

Getti in lega di alluminio: definizione delle linee-guida per la messa a punto di trattamenti di verniciatura

F. Bonollo, R. Boi, R. Albi, A. Gregori

Memorie

In questo lavoro, con specifico riferimento ad alcune delle leghe e a tre dei processi di maggior impiego nell'ambito della fonderia dell'alluminio, viene descritta l'efficacia di differenti metodiche di pre-trattamento e di verniciatura. Le caratteristiche funzionali degli strati verniciati, esaminate mediante misure di spessore, indagini in microscopia elettronica con microsonda, prove di corrosione in nebbia salina e salino-acetica, vengono quindi poste in relazione da un lato con le modalità di effettuazione del ciclo di verniciatura e dall'altro con le specificità (tipo di lega, caratteristiche microstrutturali e difettologiche) dei processi di fonderia presi in considerazione. Dalla valutazione complessiva dei risultati emergono le linee-guida per l'ottimizzazione di una caratteristica tecnologica, quale l'attitudine alla verniciatura da parte dei getti, che sempre maggior rilievo occupa nella fonderia dell'alluminio.

Parole chiave: fonderia, alluminio e leghe

INTRODUZIONE

Le fonderie stanno divenendo sempre più aziende cui non viene richiesta solo la semplice produzione di getti, ma che devono essere in grado, valorizzando la collaborazione con fornitori e clienti, di sviluppare e realizzare componenti e/o sistemi correttamente ingegnerizzati, con caratteristiche tecnologiche e di esercizio sempre più ottimizzate. In questo modo, tutte le operazioni preliminari e susseguenti al processo di colata (che costituisce ovviamente il cuore del ciclo produttivo) diventano di reale e fondamentale interesse per la fonderia stessa e vanno opportunamente approfondite e sviluppate. Tra le operazioni tecnologiche che con sempre maggiore frequenza vengono svolte sui getti, si segnala indubbiamente la verniciatura, che deve essere in grado di conferire, con sufficiente affidabilità, requisiti estetici e di resistenza alle interazioni con l'ambiente. E' peraltro ovvio come per requisito estetico si debba intendere anche il mantenimento, nel tempo e nel corso della vita in servizio, delle caratteristiche superficiali presenti al momento della fornitura.

Se poi ci si riferisce specificamente ai prodotti in lega di alluminio, la cui rilevanza industriale e applicativa è in continua crescita, è ben noto come l'efficacia di un trattamento di verniciatura sia strettamente dipendente, da un lato, dalle caratteristiche composizionali della lega e, dall'altro, dalla corretta effettuazione di trattamenti preliminari alla verniciatura stessa [1-2].

Sempre relativamente al comparto dell'alluminio, si deve però sottolineare che le condizioni di effettuazione della verniciatura di prodotti laminati ed estrusi sono note e già descritte a livello di Normative Tecniche, mentre non esistono riferimenti utili e lavori di carattere sistematico per quanto concerne i getti.

In altri termini, si può con certezza affermare che il ruolo dei

processi di verniciatura sta divenendo sempre più rilevante per i prodotti di fonderia, senza però che le tematiche connesse ad una reale valutazione della loro efficacia (anche e soprattutto in relazione alle modalità esecutive) siano state sufficientemente descritte e interpretate.

Ciò è confermato dal fatto che la necessità di approfondire gli aspetti legati alla verniciatura dei getti in lega di alluminio è stata espressa recentemente da svariate parti (fonderie, verniciatori e anodizzatori, laboratori di controllo) [3]. Gli obiettivi che questo lavoro si pone, in un'ottica di miglioramento dei prodotti di fonderia, sono pertanto

- la valutazione critica dell'efficacia di differenti metodi, preliminari alla verniciatura, per il trattamento delle superfici dei getti,
- il confronto, in termini di affidabilità del ciclo pre-trattamento + verniciatura, tra diverse tipologie di processi di fonderia (conchiglia, bassa pressione, pressocolata) e, conseguentemente, di leghe,
- l'individuazione delle principali linee-guida per una vantaggiosa effettuazione di cicli di pre-trattamento + verniciatura su getti in lega di alluminio.

TIPOLOGIE DI LEGHE E DI PROCESSI DI FONDERIA ESAMINATI

I processi di fonderia presi in considerazione sono stati la pressocolata, la colata in bassa pressione e la colata in conchiglia. Si tratta di tecnologie fusorie particolarmente significative in termini sia semplicemente produttivi (a titolo di esempio, la pressocolata da sola costituisce il 60% della produzione italiana di getti in lega di alluminio), che di livelli di qualità richiesti ai componenti finali. Tali processi si differenziano, oltre che per le modalità esecutive (riconducibili alle diverse forze utilizzate per favorire il riempimento dello stampo), anche per le tipologie di leghe impiegate e per le caratteristiche, microstrutturali e difettologiche, dei getti prodotti [4].

La ricerca è stata focalizzata quindi su tre differenti tipi di componenti (o parti di componenti), prodotti mediante tre diverse combinazioni lega-processo. La Tabella 1 riassume le composizioni tipiche delle leghe utilizzate.

I componenti esaminati si sono invece differenziati, oltre che per il processo di fonderia, per le caratteristiche geome-

F. Bonollo, R. Albi, A. Gregori
 Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali,
 Università di Padova - Sede di Vicenza

R. Boi
 Qualital - Novara

Memoria vincitrice del premio AIM per la fonderia "Aldo Daccò 2000"

3/2002

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti
UNI 5076	11-12.5	0.7-1.0	1.75-2.5	0.50	0.30	0.30	0.8	0.15
UNI 3599	6.5-7.5	0.15max	0.05max	0.05max	0.30-0.45	0.05max	0.05max	0.08-0.12
AlSi10Cu	9.5-11.0	0.30max	0.4-0.8	0.20max	0.15max	0.15max	0.20max	0.10max

Tabella 1: Composizione indicativa delle leghe oggetto dello studio

Table 1: Nominal composition of the alloys investigated

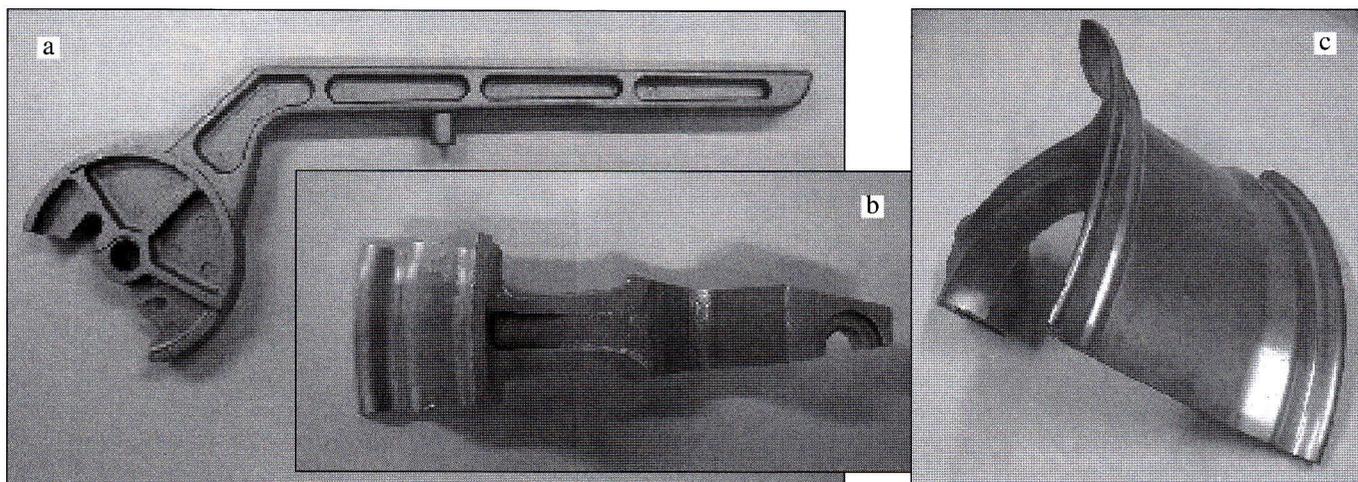


Figura 1: Getti (pezzi) esaminati nel corso della ricerca.

Figure 1: Castings (parts) experimentally investigated

triche e dimensionali. In particolare, sono stati considerati

- la leva d'armamento, pressocolata (sistema a camera fredda orizzontale) in lega UNI 5076, illustrata in Figura 1a, di forma allungata, con presenza di fori, di spigoli e di numerose variazioni di spessore;
- una ruota colata in bassa pressione, in lega UNI 3599, di cui sono state esaminate le razze, così come illustrato in Figura 1b;
- una ruota, prodotta per colata in conchiglia, con una lega AlSi10Cu1, di cui sono stati esaminati pezzi di notevoli dimensioni (razza + settore di cerchio), illustrati in Figura 1c.

TRATTAMENTI DELLA SUPERFICIE DEI GETTI PRELIMINARI ALLA VERNICIATURA

Per l'ottenimento di superfici verniciate dalle buone caratteristiche di resistenza è necessaria una accurata preparazione superficiale. Sulla base delle esperienze citate in letteratura e della pratica applicativa usualmente presente in fonderia, sono stati individuati alcuni trattamenti di preparazione delle superfici (diversi per tipologia e per parametri operativi), cui sono stati sottoposti i getti preliminarmente alla verniciatura [3]. I trattamenti effettuati sono stati:

- 1) Cromatazione + verniciatura con polvere poliestere**, secondo le seguenti fasi: *Sgrassaggio alcalino senza attacco* (10 minuti, a 55 - 60 °C), *Lavaggio in acqua corrente*, *Sgrassaggio acido* (5 minuti, a 38 - 40 °C), *Lavaggio in acqua corrente*, *Lavaggio in acqua demineralizzata*, *Cromatazione* (2 minuti, a 30 °C, con un peso di strato depositato compreso tra 0,6 e 1 g/m²), *Lavaggi in acqua demineralizzata*, *Asciugatura in forno* (10 minuti, 80-90 °C), *Verniciatura elettrostatica manuale con polvere poliestere*, *Cottura* (20 minuti a circa 190 °C): il trattamento conferisce alla superficie metallica caratteristiche di rugosità, grazie alla deposizione di uno strato di cromati; oltre a costituire un ancoraggio per la vernice, lo strato depositato è di per sé in grado di proteggere dalla corrosione (Figura 2);
- 2) degassaggio + cromatazione + verniciatura con polvere**

poliestere, secondo le seguenti fasi: *Sgrassaggio alcalino senza attacco*, *Degasaggio* (220 °C per 2 ore, allo scopo di eliminare l'umidità presente nelle porosità superficiali dei getti minimizzando il rischio di formazione di bolle gassose nel rivestimento), *cromatazione + verniciatura* (come descritto per il ciclo precedente);

- 3) ossidazione anodica a 12V + verniciatura con polvere poliestere**, secondo le seguenti fasi: *Sgrassaggio alcalino senza attacco*, *Lavaggio in acqua corrente*, *Neutralizzazione* (acido nitrico diluito, a temperatura ambiente), *Lavaggio in acqua corrente*, *Ossidazione anodica* (bagno a base di acido solforico al 20% in acqua, temperatura di 18 - 21 °C, voltaggio applicato: 12V in corrente continua, Figura 3), *Lavaggio in acqua corrente*, *Lavaggio demineralizzato*, *Asciugatura in forno*, *Verniciatura elettrostatica manuale*, *Cottura*: scopo del trattamento è evidentemente quello di rendere la superficie del getto idonea, in termini di rugosità e di pulizia, all'aggancio da parte della vernice.
- 4) ossidazione anodica a 20V + verniciatura con polvere poliestere**, ciclo analogo al precedente, con variazione del solo voltaggio applicato;
- 5) cromatazione + mano di fondo con polvere epossidica + verniciatura con polvere poliestere**: l'applicazione della mano di fondo serve evidentemente a garantire una maggior omogeneità allo strato finale di vernice;
- 6) impregnazione + verniciatura**, secondo le seguenti fasi: *Lavaggio ad ultrasuoni*, *Asciugatura in forno* (130 °C per 2 ore), *Impregnazione a vuoto* (5 mbar per eliminare l'aria contenuta nelle porosità superficiali, caricamento resina, rilascio del vuoto, sigillatura a pressione atmosferica), *Drenaggio a rotazione*, *Lavaggio in acqua fredda con rotazione*, *Polimerizzazione in acqua calda con rotazione*, *Raffreddamento*, *Pulitura dei getti con diluente*, *Verniciatura*, *Cottura*; l'impregnazione è un trattamento che sta trovando sempre più diffusione nella fonderia dell'alluminio, ed è applicato (talora direttamente all'interno del ciclo produttivo) per occludere le microporosità superficiali, migliorando così le caratteristiche di tenuta a pressione dei getti.

Nella Figura 4 si illustrano i getti dopo la verniciatura.

Figura 2:
Vasca di cromatazione (a),
immagine dei pezzi cromatati (b)

Figure 2: Chromatisation bath
(a), view of chromatised
specimens (b)

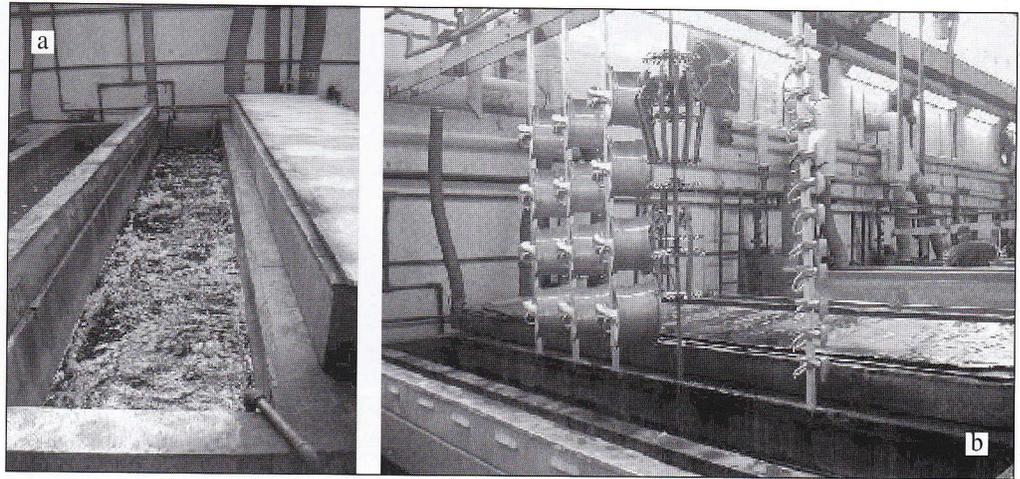


Figura 3: Processo di
anodizzazione

Figure 3: Anodisation process

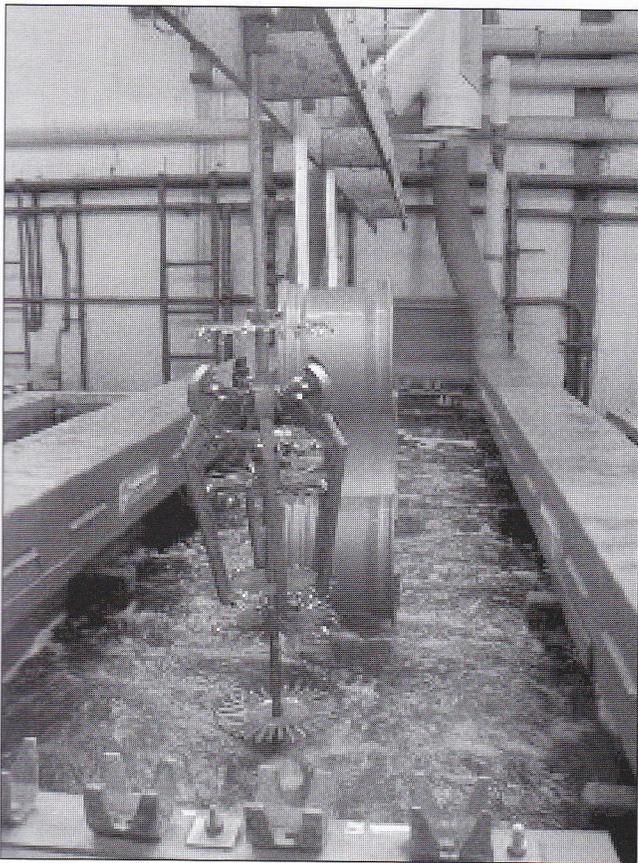
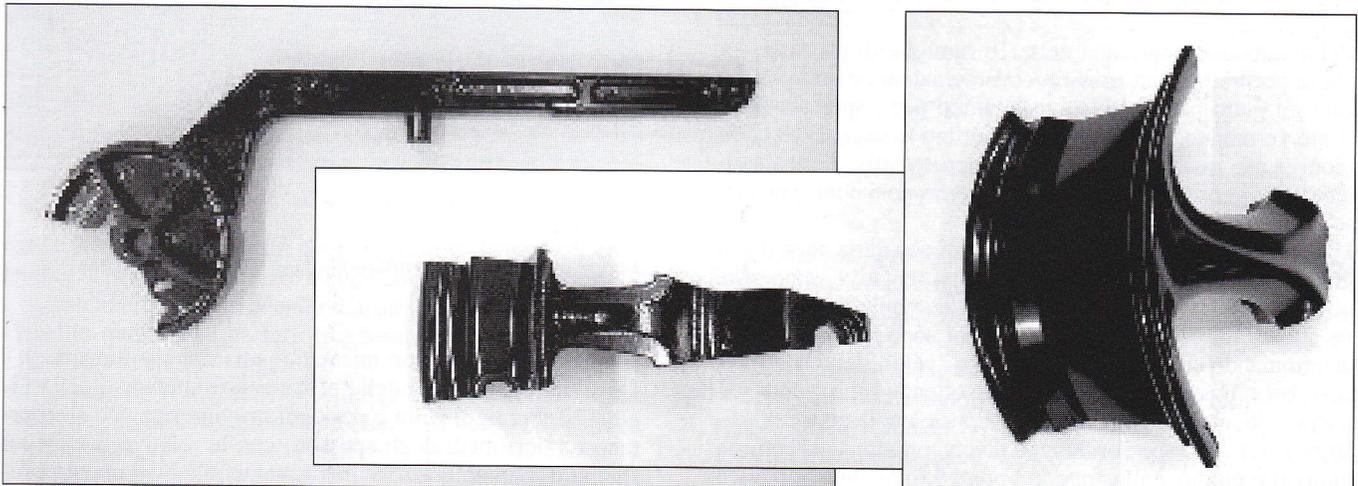


Figura 4: Immagini dei getti (pezzi) dopo la verniciatura

Figure 4: View of castings (parts) after painting



INDAGINI DI LABORATORIO

La combinazione tra le tipologie di getti e di pre-trattamenti ha portato all'ottenimento di 18 famiglie di pezzi verniciati. Su questi, sono state condotte varie prove sperimentali, allo scopo di confrontare, nella maniera più ampia possibile, il comportamento di tali famiglie. In particolare, si sono effettuate

- osservazioni al microscopio ottico delle caratteristiche qualitative della verniciatura,
- misurazioni (microscopio ottico + analisi di immagine) degli spessori di vernice ottenuti,
- valutazione mediante microscopia elettronica a scansione e mediante microsonda dell'efficacia di taluni pre-trattamenti (in particolare anodizzazione e cromatazione),
- prove di corrosione in nebbia salina neutra,
- prove di corrosione in nebbia salino-acetica.

ASPETTI MORFOLOGICI E QUALITATIVI DELLA VERNICIATURA

Per tutti i campioni, si è osservato come lo strato di vernice non presenti, in generale, un andamento regolare dello spessore, a causa della variazione, da zona a zona, delle caratteristiche geometriche, sia macroscopiche che microscopiche. Le principali irregolarità del film di rivestimento sono legate a disomogeneità superficiali dei campioni, alla presenza di spigoli e di zone a piccolo raggio di curvatura, alla presenza di zone concave (Figura 5).

Al di là di queste variazioni di spessore, si segnala come, indipendentemente dal trattamento preliminare alla verniciatura, non siano mai stati rilevati significativi fenomeni di distacco, con una ottima aderenza della vernice al substrato.

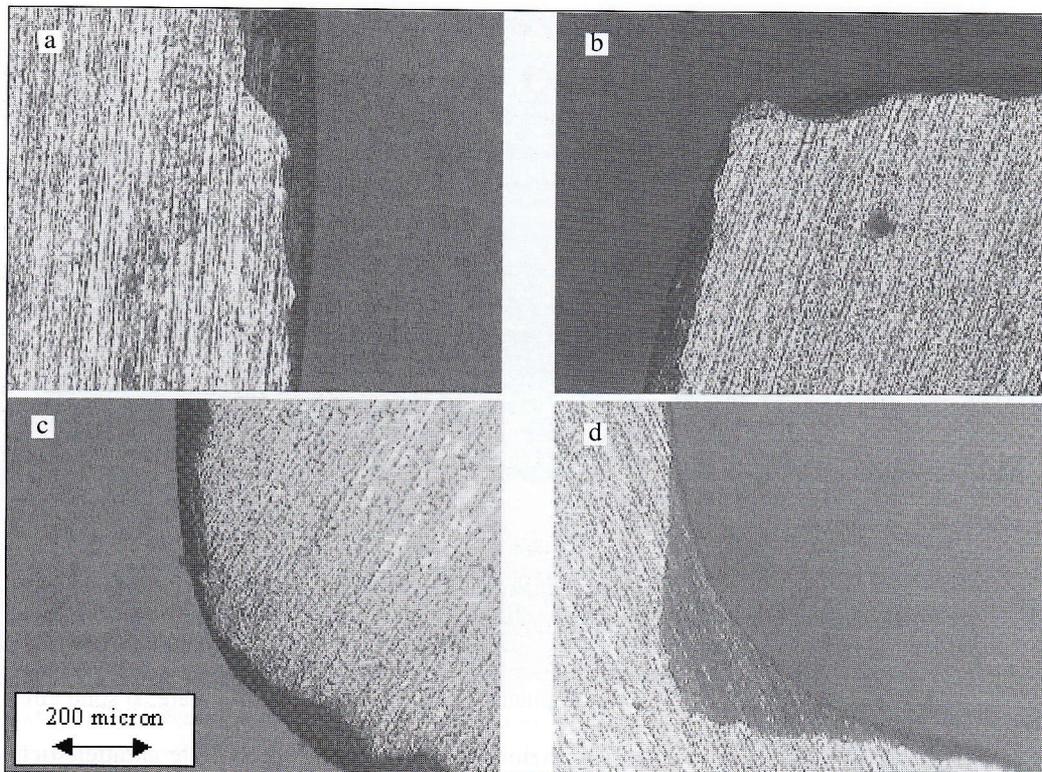


Figura 5: Irregolarità tipicamente riscontrate nel film di vernice e dovute a disomogeneità superficiali (a), presenza di spigoli (b), zone con piccolo raggio di curvatura (c), zone concave (d)

Figure 5: Typical defects detected in the painted film, due to surface inhomogeneity (a), presence of corners (b), small curvature radii (c), concave regions (d)

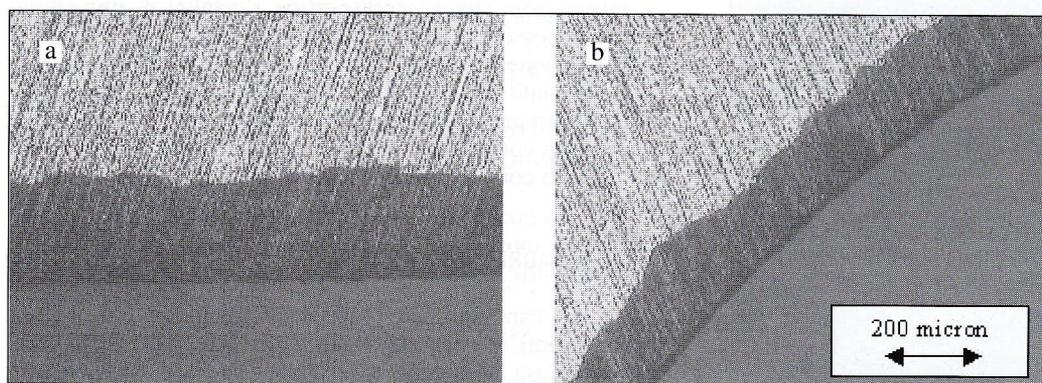


Figura 6: Interfaccia vernice/getto in campioni sottoposti al trattamento 4 (a) e al trattamento 3 (e)

Figure 6: Casting-painted film interface in specimens submitted to treatment 4 (a) and to treatment 3 (e)

Due esempi sono illustrati nella Figura 6, relativi alla verniciatura su mano di fondo e su substrato anodizzato. Vanno solamente segnalati fenomeni di sollevamento e parziale asportazione del film, in seguito alle operazioni di taglio, limitati però ai getti prodotti in conchiglia e sottoposti a impregnazione.

MISURAZIONE DEGLI SPESSORI DEL FILM DI VERNICE

Relativamente a ciascuna delle 18 famiglie di processi, leghe e pre-trattamenti presi in considerazione, è stato utilizzato un getto per il rilievo sistematico degli spessori dello strato verniciato. Da ogni getto sono stati ricavati 2 o 3 campioni per le misure, ovviamente rappresentativi delle caratteristiche geometriche e analoghi come posizione per ciascuna tipologia di getti (Figura 7).

I provini così ricavati sono stati levigati con carta abrasiva di grado 500; nelle zone ritenute più rappresentative, sono state acquisite mediante Analisi di Immagine le micrografie relative allo strato verniciato. Le immagini sono state esaminate determinando con una serie di misure i valori dello spessore, così come illustrato in Figura 8. I dati ottenuti sono quindi stati elaborati, ottenendo la visualizzazione complessiva della distribuzione degli spessori lungo i diversi provini, così come, a titolo di esempio, è illustrato in Figura 9 (ogni dato numerico

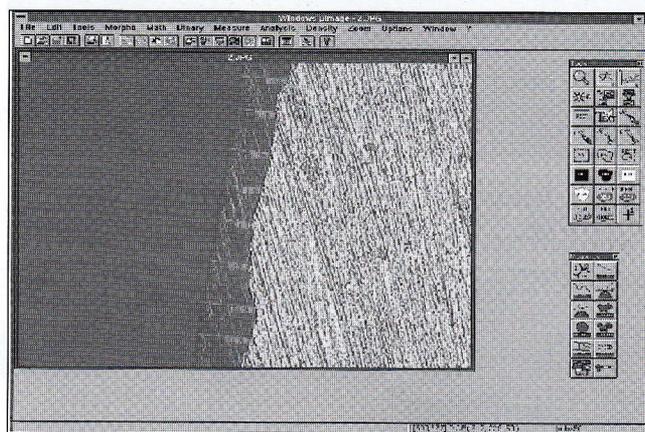


Figura 8: Esempio di valutazione dello spessore dello strato verniciato

Figure 8: Example of evaluation of the thickness of the painted film

è la media degli spessori misurati in una singola immagine). I risultati complessivi delle prove sono sintetizzati nella Figura 10. Per ogni getto e per ogni provino ricavato si riportano i valori medi degli spessori, con le relative deviazioni standard. La numerazione dei trattamenti è ovviamente rife-

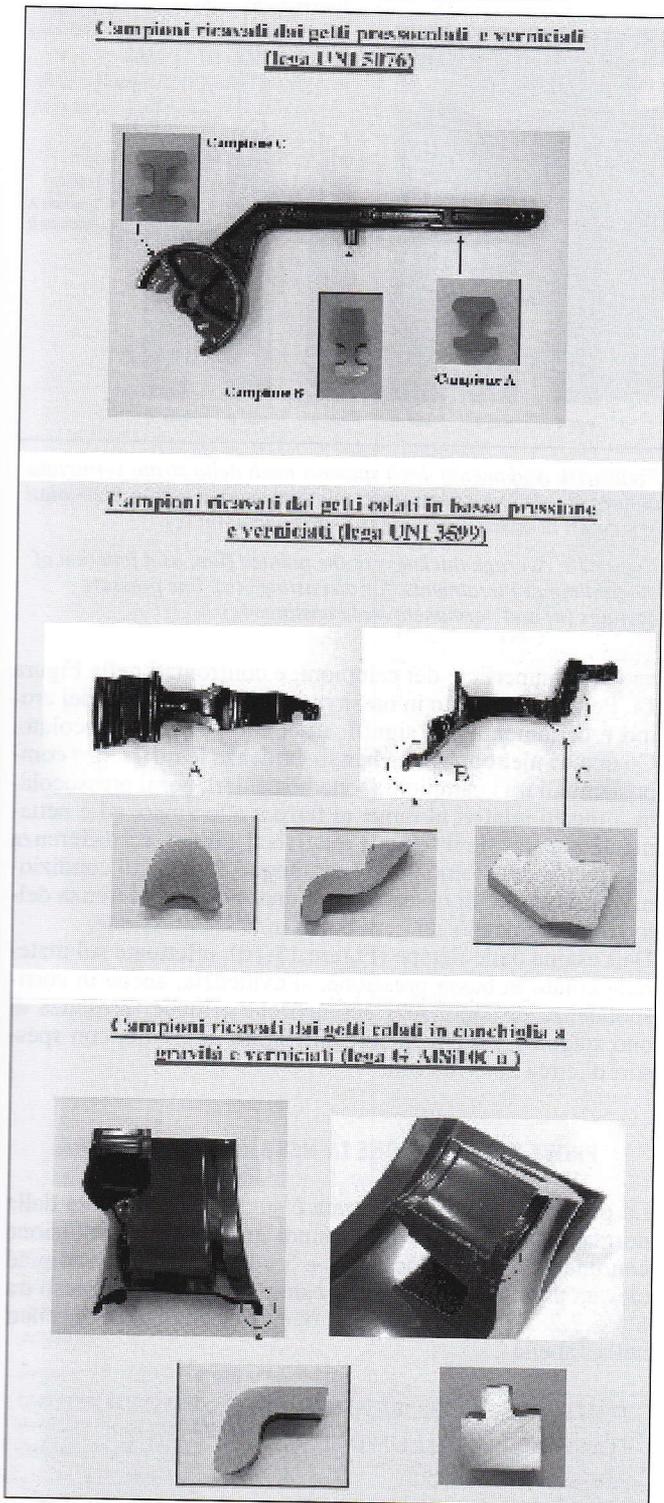


Figura 7: Prelievo dei provini per la valutazione degli spessori di strato verniciato

Figure 7: Sectioning of casting, to achieve specimens for evaluation of the painted film

rita a quella già impiegata nel paragrafo 2. In sede di confronto, si possono effettuare alcune considerazioni:

- il trattamento 5, prevedendo due strati di vernice, è ovviamente quello che ha fatto registrare, su tutti i getti, gli spessori di entità maggiore,
- tralasciando il trattamento 5, nei getti pressocolati, l'anodizzazione ha consentito di ottenere gli spessori di vernice più elevati,
- la differenza tra l'anodizzazione e gli altri trattamenti

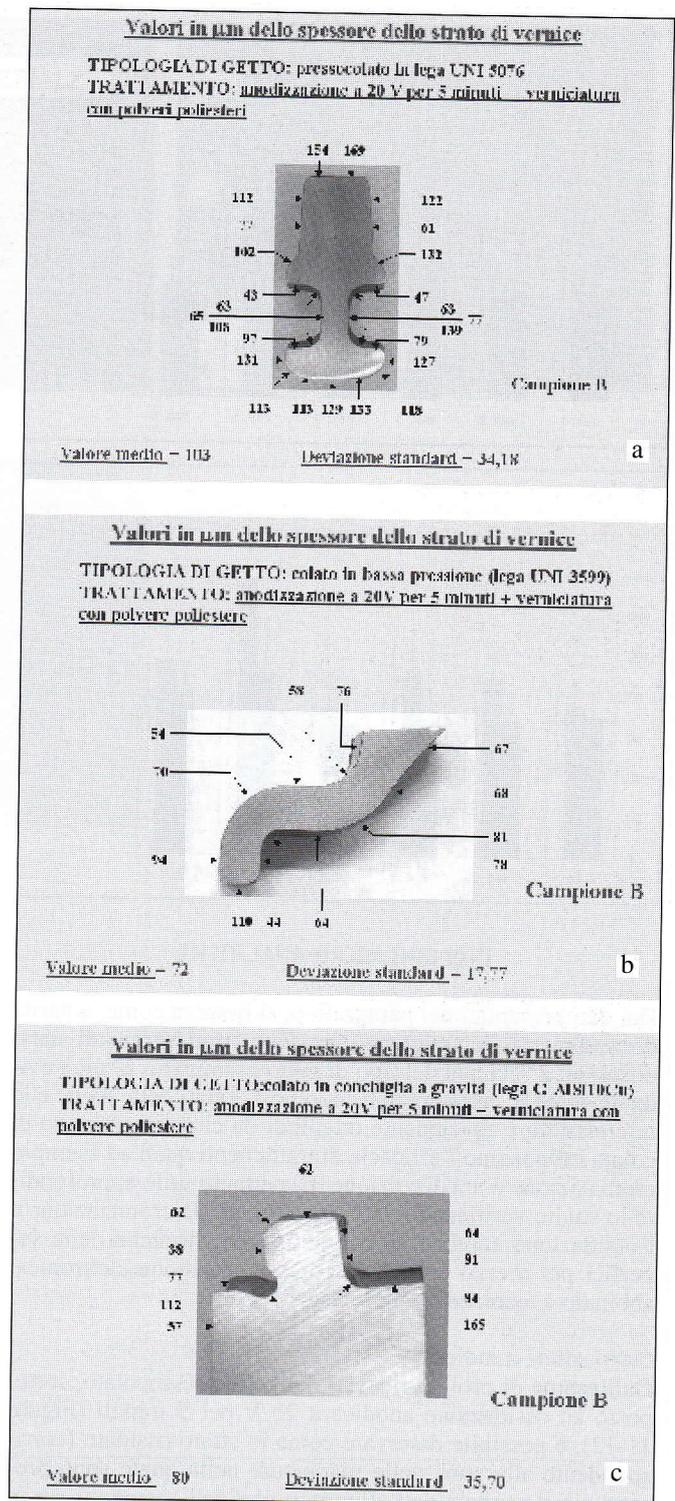


Figura 9: Esempio di valutazione degli spessori medi di vernice sui provini ricavati dai getti pressocolati (a), colati in bassa pressione (b) e in conchiglia (c)

Figure 9: Example of the evaluation of the average thickness of the painted films in specimens taken from diecastings (a), low pressure castings (b) and permanent mold castings (c)

- (escluso sempre il 5) diventa invece meno netta passando ai getti colati in bassa pressione e in conchiglia,
- i getti colati in bassa pressione presentano una maggiore uniformità del rivestimento, evidenziata dalla bassa dispersione dei valori attorno al valore medio,
- i getti cromatati hanno evidenziato, in genere, i più bassi spessori di vernice,
- tutti i trattamenti hanno assicurato un'ottima adesione del rivestimento.

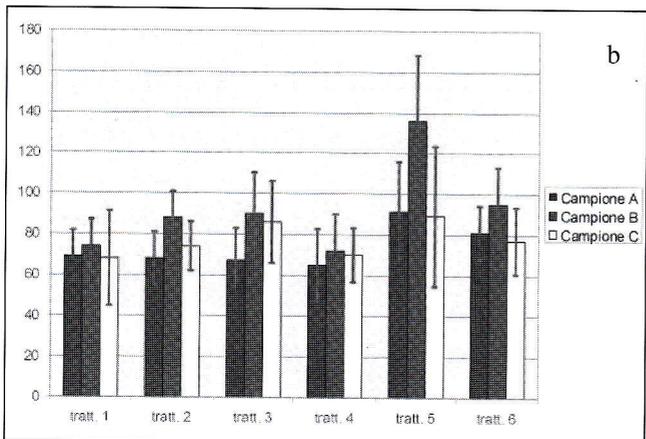
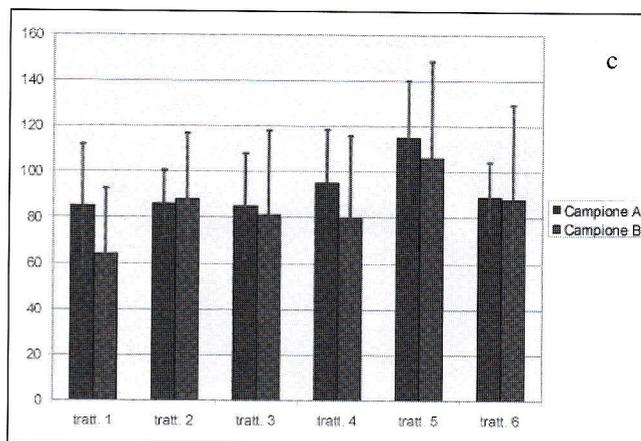
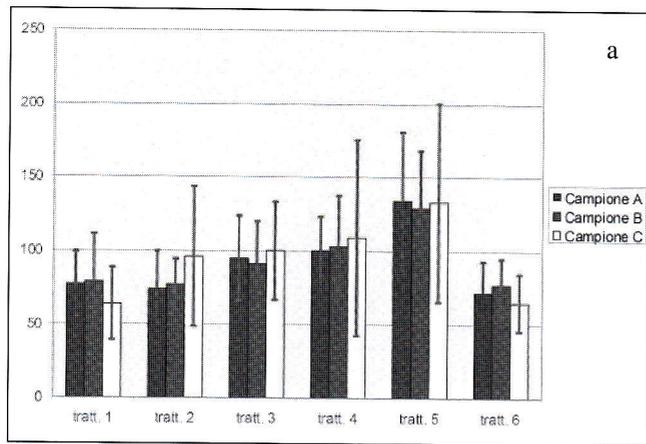


Figura 10: Andamento degli spessori medi dello strato verniciato in funzione dei pre-trattamenti, relativamente ai getti pressocolati (a), colati in bassa pressione (b) e in conchiglia (c)

Figure 10: Average thickness of the painted film, as a function of the preliminary treatments, for diecastings (a), low pressure castings (b) and permanent mold castings (c)

INDAGINI MICRO-ANALITICHE

Dai dati presentati nel paragrafo 6, si osserva come, a parità di trattamento, le caratteristiche degli strati verniciati siano differenti a seconda del tipo di getto esaminato. E' cioè evidente come le caratteristiche composizionali delle leghe e le microstrutture tipicamente ottenibili da ciascun processo di colata influenzino l'efficacia di trattamenti quali ad esempio cromatazione e anodizzazione. E' pertanto utile approfondire lo studio verificando, in particolare per la cromatazione e l'ossidazione anodica, le caratteristiche chimiche delle superfici per mezzo del microscopio a scansione elettronica, abbinato a tecniche di microanalisi EDS.

Ossidazione anodica

Dall'esame di provini ricavati dal getto pressocolato, sottoposto ad ossidazione anodica a 20 V per 5 minuti (Figure 11-12), è possibile osservare come lo strato ossidato (corrispondente alla zona delle mappature nella quale sono presenti sia il segnale dell'alluminio che dell'ossigeno) sia in realtà molto sottile e piuttosto irregolare. Lo spessore del film di ossido può essere stimato nell'ordine di circa 1 micron, inferiore cioè ai valori di 3 e 5 micron ipotizzabili rispettivamente per trattamenti a basso ed alto voltaggio [2].

Cromatazione

Sono stati esaminati provini ricavati da un getto colato in bassa pressione e da un pressocolato sottoposti a cromatazione + verniciatura. Preliminarmente all'indagine al microscopio a scansione, i provini sono stati sverniciati con cloruro di metilene. Già durante questa fase, mentre il getto colato in bassa pressione ha mantenuto la caratteristica colorazione giallognola della cromatazione, nel pressocolato tale colorazione è diminuita, ad indicare un minor grado di aderenza da parte dello strato cromatato (Figura 13)

Tale osservazione è stata confermata dagli spettri EDS, ricavi

vati sulla superficie dei campioni, e confrontati nella Figura 14. Per il getto colato in bassa pressione, la presenza del cromo è certamente più significativa che per il pressocolato. Gli spettri mettono anche ben in evidenza le differenze composizionali tra i campioni (sono ben chiari, per il pressocolato, i picchi relativi al rame, al ferro e allo zinco, ed è nettamente più elevato il segnale relativo al silicio). La differenza tra i picchi del cromo indica comunque, a parità di condizioni di processo e di osservazione, una migliore aderenza dello strato cromatato sui getti colati in bassa pressione.

Dall'esame delle mappe (Figure 15-16), effettuate sul materiale colato in bassa pressione, si evidenzia, anche in corrispondenza di condizioni geometriche critiche (presenza di uno spigolo), l'omogeneità dello strato di cromo, con spessori di circa 2 - 3 micron.

PROVE DI CORROSIONE IN NEBBIA SALINA NEUTRA

La procedura di prova adottata è stata quella indicata dalla norma UNI ISO 9227. Si è quindi impiegata una soluzione con una concentrazione di 50 + 5 g/l di cloruro di sodio ad elevata purezza, con pH nella camera di prova compreso tra 6.5 e 7.2. Gli altri parametri operativi adottati sono citati nella Tabella 2

TEMPERATURA DELLA CAMERA	35 °C
TEMPERATURA DELL'UMIDIFICATORE	50 °C
PRESSIONE DELL'ARIA	1 bar
N° GIRI DELLA POMPA	200 + 20 giri/h

Tabella 2: Parametri operativi delle prove in nebbia salina

Table 2: Working parameters of the salt-spray tests

Preliminarmente alla prova, sulla superficie verniciata di ogni getto sono state praticate delle incisioni, allo scopo di accelerare il fenomeno corrosivo e di misurare sia la "lunghezza" della corrosione filiforme che l'entità dell'area interessata dalla corrosione. La prova ha avuto una durata di 500 ore.

Getti pressocolati

L'andamento della corrosione filiforme è riportato nella Figura 17, al variare del tempo di esposizione, mentre in Figura 18 si confrontano le entità delle aree corrose, valutate in mm2 per 10 cm di incisione. I trattamenti che hanno offerto una

Figura 11: Immagini in elettroni secondari dello strato anodizzato (a) e (b) e distribuzioni dell'alluminio (c), dell'ossigeno (d), dello zolfo (e), del silicio (f).

Figure 11: SEM image of the anodised layer (a, b) and EDS mapping of Aluminium (c), Oxygen (d), Sulphur (e) and Silicon (f).

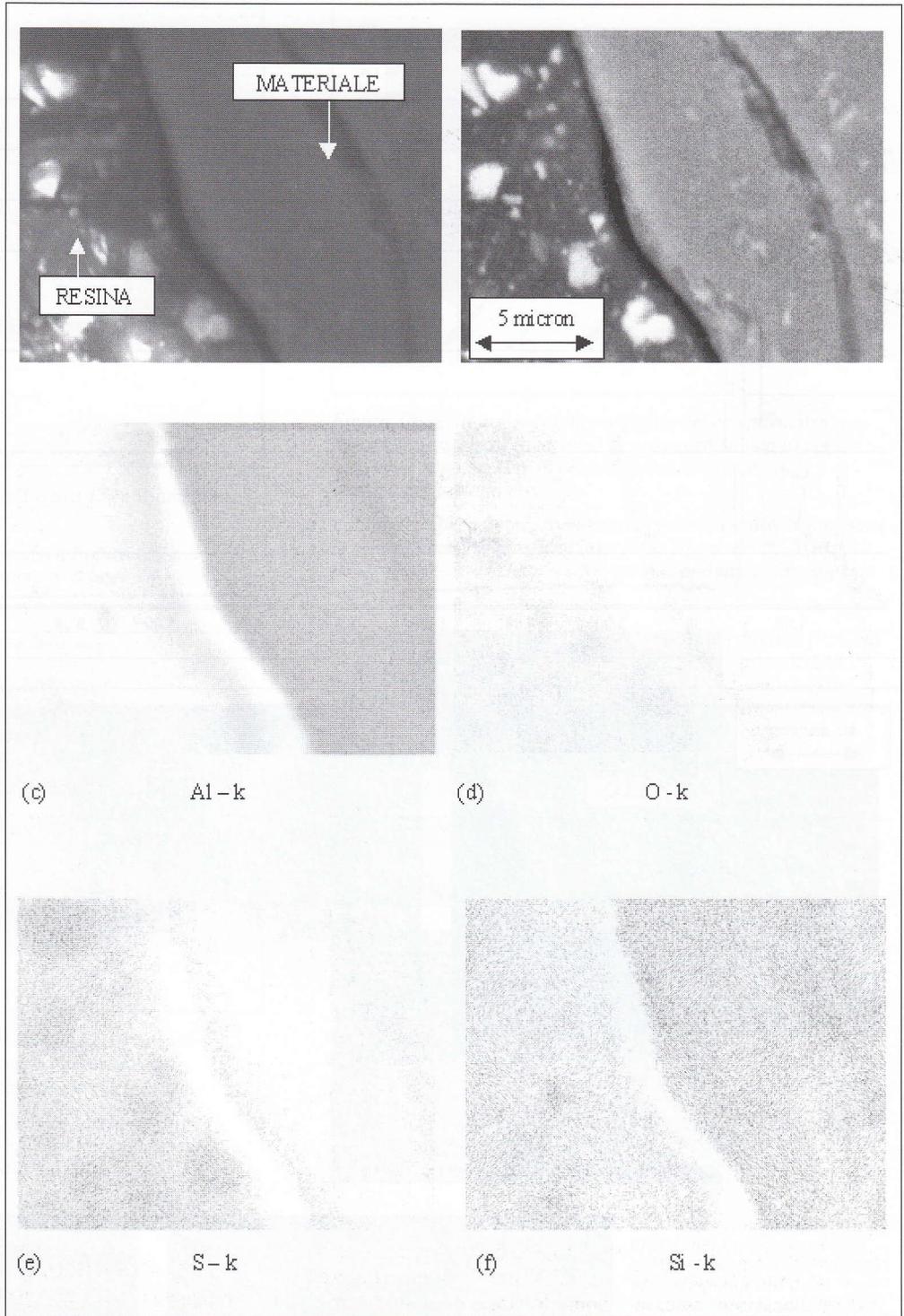


Figura 12: Mappatura dell'ossigeno (cfr. Figura 11) e stima dello spessore dello strato ossidato

Figure 12: EDS mapping of Oxygen (see Figure 11) and evaluation of the thickness of the oxidised layer

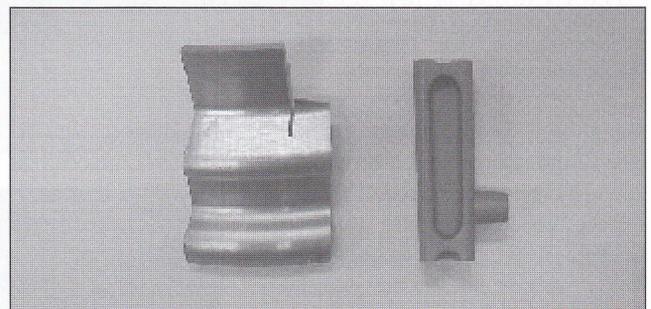
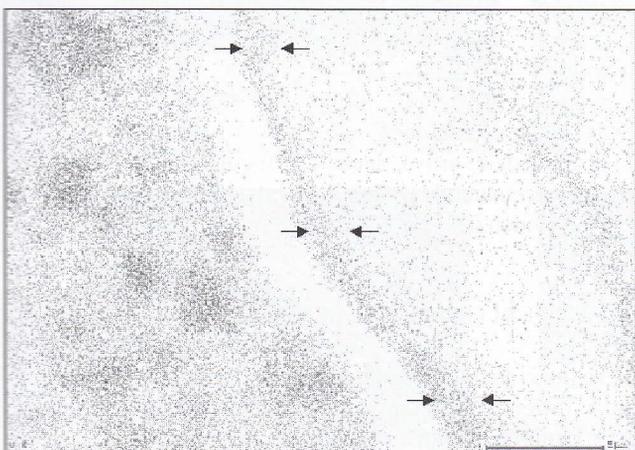


Figura 13: Parti dei getti colato in bassa pressione (a sinistra) e pressocolato (a destra) sottoposte a sverniciatura

Figure 13: Specimens taken from low pressure casting (on the left) and from diecasting (on the right), after painting re-moving

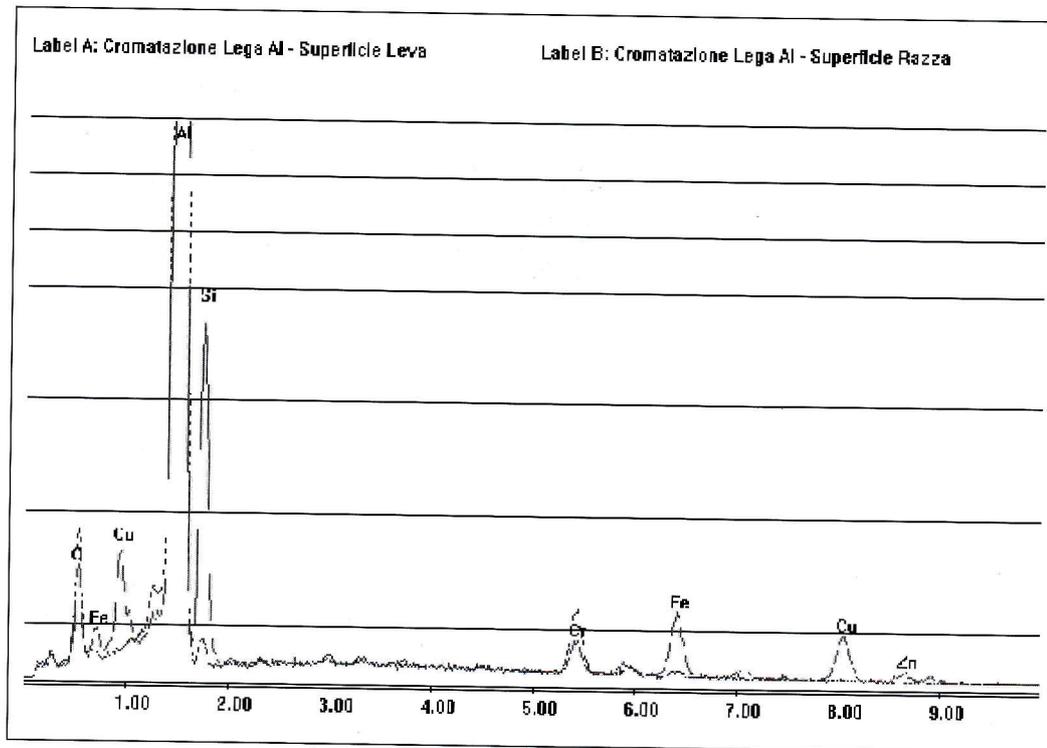


Figura 14: Sovrapposizione dei due spettri relativi alle superfici dei getti colati in bassa pressione (linea tratteggiata blu) e pressocolati (linea continua rossa) sottoposti a cromatazione + verniciatura ed in seguito sverniciati

Figure 14: Comparison between the EDS spectra, referred to the surface of low pressure castings (dotted line) and of diecastings (continuous line), after chromatisation and painting (and then submitted to painting re-moving)

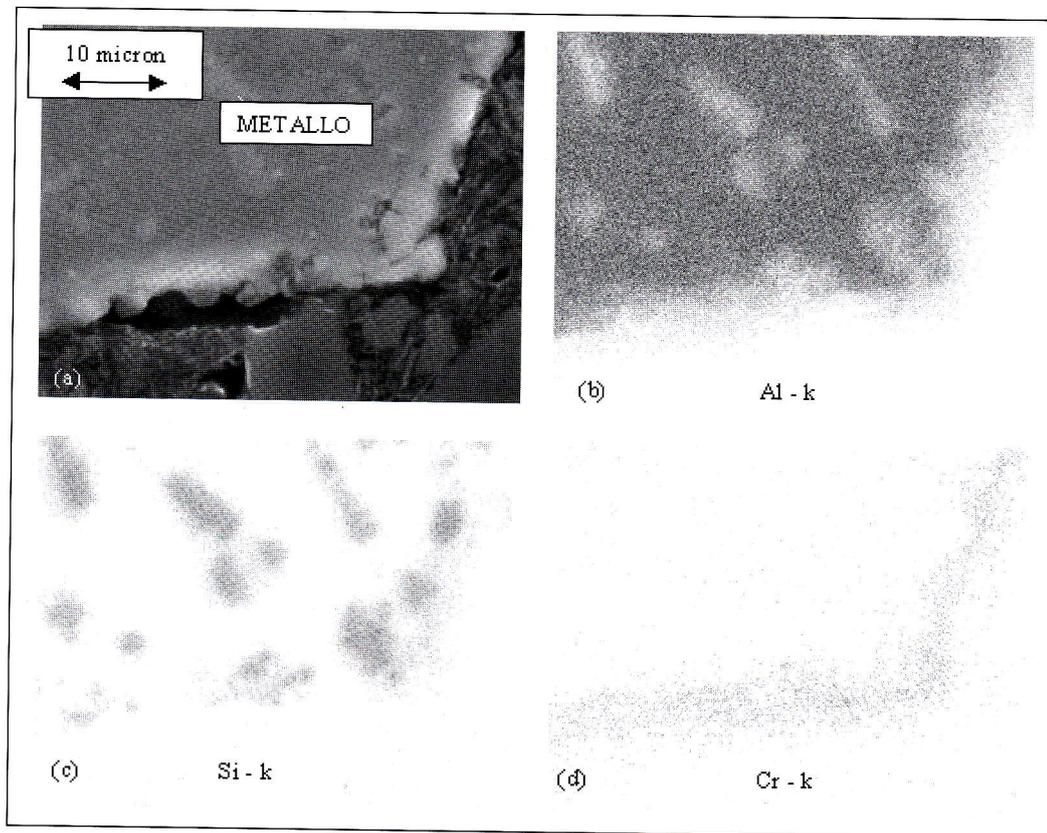


Figura 15: Immagine in elettroni secondari (a) dello strato cromatato in un getto colato in bassa pressione e distribuzione dell'alluminio (b), del silicio (c), del cromo (d).

Figure 15: SEM image (a) of the chromatised layer in a low pressure casting, and EDS mapping of Aluminium (b), Silicon (c) and Chromium (d).

maggior resistenza alla corrosione sono l'ossidazione anodica e l'impregnazione. La corrosione, oltre ad aver intaccato la zona in corrispondenza dell'incisione (Figura 19), si è manifestata anche attorno alle zone con fori e spigoli (tranne che nel getto impregnato e in quello degasato e poi cromatato).

Getti colati in bassa pressione

A parità di durata e di modalità di effettuazione della prova, questa tipologia di getti non ha presentato alcun fenomeno corrosivo, indipendentemente dal trattamento superficiale subito, come è illustrato in Figura 20.

Getti colati in conchiglia

Al termine della prova, anche i getti colati in conchiglia non hanno presentato alcun tipo di corrosione apprezzabile, così come è evidenziato nella Figura 21.

PROVE DI CORROSIONE IN NEBBIA SALINO-ACETICA

L'effettuazione di prove in nebbia salino-acetica ha consentito di differenziare con maggior evidenza il comportamento delle famiglie di getti e di trattamenti presi in esame. Le pro-

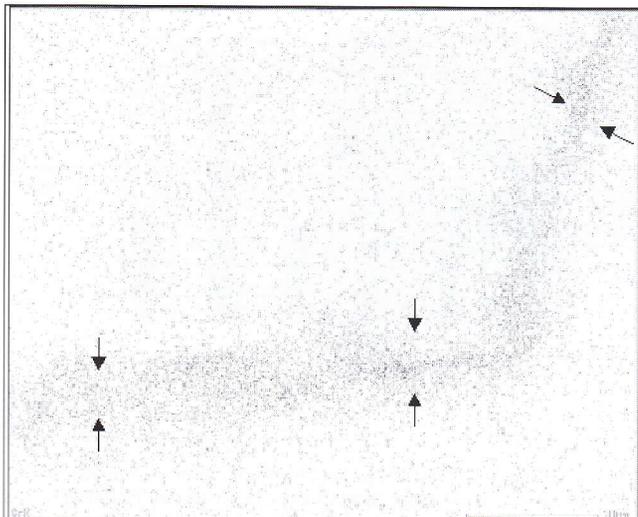


Figura 16: Mappatura del cromo (cfr. Figura 15) e valutazione dello spessore dello strato cromatato

Figure 16: EDS mapping of Chromium (see Figure 15) and evaluation of the thickness of the chromatised layer

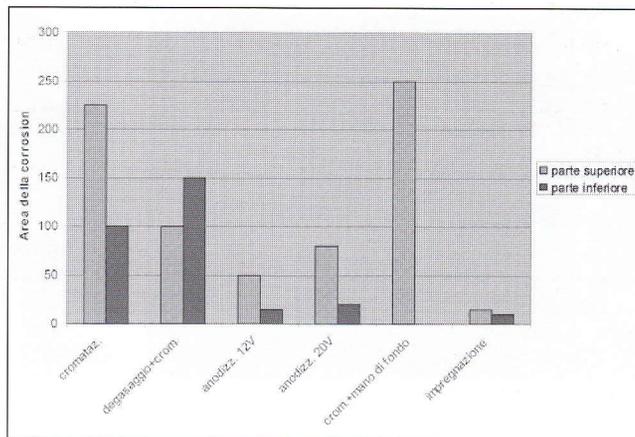


Figura 18: Getti pressocolati: confronto del comportamento a corrosione, espresso come mm² di area corrosa per 10 cm di incisione, dopo 500 ore in nebbia salina, al variare del trattamento preliminare

Figure 18: Diecastings: comparison of the corrosion behaviour (in terms of mm² of corroded area for a 10 cm notch), after 500 hours in salt-spray chamber, for various preliminary treatments

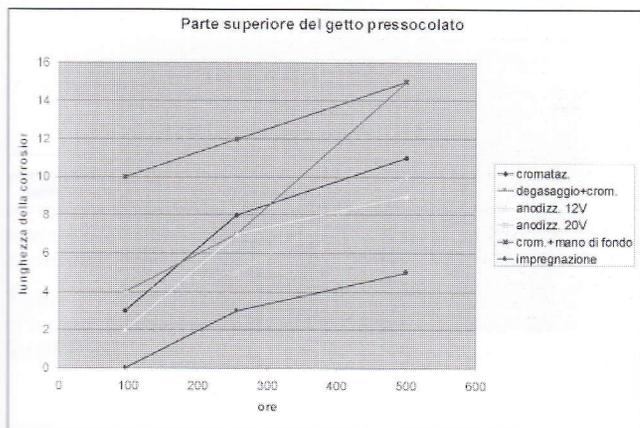


Figura 17: Getti pressocolati: andamento della corrosione filiforme in funzione del tempo di prova e del trattamento preliminare, espresso come lunghezza (mm) di corrosione

Figure 17: Diecastings: progress of filiform corrosion as a function of the testing time and of the preliminary treatment, evaluated in terms of corrosion length (mm)



Figura 19: Getti pressocolati: confronto del comportamento a corrosione, in corrispondenza delle incisioni superficiali, tra getti cromatati e getti sottoposti a impregnazione

Figure 19: Diecastings: comparison of the corrosion behaviour, in the surface notched regions, between chromatised and vacuum sealed castings

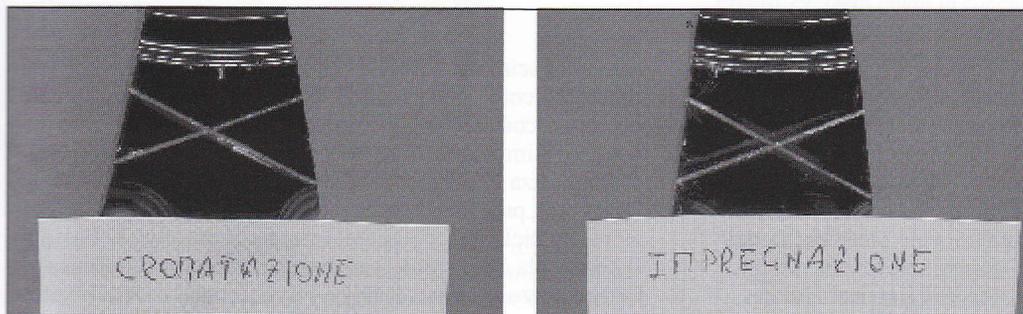


Figura 20: Getti colati in bassa pressione: confronto del comportamento a corrosione, in corrispondenza delle incisioni superficiali, tra getti cromatati e getti sottoposti a impregnazione

Figure 20: Low pressure castings: comparison of the corrosion behaviour, in the surface notched regions, between chromatised and vacuum sealed castings

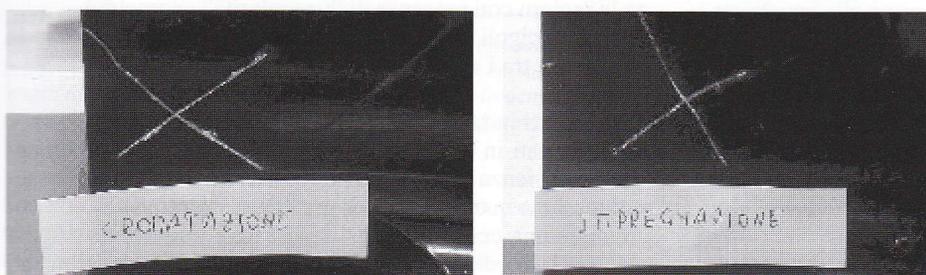


Figura 21: Getti colati in conchiglia: confronto del comportamento a corrosione, in corrispondenza delle incisioni superficiali, tra getti cromatati e getti sottoposti a impregnazione

Figure 21: Permanent mold castings: comparison of the corrosion behaviour, in the surface notched regions, between chromatised and vacuum sealed castings

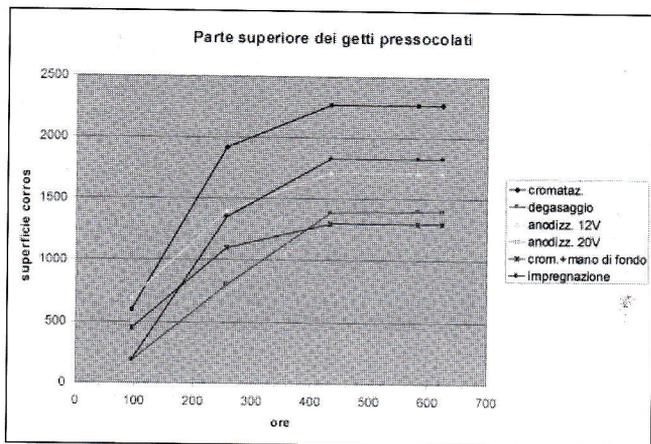


Figura 22: Getti pressocolati: andamento della corrosione in funzione del tempo di prova e del trattamento preliminare, espresso come mm² di area corrosa per 10 cm di incisione

Figure 22: Diecastings: amount of corrosion as a function of the testing time and of the preliminary treatments, in terms of corroded area (mm²) for 10 cm notch.

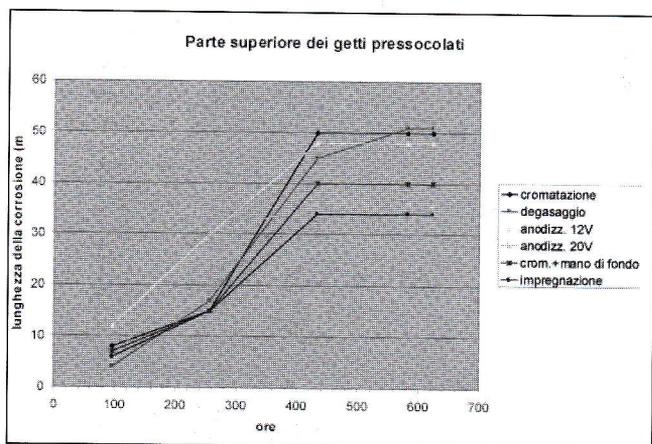


Figura 23: Getti pressocolati: andamento della corrosione filiforme in funzione del tempo di prova e del trattamento preliminare, espresso come lunghezza (mm) di corrosione

Figure 23: Diecastings: amount of filiform corrosion as a function of the testing time and of the preliminary treatments, in terms of corrosion length (mm)

ve sono state eseguite seguendo la procedura indicata dalla norma UNI ISO 9227. Nella soluzione di prova, la presenza di acido acetico glaciale fa sì che il pH della nebbia salina raccolta nella camera di prova sia compreso tra 3.1 e 3.3.

Anche in questo caso, su ogni getto sono state praticate delle incisioni in corrispondenza delle quali si sono misurate sia la lunghezza della corrosione filiforme che l'entità dell'area interessata da fenomeni di corrosione.

I risultati sono schematicamente illustrati in termini di

- evoluzione del fenomeno corrosivo al crescere del tempo di prova,
- stato del materiale dopo oltre 600 ore di test.

Getti pressocolati

Per quanto concerne i getti pressocolati, le Figure 22-23 illustrano come la superficie corrosa, in corrispondenza a 10 mm di incisione, e la lunghezza della corrosione filiforme aumentino con il tempo di prova in maniera differenziata a seconda del pre-trattamento della superficie.

L'anodizzazione ad alto voltaggio, il degasaggio e l'impre-

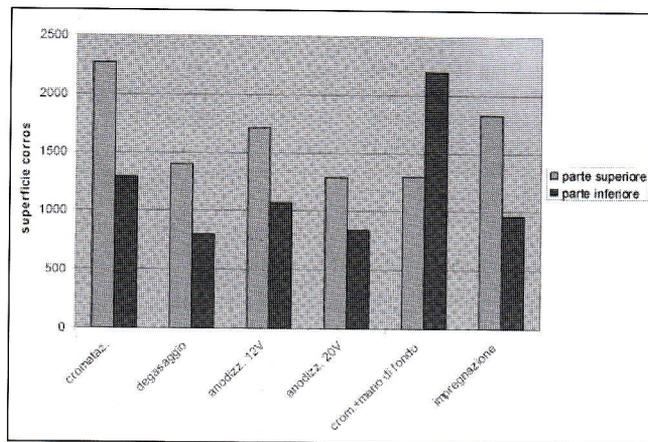


Figura 24: Getti pressocolati: confronto del comportamento a corrosione, espresso come mm² di area corrosa per 10 cm di incisione, dopo 623 ore in nebbia salino-acetica, al variare del trattamento preliminare

Figure 24: Diecastings: corrosion behaviour, in terms of corroded area (mm²) for 10 cm notch, after 623 hours in acetic salt spray chamber, as a function of the preliminary treatment

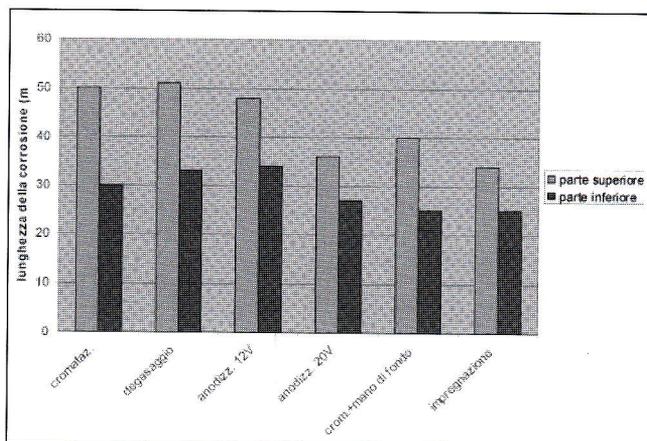


Figura 25: Getti pressocolati: confronto del comportamento a corrosione filiforme, espresso come lunghezza (mm) di corrosione, dopo 623 ore in nebbia salino-acetica, al variare del trattamento preliminare

Figure 25: Diecastings: corrosion behaviour, in terms of corrosion length area (mm) for 10 cm notch, after 623 hours in acetic salt spray chamber, as a function of the preliminary treatment

gnazione sembrano essere i trattamenti migliori per quanto riguarda l'entità della superficie corrosa. Per quanto riguarda invece la corrosione filiforme, l'anodizzazione ad alto voltaggio e l'impregnazione hanno assicurato i valori più bassi di lunghezza di corrosione (istogrammi riassuntivi di Figure 24-25). Si può invece affermare che la cromatazione tradizionale a ciclo è il trattamento che ha fornito la più bassa resistenza alla corrosione in camera a nebbia salino-acetica.

Oltre alle zone in cui l'incisione ha indotto e accentuato il fenomeno corrosivo, particolarmente critiche si sono rivelate le regioni con presenza di "irregolarità" geometriche, quali fori e spigoli (Figura 26). Anche in tal caso, è emersa la differenza tra i vari trattamenti.

Getti colati in bassa pressione

I getti colati in bassa pressione hanno dimostrato una maggiore resistenza ai fenomeni corrosivi, sia rispetto ai pressocolati che a quelli colati per gravità. Ciò premesso, vi è comunque una certa differenziazione tra i trattamenti (Figure 27-28). L'anodizzazione, sia pure con qualche variazione tra

Figura 26: Differenze nell'entità del fenomeno corrosivo nei getti pressocolati, a seconda del trattamento

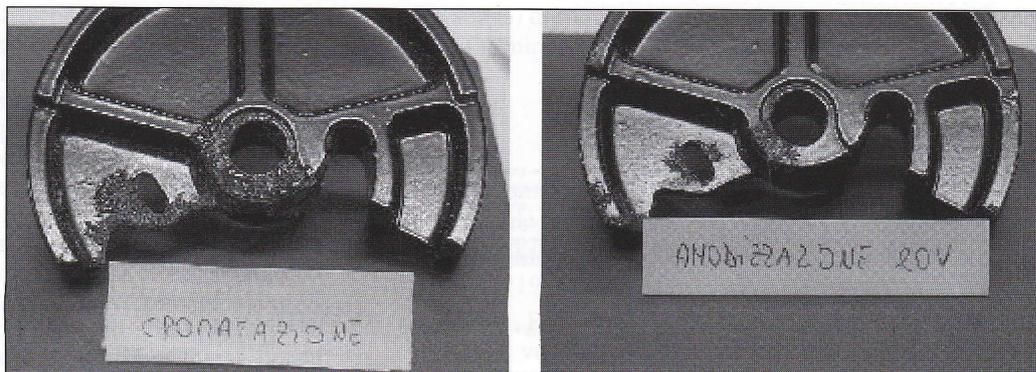


Figure 26: Effect of preliminary treatment on the amount of corrosion in diecastings

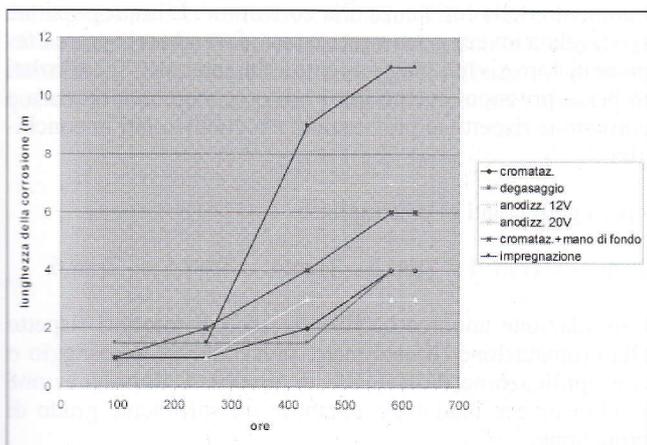


Figura 27: Getti colati in bassa pressione: andamento della corrosione filiforme in funzione del tempo di prova e del trattamento preliminare, espresso come lunghezza (mm) di corrosione

Figure 27: Low pressure castings: filiform corrosion as a function of testing time and preliminary treatment, in terms of corrosion length (mm)

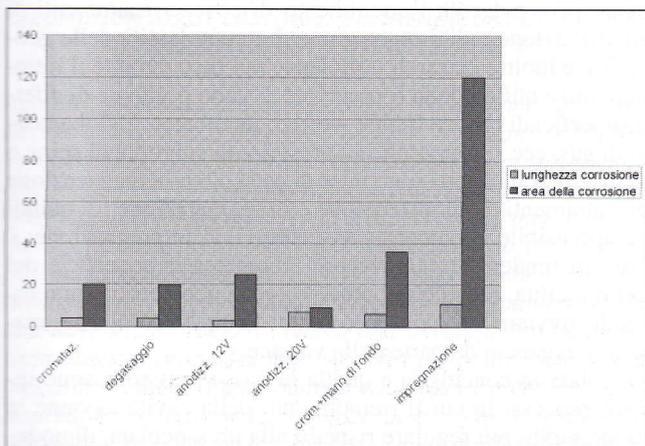


Figura 28: Getti colati in bassa pressione: confronto del comportamento a corrosione, espresso come mm² di area corrosa per 10 cm di incisione e della lunghezza di corrosione filiforme, dopo 623 ore in nebbia salino-acetica, al variare del trattamento preliminare

Figure 28: Low pressure castings: comparison of the corrosion behaviour, in terms of corroded area (mm²) for 10 cm notch and length of filiform corrosion (mm), after 623 hours in acetic salt spray chamber, among the different preliminary treatments

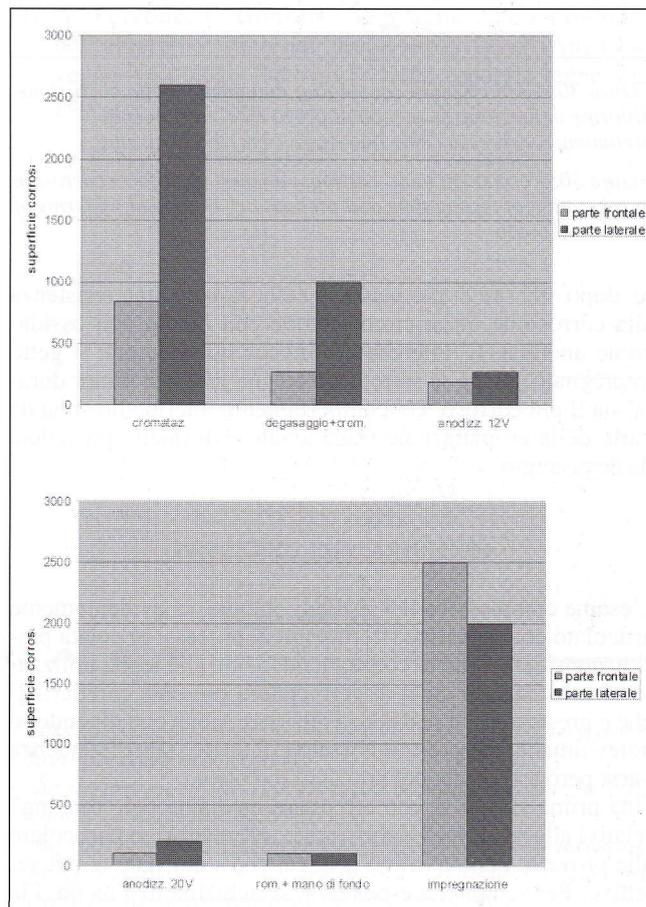


Figura 29: Getti colati in conchiglia: confronto del comportamento a corrosione, espresso come mm² di area corrosa per 10 cm di incisione, dopo 766 ore (a) e dopo 495 ore (b) in nebbia salino-acetica, al variare del trattamento preliminare

Figure 29: Permanent mold castings: comparison of the corrosion behaviour, in terms of mm² of corroded area for 10 cm notch, after 766 hours (a) and 495 hours (b) in acetic salt spray chamber, among the different preliminary treatments

gasaggio hanno comunque fornito risultati pressochè confrontabili con quelli delle anodizzazioni. L'impregnazione invece si è dimostrata inadatta nell'assicurare una efficace resistenza alla corrosione.

Getti colati in conchiglia

In questo caso, la prova di corrosione accelerata si è svolta, per ragioni operative, suddividendo i getti in due gruppi ed operando con durate diverse del test (766 e 495 ore). Dai risultati ottenuti (Figure 29-30) appare comunque chiaro come l'ossidazione anodica permetta di ottenere i risultati migliori in termini di resistenza alla corrosione. La cromatazione seguita da una mano di fondo ha fatto comunque registra-

alto e basso voltaggio è stato il trattamento complessivamente migliore. Cromatazione tradizionale e cromatazione preceduta da de-

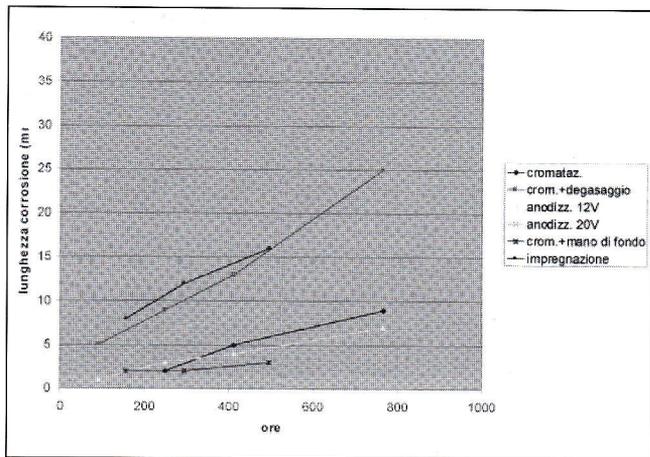


Figura 30: Getti colati in conchiglia: andamento della corrosione filiforme in funzione del tempo di prova e del trattamento preliminare, espresso come lunghezza (mm) di corrosione

Figure 30: Permanent mold castings: amount of filiform corrosion as a function of testing time and preliminary treatment, in terms of corrosion length

re, dopo 495 ore di permanenza nella camera, una resistenza alla corrosione quasi confrontabile con quella dell'ossidazione anodica. E' interessante invece notare come il getto impregnato, anche se sottoposto ad una prova di minor durata, sia il più corroso. Un comportamento intermedio si ha da parte della cromatazione tradizionale e di quella preceduta da degasaggio.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'esame complessivo dei risultati ottenuti va evidentemente articolato con specifico riferimento ai processi di colata presi in considerazione (e conseguentemente alle leghe utilizzate). In sostanza, il ciclo di verniciatura presenta caratteristiche e prestazioni di resistenza alla corrosione che dipendono notevolmente dal pre-trattamento effettuato; tale dipendenza varia però a seconda del processo di colata.

Una prima sintesi si può effettuare mediante dei "ranking" relativi alla resistenza a corrosione, riferendosi in particolare alle prove in nebbia salino-acetica, che sono state le più selettive. Per semplicità espositiva, si richiama in Tabella 3 la numerazione dei pre-trattamenti realizzati.

In termini di protezione dai fenomeni corrosivi offerta dal ciclo di pre-trattamento + verniciatura, si può pertanto affermare che,

- per i getti pressocolati:

Tratt. 4 ≅ Tratt. 6 ≥ Tratt. 5 ≅ Tratt. 2 ≥ Tratt. 3 ≥ Tratt. 1

L'ossidazione anodica e l'impregnazione hanno assicurato la maggior resistenza alla corrosione. L'impregnazione, del resto, trova nelle microporosità superficiali dei getti pressocolati il terreno migliore per manifestare la sua efficacia. La cromatazione invece, anche se preceduta dal trattamento di

degasaggio, o seguita da una mano di fondo, si è rivelata inadatta nell'offrire un sufficiente grado di protezione. L'entità del fenomeno corrosivo, nei pressocolati, è stata decisamente superiore rispetto agli altri processi di colata presi in esame.

- per i getti colati in bassa pressione:

Tratt. 3 ≅ Tratt. 2 ≅ Tratt. 1 ≅ Tratt. 4 > Tratt. 5 > Tratt. 6

L'ossidazione anodica e la cromatazione, sia tradizionale che preceduta da degasaggio, sono stati i trattamenti che hanno garantito il miglior grado di protezione. La mano di fondo non sembra essere determinante per quanto riguarda l'aumento della resistenza alla corrosione. L'impregnazione si è rivelata invece poco vantaggiosa, facendo registrare i fenomeni corrosivi di maggior entità. In generale, i getti colati in bassa pressione hanno dimostrato la miglior resistenza a corrosione rispetto ai pressocolati e a quelli colati in conchiglia.

- per i getti colati in conchiglia:

Tratt. 3 > Tratt. 1 ≅ Tratt.2 ≅ Tratt.4 ≅ Tratt.5 >> Tratt.6

L'ossidazione anodica ha fornito risultati migliori rispetto alla cromatazione (tradizionale, preceduta da degasaggio o con applicazione della mano di fondo). L'impregnazione sembra invece inadatta a garantire un sufficiente grado di protezione.

In definitiva, si può ritenere che l'abbinamento lega-processo di colata giochi il ruolo maggiormente significativo per quanto riguarda l'attitudine alla verniciatura dei getti. Si tratta di aspetti decisamente interconnessi. Infatti, il processo di pressocolata richiede leghe ad elevata colabilità, date le cavità complesse e con spessori sottili da riempire e le elevatissime velocità di iniezione. Tale colabilità viene garantita dall'utilizzo di leghe ad alte percentuali di silicio, il quale però ostacola l'ottenimento di efficaci trattamenti di anodizzazione e di cromatazione. La complessità delle geometrie è inoltre causa di turbolenze nel fuso durante il riempimento e quindi della formazione di varie tipologie di difetti superficiali (gocce fredde, vortici, incollaggi, inglobamento di gas, ecc.), soprattutto in presenza di spigoli e di spine o di inserti. Tali difetti sono pure di ostacolo alla realizzazione di trattamenti di anodizzazione e di cromatazione. E' quindi comprensibile il vantaggio assicurato dall'impregnazione: il fatto di rendere comunque più omogenea la superficie del getto facilita, almeno dal punto di vista geometrico (non essendo ovviamente possibili azioni di tipo "composizionale"), l'aggancio da parte della vernice.

La colata in conchiglia e quella in bassa pressione sono invece processi in cui il riempimento della cavità avviene in modo molto più regolare rispetto alla pressocolata, dimodochè la presenza di difetti superficiali è notevolmente ridotta e l'impregnazione risulta in un certo senso superflua. Diventano pertanto selettive, per l'attitudine alla verniciatura, le caratteristiche composizionali della lega. Il miglior comportamento complessivo da parte dei getti colati in bassa pres-

Tratt. n° 1	CROMATAZIONE + VERNICIATURA
Tratt. n° 2	DEGASAGGIO + CROMATAZIONE + VERNICIATURA
Tratt. n° 3	ANODIZZAZIONE A 12V + VERNICIATURA
Tratt. n° 4	ANODIZZAZIONE A 20V + VERNICIATURA
Tratt. n° 5	CROMATAZIONE + MANO DI FONDO + VERNICIATURA
Tratt. n° 6	IMPREGNAZIONE + VERNICIATURA

Tabella 3: riepilogo dei trattamenti preliminari alla verniciatura

Table 3: Summary of the preliminary treatments

sione rispetto a quelli prodotti in conchiglia è indubbiamente legato al minor contenuto di silicio e di rame (elemento pure dannoso per anodizzazione e cromatazione) e al maggior livello di magnesio (elemento invece favorevole). In pratica, vi sono le condizioni per l'ottenimento, mediante le varie tipologie di cromatazione e di anodizzazione, di un eccellente aggancio tra vernice e substrato, requisito essenziale per un più efficace mantenimento delle caratteristiche estetiche e funzionali dello strato verniciato. La bontà di tale aggancio è inoltre funzione dei parametri di trattamento (si confrontino ad esempio i cicli di anodizzazione per i getti in conchiglia).

L'ottenimento di cicli di verniciatura affidabili, pur con le distinzioni sopra illustrate, richiede pertanto, nell'ambito della fonderia dell'alluminio, una scelta di leghe a composizione ottimizzata, fermi restando ovviamente gli aspetti di colabilità e di caratteristiche meccaniche finali. Al di là di questo, la messa a punto dei parametri operativi (diversi da

lega a lega) di trattamenti quali anodizzazione e cromatazione può fornire risultati vantaggiosi.

Riferimenti bibliografici

- [1] M. Conserva, G. Donzelli, R. Trippodo: "Alluminio, manuale degli impieghi", EDIMET
- [2] ASM Metals Handbook, 10th ed., "Surface Engineering" (1996), ASM International, Metals Park (Ohio).
- [3] R. Boi, F. Bonollo, M. Melchiotti: "Getti in lega di alluminio: verso una normativa sui trattamenti superficiali", Oxit, 1 (2000), pp 11-14.
- [4] A. Perrone, F. Bonollo, V. Wagner: "La Fonderia dell'alluminio: stato dell'arte e prospettive", Atti Congresso Tecnologie Innovative nella fonderia leghe leggere, Brescia (1998), pp. 1-53.

A B S T R A C T

ALUMINIUM ALLOY CASTINGS: DEFINITION OF GUIDELINES FOR THE SET UP OF PAINTING TREATMENTS

Actually, foundries are being considered not more as "producers of castings": they must be able, by means of fruitful co-operations with suppliers and customers, of developing and producing components correctly designed, with increasingly optimised technological properties. In this way, all the operations, preliminary and subsequent to the casting process (which continues to be the "heart" of the manufacturing cycle), become fundamental for the foundry itself, and have to be properly studied and developed. Among the technological processes that very frequently are carried out on castings, there is the painting, which must give castings a reliable behaviour, in terms of aesthetics and of corrosion resistance. In other terms, the casting must offer, during the in-service life, the constancy of the surface characteristics obtained at the end of the manufacturing cycle.

In the industrial practice, the efficiency of a painting treatment is strictly related with both the alloys taken into account and the correct carrying out of treatments preliminary to the painting itself. A systematic evaluation of the methods for carrying out these treatments and of the efficiency of the whole painting cycle on Aluminium alloys castings is not available, up to now, on technical and scientific literature.

The main objectives of the present work are

- *the evaluation of the efficiency of different pre-painting methods for treating the castings surface,*
- *the comparison, in terms of reliability of the preliminary treatment + painting cycle, among different foundry pro-*

cesses (permanent mold casting, low pressure diecasting, high pressure diecasting),

- the definition of the role of alloy composition on the efficiency of the painting treatment,

- the individuation of the main guidelines for an advantageous performing of the preliminary treatment + painting cycle on Aluminium alloy castings,

- the development of a Standard, regulating the relationships among foundries, painting companies and end-users.

During the research, they have been investigated diecastings (AlSi12Cu1(Fe)), as well as low pressure (AlSi7Mg0.3) and permanent mold (AlSi10Cu) castings (Figure 1, Table 1).

On these castings, before painting (carried out by means of polyester powders), several kinds of preliminary treatments have been performed:

- Chromatisation + painting with polyester powders (Figure 2);

- Degassing + chromatisation + painting with polyester powders;

- Anodisation (12V) + painting with polyester powders (Figure 3);

- Anodisation (20V) + painting with polyester powders;

- Chromatisation + epoxy primer + painting with polyester powders;

- Vacuum sealing + painting with polyester powders.

Figure 4 shows the castings after painting.

Summarising, they have been achieved, considering all the experimental variables involved, 18 40 "groups" of painted castings, on which characterisation and tests have been carried out. In detail, they have been done

- observations at stereographic microscope of the macroscopic features of the painted surfaces,
- adhesion tests,
- measurements (light microscope + image analysis) of the thickness of painted layers,
- investigations by means of scanning electron microscope with microprobe about the efficiency of some pre-treatments,
- corrosion tests in neutral and acetic salt-spray chamber (according to UNI ISO 9227, Table 2),

Certainly, it is difficult to summarise the great number of results achieved (some investigations are in progress, yet). However, some points are worth mentioning.

In all specimens, the painted film is not homogeneous, due to the surface morphology and geometry of the castings (Figure 5). However, a generally good adhesion between paint and casting surface has been observed (Figure 6).

The evaluation of painted film thickness (Figures 7-10) showed that, apart from the use of primer, the anodisation treatment led to the better results, particularly for diecastings. The more regular painted films were observed in low pressure castings.

It has been put into evidence also the role of composition: the Silicon present in Al diecasting alloys plays a detrimental role on the quality of pre-treatments. In diecastings, the anodised layer, even if high voltage is applied, often has a thickness lower than 1 micron, Figures 11-12). Figures 13-16 allow the comparison between the good chromatisation achieved in low pressure casting and the poor results obtained for diecastings.

In terms of corrosion resistance (salt spray chamber), the best results (Figures 17-21) have been achieved by anodisa-

tion and vacuum sealing for diecastings, while no corrosion has been observed in low pressure and permanent mold castings. The tests in acetic salt spray chamber have been more selective (Figures 22-30). The better corrosion resistance has been shown by low pressure castings (particularly if anodised or chromatised). Qualitatively similar results have been obtained for permanent mold castings. For diecastings, whose corrosion resistance is poor, in comparison with other processes, relatively good results have been obtained by anodisation and vacuum sealing.

It seems that diecasting can be considered the most critical process, if a very good quality (in terms of aesthetics and functionality) is required to painted surfaces. The reasons, apart from the already discussed effect of Silicon, are also related to surface morphology (the micro-defects induced by the turbulent flow of the alloy during die filling are preferential sites for humidity and residual lubricants, which, once covered by a painted film, can easily initiate gaps and corrosion phenomena) and to casting geometry (increasing the degree of complexity – as it usually happens for diecastings – the homogeneity of the painted film decreases).

Thus, it becomes fundamental, more for diecastings than for other kinds of castings, the correct selection and carrying out of pre-painting treatments. Such a selection have to be related, however, to the casting process involved (and, consequently, to the alloy used).

As a concluding remark, the painting of casting is a technological stage very less simple than in appearance. This work is a first stage of activity, aimed at quantifying with a proper degree of accuracy the effect of each of the variables involved and at giving a normative tool really useful both for foundries and painting companies.