Technologies di Caleppio di Settala (Mi) per i provini forniti e C. Caillat, D. Hans e B. Ballet della Carrier di Montluell, Francia, e C. Chang per l'assistenza fornita nella valutazione della resistenza alla corrosione di laminati rivestiti con resina organica ad "hoc".