

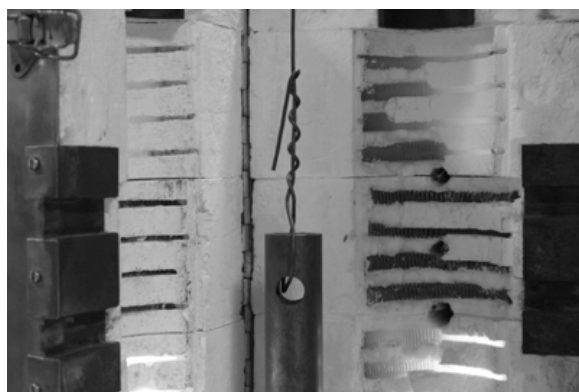
BOTTARO

DAL 1956

FILO FERRO · IRON WIRE · FIL DE FER · EISENDRAHT

www.bottaro.org

Performance del filo di ferro nel processo di Zincatura a Caldo: uno studio tecnico.



Una ricerca realizzata da

ZINCO
SERVIZI
P.L.L.

AQM
CENTRO SERVIZI TECNICI ALLE IMPRESE



Gentile Cliente,

Mentre celebriamo il 50° Anniversario della Bottaro Mario Srl, la nostra realtà è più che mai dinamica e in costante evoluzione.

Servendo Aziende in tutte le Nazioni, ogni giorno viviamo l'impegno verso il Cliente come una promessa personale.

L'industria della zincatura a caldo è da sempre interlocutrice di alto profilo e consumatrice di molti dei nostri prodotti. Oggi è un grande piacere essere in grado di offrire ai Clienti di questo specifico settore uno studio completo e rigoroso sulla performance del filo durante un tipico ciclo di zincatura a caldo.

Ho fortemente voluto che il progetto fosse seguito da un gruppo di ricerca indipendente, composto da esperti di zincatura e da tecnici metallurgici qualificati, che raggiungessero con questo lavoro il più alto profilo scientifico possibile avvalendosi degli strumenti più aggiornati e adeguati.

Credo che Zinco Service ed AQM si siano rivelati la giusta scelta.

Ritengo che questo lavoro sarà ben accolto dagli zincatori come un'importante parte dell'evoluzione verso un'industria più sicura e processi economicamente razionali.

È' anche mia personale speranza che questo lavoro venga vissuto come un chiaro segno di impegno della nostra Azienda per la qualità totale.

Infine, questo studio è anche un modo per dire "grazie" alle persone che hanno creduto in noi, scegliendoci come fornitore qualificato: un augurio per molti altri anni di servizio e di fiducia.

Cordialmente,

A handwritten signature in dark ink that reads "Gian's Bottaro". The signature is fluid and cursive, with the first name "Gian's" being more prominent.

Fondatore e Presidente della Bottaro Mario SRL

Ringraziamenti

La Bottaro Mario Srl desidera ringraziare gli autori per il loro coinvolgimento attivo in questo studio: Mario e Pietro Ubiali della Zinco Service Srl e Fabio Pozzi e Mauro Marini di AQM Srl.

La Bottaro Mario Srl e gli Autori desiderano inoltre ringraziare l'Arch. Alberti, il Sig. Bani e tutto lo staff della Nord Zinc Spa per il supporto fondamentale durante i test in produzione.

Un grazie anche allo staff tecnico di AQM Srl per la logistica e l'assistenza.

Introduzione

È ampiamente accertato che uno dei più comuni metodi di legatura dei manufatti zincati a caldo comporta l'uso del filo di ferro. Questa pratica è vecchia quasi quanto il processo industriale di zincatura a caldo, grazie alla sua flessibilità nel rispetto delle varie geometrie dei prodotti che la routine di ogni giorno impone agli operatori.

L'alto grado di dipendenza dell'esecuzione manuale delle legature ha spesso scoraggiato un approccio scientifico alla performance del filo di ferro nel settore della zincatura a caldo, mentre sono stati eseguiti alcuni studi sui risultati e l'uso sicuro delle legature per mezzo di filo metallico [1,2].



Pozzi e Ubiali si confrontano sulle modalità dei test di trazione..

Alla fine del 2005, Bottaro Mario Srl, uno dei maggiori produttori di filo di ferro in Europa, ha incaricato Zinco Service Srl di eseguire una valutazione completa, tecnica e scientifica, della performance del filo di ferro che viene quotidianamente distribuito e utilizzato nell'industria della zincatura a caldo.

L'obiettivo principale di questa ricerca non era quello di suggerire tecniche di legatura o di testarle, ma di fornire agli zincatori nel mondo dati sostanziali sulla performance meccanica del filo, basandosi sulle prassi di utilizzo negli insediamenti industriali e sulle relative aspre condizioni di processo.

Lo scopo di questo lavoro è stato, perciò, quello di esporre minuziosamente i possibili cambiamenti nelle performance del filo e nel carico di rottura durante il processo di zincatura a caldo. Un altro intento degli autori era quello di esaminare da una angolazione inedita l'uso del filo di ferro in questa industria: prima di valutare le tecniche di legatura e altri argomenti correlati alla sicurezza, si è ritenuto infatti opportuno concentrarsi sui cambiamenti di performance alle quali il filo stesso è soggetto. Questi dati si confermano centrali per tutti gli ulteriori sviluppi in materia, costituendo un tassello essenziale dell'informazione scientifica oggi disponibile sullo status del filo in diverse fasi del processo.

Dati ulteriori sul comportamento del filo in zone critiche di incisione lungo il prodotto legato sono stati raccolti come obiettivo di ricerca supplementare, con l'intento finale di aprire una via all'inclusione di ulteriori sviluppi sulle tecniche di legatura.

In effetti, questo studio costituisce il primo passo di un più ampio progetto di valutazione sull'utilizzo del filo di ferro nella zincatura a caldo: un progetto che potrebbe coinvolgere in futuro Bottaro Mario Srl, Zinco Service e una sezione speciale del Comitato Tecnico di AIZ, l'Associazione Nazionale degli Zincatori Italiani.

Piano generale della ricerca e tecniche di campionatura.



Un gruppo di campioni di filo sottoposto a zincatura aspetta l'inizio dei test..

Per raggiungere un soddisfacente significato statistico dello studio, i campioni utilizzati provengono da due diverse linee di produzione della Bottaro Mario Srl. Per ognuna delle due linee, chiamate rispettivamente A e B, sono stati selezionati i diametri più comunemente usati nel settore della zincatura a caldo: 2.1, 3.1, 4 e 5 millimetri.

I campioni sono stati raccolti da un lotto di produzione omogeneo di barre di filo di ferro di 2400 mm di lunghezza, lotto che è stato poi inviato presso Nord Zinc Spa, l'Azienda che ha svolto un ruolo chiave nel supporto ai test di produzione durante questo progetto. L'omogeneità di questo gruppo di campioni è stata garantita da un preciso controllo sui tempi e sui parametri di produzione, assicurando così la provenienza dalla stessa unità produttiva e dallo stesso giorno di produzione.

Tutti i gruppi di campioni sono stati identificati e contrassegnati e, prima dell'uso, depositati in un'area coperta e asciutta. Cinque campioni per ogni diametro, per entrambe le linee di produzione A e B, sono stati estratti dal lotto e spediti ai laboratori di AQM per alcune analisi preliminari. La premessa era che nessuna caratterizzazione del comportamento del filo di ferro sarebbe stata possibile senza che gli stessi laboratori raccogliessero informazioni dettagliate sulle barre di filo prima dell'utilizzo. Questo stadio è stato convenzionalmente chiamato "punto zero" del protocollo di ricerca e ha coinvolto un totale di 40 campioni (5 campioni x 4 diametri x 2 linee produttive).

Al fine di valutare appieno lo status al punto zero dei fili utilizzati come campioni, gli stessi sono stati sottoposti ai seguenti test:

- a) analisi chimica
- b) test di durezza
- c) analisi microstrutturale
- d) prova di trazione (carico di rottura, carico di snervamento e allungamento).

Una volta compiuta una caratterizzazione completa dei campioni, AQM e Zinco Service hanno pianificato i test di produzione da eseguire presso Nord Zinc Spa.

Il team di progetto, unitamente al Sig. Bani di Nord Zinc, ha discusso la questione e optato per uno schema d'azione che idealmente ricreasse le condizioni tipiche di lavoro nei cicli di produzione giornaliera negli stabilimenti di zincatura a caldo.

Lo stabilimento selezionato opera un trattamento classico di zincatura a caldo, partendo con lo sgrassaggio ad alta temperatura, il decapaggio in acido Cloridrico a temperatura ambiente, il lavaggio, il flussaggio, il preriscaldamento e la zincatura a caldo.

Il sommario completo delle condizioni di processo è riportato nella seguente Tabella 1.

PARAMETRO DI PROCESSO	VALORE
Decapaggio Acido (HCl): acidità libera	95 gr/l
Decapaggio Acido (HCl): ferro disciolto	115 gr/l
Temperatura del Decapaggio	7 ° C
Temperatura dell'essicatoio	120 ° C
Temperatura del Bagno di Zinco	449 ° C

Tabella 1: Condizioni di processo registrate presso Nord Zinc Spa durante la raccolta di campioni industriali.

Due principali risultati dovevano essere raggiunti durante i test industriali:

- 1- testare, in una situazione reale, un significativo numero di campioni in una gamma ragionevolmente ampia di condizioni produttive;
- 2- testare i fili metallici di diversi diametri in condizioni realistiche, quindi con appropriati carichi assicurati ai fili stessi.

Per raggiungere questi scopi, sono stati designati come gruppo base (batch) 5 campioni per ogni diametro e per ogni linea di produzione (A e B).

Questi batch sarebbero poi stati testati in base a tutte le combinazioni possibili di quattro diversi tempi di decapaggio e quattro diversi tempi di zincatura. Nello specifico, 4, 8, 12 e 24 ore di decapaggio sono state combinate con 8, 12, 20 e 30 minuti di immersione nello zinco fuso.

Queste combinazioni possono essere considerate rappresentative dello standard così pure come di alcune occasionali condizioni inusuali di trattamento nell'industria di zincatura a caldo. Un sommario di tutte le combinazioni testate e i relativi numeri di campioni sono presentati nella seguente Tabella 2.

	4 Hrs HCl	8 Hrs HCl	12 Hrs HCl	24 Hrs HCl
8 Minuti in Zinco Fuso	5	5	5	5
12 Minuti in Zinco Fuso	5	5	5	5
20 Minuti in Zinco Fuso	5	5	5	5
30 Minuti in Zinco Fuso	5	5	5	5

Tabella 2: Numero di campioni e relative combinazioni dei parametri di processo durante i test industriali presso Nord Zinc Spa

Per quanto riguarda il bisogno di riprodurre il contesto produttivo reale, i campioni di filo dovevano essere caricati con pesi appropriati. Basandosi sul limite di carico di rottura nominale e sulla pratica industriale, come pure sulle scarse linee guida pubblicate [3], sono stati assunti alcuni pesi statici relativi a ogni diverso diametro testato. Un sommario dei carichi di lavoro è sintetizzato nella Tabella 3.

Diametro (mm)	Carico di Lavoro (Kg)
2.1	25
3.1	50
4	100
5	125

Tabella 3: Sommario dei carichi di lavoro associati ai diversi diametri durante i test industriali presso Nord Zinc Spa



Pesi ricavati da profili in acciaio per i test industriali. Sono qui visibili due misure già pronte per la preparazione della traversa.

I pesi sono stati costruiti utilizzando un profilo quadrato di 140 x 140 mm di lato, tagliato a misura e, quando necessario, saldato per ottimizzare la superficie e il volume totale. I pesi sono stati poi forniti di un anello di acciaio per assicurare una veloce legatura del filo.

E' stato anche deciso che, una volta terminate le prove industriali, i campioni sarebbero stati portati in laboratorio per un primo round di verifica. Il test principale sarebbe stato una prova di trazione, eseguita su una macchina per trazione modello Zwick Z150, raccogliendo dati su carico di rottura, carico di snervamento e allungamento.

Se i valori per il parametro chiave del carico di rottura avessero mostrato un decremento superiore al 10% di



I fili opportunamente caricati entrano nel decapaggio.



Ingresso alla fase di essicazione.



La traversa è a questo punto pronta per l'immersione..



L'estrazione dal bagno di zinco è quasi completa.



Uno sguardo ravvicinato su pesi e fili al momento dell'estrazione..



I pesi appena utilizzati vengono predisposti al successivo riutilizzo.

performance rispetto al “punto zero”, sarebbero stati eseguiti ulteriori prove, ovvero analisi micro-strutturali e chimiche per determinare i motivi profondi di tale decremento.

Tale orientamento si basava sulla nozione, comunemente accettata, che il filo di ferro avrebbe mostrato un 30% di diminuzione del carico di rottura dopo la zincatura [4].

Una volta definito questo complesso piano di prove e di test, così come i carichi appropriati, l’esecuzione delle prove industriali si è svolta al ritmo di un test al giorno. Ciascun test prevedeva la preparazione di una traversa, che sarebbe stata sottoposta a decapaggio per solo uno dei 4 tempi prefissati (4, 8, 12 e 24 ore). La stessa traversa doveva essere preparata, come mostrato nelle immagini pubblicate in queste pagine, per ospitare un totale di 5 campioni x 4 diametri (20 campioni) da raccogliere per le prove su filo solo decapato e 5 campioni più lunghi (x 4 diametri), da cui sarebbero stati prelevati i campioni relativi ai quattro tempi di zincatura prefissati. Tale prelievo sarebbe avvenuto ricavando campioni di circa 300 mm di lunghezza per ciascun tempo di zincatura: una possibilità legata all’utilizzo di un’asta graduata che permettesse l’immersione progressiva ed omogenea dei campioni nella vasca di zincatura.

Lo schema così elaborato ha permesso la massima efficacia nel raccogliere i campioni e nel risparmiare tempo e zinco, limitando il numero di immersioni da eseguire.

Risultati

Come esposto nel capitolo precedente, era stato stabilito che tutti i campioni delle Linee A e B sarebbero stati sottoposti a una completa analisi al “punto zero” prima di avviare il test di trazione come valutazione successiva all’impiego nel processo industriale.

I risultati completi delle analisi chimiche, delle prove di durezza e degli esami microstrutturali sono di seguito presentati. Innanzitutto, la seguente tabella mostra i risultati dell’analisi chimica sui campioni.

Campione	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V
Line A–2.1 mm	0,01	0,05	0,23	0,009	0,013	0,06	0,02	<0,01	0,03	0,054	0,002
Line A–3.1 mm	0,03	0,06	0,29	0,020	0,019	0,09	0,11	0,01	0,32	0,004	0,003
Line A–4 mm	0,03	0,04	0,35	0,009	0,031	0,08	0,11	0,02	0,30	0,005	0,001
Line A–5 mm	0,05	0,05	0,35	0,011	0,017	0,03	0,07	0,01	0,05	0,009	0,005
Line B–2.1 mm	0,08	0,06	0,43	0,015	0,021	0,07	0,04	0,01	0,06	0,009	0,001
Line B–3.1 mm	0,06	0,01	0,41	0,017	0,024	0,09	0,04	0,01	0,03	0,006	0,001
Line B– 4 mm	0,04	0,01	0,32	0,012	0,039	0,02	0,03	0,02	0,04	0,006	0,001
Line B– 5 mm	0,04	0,02	0,25	0,014	0,038	0,02	0,04	<0,01	0,04	0,004	0,005

Tabella 4: Riassunto dei risultati delle analisi chimiche eseguite sulle Linee A e B prima dei test (contenuto espresso in %).

Campione	Durezza HV30
Line A – 2.1 mm	109
Line A – 3.1 mm	124
Line A – 4 mm	106
Line A – 5 mm	132
Line B – 2.1 mm	126
Line B – 3.1 mm	116
Line B – 4 mm	169
Line B – 5 mm	99

Tabella 5: Riassunto schematico dei risultati dei test di durezza sulle Linee A e B.

Un secondo step preliminare ha incluso una completa valutazione alla trazione di tutti i diametri delle Linee A e B. I risultati di queste prove sono riportati nelle Tabelle seguenti. Si noti che per ciascun diametro sono stati testati cinque campioni, allo scopo di garantire una significatività statistica dei risultati.

	Diametro (mm)	S0 (mm ²)	Fmax. (kN)	Rm (Kg)
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.11	113.14
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.14	113.15
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.13	113.15
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.12	116.21
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.15	115.19
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.86	291.53
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.88	291.54
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.88	293.58
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.92	293.58
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.93	297.66
Diametro 4	4	12.6	5.09	518.85
Diametro 4	4	12.6	5.13	522.93
Diametro 4	4	12.6	5.13	522.93
Diametro 4	4	12.6	5.14	522.94
Diametro 4	4	12.6	5.13	522.93
Diametro 5	5	19.6	6.75	688.07
Diametro 5	5	19.6	6.77	690.11
Diametro 5	5	19.6	6.81	694.18
Diametro 5	5	19.6	6.79	692.15
Diametro 5	5	19.6	6.83	696.22

	Diametro (mm)	S0 (mm²)	Fmax. (kN)	Rm (Kg)
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.29	131.49
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.31	133.53
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.29	131.49
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.28	130.47
Diametro 2.1	2.1	3.5	1.31	133.53
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.58	262.99
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.57	261.97
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.56	260.95
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.57	261.97
Diametro 3.1	3.1	7.5	2.55	259.93
Diametro 4	4	12.6	4.85	494.39
Diametro 4	4	12.6	4.76	485.21
Diametro 4	4	12.6	4.83	492.35
Diametro 4	4	12.6	4.84	493.37
Diametro 4	4	12.6	4.85	494.39
Diametro 5	5	19.6	6.43	655.45
Diametro 5	5	19.6	6.42	654.43
Diametro 5	5	19.6	6.48	660.55
Diametro 5	5	19.6	6.45	657.49
Diametro 5	5	19.6	6.46	658.51

Tabella 6: Riassunto schematico delle prove di trazione eseguite su 5 campioni di ciascun diametro per le linee A e B
 S0 è la superficie totale testate (sezione del filo). Fmax la forza massima esercitata sulla sezione (in kN) mentre Rm esprime il carico di rottura in Kilogrammi.

I risultati sono qui presentati come osservazioni sulle informazioni base disponibili al punto zero e poi come riflessioni derivanti dalle prove di trazione sui campioni provenienti dai test in produzione.

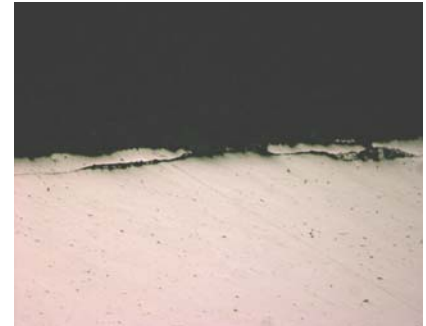
Innanzitutto, la completa caratterizzazione al punto zero suggerisce ciò che segue:

a) Non ci sono differenze analitiche significative e accentuate tra i campioni delle linee A e B dei vari diametri che possano indicare possibili irregolarità metallurgiche. Entrambe le linee A e B mostrano valori nella norma, sebbene tracce minori di Zolfo in alcuni campioni della linea B potrebbero suggerire ulteriori indagini sulle microinclusioni nell'acciaio. (Si veda a tal proposito il punto E)

b) L'analisi chimica indica che i campioni della linea A e B sono, per la grande maggioranza, da includere tra acciai di tipo non-Sandelin, quindi poco reattivi alla zincatura.

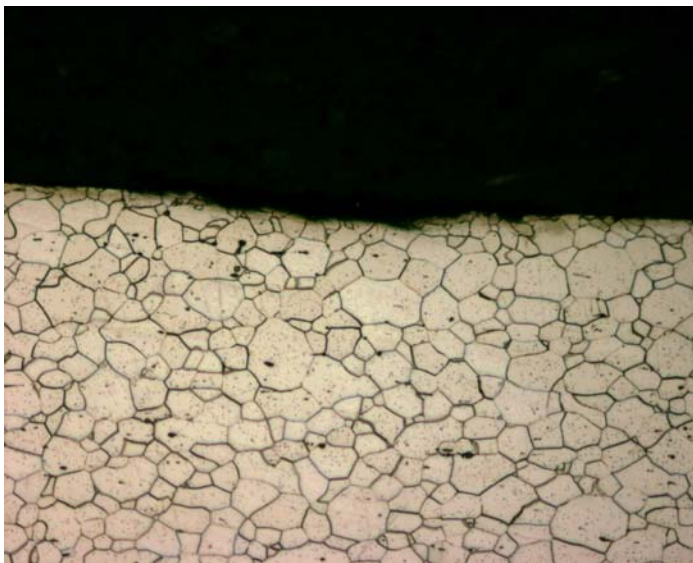
c) Gli esami micrografici hanno evidenziato che i fili d'entrambi i fornitori evidenziano microdifetti corticali per tutte le gamme dimensionali esaminate. Tali difetti, corrispondenti a microlacerazioni e/o strappi per una profondità massima di 20 micron, sono "fisiologicamente" attribuibili al processo di laminazione/trafilatura.

Come indicato dall'esito delle prove di trazione, l'entità di tali difetti non ha tuttavia penalizzato le caratteristiche tensili ne, tantomeno, la ripetibilità di tali valori. Ciò vale anche per gli stessi difetti e la loro influenza sulle prove di trazione in campioni raccolti dopo il decapaggio o la zincatura a caldo.



Esempio di micro-difetti di laminazione sulla superficie del filo.

d) La condizione microstrutturale è essenzialmente simile per tutti i saggi esaminati, in quanto

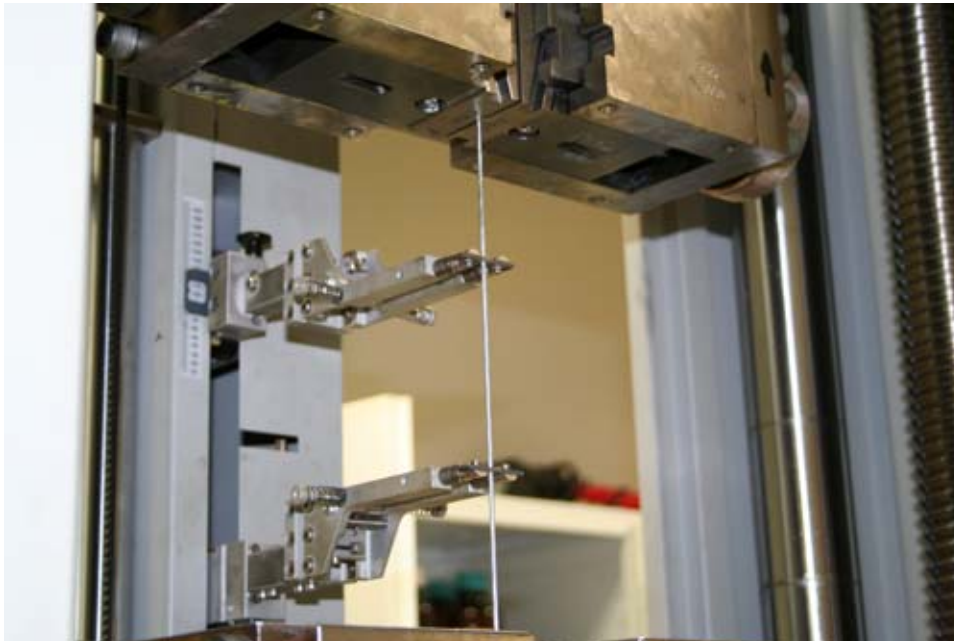


Microstruttura e profilo superficiale in un campione di filo del diametro di 3.1 mm.

caratterizzata da una microstruttura essenzialmente ferritica con grano omogeneo, esente da orientamenti cristallini. Per entrambi i fornitori, la misura della grossezza del grano ha evidenziato una fisiologica variazione tra i fili aventi diametro minore (filo \varnothing 2,1 mm) ed il filo avente diametro maggiore (filo \varnothing 4 mm). Tale differenza, corrispondente ad una variazione massima di n° 3 punti Grano, non ha tuttavia comportato penalizzazioni delle caratteristiche tensili del filo stesso.

e) Le analisi microinclusionali su tutti i campioni evidenziano in alcuni casi inclusioni allungate di Solfuro di Manganese, che sono normalmente isolate e disperse nel materiale base. Il massimo grado di presenza di microinclusioni in entrambe le linee è di valore 5 secondo la tabella di riferimento contenuta nella norma UNI 3244 (80), cioè corrispondente a una lunghezza massima di 70 micron. Nessuna di queste inclusioni sembra aver influito sul test di trazione, come verrà dimostrato più tardi in questo stesso studio.

f) I test di trazione al punto zero danno come risultato uguali caratteristiche meccaniche nelle Linee A e B, sempre associate ad un'eccellente riproducibilità (bassa dispersione dei dati) dei valori relativi al carico di rottura, di snervamento e allungamento.



Esempio del setting tipico dei test di trazione sulla Zwick Z150. In questo caso ad essere testato è un campione zincato..

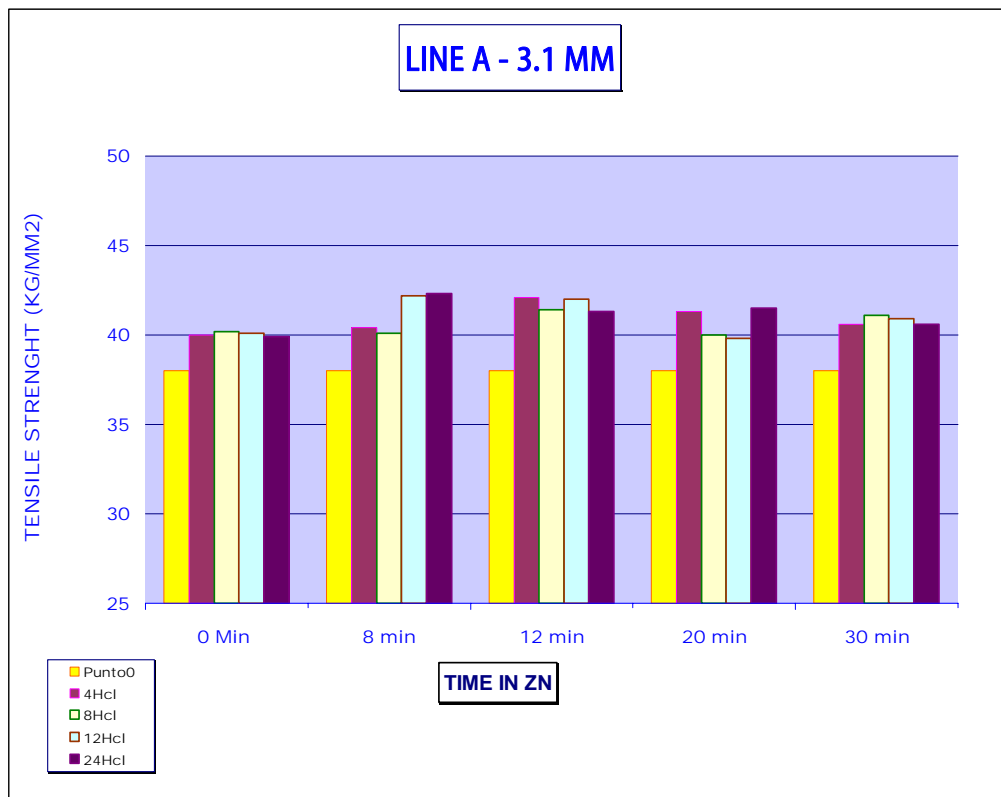
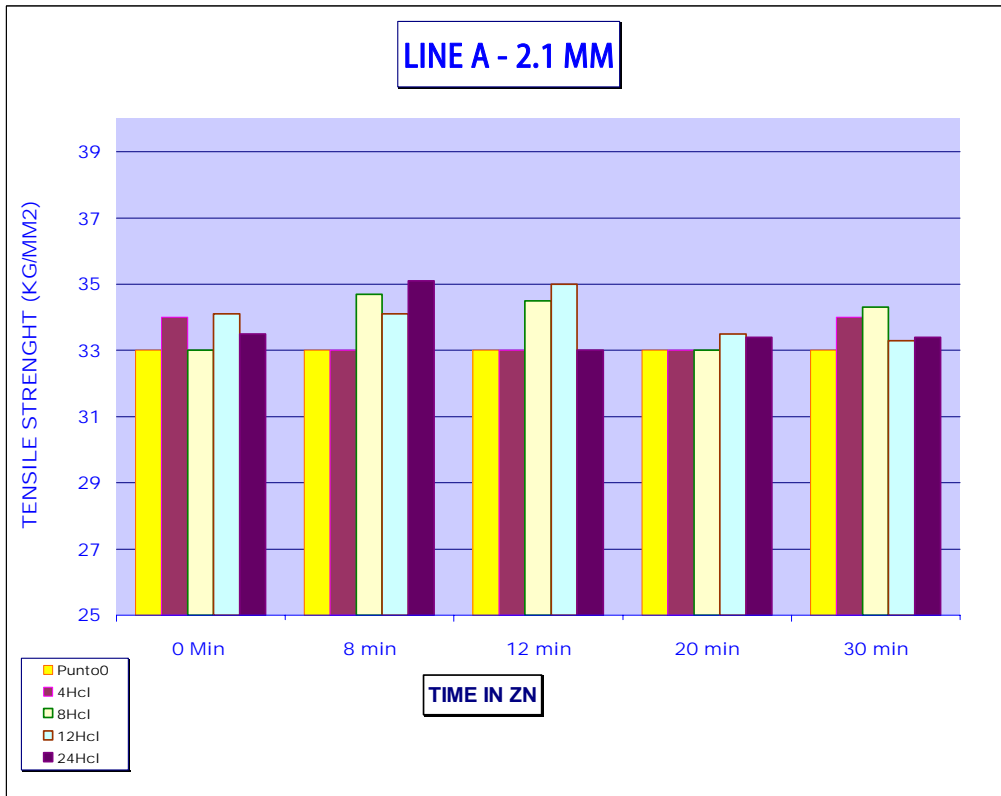
Dopo aver fornito questo gruppo base di dati al fine di costituire un effettivo inizio per i successivi sviluppi, lo studio è passato ai test di trazione su tutti i campioni ricavati dalla campionatura nel contesto produttivo. Ogni prova doveva essere effettuata su spezzoni di circa 300-350 mm di lunghezza, producendo dati sul carico di rottura, sul

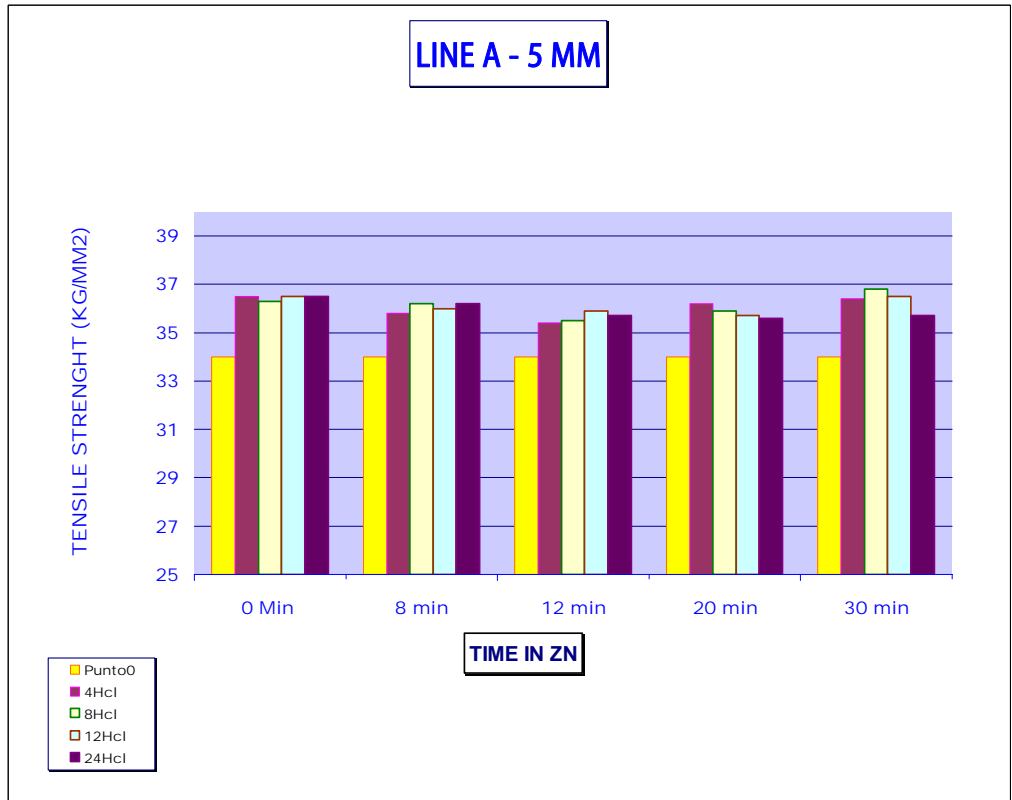
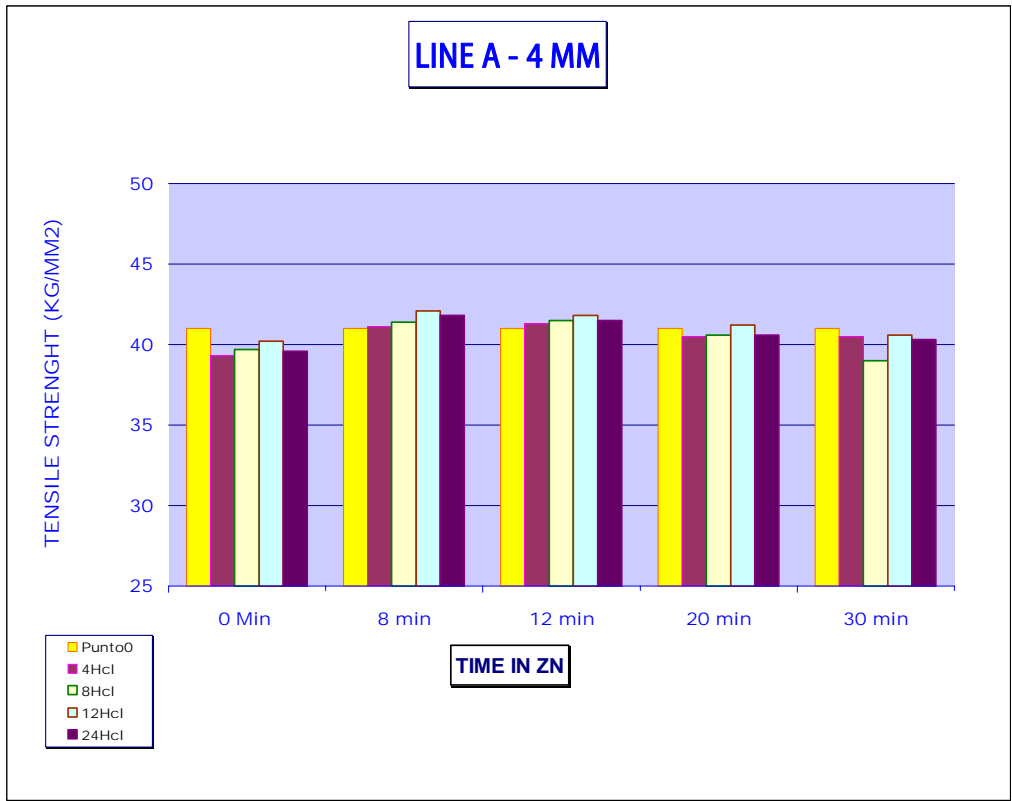
carico di snervamento e sull'allungamento. Come stabilito precedentemente, il 10% di decremento nel carico di rottura rispetto al dato al punto zero avrebbe costituito motivo di ulteriori indagini.

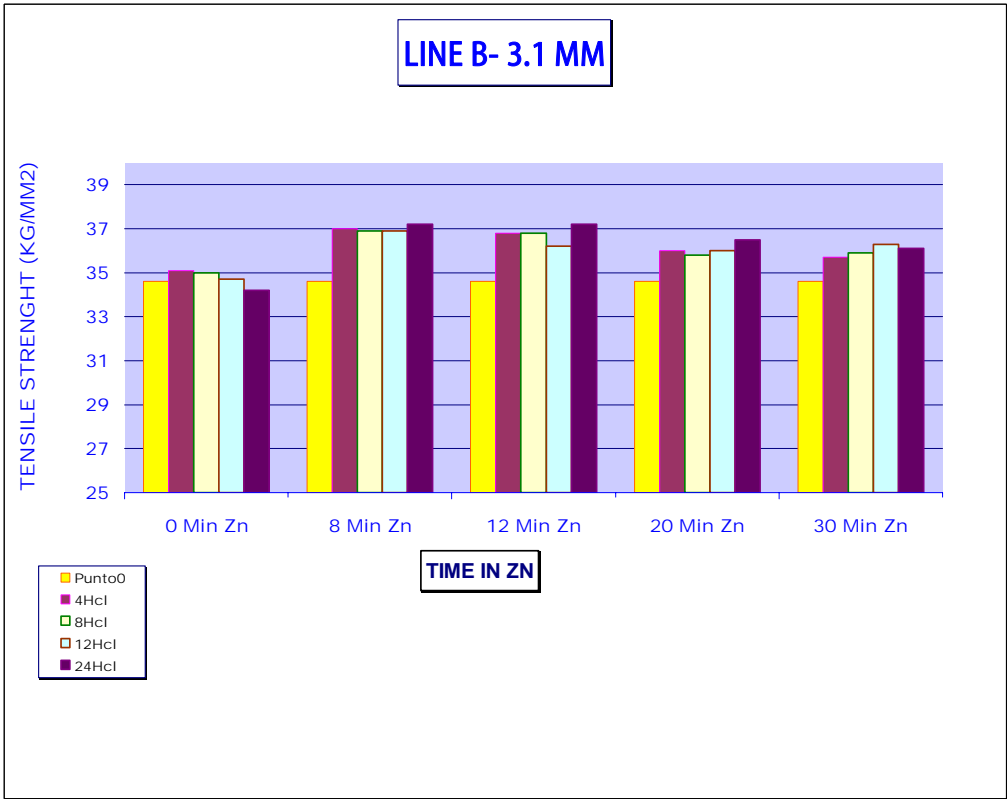
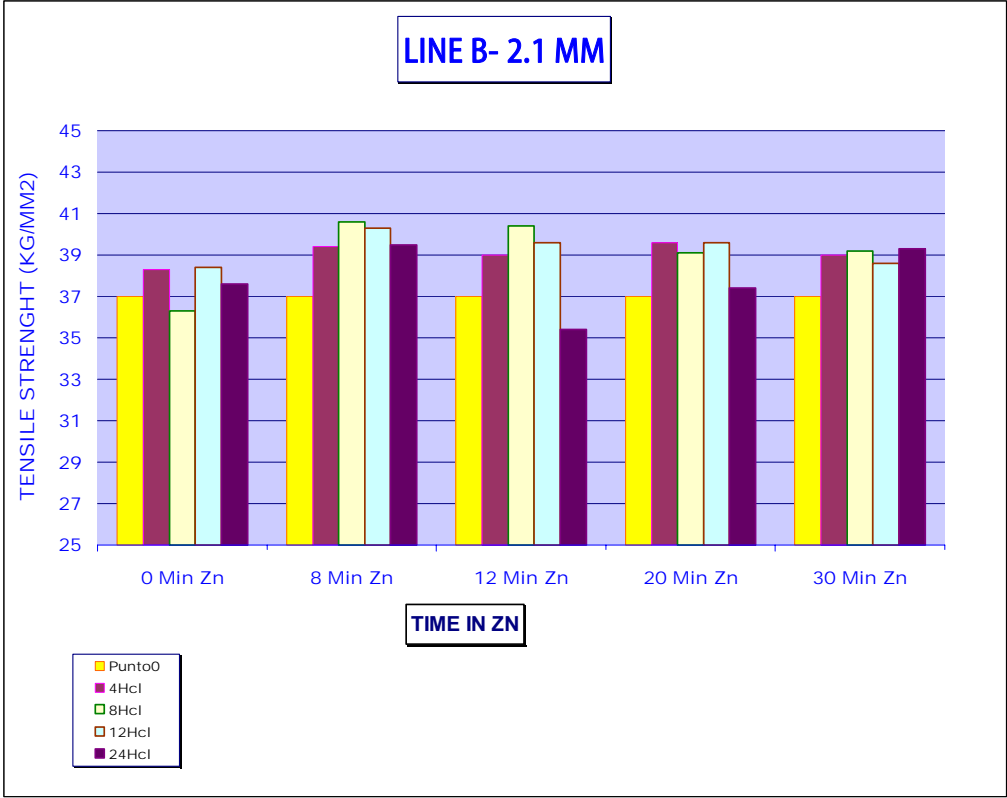
I risultati ottenuti per tutti i campioni sono presentati nei grafici seguenti, dove i dati sono suddivisi in Linea A e Linea B e poi raffigurati in un grafico per ciascun diametro testato. Si noti che, per maggiore chiarezza nella presentazione, ciascuna barra colorata rappresenta uno specifico tempo di decapaggio, in modo che possano essere comparati i risultati relativi ai differenti tempi di zincatura associati ai 4 tempi di decapaggio.

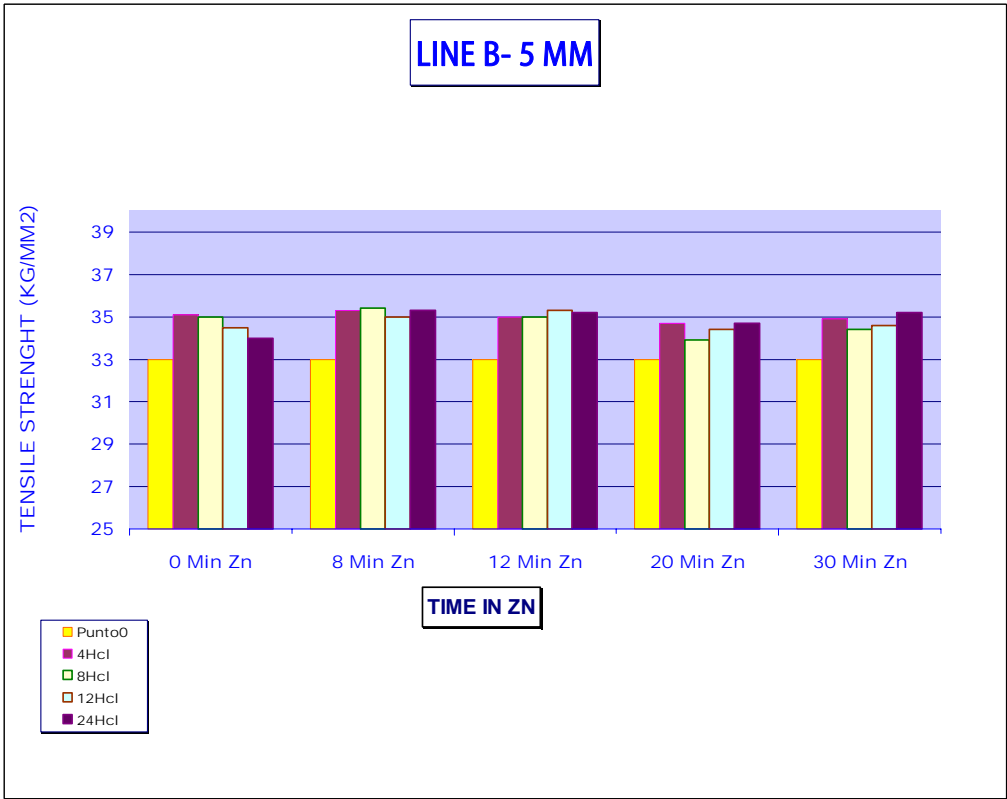
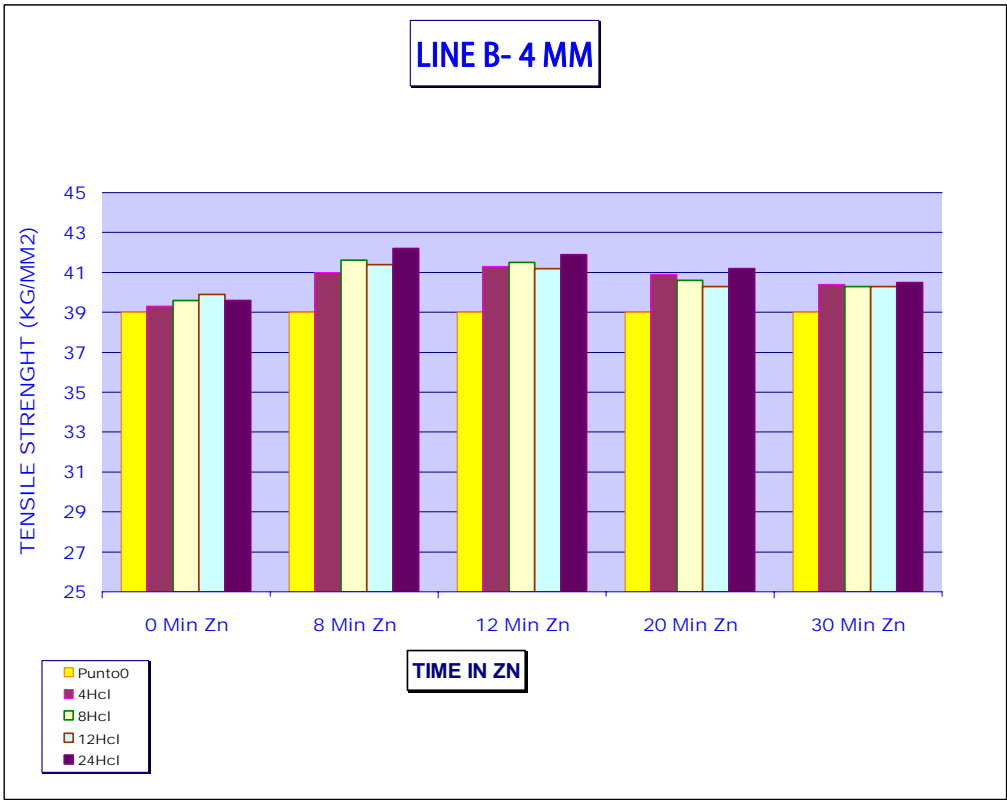
Le informazioni sono raccolte in forma grafica per fornire un quadro immediato del significato statistico e dell'omogeneità dei dati. Inoltre, i risultati sono accostati alla media del carico di rottura al punto zero, la prima barra gialla alla sinistra di ogni gruppo.

Questo confronto rende più semplice valutare, ad un primo sguardo, la deviazione dalla performance iniziale del filo, che è normalmente limitata e per la maggior parte delle volte è positiva anziché negativa.









La valutazione dei test di trazione induce alcune importanti osservazioni che costituiscono l'obiettivo centrale della ricerca qui svolta.

1) Tutti i risultati dei test di trazione sui campioni ricavati in produzione sono omogenei. Il comportamento dei campioni durante tali test indica una buona significatività statistica dei risultati ottenuti.

2) I valori relativi al carico di rottura non rivelano perdita delle proprietà meccaniche nei campioni che sono stati sottoposti al processo di zincatura a caldo. In effetti, il carico di rottura non ha mai risentito di una perdita del 10% o superiore, addirittura aumentando leggermente in molti casi. Queste condizioni tendono ad indicare che nessun cambiamento metallurgico significativo è stato indotto nel filo dal processo industriale, come pure non gravano sulla performance i micro-difetti superficiali citati nelle valutazioni relative al punto zero. I numeri mostrano chiaramente che la diminuzione stimata del 10% del carico di rottura non è stata osservata, correggendo così parzialmente la nozione precedentemente accettata che il filo subisca una perdita del 30% del carico di rottura durante la zincatura a caldo.



I test su campioni zincati risultano spesso nel distacco della parte esterna del rivestimento.

I grafici confermano la notevole regolarità dei risultati come pure l'assenza di perdita significativa nel carico di rottura. Essi permettono anche alcune osservazioni minori sui micro-cambiamenti nella performance in alcune situazioni, che potrebbero condurre ad ulteriori indagini in futuro.

Infatti, sono a questo punto possibili alcune osservazioni aggiuntive, pur sottolineando che esse si basano sull'assunto che siano da ritenere significative le oscillazioni nella forza massima esercitabile sulla sezione comprese tra i 2 e i 5 Kg/mm². Deve essere annotato a questo proposito che tali variazioni nel carico di rottura eccedono di poco la massima deviazione accettata per la specifica apparecchiatura utilizzata nelle prove di trazione. Ciò significa che i cambiamenti commentati potrebbero in parte dipendere da fattori esterni occasionali correlati alle procedure di test in laboratorio.

Fatto salvo tale assunto, i grafici per i diametri 3.1 e 4 mm nelle Linee A e B mostrano chiaramente che indipendentemente dal tempo di decapaggio, i campioni che sono stati sottoposti a immersione nello zinco fuso hanno normalmente mostrato un aumento del carico di rottura se comparati a campioni che sono stati sottoposti al solo decapaggio.

I campioni delle Linee A e B da 2.1 mm di diametro hanno mostrato un comportamento meno prevedibile, sebbene la tendenza generale alla dispersività dei dati fosse estremamente contenuta.

Infine, i campioni della Linea A e B da 5 mm di diametro hanno mostrato una performance molto regolare in tutte le condizioni e normalmente migliore dopo alcuni stadi di produzione piuttosto che nelle condizioni relative al punto zero.

Tutte queste osservazioni “minori” dovrebbero essere riverificate su una base statistica più ampia e essere convalidate possibilmente con ulteriori analisi oltre al classico test di trazione. È opinione degli autori che alcune di queste indicazioni potrebbero condurre a ulteriori e interessanti studi, sebbene il loro significato sia ancora da chiarire sul fronte della performance del filo di ferro nell’industria della zincatura a caldo.

Test aggiuntivi e loro risultati

Quando gli Autori e la Bottaro Mario Srl hanno discusso i risultati della prima e preponderante parte del progetto, è apparso piuttosto chiaro che l’indicazione generale scaturita dallo studio a proposito del comportamento del filo in zincatura fosse evidentemente positiva. La performance del filo di ferro utilizzato nella zincatura a caldo è costante e non legata significativamente alle condizioni di processo, così come una discreta mole di dati indica che il decapaggio e la zincatura non inducono una perdita di performance, come invece si riteneva precedentemente.

Comunque, il lavoro compiuto era dichiaratamente indirizzato verso un’area limitata dell’oggetto d’indagine, fornendo alcuni dati base che non erano disponibili in precedenza.

Gli Autori e lo staff alla Bottaro Mario Srl hanno pensato, a quel punto, che poteva essere fatto un ulteriore sforzo, per poter aggiungere alcuni dati che avrebbero potuto mettere il loro lavoro in relazione ad altri simili sforzi di approfondimento, così come aprire la strada per sviluppi futuri.

È stato quindi programmato un nuovo ciclo di test. I risultati di questi test sono qui brevemente presentati come un completamento della parte principale del progetto.

a) Test di trazione su filo legato ad alta temperatura.

Una delle più comuni obiezioni ai tipici test di trazione sul filo di ferro che deve essere utilizzato nella zincatura a caldo viene da coloro che credono che la legatura potrebbe alterare la performance del filo in produzione. È indubbiamente vero che le tecniche di legatura possono fortemente influenzare i risultati nel



Set up della Zwick Z150 per i test sul filo legato ad alta temperatura. Sono visibili un forno elettrico cilindrico e la barra di tondo forata con spigolo vivo per la simulazione del pezzo legato.

campo industriale e questo è un importante tema al quale l'intero mondo della zincatura presta sempre più attenzione.

D'altra parte, lo scopo del presente studio è dichiaratamente quello di porre attenzione alla struttura del filo di ferro, la sua composizione chimica e le sue proprietà meccaniche, possibilmente in relazione diretta con il tipico ciclo di zincatura a caldo.

E' sembrato dunque logico compiere uno sforzo ulteriore per collegare il vasto ammontare di dati raccolti sul filo al resto della letteratura disponibile sulle tecniche di legatura, eseguendo una breve serie di test su fili dalle proprietà note, annodati ed esposti ad alte temperature.



Dettaglio della legatura superiore, con il punto di aggancio tondo e l'ingresso nella parte superiore del forno elettrico.

Lo schema di questa ulteriore prova è stato strutturato come segue:

- Testare tutti i diametri della Linea A e B;
- Testare i fili legandone un'estremità all'interno di una barra tonda in acciaio dotata di un foro a spigolo vivo e l'altra su un supporto a di sezione circolare, simile alle normali traverse di aggancio;
- Testare i fili in condizioni di temperatura che simulassero l'esposizione a 450°C tipica della zincatura a caldo. Il ciclo termico sarebbe stato il seguente: da temperatura ambiente a 450°C (in circa un minuto), 12 minuti a 450°C, diminuendo poi nuovamente per tornare a temperatura ambiente;
- Il ciclo termico descritto sarebbe stato associato ad un programma di carico molto preciso, eseguito automaticamente dalla macchina Zwick Z150. Il ciclo prevedeva: pre-tensionamento a temperatura ambiente con il carico nominale usato nei test di produzione (si veda la

Tabella 3 per i dettagli). A seguire, quando il filo sarebbe stato portato a 450°C, il carico sarebbe stato ridotto del 90% (simulando la spinta dovuta al galleggiamento del pezzo nello zinco fuso), ritornando poi al carico nominale usato nei test di produzione, per proseguire nel normale test di trazione, arrivando al punto di rottura o di slegatura del filo.



Esempio della tecnica di legatura adottata.

Al fine di valutare l'influenza della tecnica di legatura è stato deciso di adottare quella mostrata nell'immagine a sinistra, che è tuttora considerata la più comune nelle linee di produzione di tutta Europa.

E' stato inoltre deciso che i campioni della Linea A sarebbero stati testati con legature a più spire, simulando un approccio più accurato, mentre i campioni della Linea B sarebbero stati testati con

un numero minore di spire, per riprodurre le condizioni medie di preparazione nelle vere linee di produzione, dove gli operatori tendono a preferire la velocità all'accuratezza.

Tutti i test compiuti hanno mostrato che il filo legato non si rompe, ma che giunta ad un certo carico è la legatura stessa ad aprirsi e sfilare. Questa indicazione generale sembra confermare che la trazione a caldo e lo stesso spigolo vivo sul materiale non hanno prodotto un'influenza significativa sul filo nelle aree "sensibili", quelle cioè dove avrebbero potuto prodursi rotture da tagli o da compressione.

È anche interessante notare che il carico applicato per ottenere l'apertura delle legature è notevolmente superiore al carico operativo medio normalmente suggerito e utilizzato in zincatura a caldo.

La tabella seguente presenta carichi che hanno indotto la slegatura del filo in tutti i campioni.

Campione	Carico di Slegatura (Kg)
Line A – 2.1 mm	108.76
Line A – 3.1 mm	214.26
Line A – 4 mm	456.26
Line A – 5 mm	652.08

Line B – 2.1 mm	83.28
Line B – 3.1 mm	135.77
Line B – 4 mm	380.12
Line B – 5 mm	519.36

Tabella 14: Riassunto dei carichi risultanti in slegatura del filo.

È chiaro che l'attenzione che è stata dedicata alla legatura (numero di spire) influenza la performance finale del filo. Comunque, anche la qualità standard di "routine" della legatura produce un risultato alla trazione significativamente superiore alla performance richiesta ogni giorno sul campo.

Inoltre, il carico di slegatura è significativamente più vicino al carico di rottura rispetto al carico operativo utilizzato quotidianamente, suggerendo così che anche la più routinaria delle tecniche di legatura possa garantire una buona performance.

Questo conferma inoltre che gli studi recenti sulle tecniche di legatura possono certamente costituire un interessante approccio all'uso del filo, specialmente dopo la piena conferma delle sue proprietà fisiche e l'influenza delle condizioni industriali, che sono state ben valutate dal presente studio.

b) Test di corrosione: condizioni ambientali altamente corrosive e condizioni normali di immagazzinamento.

Un'altra opinione molto comune riguardante l'uso del filo di ferro nella zincatura a caldo è legata alle condizioni di immagazzinamento. È piuttosto comune vedere fili di ferro soggetti ad una corrosione più o meno evidente dopo un periodo di stoccaggio.



Particolare dello stato corrosivo prima della spazzolatura.

Per simulare il peggior caso delle condizioni di deposito o di trasporto, sono stati compiuti diversi test in 2 situazioni separate.

Per prima cosa, è stato condotto un test in nebbia salina per una durata totale di 8 ore. Questo test è comunemente considerato come il principale metodo di valutazione della resistenza alla corrosione di un'ampia varietà di materiali. Il risultato ricercato sui campioni



Confronto tra campioni prima e dopo la spazzolatura.

testati della Linea A e B era evidente: ricavare una valutazione generale del grado di corrosione dei materiali adottati quando soggetti ad attacco acido.

I risultati del test hanno confermato che il comportamento del filo di ferro qui analizzato è da considerare positivo e pienamente inserito nelle medie ottenute per acciai e prodotti simili, senza particolari eccezioni o segni di corrosione anormale. Macchie da corrosione sono apparse in dimensioni e forme compatibili con la media dei risultati in acciai simili.



Punti di corrosione visibile successivamente alla spazzolatura.

Per quanto i test di corrosione in nebbia salina possano essere interessanti, è spesso richiesta una valutazione che riguardi il comportamento del filo di ferro depositato e trasportato in condizioni particolarmente aggressive, ad esempio via mare e chiuso in un container.

Al fine di ottenere dati sulla corrosione in tali situazioni, i fili sono stati sottoposti a test in una speciale camera umido-statica che potesse simulare 20 giorni di deposito in presenza di molta umidità e calore.

L'obiettivo era chiaramente quello di riprodurre il più possibile le condizioni tipiche a bordo di una nave container.

I campioni sono stati testati per 20 giorni, alternando 12 ore a 22°C con l'80% di umidità ad altre 12 ore a 44°C, sempre con l'80% di umidità.

I risultati sono mostrati nell'immagine seguente. Oltre ad un tipico film sottile di ossido, nessuna altra reazione anormale o nessun fenomeno di corrosione accentuata è stata osservata.



Ossidazione risultante dai test in camera umidostatica.

E' importante sottolineare che da entrambi i test di corrosione in nebbia salina e in camera umido-statica non ci sia aspettava un risultato sorprendente sulla qualità del filo in condizioni aggressive. Infatti se l'acido cloridrico del decapaggio non ha influito significativamente, nonostante un'immersione di 24 ore, sulla performance alla trazione durante i test di produzione, non ci saremmo aspettati nessun risultato diverso dai campioni che erano stati sottoposti ad un grado segnatamente inferiore di aggressione chimica. Ciò nonostante, era nelle intenzioni della Bottaro Mario Srl far luce anche sulle condizioni di deposito per raggiungere migliori standard operativi nel mondo.

c) Assorbimento di zinco nelle Linee A e B

Per quanto potesse sembrare essere un tema totalmente scollegato, l'assorbimento di zinco è stato incluso in questo studio come una parte complementare della valutazione generale delle Linee A e B.

È piuttosto comune, specialmente in periodi in cui il prezzo dello zinco è particolarmente alto, prestare attenzione ai fattori che possono determinarne un consumo superiore alla media.

Dal momento che il filo di ferro è così ampiamente utilizzato come materiale per legatura, è anche abbastanza logico che gli zincatori si domandino se nella composizione del filo sono presenti gli elementi chimici notoriamente legati al cosiddetto effetto Sandelin: silicio e fosforo. E' già stato sottolineato che le analisi chimiche di tutti i campioni indicano che non ci si deve aspettare un significativo effetto Sandelin nei fili testati delle Linee A e B (si veda in proposito il punto B nella Sezione "Risultati").

Ora vengono qui sono presentati i risultati della prova di assorbimento di zinco eseguita sul filo. I risultati sono stati ottenuti mediante test di assorbimento.....

Campione	Assorbimento Di Zinco (gr/mt quadrato)
Line A – 2.1 mm	862
Line A – 3.1 mm	681
Line A – 4 mm	616
Line A – 5 mm	628

Line B – 2.1 mm	666
Line B – 3.1 mm	588
Line B – 4 mm	556
Line B – 5 mm	556

Tabella 8: Assorbimento di zinco nei campioni delle Linee A e B

Conclusioni

Il presente studio è stato condotto al fine di valutare la performance del filo di ferro comunemente usato nell'industria della zincatura a caldo. È stata analizzata un'ampia gamma di campioni provenienti da due diverse linee produttive, per osservare la performance alla trazione associata a diverse combinazioni di decapaggio e di zincatura.

I risultati presentati indicano che non c'è una diminuzione significativa del carico di rottura durante il processo di zincatura a caldo per tutti i diametri selezionati nei lotti di una descritta condizione chimica e microstrutturale. Per questo, la nozione precedentemente condivisa che l'immersione nel metallo fuso risultasse in una perdita stimata del 30% del carico di rottura sembra mancare di supporto sperimentale quando riferita al filo di ferro con proprietà chimico/fisiche qui preso in esame.

È chiaro che tutti i dati ottenuti debbano costituire solo un primo passo per un progetto di valutazione più ampio nel campo dell'utilizzo del filo di ferro nella zincatura a caldo, sebbene l'insieme dei dati tecnici resi disponibili con il presente studio possa già costituire una solida base per ulteriori sviluppi nelle tecniche di legatura o nei problemi di incisione e possa essere di stimolo per ricerche aggiuntive.

Test ulteriori sono stati compiuti su fili che erano legati su pezzi con spigolo vivo e sottoposti a cicli termici e di carico che hanno simulato le condizioni di processo. I risultati mostrano che la compressione nella zona di legatura e gli spigoli vivi non sembrano influire sulla performance del filo quanto invece le vere e proprie tecniche di legatura prescelte. Questi risultati confermano una nozione condivisa che ha giustamente condotto a pubblicazioni specifiche sul tema negli ultimi mesi.

Le condizioni di immagazzinamento sono state anche brevemente testate per fornire una valutazione generale del tasso di corrosione del filo di ferro in ambienti particolarmente aggressivi e umidi.

Referenze

[1] T. Langill, (Dec. 2005), "Lifting wire for Hot-Dip Galvanizing", Galvanizing Note, 1-9

[2] Kleingarn, J-P (1988), "Guidelines on the use of lifting and transporting equipment in hot-dip galvanizing plants – a contribution to accident prevention", Proceeding of the 15th Annual Intergalva Conference of Rome

[3] Non è fornita nessuna referenza per i limiti di carico specifico nell'utilizzo del filo di ferro per il settore della zincatura a caldo. Perciò, la maggior parte degli zincatori hanno sviluppato regole interne su questi limiti del carico di lavoro, principalmente applicando fattori di riduzione al carico di rottura nominale del filo al punto zero. Alcune Associazioni nazionali hanno fornito delle linee guida per l'utilizzo consigliato del filo di ferro, come in:

VV.AA, (2004), "Wire ties for overhead lifting", Galvanizers Guidelines, 1-9

[4] Referenza citata nel sopra menzionato VV.AA, (2004), "Wire ties for overhead lifting", Galvanizing Guidelines, 1-9 come risultato del Programma di test sul filo di ferro dell'Associazione degli Zincatori Americani.

Biografia degli autori

Fabio Pozzi, nato nel 1977, è uno specialista metallurgico con una solida esperienza nei servizi di laboratorio per l'industria. E' attualmente responsabile del Laboratorio di Metallurgia di AQM Srl, azienda lombarda specializzata nelle prove non distruttive, diagnosi di difetto e analisi chimiche per l'industria dei metalli e delle plastiche.

Mario Ubiali, nato nel 1972, proviene da due generazioni di zincatori e ha una formazione orientata alla gestione dei progetti R&D e delle dinamiche della vita organizzativa. Attualmente, è uno dei soci di Zinco Service Srl, azienda che da cinque anni è specializzata nei servizi avanzati per il settore della zincatura a caldo.

Pietro Ubiali, nato nel 1944, è stato zincatore per 37 anni prima di dedicare la propria notevole esperienza alla fornitura di servizi per la zincatura a caldo, settore nel quale egli attualmente opera coordinando gli aspetti tecnici all'interno di Zinco Service Srl, società della quale è fondatore e Presidente.

Mauro Marini, nato nel 1981, è uno specialista nel campo dei test meccanici presso AQM Srl. Attualmente, è Responsabile del Laboratorio di prove meccaniche presso la stessa AQM Srl.