

# La metallografia a colori: contributo allo studio dei materiali metallici

a cura di: E. Stagno, M.R. Pinasco, D. Petta

La metallografia, come è noto, è una tecnica di studio sperimentale che dà informazioni sulla microstruttura dei materiali metallici mediante l'osservazione al microscopio di sezioni significative del materiale.

Le tecniche metallografiche all'inizio si basavano solo sulle osservazioni al microscopio ottico e al macroscopio. Successivamente sono state sviluppati mezzi di indagine più "potenti" e a più alto potere risolutivo che non rappresentano un'alternativa ma sono complementari agli esami al microscopio ottico. Infatti questi ultimi forniscono una visione generale della microstruttura che permette di focalizzare gli obiettivi e di valutare le tecniche più idonee a raggiungerli.

Ormai da molti anni, fin dagli ultimi anni 50, nel Laboratorio di Metallurgia e Metallografia dell'Università di Genova è stata ideata e messa a punto, sotto la guida del Prof. Antonio Scortecci e sviluppata insieme alla Prof. Enrica Stagno, una tecnica di metallografia ottica a colori che si è mostrata di grande potenzialità; essa è stata applicata inizialmente alle leghe ferrose (acciai e ghise anche legati) e successivamente anche a numerose altre leghe tra cui quelle di oro, di titanio e di zirconio. Essa risulta da una combinazione tra un attacco effettuato con un reattivo di dissoluzione seguito da una ossidazione a caldo in aria a temperature e per tempi differenti in funzione della natura della lega.

Questa procedura provoca la formazione di sottili film di ossido il cui diverso spessore origina differenti colori per fenomeni di interferenza.

Lo spessore dell'ossido (e quindi il colore che ne deriva) è in relazione simultanea con la natura della fase o del costituente microstrutturale, con l'eterogeneità chimica della soluzione solida, con l'orientazione cristallina dei grani e con gli stati tensionali.

Sin dagli anni 60, quando il SEM e la microanalisi anche nelle sue forme più rudimentali erano proprietà di pochissimi centri di ricerca, la tecnica di ossidazione a caldo è risultata un mezzo molto utile e assai poco costoso per rivelare chiaramente e simultaneamente i diversi aspetti strutturali necessari alla conoscenza del materiale.

Questo lavoro di review si propone di illustrare con qualche esempio, tratto da alcune ricerche sperimentali, la potenzialità e l'importante contributo di questa tecnica di metallografia a colori nello studio dei materiali metallici.

**PAROLE CHIAVE:** METALLOGRAFIA, METALLOGRAFIA A COLORI, MATERIALI METALLICI;

## PREMESSA

Il Laboratorio di Metallurgia e Metallografia dell'Università di Genova ha svolto ricerca scientifica a cominciare dagli anni 50. Successivamente convertito nel "Gruppo di ricerca di Metallurgia" e inserito nella Sezione di Chimica Inorganica e Metallurgia del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Genova. Le competenze e l'attività scientifica sono situate nell'ambito della metallurgia e della scienza dei materiali.

La ricerca ha riguardato una serie di tematiche che, partendo da studi di base concernenti gli aspetti chimico/fisico/strutturali di differenti metalli e leghe, si sono sviluppate (in virtù della costante collaborazione con specialisti del settore) nello studio della correlazione fra le caratteristi-

### Enrica Stagno

già Professore ordinario di Metallurgia presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università degli Studi di Genova

### Maria Rosa Pinasco

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università degli Studi di Genova - mariarosa.pinasco@gmail.com

### Daniilo Petta

Gearchem S.r.l, Castello d'Argile (BO) - d.petta@gearchem.it

che metallurgiche e le proprietà d'impiego più strettamente connesse all'applicazione industriale. Le tematiche di ricerca sono state numerose così come i materiali esaminati. Lo sviluppo delle ricerche è stato reso possibile da una pluriennale collaborazione con Università, Centri di ricerca e Industrie nazionali e internazionali, a livello sia di Laboratori per l'innovazione e lo sviluppo che di unità produttive. Ciò ha permesso di studiare materiali prodotti in ambito e con tecnologie industriali e di trasferire direttamente nella pratica di stabilimento i risultati delle ricerche stesse. In tutti gli studi come punto di partenza è stata sempre utilizzata la Metallografia nelle sue differenti tecniche.

## INTRODUZIONE

La metallografia, come è noto, è una tecnica sperimentale che dà informazioni sulla microstruttura delle leghe esaminate mediante l'osservazione al microscopio di sezioni significative del materiale preparate specificatamente in modo idoneo. L'esame metallografico permette di mettere in evidenza aspetti molto importanti come la natura, la distribuzione, la morfologia, la taglia dei grani, delle fasi e dei costituenti microstrutturali presenti. Questo metodo è anche in grado di rivelare la presenza di eterogeneità delle soluzioni solide, di inclusioni non metalliche e di dare informazioni sull'eventuale deformazione plastica subita dal materiale.

Le tecniche metallografiche che all'inizio si basavano solo sulle osservazioni al microscopio ottico e al macroscopio si sono successivamente arricchite con la metallografia elettronica (SEM coi suoi vari segnali SE e BSE) la microanalisi, la diffrazione elettronica (EBSD), l'analisi quantitativa di immagine.... Tali tecniche più "potenti" e a più alto potere risolutivo non rappresentano un'alternativa ma sono complementari agli esami macro e al microscopio ottico; infatti questi ultimi forniscono informazioni preliminari generali sulla microstruttura che permettono di focalizzare gli obiettivi e quindi di orientare le ulteriori analisi allo scopo di valutare quantitativamente quanto evidenziato qualitativamente.

Le operazioni preliminari all'esame metallografico comportano anzitutto il prelievo di uno o più campioni rappresentativi del pezzo, la pulitura meccanica e/o elettrolitica seguite dall'attacco della superficie con reattivi differenti in funzione del materiale.

I reattivi si possono dividere in due gruppi: al primo appartengono quelli i cui prodotti di reazione con i metalli si sciolgono nel reattivo stesso; al secondo i reattivi i cui

prodotti di reazione sono insolubili e rimangono in loco formando una sottile pellicola più o meno stabile. I reattivi del primo gruppo attaccano con velocità diverse le varie fasi presenti alla superficie del campione in funzione della natura, dell'orientazione, dell'eterogeneità chimica e dell'eventuale stato tensionale del reticolo. Lo spessore del materiale asportato si apprezza solo grossolanamente per effetto di ombre e di luci.

I reattivi del secondo gruppo possiedono, nelle prime fasi dell'attacco, un potere selettivo analogo a quelli del primo gruppo. Le pellicole che si formano sulla superficie del campione hanno quindi uno spessore che è funzione dell'eterogeneità chimica delle fasi presenti, dell'orientazione cristallina e dello stato tensionale. Lo spessore della pellicola e soprattutto le differenze di spessore da un punto all'altro possono essere molto facilmente stimate per mezzo dei colori di interferenza che si generano.

## LA METALLOGRAFIA A COLORI

Ormai da molti anni, fin dagli ultimi anni 50, nel Laboratorio di Metallurgia e Metallografia è stata ideata e messa a punto, sotto la guida del Prof. Antonio Scortecci, una tecnica metallografica a colori applicata inizialmente alle leghe ferrose (acciai e ghise anche legati) [1-12] e successivamente anche a numerose altre leghe tra cui quelle di oro, di titanio e di zirconio [13-22].

Essa risulta da una combinazione tra un attacco effettuato con un reattivo di dissoluzione (I gruppo) seguito da una ossidazione a caldo in aria a temperature e per tempi differenti in funzione della natura della lega.

Le temperature utilizzate sono di circa 250-300°C per gli acciai al carbonio, variabili tra 500 e 600°C per gli acciai legati; i tempi di permanenza sono al massimo di qualche minuto. Quando il campione in superficie ha raggiunto il colore desiderato (rosso porpora) viene raffreddato velocemente.

Durante i brevissimi tempi in cui si sono formate le pellicole di ossido non si sono mai osservate differenze strutturali apprezzabili nei materiali esaminati. È chiaro tuttavia che questa tecnica non sarebbe applicabile a diversi materiali attuali come per esempio gli acciai altoresistenziali.

Questa procedura provoca la formazione di sottili film di ossido il cui diverso spessore origina differenti colori per fenomeni di interferenza.

Lo spessore dell'ossido è in relazione con:

- La natura della fase o del costituente microstrutturale

- L'eterogeneità chimica della soluzione solida
- L'orientazione cristallina dei grani
- Gli stati tensionali

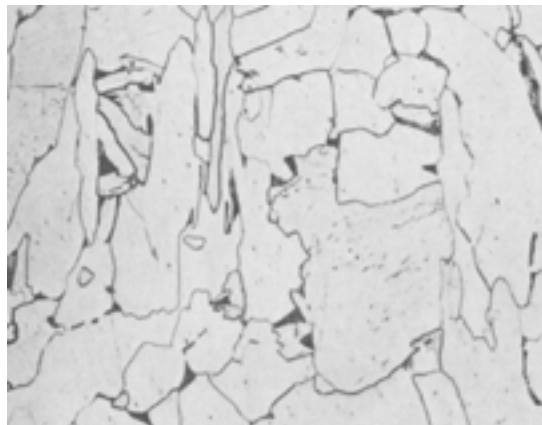
A causa dell'elevata sensibilità di questa tecnica agli stati tensionali è indispensabile una preparazione particolarmente accurata della superficie del campione in esame.

Sin dagli anni 60, quando il SEM e la microanalisi anche nelle sue forme più rudimentali erano proprietà di pochissimi centri di ricerca, la tecnica di ossidazione a caldo è risultata un mezzo molto utile e assai poco costoso per rivelare con chiarezza simultaneamente l'orientazione cristallina, l'eterogeneità primaria, i fenomeni di ereditarietà strutturale e lo stato tensionale.

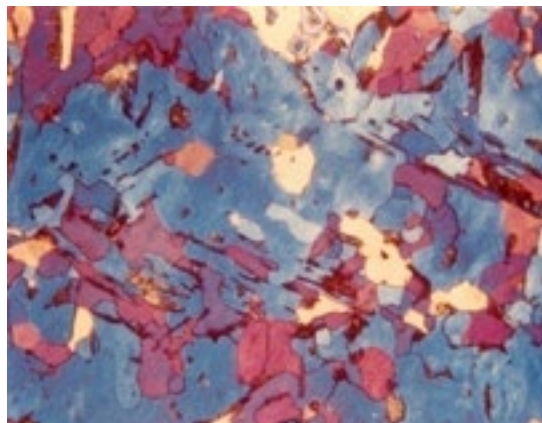
Questo lavoro di review si propone di illustrare con qualche esempio (tratto dai dati sperimentali delle ricerche effettuate) la potenzialità e l'importante contributo di questa tecnica di metallografia a colori nello studio dei materiali metallici. Essa in alcuni casi è risultata determinante.

## EVIDENZE SPERIMENTALI DEL RUOLO ESERCITATO DALLA METALLOGRAFIA A COLORI NELLO STUDIO DEI MATERIALI METALLICI

In un rapporto presentato alle "Journées Internationales de la Grosse Forge", Paris 1963 sono stati resi noti i primi risultati di una ricerca indirizzata a mettere in evidenza l'influenza dei fenomeni di ereditarietà strutturale chimica e cristallografica sulle proprietà meccaniche dei grossi fucinati attraverso l'utilizzo della metallografia a colori. Negli acciai greggi di fusione è stata osservata dopo ossidazione la presenza di colonie di grani di colore analogo e quindi isorientati invisibili dopo attacco in bianco e nero (figure 1 e 2 a confronto); sono state seguite le loro modificazioni a seguito di deformazioni e trattamenti termici. Si è potuto così evidenziare la relazione tra ereditarietà chimica e strutturale e le proprietà.



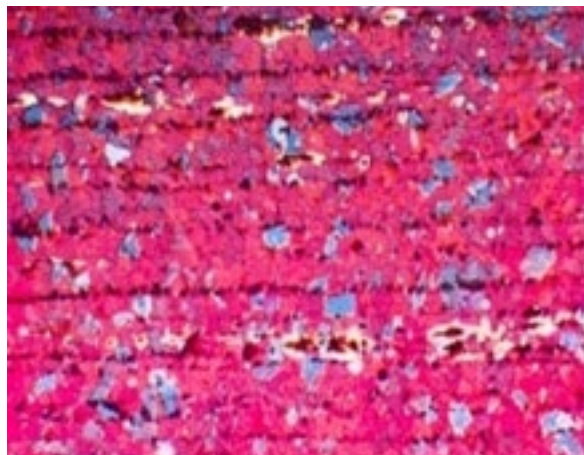
**Fig.1** - (MO, 200x). Acciaio a basso carbonio greggio di fusione. Grossi grani di ferrite con morfologia irregolare / Large ferrite grains with irregular morphology (MO, 200x)



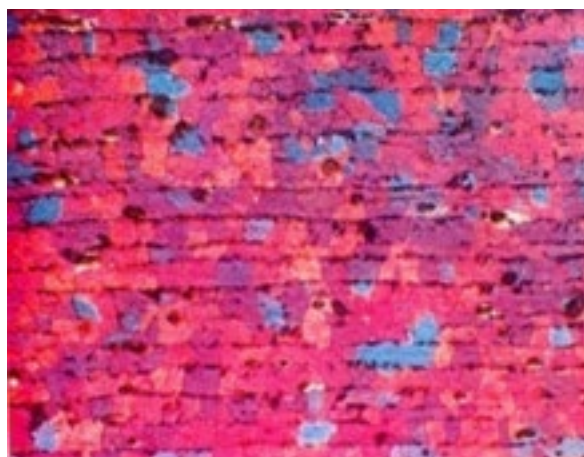
**Fig.2** - (MO, 300x). Stesso materiale dopo ossidazione a caldo. Sono messi in evidenza clusters di grani con simile colore e orientazione / Same material after hot oxidation, grains clusters with similar colour and orientation are pointed out (MO, 300x)

All'interno della stessa tematica di ricerca è stata studiata la relazione tra eterogeneità di colore dei grani ferritici, effetti microstrutturali e proprietà meccaniche. Si sono presi anche in considerazione fucinati che presentavano alla prova di trazione allungamenti differenti, Dopo trattamento di ricottura a 950°C le differenze fra gli aspetti microstrutturali

dei materiali con allungamento diverso sono risultate particolarmente evidenti. Infatti solo nei campioni con basso allungamento si osservano, intorno alle scorie, aree ferritiche bianche (colore del II ordine) per effetto della elevata velocità di ossidazione nei confronti della restante matrice ferritica (figura 3 a confronto con figura 4).



**Fig.3** - (MO, 100x). Acciaio al C fucinato con più basso allungamento Presenza di "aree bianche" con velocità di ossidazione maggiore a causa dello stato tensionale localizzato intorno alle impurezze / (MO, 100x). Forged carbon steel with lower elongation). Presence of "white-areas" with higher oxidation rate. It depends on the localised impurity content.



**Fig.4** - (MO, 100x). Acciaio al C fucinato con più alto allungamento. Le "aree bianche" sono assenti / (MO, 100x). Forged carbon steel with higher elongation. The "white-areas" are missing.

Questi aspetti microstrutturali così utili a differenziare i materiali con diverso allungamento sfuggono completamente in metallografia tradizionale

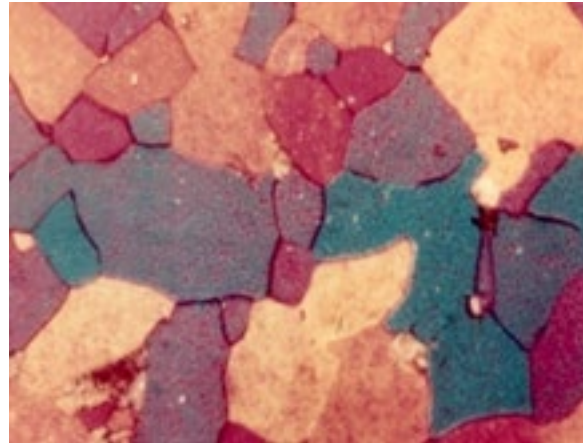
La metallografia a colori ha dato un sensibile contributo anche nello studio della deformazione a caldo e a freddo e della ricristallizzazione: ha simultaneamente messo in evidenza la loro influenza sulla eterogeneità, sull'orientazione cristallina e sulla ereditarietà strutturale che ne deri-

va. L'immagine a colori permette anche nel complesso di valutare sia pure in modo grossolano l'entità degli effetti prodotti da tali operazioni sulla struttura del materiale.

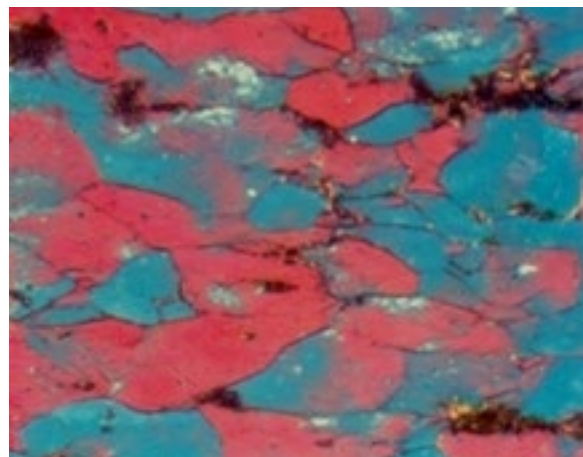
La deformazione a freddo, come è noto, modifica decisamente le proprietà del materiale metallico e la sua microstruttura. Le figure 5,6 e 7 in sequenza mostrano l'effetto su un acciaio al carbonio lavorato a caldo dell'aumento del tasso di deformazione a freddo. Dopo attacco a colori in partenza il laminato a caldo (figura5) presenta grani ferritici,

di forma poligonale, ben disorientati con ampio spettro di colore. Con l'aumentare del tasso di deformazione i grani si allungano e si allineano nella direzione di lavorazione (figura 6) fino a trasformarsi in fibre per deformazioni superiori al

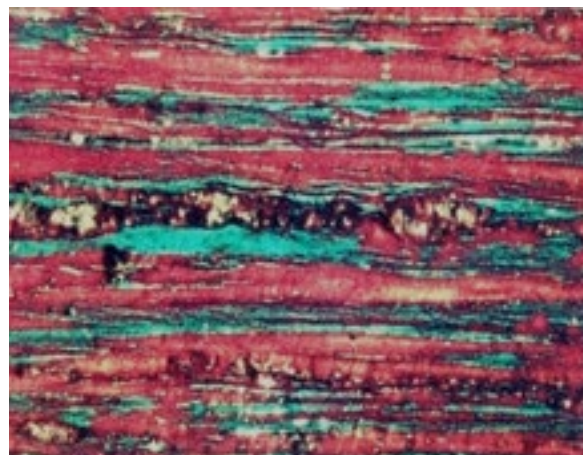
75%; contemporaneamente la disorientazione diminuisce, lo spettro di colore si restringe e per forti deformazioni le orientazioni delle fibre si riducono a due messe in evidenza da due sole colorazioni (figura 7).



**Fig.5** - (MO, 500x), Acciaio al C laminato a caldo allo stadio iniziale prima della lavorazione a freddo / (MO, 500x), Hot rolled carbon steel beginning step of cold working.



**Fig.6** - (MO, 500x) Stesso materiale dopo riduzione a freddo del 40% mediante trafilatura / (MO, 500x). Same material after 40% cold reduction by drawing



**Fig.7** - (MO, 500x) Stesso materiale dopo riduzione a freddo del 90% mediante trafilatura / (MO, 500x) Same material after 90% cold reduction by drawing

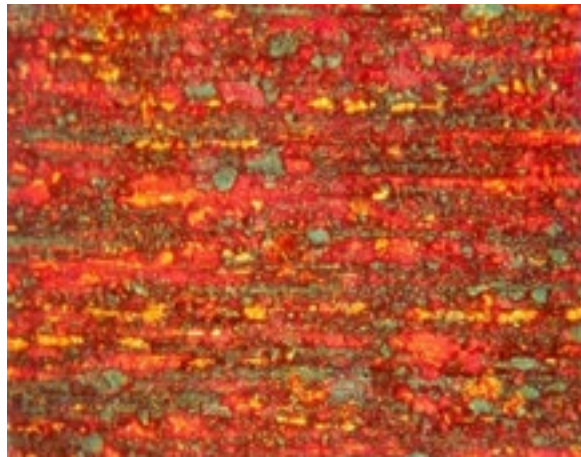
Come è noto l'entità della ricristallizzazione di un materiale metallico deformato a freddo dipende all'unisono dalla temperatura, dal tempo di permanenza a temperatura e dal tasso di deformazione subito.

Le figure 8,9 e 10 illustrano l'influenza della permanenza alla temperatura di 550°C (campo ) di un acciaio al C lavorato a freddo fino a un tasso del 99%.

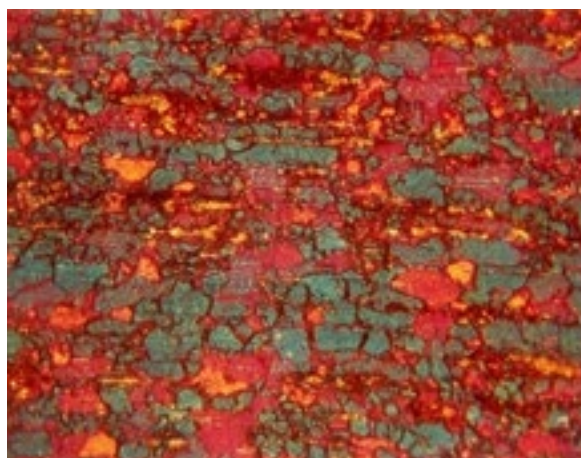
Dopo i primi tempi di permanenza la figura 8 mostra che la ricristallizzazione è iniziata: sono ben visibili i nuovi piccoli grani di colore blu-verde, colore simile a quello della fibra da cui hanno avuto origine. All'aumentare del tempo di permanenza (figura 9) la ricristallizzazione progredisce

considerabilmente: molti più grani sono presenti ma essi prevalentemente conservano la colorazione della fibra lungo la quale sono allineati.

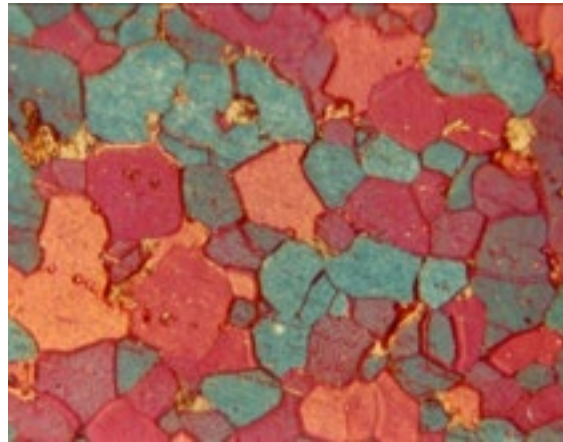
Per il tempo di permanenza illustrato dalla figura 10 la ricristallizzazione è completa; le fibre non sono più evidenti, i grani poligonali mostrano diversi colori a testimonianza della loro disorientazione ma lo spettro dei colori non è molto ampio. Quando il trattamento è stato eseguito in campo gamma (950°C) a fine ricristallizzazione lo spettro dei colori dei grani è risultato molto più ampio a testimonianza di una più perfetta rigenerazione strutturale



**Fig.8** - (MO, 500x). Acciaio al carbonio lavorato a freddo dopo il primo stadio di permanenza a T=550°C. Si possono già vedere i primi grani ricristallizzati di colore blu-verde / (MO, 500x) Carbon steel, the first recrystallised grains can already be seen: they are blue-green



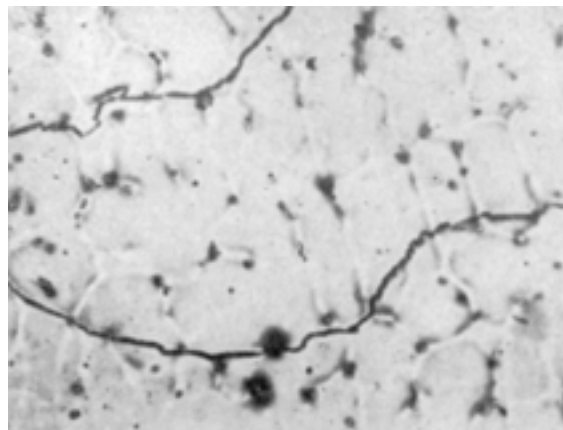
**Fig.9** -- (MO, 500x) Stesso material della figura 8. Per un maggior tempo di permanenza la ricristallizzazione è sensibilmente progredita / (MO, 500x) Same material; recrystallisation has progressed considerably



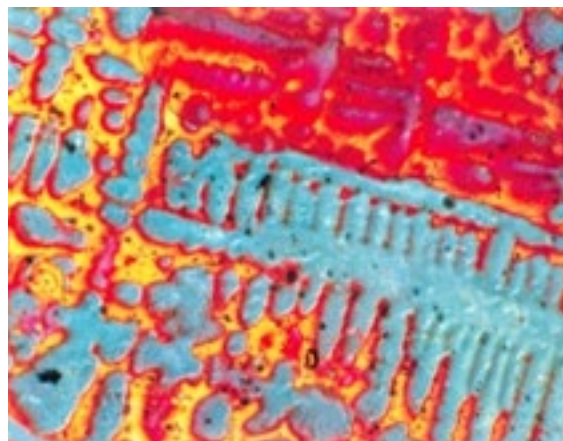
**Fig.10** - (MO, 500x). Stesso materiale dopo ulteriore permanenza a temperatura: la ricristallizzazione è completa / (MO, 500x) Same material; recrystallisation is complete

L'attacco a colori è risultato particolarmente utile nello studio degli acciai legati. In particolare negli acciai inossidabili austenitici ad elevato tenore di nichel e di cromo il confronto tra le micro in bianco e nero e le corrispondenti a colori fa notare quante più informazioni si possono trarre

da queste ultime nelle quali sono visibili immediatamente e simultaneamente l'eterogeneità primaria, la disorientazione dei grani e la relazione tra struttura primaria e separazione delle fasi presenti (figura 11 in bianco e nero a confronto con figura 12 con attacco a colori).



**Fig.11** - (MO, 100x). Acciaio inossidabile greggio di fusione(24Cr-20Ni). Soluzione solida austenitica e giunti dei grani / (MO, 100x). As cast stainless steel (24Cr-20Ni). Austenite solid solution

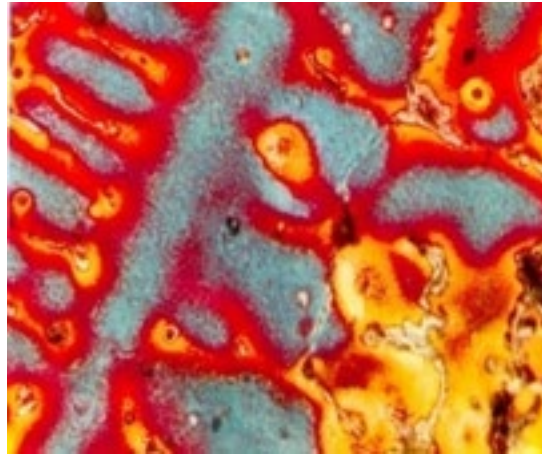


**Fig.12** - (MO, 100x). Stesso materiale della figura 11 dopo ossidazione in aria Sono chiaramente visibili sia l'eterogeneità chimica della soluzione solida austenitica sia l'orientazione dei grani / (MO, 100x). Same material heat tinting. Both chemical heterogeneity of austenitic solid solution and grain disorientation are clearly showed

Il material degli assi dendritici, a più basso tenore di lega si ossida ad una velocità superiore ed appare di colore blu mentre il materiale infradendritico, più ricco in cromo, è colorato in giallo. Le sfumature di colore della matrice austenitica dal blu al giallo sono in relazione col profilo di concentrazione degli elementi in lega come è stato con-

fermato con la microanalisi in tempi successivi alla ricerca.

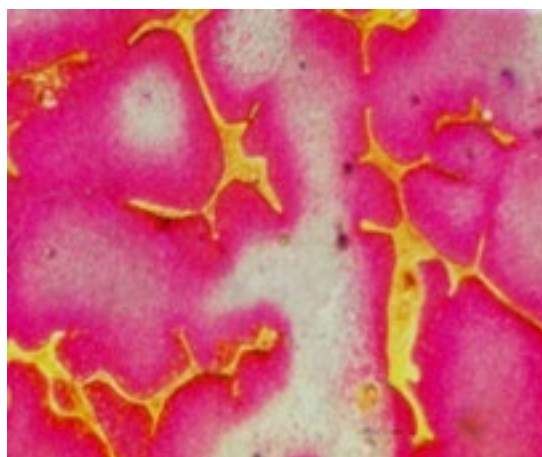
La metallografia a colori permette anche una facile identificazione delle fasi separate: i carburi, molto ricchi in cromo, situati nell'infradendritico, sono praticamente inossidabili e appaiono bianchi (figura13).



**Fig.13** -(MO, 100x). Acciaio inossidabile (24Cr-20Ni) greggio di fusione dopo attacco a colori. I carburi ricchi in cromo sono praticamente inossidabili e appaiono bianchi / (MO, 100x). As cast stainless steel (24Cr-20Ni) (MO, 100x), after heat tinting. Cr-rich carbides practically not oxidable are white

L'esame a colori rende immediata anche l'identificazione della ferrite delta che è visibile in bianco e nero solo se non troppo dispersa. La ferrite delta più ricca in cromo rispetto

alla matrice austenitica risulta meno ossidabile e di colore giallo (figura 14).



**Fig.14** -(MO, 500x). Acciaio inossidabile (18Cr--8 Ni) greggio di fusione. La fase ferrite delta appare gialla in una matrice austenitica di colore cremisi o azzurra. La ferrite delta risulta più ossidabile dei carburi ma meno della matrice austenitica / (MO, 500x). As cast stainless steel (24Cr-20Ni) (MO, 500x). The d ferrite phase appears yellow coloured in a magenta austenitic matrix. The d ferrite results more oxidable than carbides

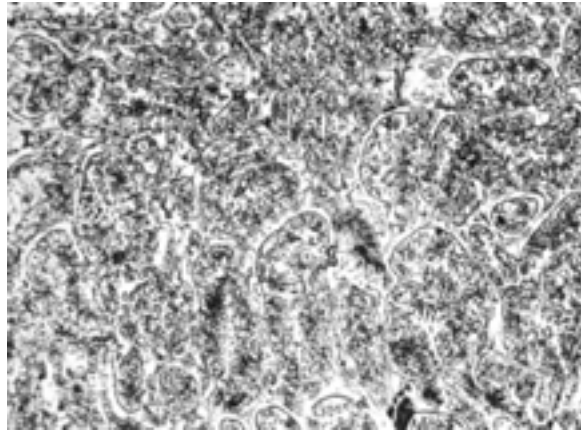


A causa del colore ben diverso dalla matrice austenitica di fondo la ferrite delta è facilmente identificabile anche allo stato finemente disperso come si trova nei lavorati. Si distingue facilmente anche dai carburi che appaiono bianchi.

La struttura di un acciaio rapido 18-4-1 è costituita da baini-

te globulare, carburi eutettici ed austenite residua nell'interdendritico.

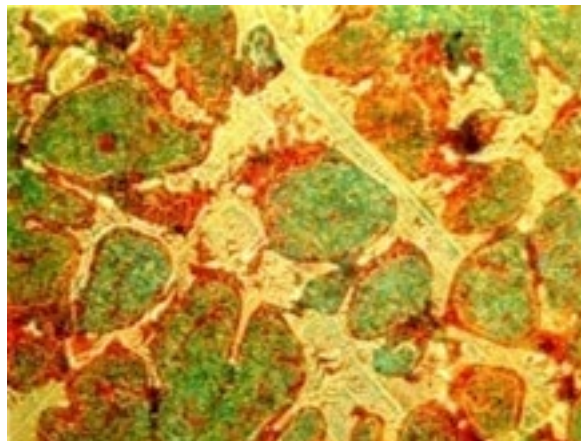
Anche in questo caso l'esame a colori si è rivelato assai sensibile per evidenziare la natura dei diversi costituenti strutturali e le relazioni tra questi e la struttura primaria (figura 15 a confronto con figura 16)



**Fig.15** - (MO, 300x). Acciaio rapido greggio di fusione (18W-4Cr-1V) (MO, 300x). Sono presenti bainite globulare, carburi eutettici e austenite residua / (MO, 300x). As cast high speed steel (18W-4Cr-1V). Globular bainite, eutectic carbides and retained austenite are shown

Dopo ossidazione i costituenti microstrutturali sono distinguibili più chiaramente: la bainite è colorata in verde

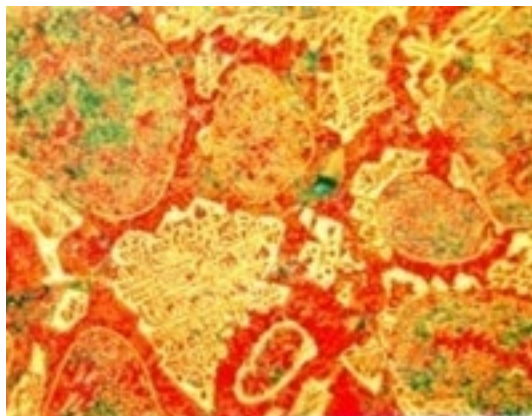
blu, i carburi ricchi in cromo sono bianchi e l'austenite residua è rossa



**Fig.16** - (MO, 300x). Stesso materiale della figura 15 dopo attacco a colori. Le fasi sono distinguibili più chiaramente: la bainite è colorata in verde blu, i carburi ricchi in cromo sono bianchi e l'austenite residua è rossa / (MO, 300x). Same material after heat tinting (MO, 300x). The phases are most clearly distinguished: bainite is blue-green coloured, Cr-rich carbides are white and retained austenite is red

Sono presenti due tipi di carburi la cui natura differente appare evidente solo dopo ossidazione: carburi di Vanadio (come testimoniato dalla microanalisi EDXS in tempi successivi alla ricerca) di forma arrotondata, molto ossidabili, che nelle condizioni sperimentali utilizzate appaiono blu e

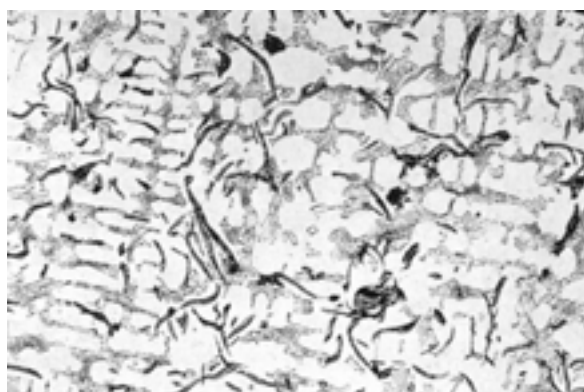
carburi eutettici, ricchi in cromo, di natura complessa, praticamente inossidabili (figura 17). L'austenite residua più ricca in elementi di lega (come poi confermato dalla microsonda) appare rossa.



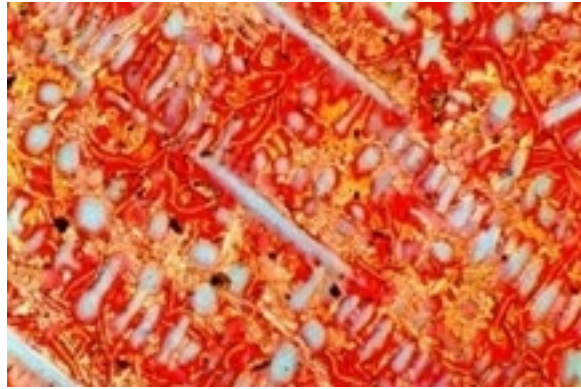
**Fig.17** - (MO, 500x). Stesso materiale. A più forte ingrandimento si distinguono due tipi di carburi: carburi eutettici bianchi non ossidabili e carburi globulari più ricchi in V più ossidabili di colore blu / (MO, 500x). Same material. At higher magnification two different carbides are distinguished: white eutectic carbides not oxidable and V-rich most oxidable globular carbides blue coloured

Dopo aver largamente sperimentato gli acciai al carbonio e gli acciai legati, è stato iniziato uno studio sulle ghise austenitiche a partire dalle ghise Ni-resist a grafite lamellare. Nelle strutture di queste leghe, ad alto contenuto di nichel, l'eterogeneità chimica della soluzione solida è notevole. In metallografia tradizionale è praticamente

impossibile osservarla mentre dopo ossidazione diventa evidentissima (figura 18 a confronto con figura 19). Inoltre risulta netta la relazione tra la distribuzione dei carburi e la struttura primaria; di regola i carburi si trovano nell'infra-dendritico, sono di tipo eutettiforme e del tutto inossidabili rispetto alla matrice

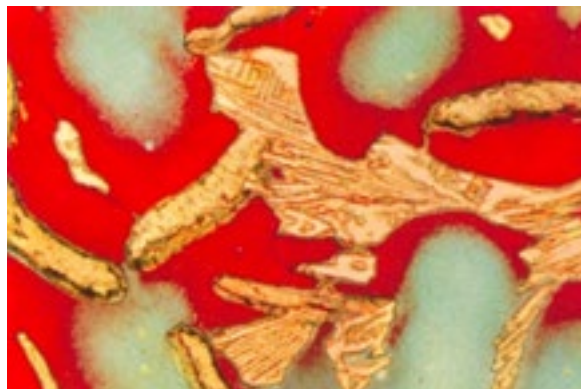


**Fig.18** - (MO, 100x). Ghisa Ni-resist. Matrice austenitica, grafite lamellare e carburi. L'ereditarietà strutturale è evidenziata solamente dalla distribuzione dei carburi / (MO, 100x). Ni-resist iron. Austenitic matrix, lamellar graphite and carbides. The structural heredity is shown only through carbides arrangement



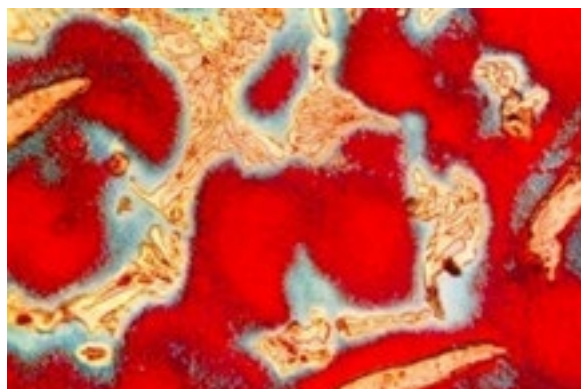
**Fig.19** - (MO, 100x). Stesso materiale dopo ossidazione. I differenti colori evidenziano l'eterogeneità chimica della soluzione solida. I carburi, praticamente non ossidabili, sono localizzati nella zona infradendritica / (MO, 100x). Same material after oxidation (MO, 100x). The different colours point out the solid solution heterogeneity. The carbides, practically not oxidable, are localized in infradendritic zone.

A più forte ingrandimento (figura 20) sono chiaramente visibili l'eterogeneità chimica della matrice austenitica e e la natura complessa dei carburi.



**Fig.20** - (MO, 500x). Ghisa Ni-resist. Matrice austenitica con grafite e carburi / (MO, 500x). Ni-resist iron. Austenitic matrix with graphite and carbides.

In alcune ghise più ricche in cromo la metallografia a colori ha messo in evidenza che i carburi lamellari sono circondati da una matrice austenitica di colore blu chiaro che risulta quindi più ossidabile rispetto a quella contigua rossa (figura 21).



**Fig.21** - (MO, 500x). Ghisa Ni-resist (MO, 500x). In alcune ghise più ricche in cromo i carburi sono circondati da una matrice austenitica di colore blu chiaro più ossidabile di quella rossa / (MO, 500x). In some most Cr-rich Ni-resist iron, carbides are surrounded by a light blue austenitic matrix more oxidable than the red one

Al momento della ricerca (in cui il SEM e la microanalisi non erano disponibili) si fece l'ipotesi che il fenomeno della colorazione blu chiaro della matrice fosse in relazione con l'impoverimento localizzato di Cr nell'austenite dovuto alla precipitazione dei carburi che causava così la maggiore ossidabilità. Tale ipotesi è stata successivamente confermata da profili di concentrazione e analisi quantitative mediante microanalisi al SEM.

La potenzialità dell'attacco per ossidazione nell'individuare fenomeni altrimenti non evidenziabili nello studio delle leghe è stato così ancora una volta confermato.

Molti sono i materiali che sono stati studiati utilizzando anche l'attacco a colori (leghe di titanio, zirconio, oro, argento e rame...) e in tutti i casi si sono ottenute informazioni qualitative molto utili sempre, successivamente rese quantitative dalle moderne tecniche di indagine.

È bene anche ricordare che la metallografia a colori è un mezzo di indagine poco costoso e non necessita di apparecchiature sofisticate. L'elevata sensibilità agli stati di tensione rende però indispensabile per il suo utilizzo un'accuratissima preparazione del provino.

## CONCLUSIONI

- La metallografia a colori per ossidazione a caldo è una tecnica di microscopia ottica ideata e utilizzata nello studio dei materiali metallici fin dagli ultimi anni 50. Essa ri-

sulta da una combinazione tra un attacco effettuato con un reattivo di dissoluzione seguito da una ossidazione a caldo in aria a temperature e per tempi differenti in funzione della natura della lega

- Quando applicata allo studio delle leghe metalliche si è rivelata un mezzo di indagine molto utile e assai poco costoso per evidenziare chiaramente e simultaneamente l'orientazione cristallina, l'eterogeneità primaria, i fenomeni di ereditarietà strutturale e lo stato tensionale; in alcuni casi si è mostrata determinante nel segnalare fenomeni ignorati dalla metallografia tradizionale.

- I fenomeni messi in evidenza in modo qualitativo nelle ricerche effettuate dalla metallografia a colori sono stati in tempi successivi sempre confermati quantitativamente da strumenti ad alto potere risolutivo (SEM, microanalisi, EBSD...) nel frattempo entrati in uso comune

- Questo lavoro di review ha illustrato con qualche dato, tratto da alcune ricerche sperimentali, la potenzialità e l'importante contributo che la tecnica di metallografia a colori per ossidazione ha nello studio dei materiali metallici.

## REFERENZE

- [1] Scortecci, E. Stagno, Etude de l'hétérogénéité de la ferrite des aciers par la Metallographie en couleur ; ses rapports avec les déformations plastiques, les cycles Thermiques et les propriétés mécaniques, Journées Internationales de la Grosse Forge, Paris, 1963,
- [2] A. Scortecci, E. Stagno, Rapporto tra struttura primaria e secondaria dell'acciaio e Metallografia a colori, La Fonderia Italiana, 1965, XIV / 11, 421-428
- [3] E. Stagno, Rapporto tra proprietà meccaniche e particolari aspetti metallografici degli Acciai, Atti dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere, Genova, 1967, vol. XXIV, 1-16
- [4] E. Stagno, M.R. Pinasco, Structure des aciers inoxydables austénitiques, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1967, vol. LXIV / 9, 709-722
- [5] E. Stagno, M.R. Pinasco, Sulla struttura degli acciai inossidabili austenitici, L'Acciaio Inossidabile Edizioni Avesta SPA, Milano, 1967, vol. XXXIV / 4, 119-133
- [6] E. Stagno, M.R. Pinasco, Sur la formation des structures métallographiques des alliages de Fe-Cr-Ni-C, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1968, vol. LXV / 9, 627-642
- [7] E. Stagno, M.R. Pinasco, Les aciers inoxydables à l'état brut de coulée et après déformation: relations entre les structures, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1970, vol. LXVII / 3, 181-191
- [8] E. Stagno, M.R. Pinasco, Acciai austenitici inossidabili e refrattari: getti e deformati, Bollettino Tecnico Finsider, 1970, 286, dicembre, 1-20
- [9] E. Stagno M.R. Pinasco, Structures métallographique des aciers à coupe rapide à l'état brut de coulée et après déformation plastique et traitements thermiques, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1969, vol. LXVI / 11, 810-832

- [10] E. Stagno, M.G. Ienco, Metallographische Gesichtspunkte zur industriellen Entwicklung eines neuen Schellstahles, Sonderdruck aus Radex-Rundschau, Österreichisch-Amerikanische Magnesit, Radenthein (A), 1980, Heft 4, 317- 324
- [11] Stagno, M.R. Pinasco, Struttura metallografica della ghisa Ni-Resist a grafite Lamellare e sferoidale, Bollettino Tecnico Finsider, 1971, 289, 3,
- [12] E. Stagno, M.R. Pinasco, Struttura metallografica della ghisa Ni -resist a grafite Lamellare e sferoidale, La Fonderia Italiana, 1970, vol. XIX / 10, 331-342
- [13] E. Stagno, M.G. Ienco, Esame metallografico a colori del titanio e della lega TA6V, Alluminio, 1971, n.3, 3-14
- [14] E. Stagno, M.G. Ienco, Untersuchung des Zirkoniums und Zircalloy 2 mit Hilfe der Farbmetallographie. (Esame metallografico a colori dello zirconio e della lega zircalloy 2), Sonderdruck aus Radex-Rundschau, Österreichisch-Amerikanische Magnesit, Radenthein (A), 1972, heft 3/4, 284-294
- [15] E. Stagno, M.G. Ienco, Metallographische untersuchungen der gefugeumwandlungen in Zirkon-Niob-Legierungen nach verschiedenen Abkühlungsbedingungen (Esame metallografico delle trasformazioni strutturali nelle leghe Zirconio-Niobio in relazione a differenti velocità di raffreddamento), Sonderdruck aus Radex-Rundschau, Österreichisch-Amerikanische Magnesit, Radenthein (A), 1974, heft 3, 144-153
- [16] E. Stagno, M.G. Ienco, Einfluss der warmbehandlung auf gefuge von Zirkon-Chrom-Leigerungen, Sonderdruck aus Radex-Rundschau, Österreichisch-Amerikanische Magnesit, Radenthein (A), 1977, heft 1, 15-28
- [17] E. Stagno, M.G. Ienco, Esame metallografico della trasformazione beta -> alfa nello zirconio e nelle sue leghe, La Metallurgia Italiana, EDIMET, Brescia, 1978, LXX - 7/8,
- [18] E. Stagno, M.R. Pinasco, Das Gefuge von Ni-Hard-Gusseisen im Gusszustand und nach Warmbehandlung, Sonderdruck aus Radex-Rundschau, Österreichisch-Amerikanische Magnesit, Radenthein (A), 1973, heft 5, 664-674
- [19] E. Stagno, M.R. Pinasco, Structure métallographique de l'or blanc 750 ‰, à l'état brut de fusion et après traitement thermique, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1976 LXXIII, 1, 35-55
- [20] E. Stagno, M.G. Ienco, Structure d'un certain nombre d'alliages binaires et ternaires riches en or à l'état brut de fusion et après traitement thermiques, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1976, LXXIII, 2, 117-140
- [21] E. Stagno, M.R. Pinasco, Structure métallographique de l'or blanc après laminage a froid: -influence des traitements thermiques et recristallisation, Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 1978, LXXV, 8-9, 529-542
- [22] E. Stagno, M.R. Pinasco, Deformation and recrystallization of a jewellery white gold alloy, Gold Bulletin, 1979, vol 12, n.2, 53-57

[TORNA ALL'INDICE >](#)