



PAOLO BATTAINI

8853 S.p.a.
Pero (MI).

Paolo Battaini è laureato in Ingegneria Nucleare, indirizzo Materiali. Lavora da oltre 20 anni nel settore della produzione e progettazione di leghe in metalli preziosi per impieghi odontoiatrici ed orafi. Da anni è consulente della Ditta 8853 SpA, dove è responsabile del settore Ricerca e Sviluppo, oltre a seguire la produzione dei semilavorati per oreficeria. Specializzato nell'uso delle tecniche di microscopia elettronica a scansione, lavora per vari settori industriali nel campo della failure analysis, tramite la Esemir SaS, di cui è titolare. E' docente a contratto per l'insegnamento di "Tecnologie di Lavorazione" nell'ambito del corso di laurea in "Scienze e Tecnologie Orafe" all'Università Bicocca di Milano.

L'importanza della microstruttura di un materiale è ben nota. Quando si presenta un problema nella lavorazione di una lega preziosa, la sua causa può essere individuata, insieme ad una possibile soluzione, studiando la microstruttura del materiale. Il microscopio ottico stereo è molto utile per una visione tridimensionale (3D) di un campione, ma l'ingrandimento è limitato. Inoltre, le più diffuse tecniche di osservazione microstrutturale, come la metallografia ottica e la microscopia elettronica a scansione, danno solitamente un'immagine bidimensionale. Oggi sono disponibili tecniche per la visualizzazione microstrutturale 3D di una superficie, ma non sono ancora largamente diffuse, specialmente nel settore orafo. Scopo di questo lavoro è mostrare in 3D alcune microstrutture di materiali preziosi, come superfici di rottura, superfici rifinite in diverso modo o difetti superficiali, ed evidenziare le informazioni aggiuntive che l'osservazione 3D offre. Ciò sarà fatto attraverso immagini in anaglifo ottenute mediante il microscopio elettronico a scansione, fornendo all'uditorio gli appositi occhialini a due colori.

Microstrutture di metalli preziosi in 3D.

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) è uno strumento di largo impiego in molti settori industriali. In confronto ad altre tecniche di microscopia, il SEM offre immagini con una serie di caratteristiche uniche. Tra queste troviamo l'elevata risoluzione spaziale, l'intervallo ampio di ingrandimenti e la grande profondità di campo, cioè la possibilità di ottenere immagini nitide di particolari posti su piani tra loro distanti. Anche se le immagini ottenute al SEM appaiono tridimensionali, esse sono di fatto bidimensionali. I livelli di grigio dei pixels non sono una funzione della distanza del punto osservato, ma piuttosto dipendono dal materiale, dalle morfologie microstrutturali della superficie e da altre caratteristiche. Inoltre, la grande profondità di campo del SEM, tende ad oscurare le differenze di distanza di due oggetti proprio perché entrambi risultano ben a fuoco. Per questo motivo sono stati fatti sforzi finalizzati al recupero della terza dimensione nelle immagini SEM. Una delle tecniche applicate, la fotogrammetria, è basata su coppie di immagini stereo utilizzate per ricostruire le caratteristiche tridimensionali del campione.

Le tecniche di caratterizzazione tridimensionale delle superfici a livello microscopico sono oggi richieste da molte applicazioni, non solo a livello qualitativo, ma anche quantitativo⁽¹⁾.

Scopo del presente lavoro è la descrizione semplificata dei principi di base per la realizzazione mediante il metodo del "sample tilting" delle immagini tridimensionali al SEM, da osservare con appositi occhiali a due colori. Gli esempi riguarderanno materiali propri del settore orafa, e serviranno per riconsiderare sotto una nuova luce concetti noti, ma non sempre compresi in tutti i loro dettagli.

Principi della tecnica stereo.

Il cervello umano è in grado di ricavare informazioni sulla profondità degli oggetti osservati utilizzando le immagini acquisite dai due occhi. I nostri occhi sono separati da una distanza di $6 \div 10$ cm e forniscono due viste leggermente diverse, come illustrato in figura 1. Questo fenomeno, noto con il nome di parallasse, varia con la distanza tra l'osservatore e ciò che egli osserva. Infatti la parallasse è maggiore per gli oggetti più vicini. Il nostro cervello processa questa informazione di parallasse e la converte in una informazione di profondità. Esistono diversi metodi per ottenere due immagini del medesimo oggetto visto con due orientamenti diversi, in modo da simulare quanto fanno i nostri occhi. Le due immagini vengono chiamate "coppia stereo". Ipotizzando che una delle immagini sia ottenuta con l'occhio sinistro e l'altra con l'occhio destro, possiamo produrre una immagine 3D con la percezione della profondità osservando l'immagine ottenuta dalla combinazione della coppia stereo. Un metodo abbastanza diffuso per combinare le due immagini consiste nell'ottenere una delle due con un falso colore rosso e l'altra con un falso colore blu. Le due fotografie vengono poi sovrapposte mediante un software per l'elaborazione delle immagini e quindi il risultato viene osservato con occhiali aventi un filtro rosso sull'occhio sinistro ed uno blu sul destro.

La combinazione di queste due immagini avviene nel nostro cervello ed è dovuta ad un fenomeno noto come "rivalità retinica" definito come: "la percezione oscillante tra uno e l'altro di due stimoli visuali che differiscono radicalmente in colore o forma quando si presentano simultaneamente ad entrambi gli occhi su zone corrispondenti. Questo fenomeno fu individuato per la prima volta con chiarezza da uno scienziato umanista italiano nel 1593, Giovanni Battista Della Porta ⁽²⁾, come descritto da Wade nel suo libro "A natural history of vision" ⁽³⁾.

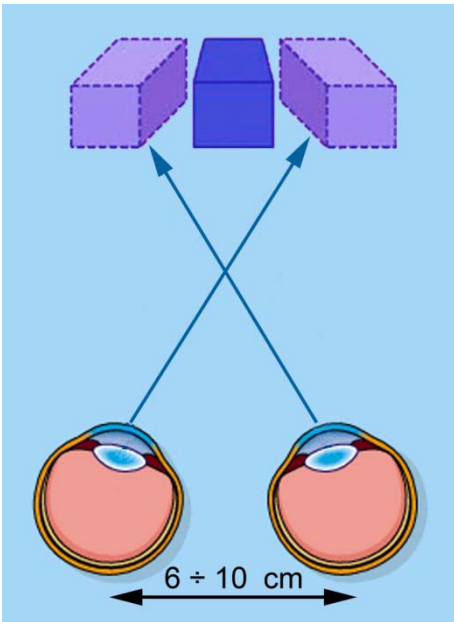


Figura 1.

L'occhio destro osserva l'oggetto che appare come dal disegno in alto a sinistra. Viceversa per l'occhio sinistro. La combinazione delle due immagini data dal nostro cervello fornisce il senso della profondità, come da disegno centrale.



Figura 2.

Giovanni Battista della Porta (1535-1615).

Nella stereomicroscopia SEM il metodo più diffuso per ottenere la coppia stereo di immagini è quello del "sample tilting". Si tratta di ottenere due immagini dallo stesso punto di osservazione del campione, la seconda dopo averlo inclinato ad un angolo prefissato. La figura 3 mostra l'aspetto dell'interno del microscopio elettronico, con il sistema porta campione. Questo sistema permette lo spostamento del campione nelle tre direzioni X, Y e Z, oltre che l'inclinazione del campione intorno all'asse Y.

Questa procedura equivale all'osservazione del campione da due punti di vista diversi. In generale, l'angolo di tilt è intorno ai 6°, angolo tipico delle osservazioni con i nostri occhi. In realtà, l'angolo di inclinazione (tilt) da impiegare è funzione di diversi fattori quali l'ingrandimento, la rugosità della superficie e la distanza del campione dalla lente finale del microscopio (distanza di lavoro). La regola generale è che piccoli angoli di tilt sono necessari per i bassi ingrandimenti, mentre una superficie poco rugosa deve essere inclinata ad angoli maggiori.

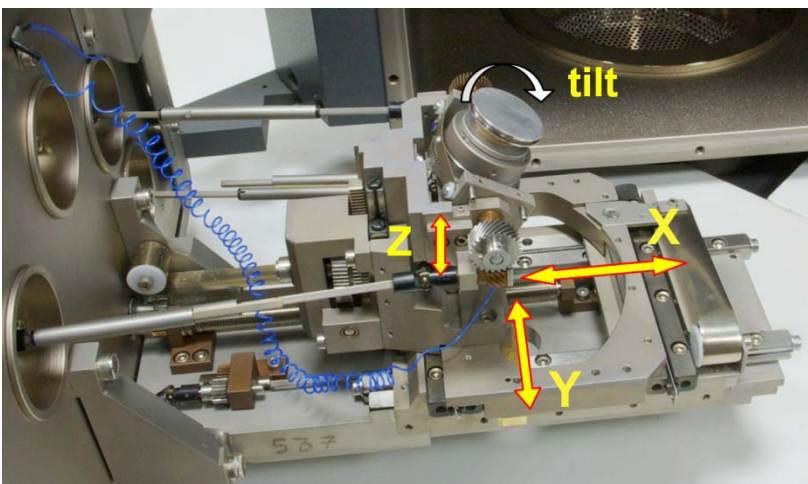


Figura 3.

Lo stage portacampioni del microscopio elettronico a scansione permette il movimento del supporto nelle tre direzioni X, Y, e Z, ma anche l'inclinazione del campione intorno all'asse Y.

Solitamente, quando un campione viene inclinato, l'oggetto osservato subisce un movimento laterale che può rendere difficile trovare ancora la stessa area al centro dell'immagine, dopo l'operazione. E' quindi necessario ottenere preventivamente una immagine a basso ingrandimento di tutta l'area, in modo da poter poi ritrovare i particolari che si vogliono riprendere ad alto ingrandimento, dopo il tilt del campione. Inoltre, poiché l'inclinazione varia l'altezza del campione, la seconda immagine potrà risultare sfuocata. In questo caso è necessario, dopo il tilt, variare l'altezza del campione fino a riportarne l'immagine a fuoco. Non si dovrà utilizzare il sistema di messa a fuoco del SEM perché, in tal caso, varierebbe l'ingrandimento di osservazione.

Oltre alla possibilità di una osservazione tridimensionale qualitativa del campione, la microscopia SEM è in grado di fornire misure quantitative delle sue caratteristiche tridimensionali.

Con riferimento alla figura 4, si assume che il fascio elettronico sia focalizzato sulla superficie lungo l'asse Y e sempre parallelo all'asse ottico (perpendicolare al piano focale) mentre effettua la scansione della superficie. Nella cosiddetta posizione eucentrica il tilt non produce alcun movimento della superficie lungo l'asse Y. Il punto B è elevato sopra il punto A per una distanza incognita BC, prima del tilt del campione. La proiezione della linea AB sul piano focale sarà la linea AC. Dopo il tilt del campione per un angolo α , le due distanze osservate sulla coppia di immagini stereo diventeranno AB' e AC'. Il punto B si sposterà nel punto B'. Questo spostamento è anche noto come spostamento di parallasse. Dallo schema di figura 3, tra AC ed AC' sussiste la relazione geometrica seguente:

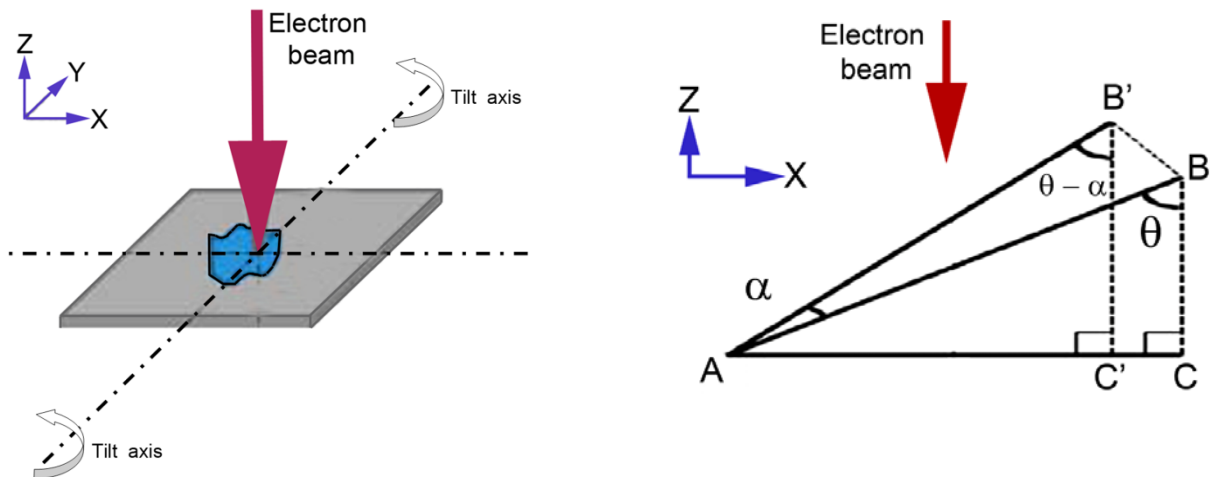


Figura 4.

A sinistra lo schema di osservazione del campione nella camera del SEM. Il campione viene inclinato intorno all'asse Y. A destra lo spostamento del punto B rispetto al punto A, dopo l'inclinazione del campione per un angolo α

$$\frac{AC}{\sin \theta} = \frac{AC'}{\sin(\theta - \alpha)} \quad \frac{AC}{BC} = \tan \theta$$

Le lunghezze AC e AC' possono essere misurate sulla coppia stereo di immagini ottenute al SEM, mentre l'angolo di tilt α è un valore noto. Dalle formule precedenti risulta che l'altezza relativa BC può essere espressa come:

$$BC = \frac{(AC \cos \alpha - AC')}{\sin \alpha} \cong \frac{P}{2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)}$$

Dove P è lo spostamento del punto B rispetto al punto A, il cosiddetto valore di parallasse. L'approssimazione vale per valori di α piccoli, come nel caso in oggetto.

Esempi.

Si riportano ora alcuni esempi di microstrutture documentate mediante il SEM. La loro osservazione tridimensionale permette una più immediata e chiara interpretazione, a volte non così evidente con la semplice osservazione bidimensionale delle immagini. Gli esempi seguenti possono essere visualizzati in 3D mediante le immagini in anaglifo con gli appositi occhiali rosso-ciano (filtro rosso su occhio sinistro).

Frattografia.

Lo scopo della frattografia è di analizzare gli aspetti morfologici di una frattura e di correlare la topografia della superficie di frattura alle cause o ai meccanismi che la hanno prodotta⁽⁴⁾.

Il primo a descrivere l'uso dell'aspetto di una frattura per valutare la qualità di un processo metallurgico fu un metallurgista italiano del 1540, Vannoccio Biringuccio⁽⁵⁾. Egli descrisse l'uso dell'aspetto di una frattura come mezzo per la valutazione della qualità, sia per le leghe ferrose che non ferrose.

La rottura delle leghe metalliche avviene in molti modi diversi ed è fondamentale comprenderne le ragioni, anche per evitare spiacevoli inconvenienti durante la produzione dei manufatti o durante il loro utilizzo. Si può anche dire che provocando la rottura di una lega metallica ed osservando come questa avviene si può capire molto sulle sue caratteristiche fisiche e meccaniche⁽⁶⁾.

Una delle più importanti sorgenti di informazione sulle cause e modalità delle rotture è la stessa superficie di frattura. Questa superficie è una registrazione fedele della storia della rottura. La tecnica principale per condurre questo studio è la frattografia mediante microscopia elettronica a scansione.

L'osservazione tridimensionale fornisce il massimo delle informazioni sulla morfologia delle superfici di frattura. Esistono sostanzialmente quattro modi principali di frattura: a dimples (micro-strappi), per clivaggio, per fatica e per decoesione. Per quanto riguarda i metalli preziosi, la frattura a dimples è la più comune. Tuttavia anche gli altri casi si possono verificare e, se ciò accade, possono essere indice di errori di processo nella produzione del manufatto o anche di errori nella sua progettazione.

Il primo esempio che prendiamo in considerazione, riguarda la superficie di frattura di una provetta di trazione in lega di palladio 950. La provetta è stata ottenuta per colaggio a cera persa. In questo caso la rottura è stata provocata appositamente per misurare le caratteristiche meccaniche della lega. L'osservazione al SEM della superficie di frattura evidenzia due regioni, la prima con una microstruttura sfaccettata che copre poco più di un terzo della sezione. La seconda dalla morfologia irregolare (figura 5), termina sulla sinistra in figura, in posizione più elevata.

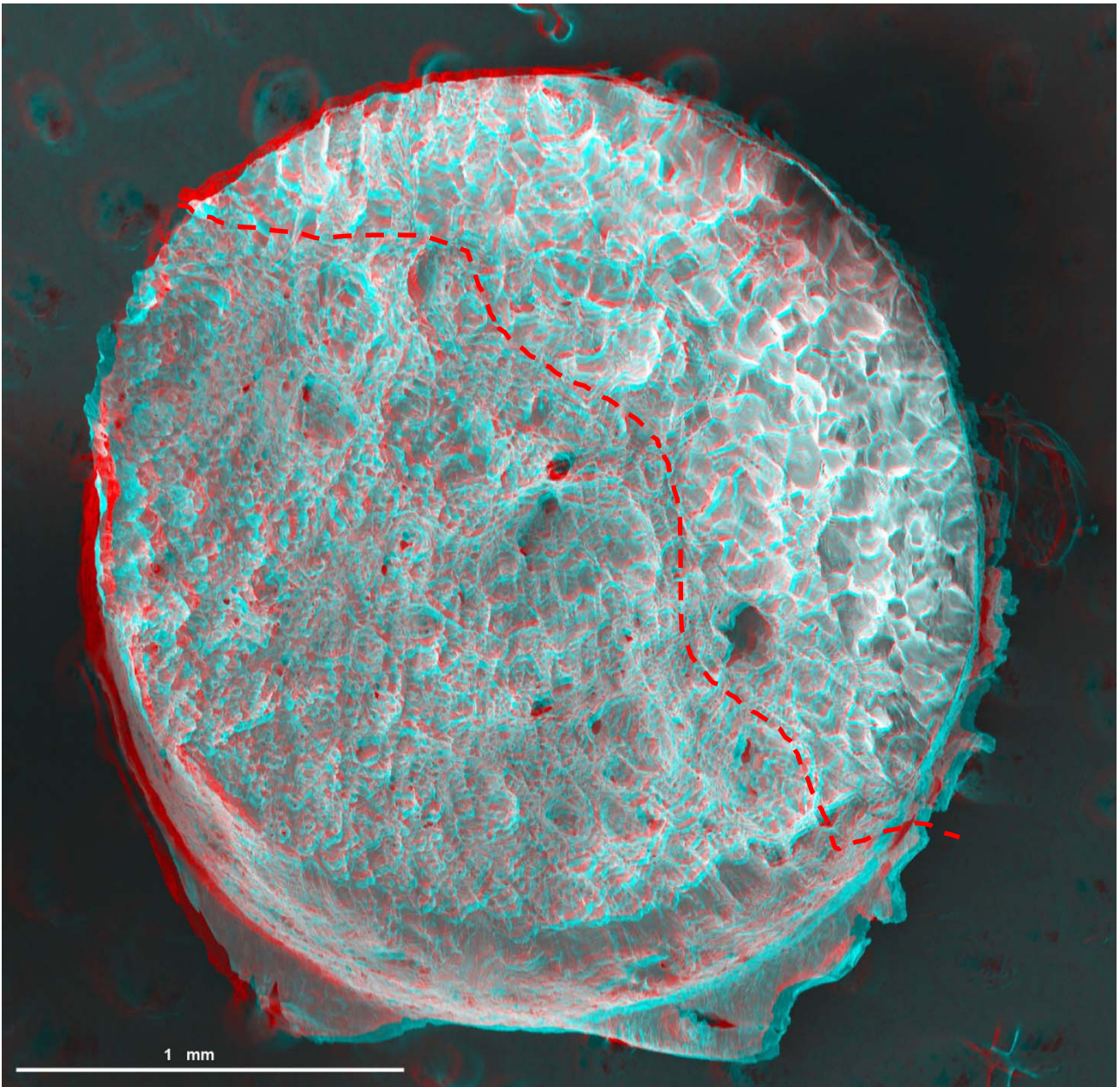


Figura 5.

Superficie di frattura di una provetta in lega di Pd 950. La superficie mostra due zone morfologicamente diverse, separate dalla linea tratteggiata. La porzione di destra ha un aspetto sfaccettato, mentre quella alla sua sinistra ha una morfologia più irregolare.

L'osservazione a maggior ingrandimento di questa seconda zona mostra la caratteristica rottura a dimples (figura 6) che è tipica dei materiali duttili, cioè di quelli che presentano grandi deformazioni plastiche e permanenti prima di rompersi.

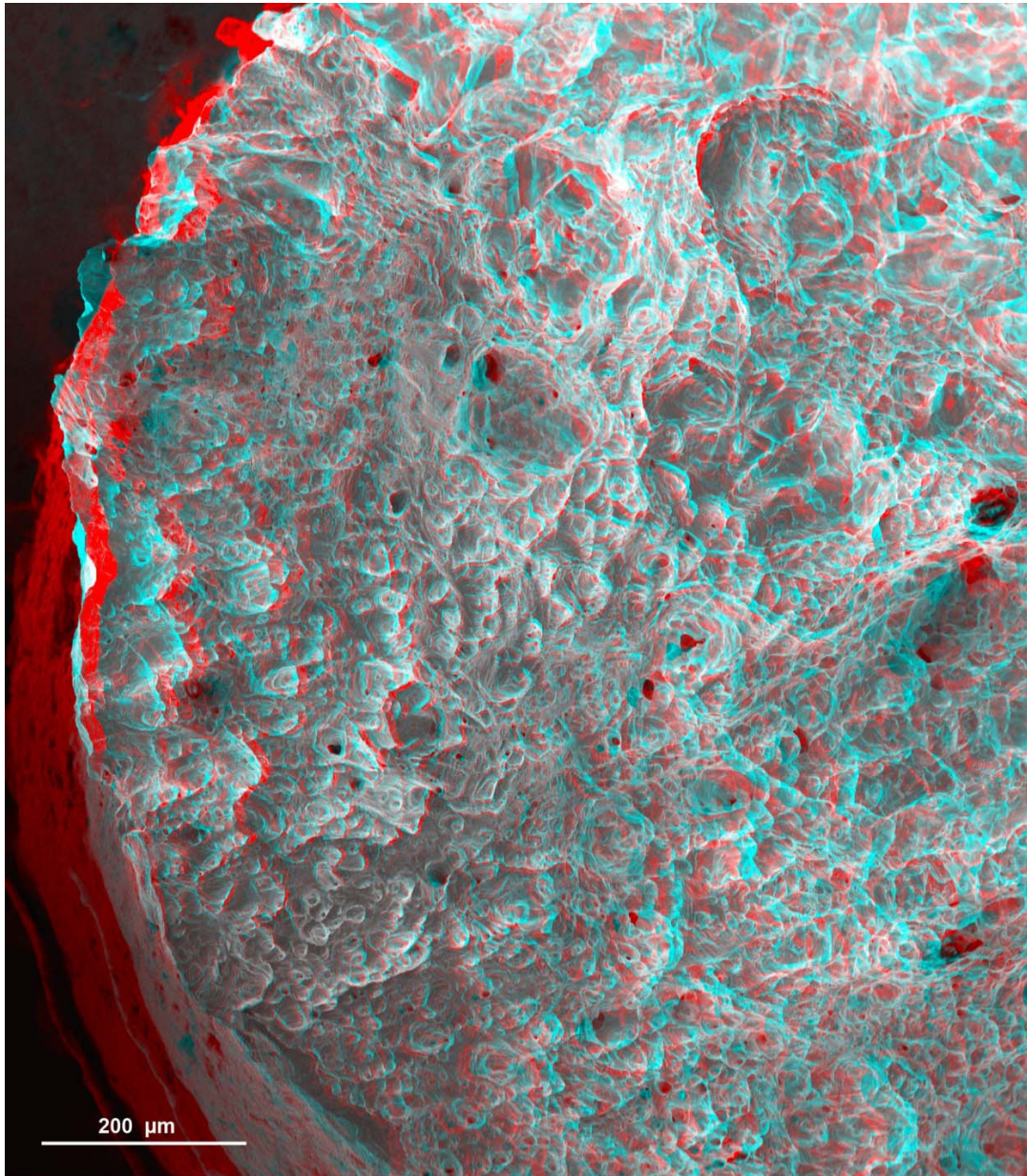


Figura 6.

Questa parte della superficie di frattura descrive molto bene le elevate caratteristiche di duttilità del materiale. Non solo per la porzione di sinistra che appare allungata verso l'alto e che costituisce la zona di strappo finale, ma anche per la tipica morfologia a dimples visibile su tutta l'area. Si veda il dettaglio di figura 7.

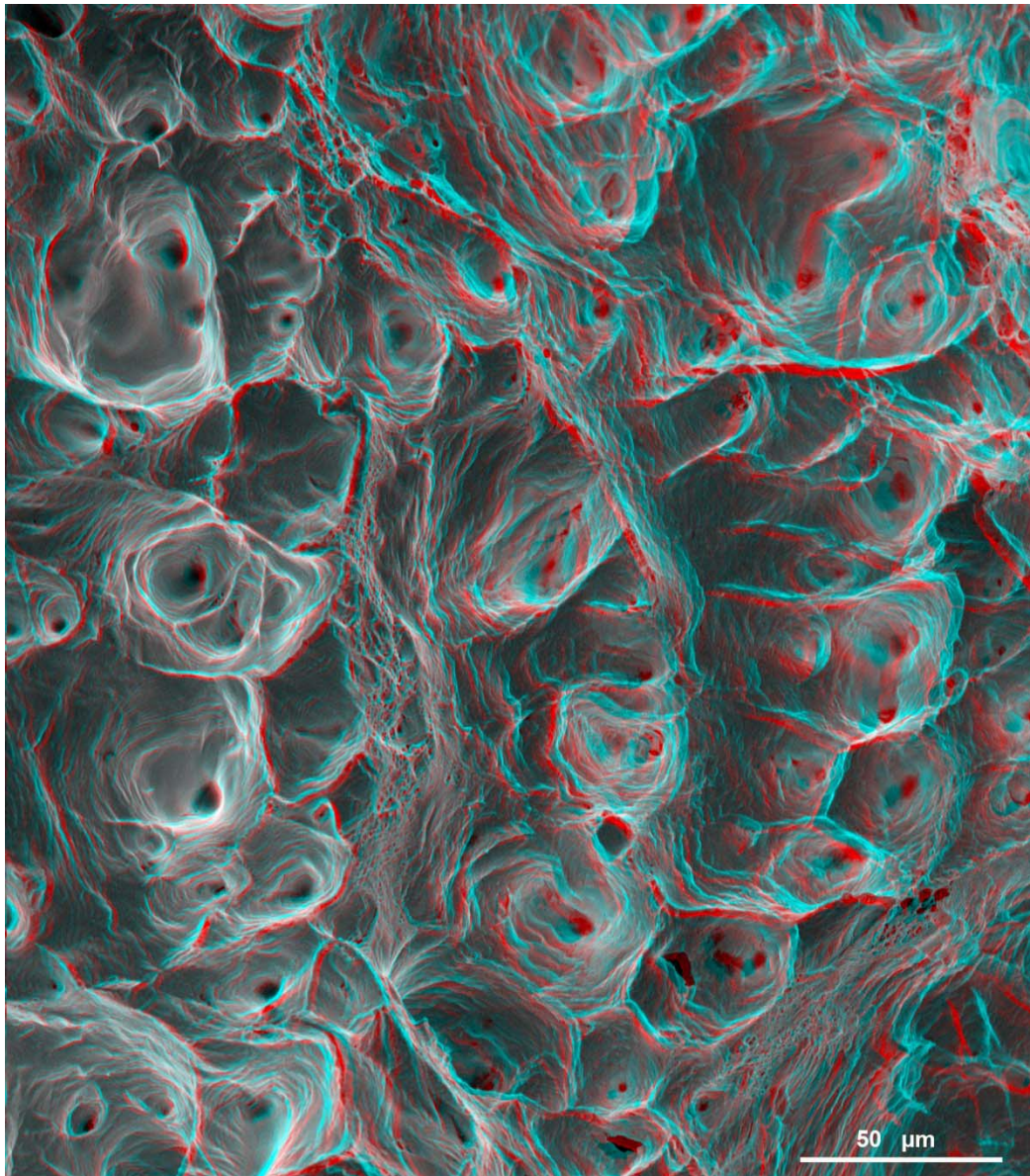


Figura 7.

Il dettaglio della parte centrale della figura 6 ci mostra i dimples tipici della rottura di un materiale duttile. Al centro dei dimples, che si presentano come coni rovesciati, ci sono delle cavità sferiche, probabili porosità da gas che hanno innescato la rottura. L'osservazione ci dice che la lega presentava questo difetto micro strutturale.

L'osservazione ad ingrandimento maggiore permette di evidenziare una distribuzione di piccole porosità da gas, al centro dei dimples. Questi appaiono come coni rovesciati, con il vertice nella porosità che li ha innescati. Il materiale si è deformato plasticamente intorno alle porosità e si sono formati i dimples.

Se saliamo ancora di ingrandimento (figura 8), nella zona centrale di figura 7 vediamo ancora dimples più piccoli, innescati da difetti su scala dimensionale inferiore.

La parte destra della superficie di frattura (figura 5), descrive un'altra caratteristica importante di questa lega. La rottura qui è avvenuta per decoesione del materiale lungo i bordi dei grani cristallini (figura 8). Per quale motivo la lega di Pd 950 si è rotta secondo due modalità così diverse? La risposta si ha osservando che su alcuni bordi di grano sono visibili delle decorazioni ondulate in rilievo (figure 9 e 10). Queste sono tipicamente prodotte quando i bordi di grano si scollano ad alta temperatura (hot tearing), durante il raffreddamento del materiale all'interno del cilindro o ancora prima, durante la solidificazione della lega. Così la frattografia eseguita su questo campione ci dice che la lega in esame è soggetta al fenomeno dell'hot tearing. Quindi pur essendo duttile a temperatura ambiente, attraversa delle fasi di fragilità

intergranulare durante e subito dopo la sua solidificazione. l'osservazione tridimensionale delle figure 9 e 10 ci permette di visualizzare la forma dei grani cristallini nello spazio e il rilievo delle decorazioni ondulate dove è avvenuto il distacco finale tra i bordi di grano .

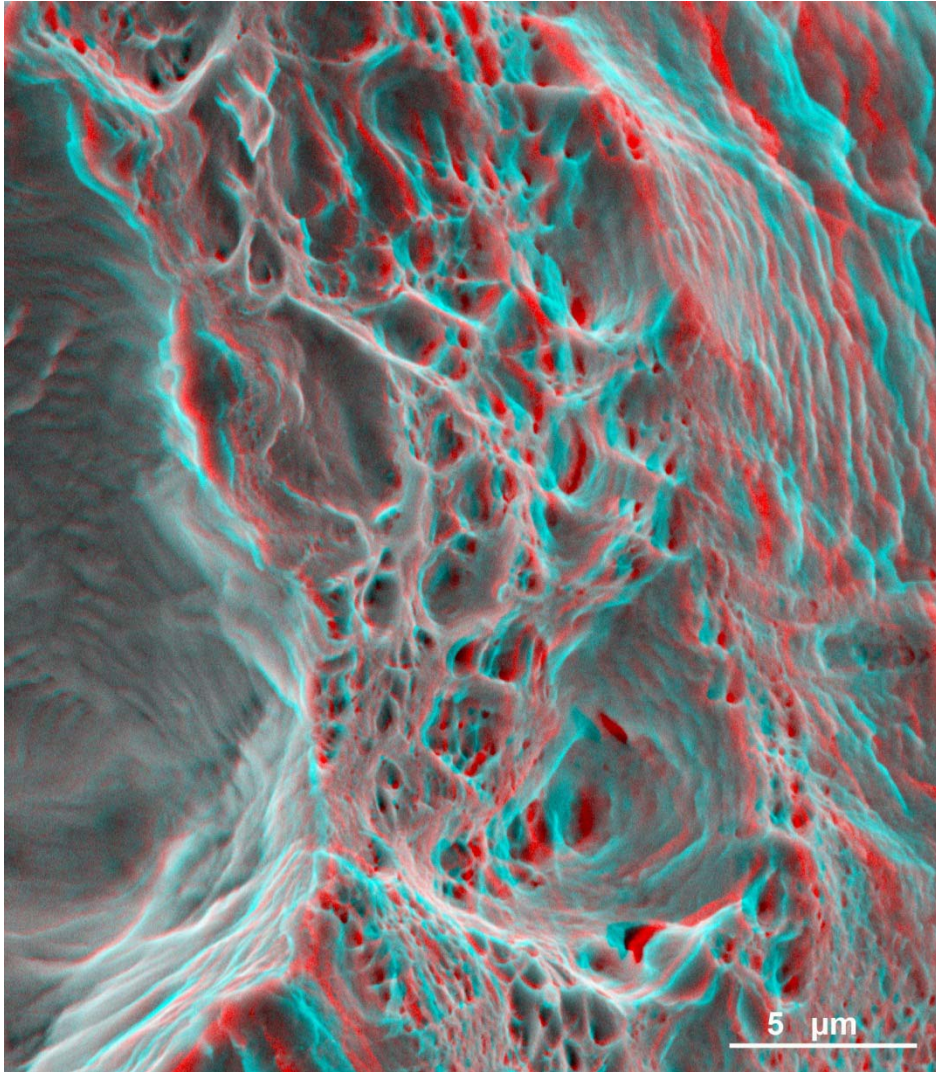


Figura 8.

Un dettaglio nella zona centrale di figura 7 ci mostra ancora i dimples. In questo caso i difetti che hanno innescato la rottura sono di dimensioni inferiori e, in parte, sono ancora costituiti da porosità da gas.

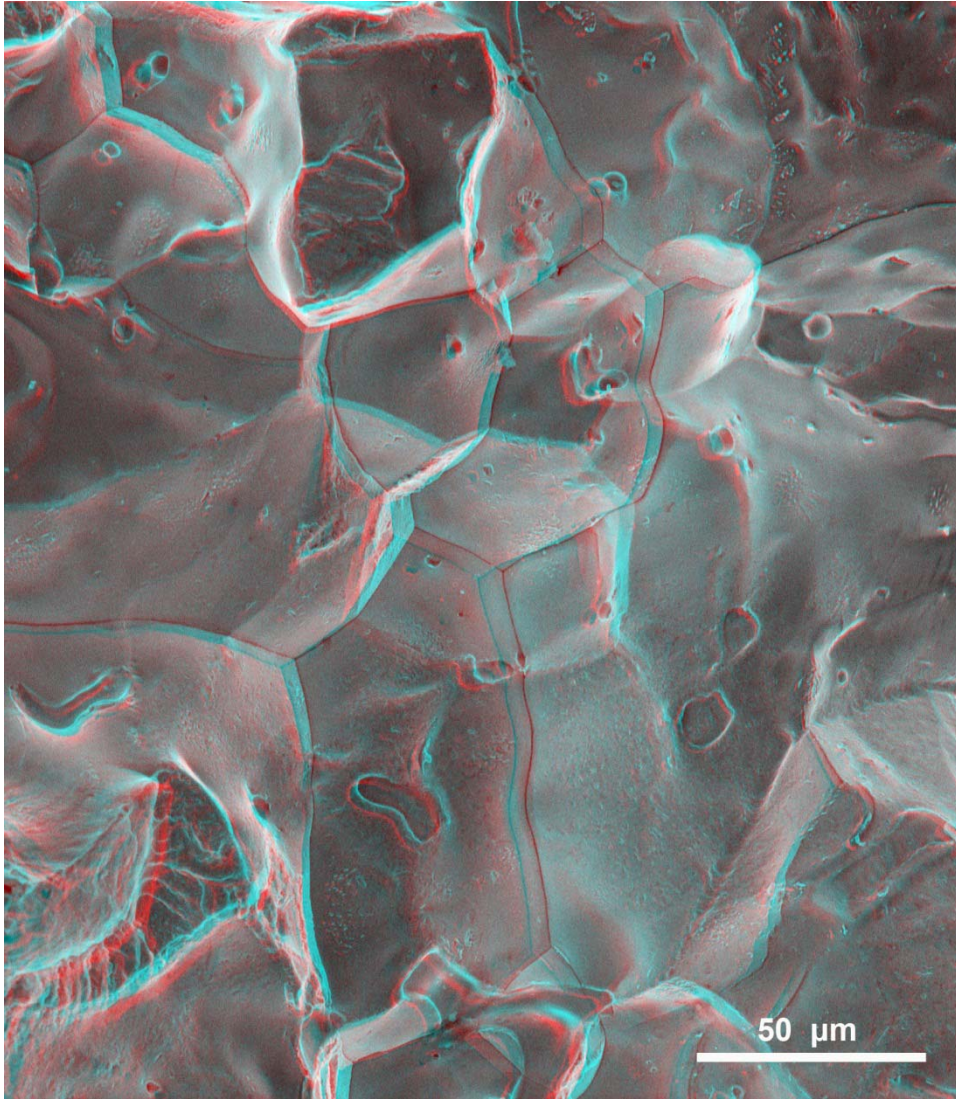


Figura 9.

La zona destra della superficie di frattura (figura 5) mostra una situazione completamente diversa. La rottura è avvenuta per decoesione lungo i bordi dei grani cristallini (rottura intergranulare).

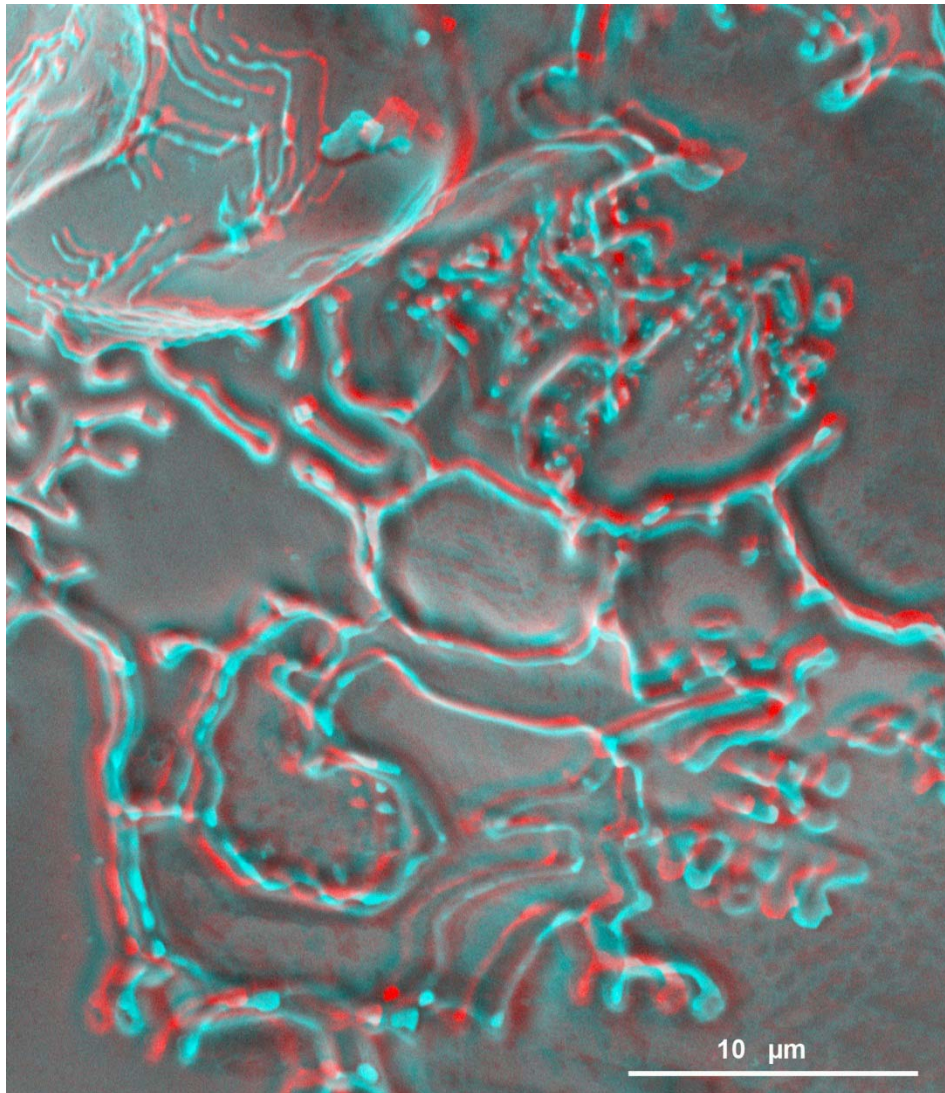


Figura 10.

Su alcune superfici intergranulari compaiono le tipiche decorazioni ondulate prodotte al momento della decoesione dei bordi di grano ad alta temperatura. Questo fenomeno è noto come "hot tearing" o rottura a caldo.

Il secondo esempio che prendiamo in considerazione riguarda ancora una lega di Pd950, ma, diversamente dal caso precedente, non nelle condizioni grezze di colata ma in forma di filo trafilato e più volte ricotto. Il filo è stato sottoposto a prova di trazione e la superficie di frattura viene osservata al SEM. Innanzitutto l'osservazione ci mostra che il materiale si deforma plasticamente in misura molto maggiore rispetto al caso precedente, prima della rottura definitiva (figura 11).

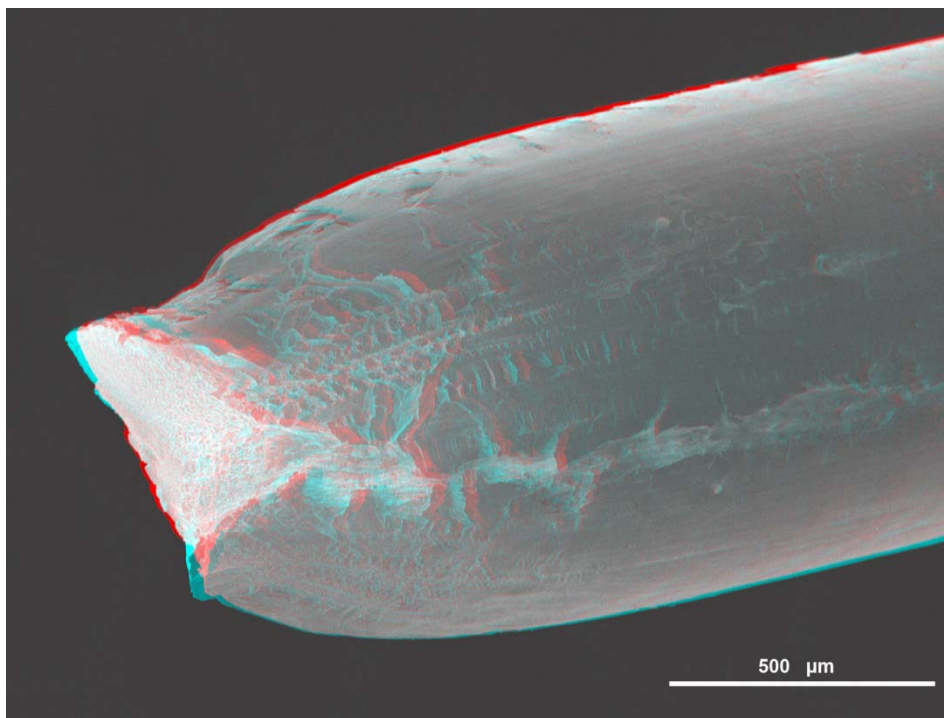


Figura 11.

Il filo di Pd 950, sottoposto a trazione, si rompe con una deformazione plastica maggiore di quanto non accada con la provetta ottenuta per cera persa.

La forma classica a coppa conica della zona di rottura, ben visibile in 3D (figure 11 e 12), indica che la prima parte a cedere è quella lungo l'asse del filo, al centro della superficie di frattura e con morfologia fibrosa (figure 13 e 14). Infine la rottura termina sulla zona esterna a rottura di taglio, a labbro (figure 15).

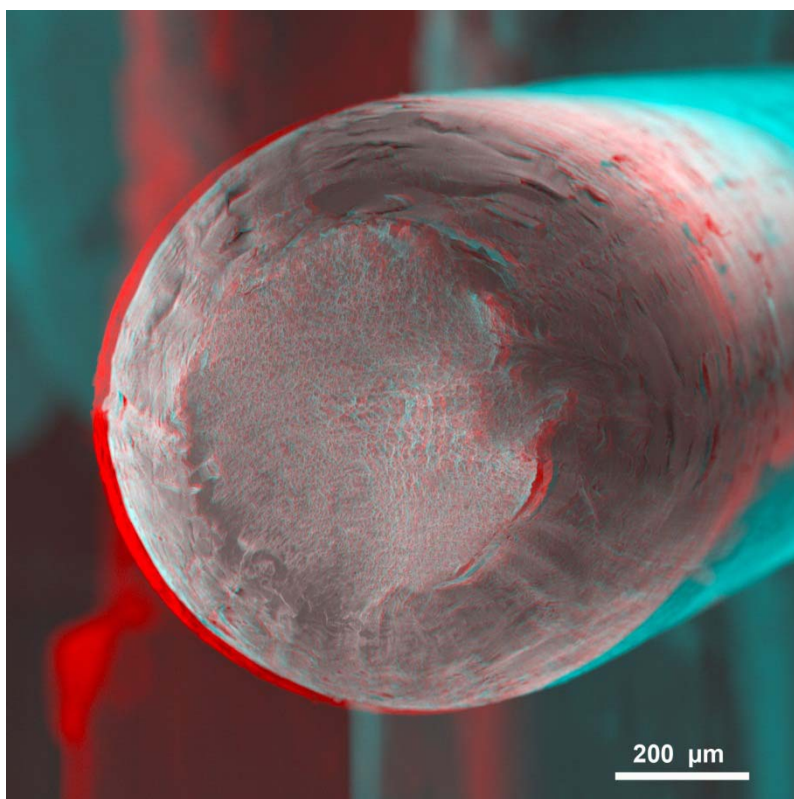


Figura 12.

Superficie di frattura del filo in lega di Pd950. L'aspetto della superficie di frattura, visto in 3D ha la caratteristica forma a coppa, tipica dei materiali duttili.

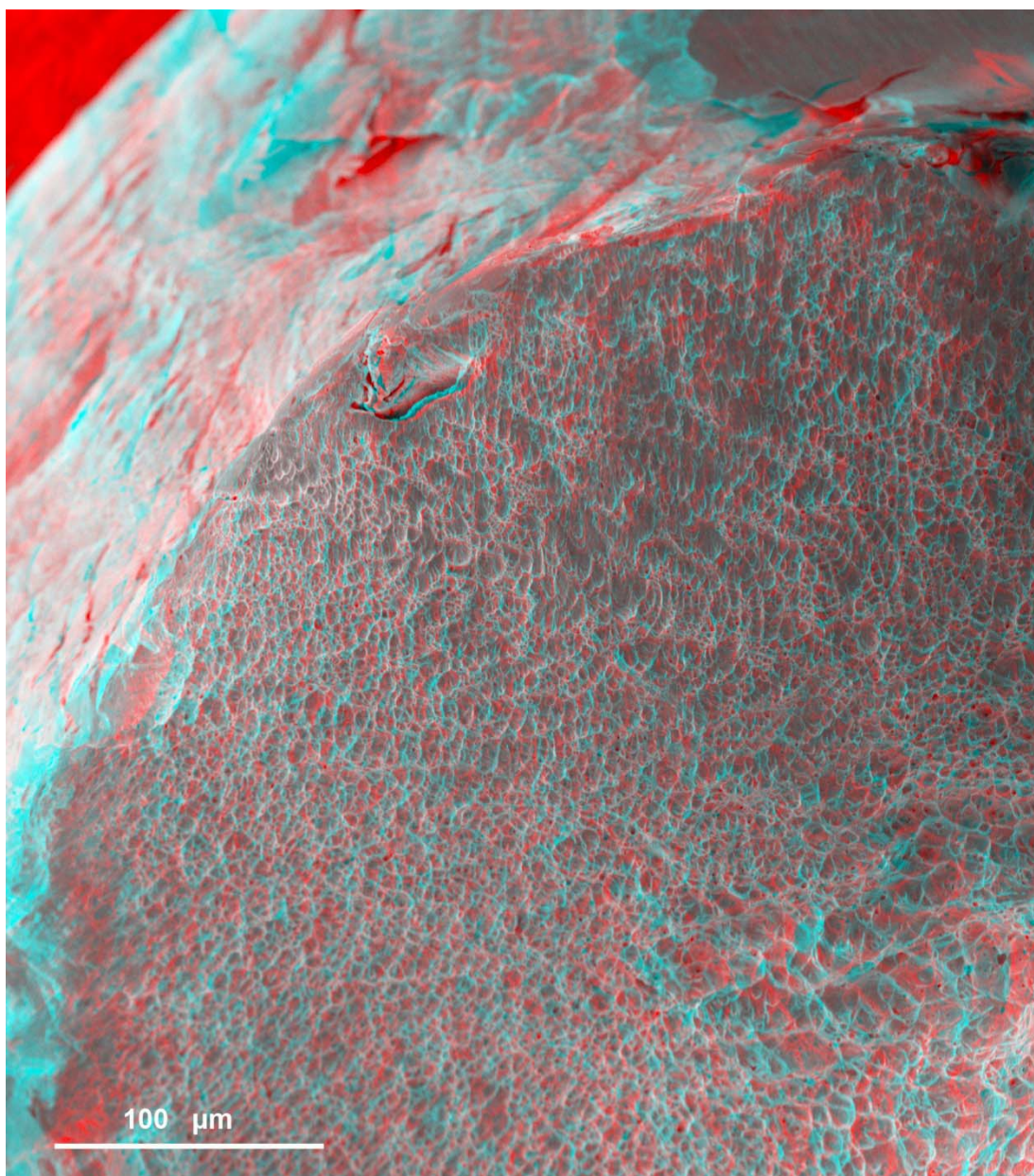


Figura 13.

Dettaglio della superficie di frattura. La superficie appare ricoperta da dimples. Comunque, la zona centrale (angolo in basso a destra), è caratterizzata da dimples di maggiori dimensioni.

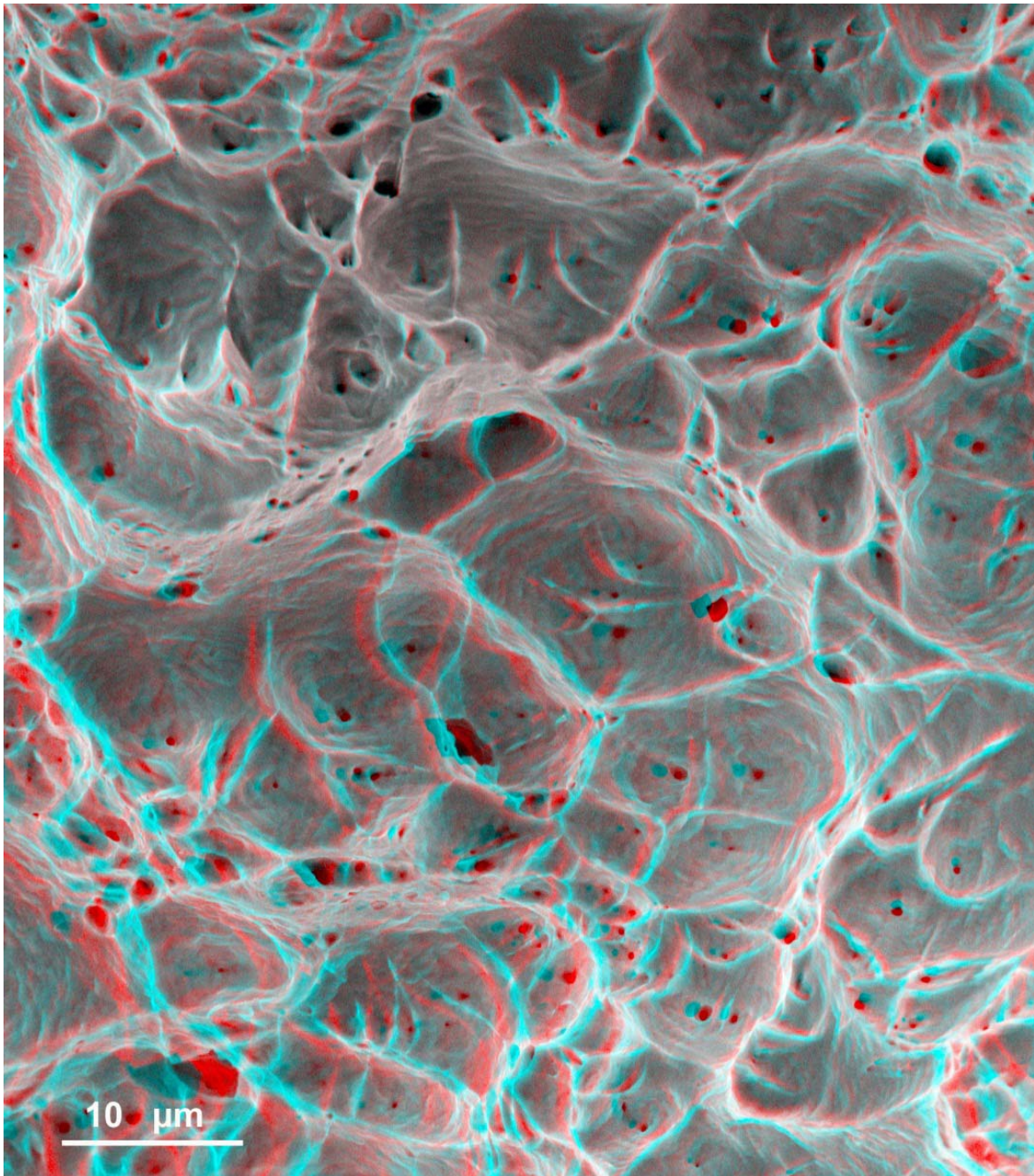


Figura 14.

Osserviamo qui la parte centrale della superficie di frattura. Qui i dimples hanno la forma a coppa con labbra rivolte verso l'alto. Ciò indica che la frattura è avvenuta per strappo assiale del materiale. I dimples si sono aperti intorno a vuoti o difetti che sono di dimensioni maggiori in questa zona centrale del filo di Pd 950.

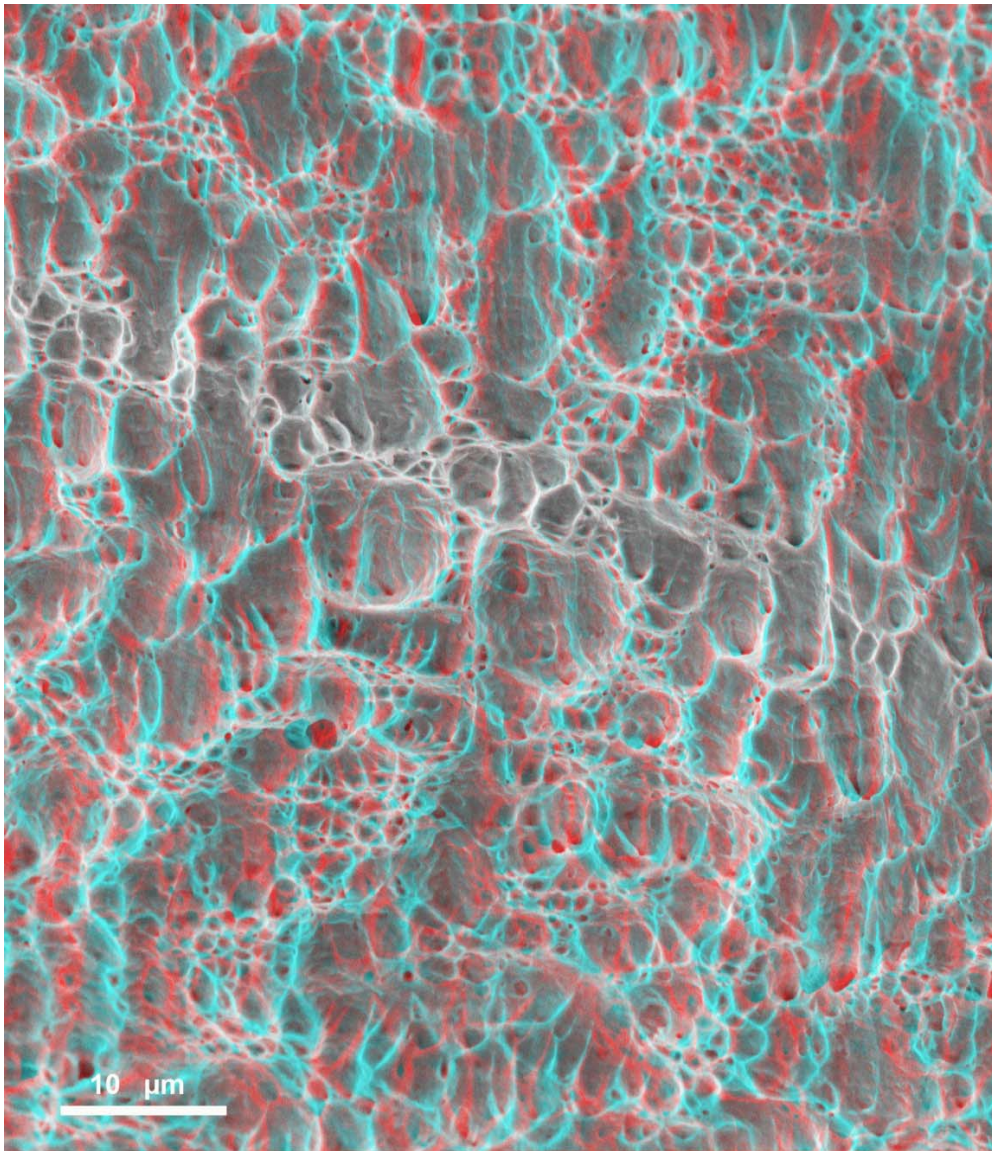


Figura 15.

Allo stesso ingrandimento di figura 14, osserviamo un dettaglio della figura 13 nella zona periferica della superficie di frattura. La forma a coppa dei dimples e delle loro labbra è ben visibile nell'osservazione tridimensionale. Questa indica che la frattura si è propagata dal basso verso l'alto nella zona qui fotografata. Cioè dal centro verso la superficie del filo.

un ultimo esempio che consideriamo, relativamente alle superfici di frattura, riguarda l'hot cracking in una canna in oro bianco al nickel, da 18 carati. La frattura longitudinale della canna mostra una superficie piuttosto piana, anche all'osservazione 3D (figura 16).

L'osservazione a maggiore ingrandimento evidenzia comunque che la rottura è intergranulare e che, lungo la sezione della canna, la dimensione media dei grani cambia improvvisamente (figure 16 e 17). Queste osservazioni sono utili per

evidenziare la grande disomogeneità di incrudimento ricevuto dal materiale durante la lavorazione. tale disomogeneità si manifesta dopo la ricottura nelle dimensioni molto diverse del grano.

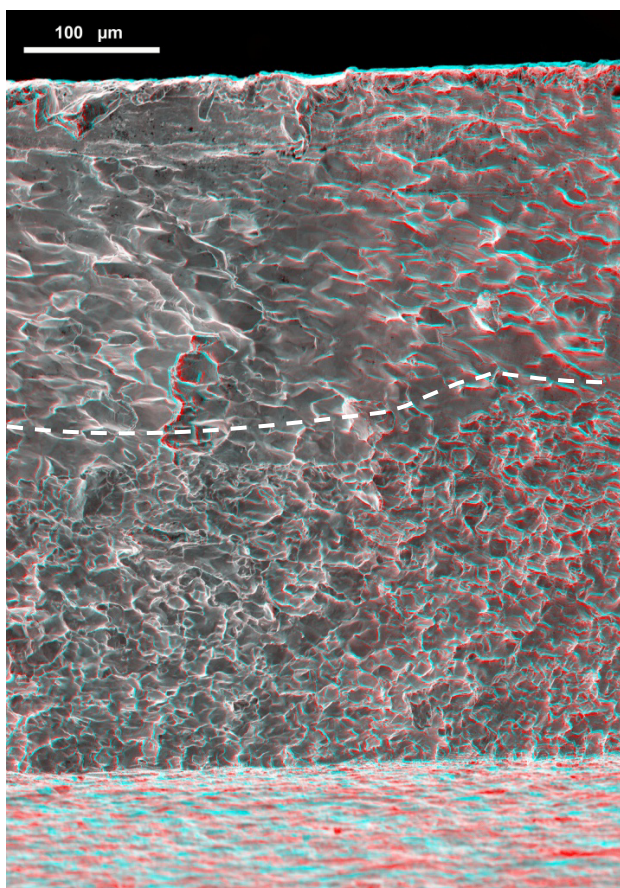


Figura 16.
La superficie di frattura longitudinale in una canna in oro bianco, apertasi per hot cracking è piana, anche se osservata in 3D. Si distingue tuttavia una differenza nella morfologia della superficie verso l'interno della canna (sotto il tratteggio) rispetto alla parte più esterna (sopra il tratteggio).

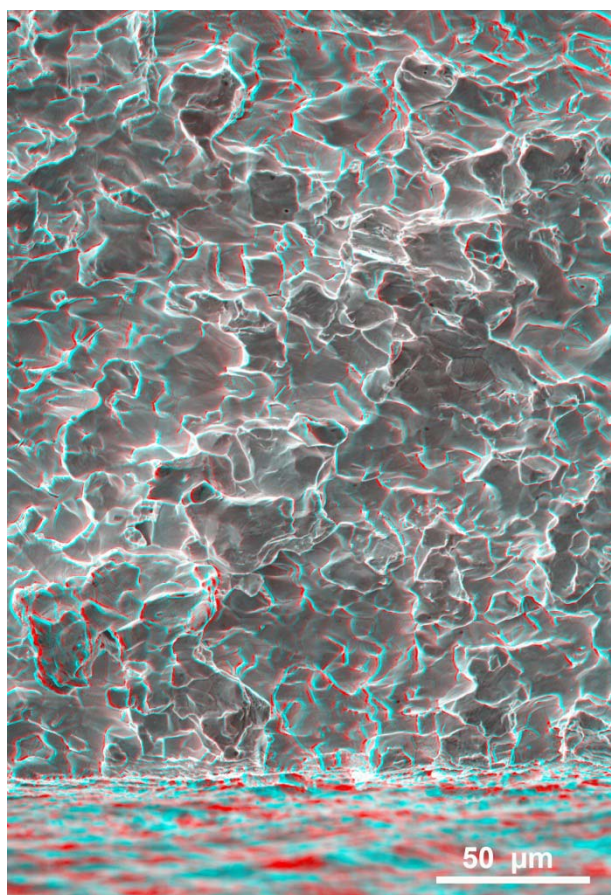


Figura 17.
Un dettaglio della superficie di frattura, sotto la linea tratteggiata di figura 16, mostra la sua caratteristica morfologia intergranulare.

E' anche interessante osservare in 3D la superficie interna della canna (figura 18). Questa osservazione ci mostra una superficie completamente raggrinzita in senso longitudinale, a causa della riduzione del diametro interno non supportato da un mandrino. Le grinze si presentano come dei solchi profondi che possono fungere da innesco delle cricche durante le fasi di ricottura della canna (figura 19). L'osservazione tridimensionale permette di apprezzare meglio la caratteristica di profondo intaglio tipica di queste grinze e quindi la loro pericolosità quale possibili inneschi di rotture.

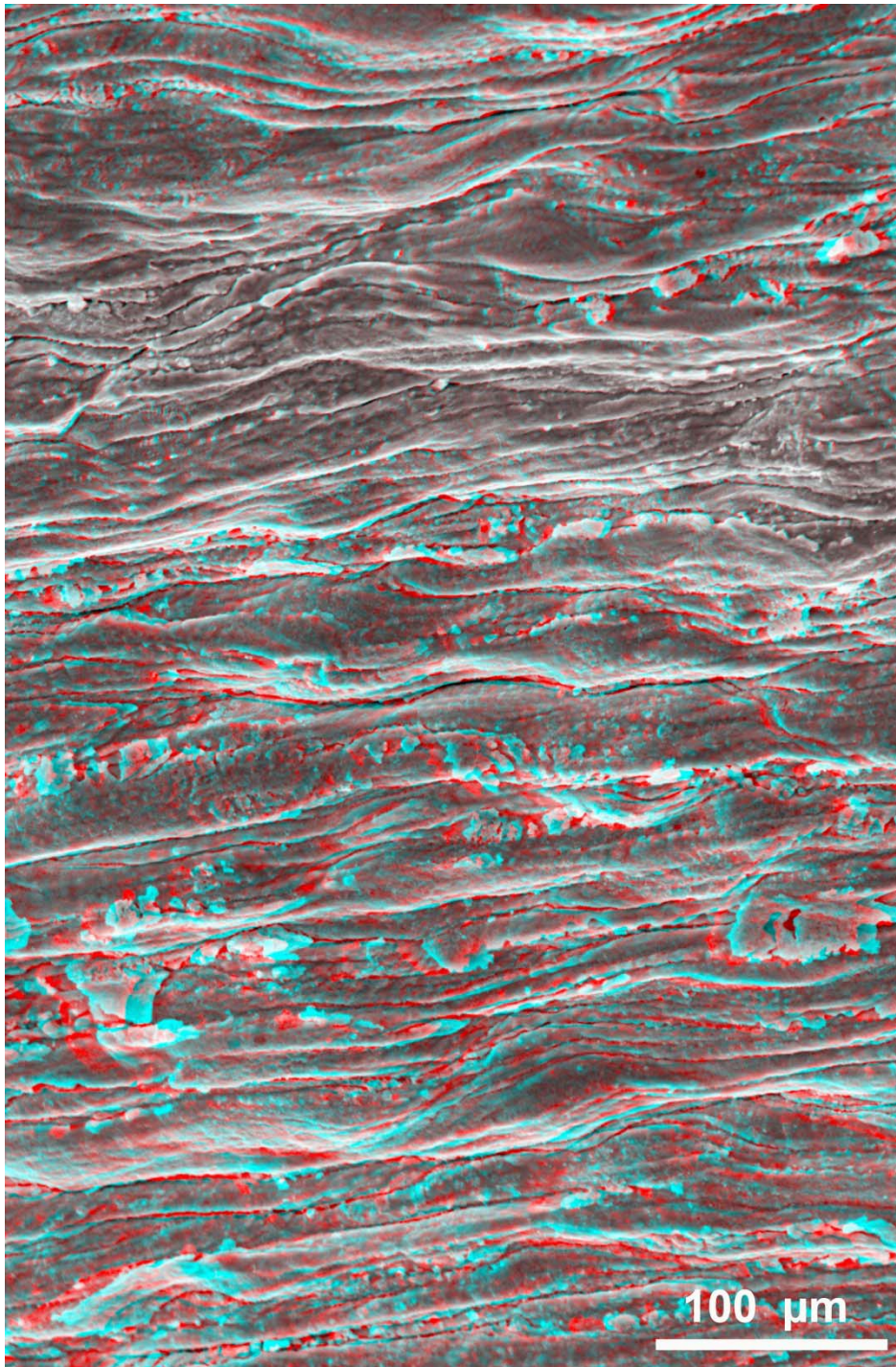


Figura 18.

La superficie interna della canna si presenta completamente raggrinzita. Le grinze orizzontali sono parallele all'asse longitudinale della canna. Le grinze sono causate dalle forze applicate durante la trafilatura che hanno ridotto il diametro interno non supportato da un mandrino.

Finitura superficiale.

L'aspetto di una superficie dipende dalla sua microstruttura. Volendo ottenere determinati effetti estetici, la superficie deve essere lavorata in modo opportuno e il risultato dipende dalla morfologia tridimensionale che essa assume a livello microscopico. Spesso si osservano morfologie caratterizzate da alcuni tipici aspetti geometrici, come negli esempi seguenti.

Consideriamo le tre monete d'oro di figura 19. La moneta da 100 dollari a sinistra presenta un fondo satinato, molto opaco, che fa risaltare bene la figura al centro, lucidata in modo speculare. Le altre due hanno una finitura ancora satinata, ma con gradi diversi di opacità, inferiore per la moneta da 50 dollari a destra.



Figura 19.
Le tre monete d'oro hanno diverse finiture superficiali.

In figura 20 vediamo la superficie satinata della moneta da 100 dollari. La superficie ha una lavorazione a scaglie, ognuna delle quali si trova su un piano diverso da quelle circostanti. Ciò contribuisce a diffondere la luce in tutte le direzioni, conferendo l'aspetto opaco alla superficie. Se osserviamo ad un ingrandimento maggiore (figura 21), vediamo che ogni scaglia ha anche un aspetto arrotondato, contribuendo ancora meglio alla dispersione dei raggi di luce incidenti.

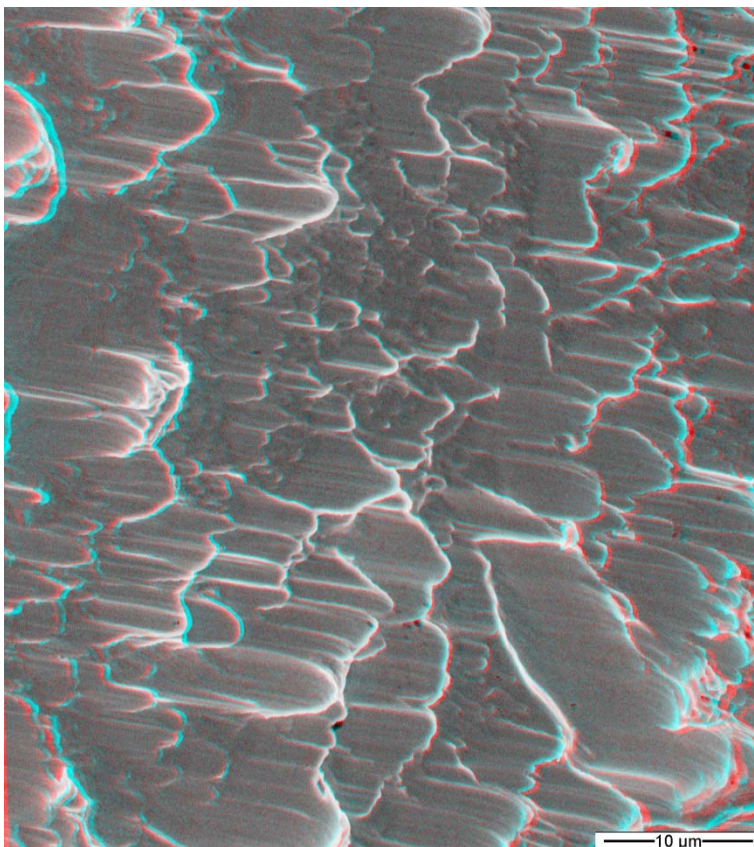


Figura 20.
La superficie satinata della moneta da 100 dollari ha un aspetto a scaglie, ognuna su un piano diverso rispetto alle circostanti.

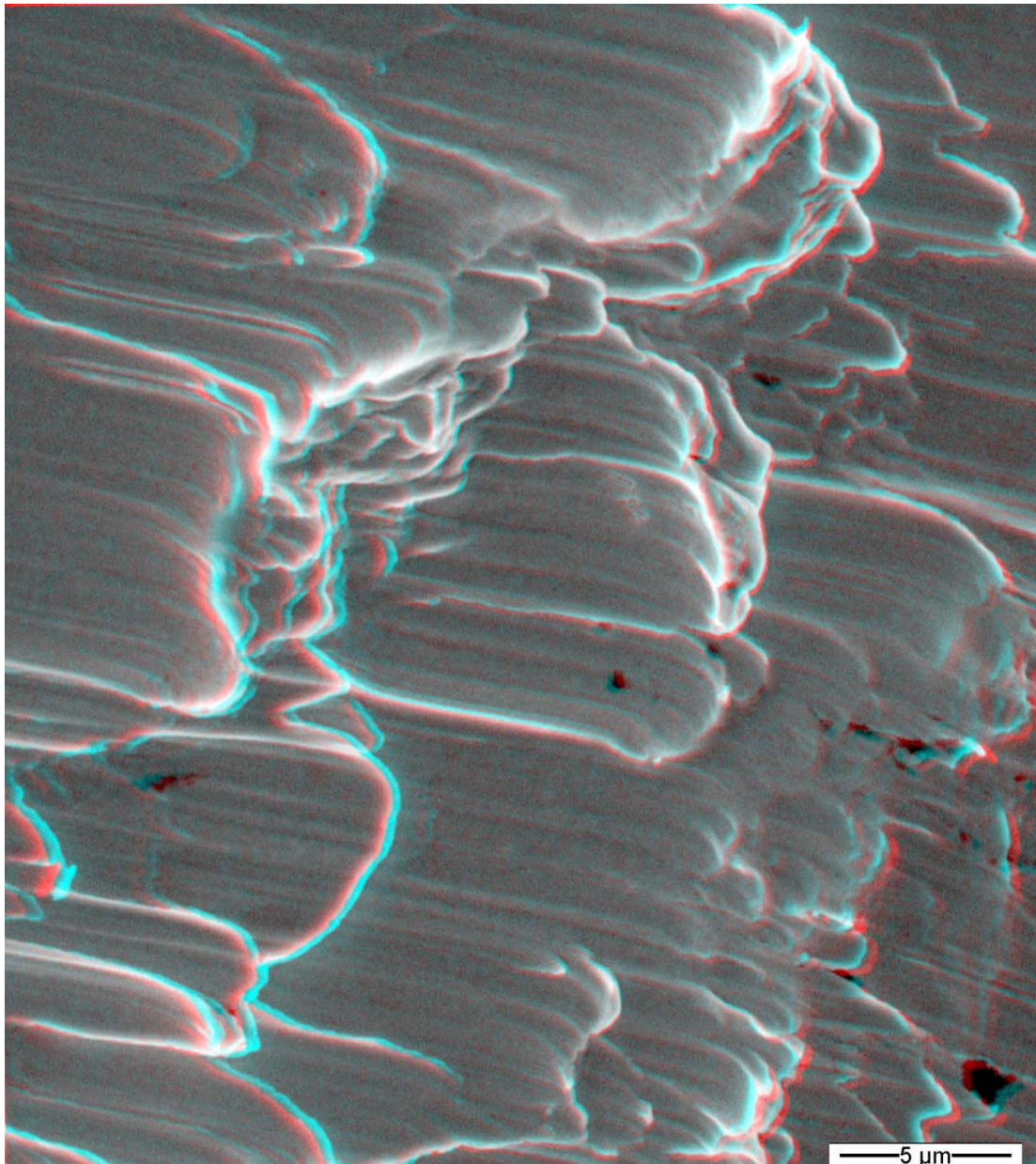


Figura 21.

Osservata in 3D a maggiore ingrandimento, la superficie di figura 20 mostra l'arrotondamento delle scaglie della satinatura. Questo arrotondamento contribuisce in modo efficace a conferire un aspetto opaco alla superficie.

La moneta da 1000 Pesos (al centro in figura 19) ha una superficie lavorata in modo simile a quello visto per la precedente, ma con una definizione minore delle scaglie (figura 22), che hanno anche dimensioni maggiori. Si confrontino le figure 22 e 20. Per questo motivo la superficie ha una opacità inferiore e si presenta più lucida.

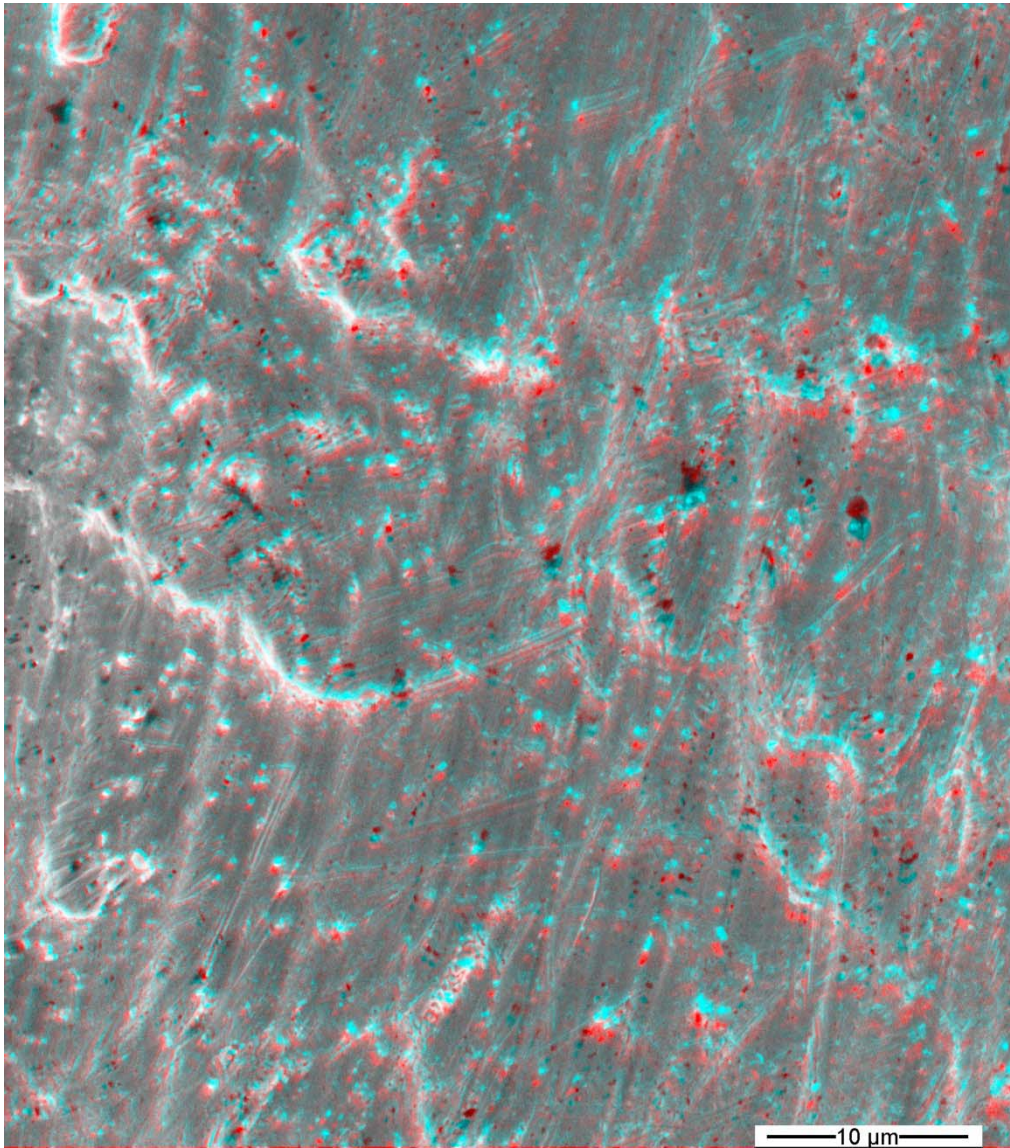


Figura 22.

La superficie satinata della moneta da 1000 Pesos ha una lavorazione a scaglie, con scaglie meno definite e dimensioni maggiori a quelle viste sulla moneta da 100 dollari.

La moneta da 50 dollari ha una lavorazione superficiale ancora più liscia (figura 23), e morfologicamente diversa dalle due precedenti. La figura 23, da confrontare con la 20 o la 22, evidenzia che su questa superficie sono presenti zone piane, più riflettenti.

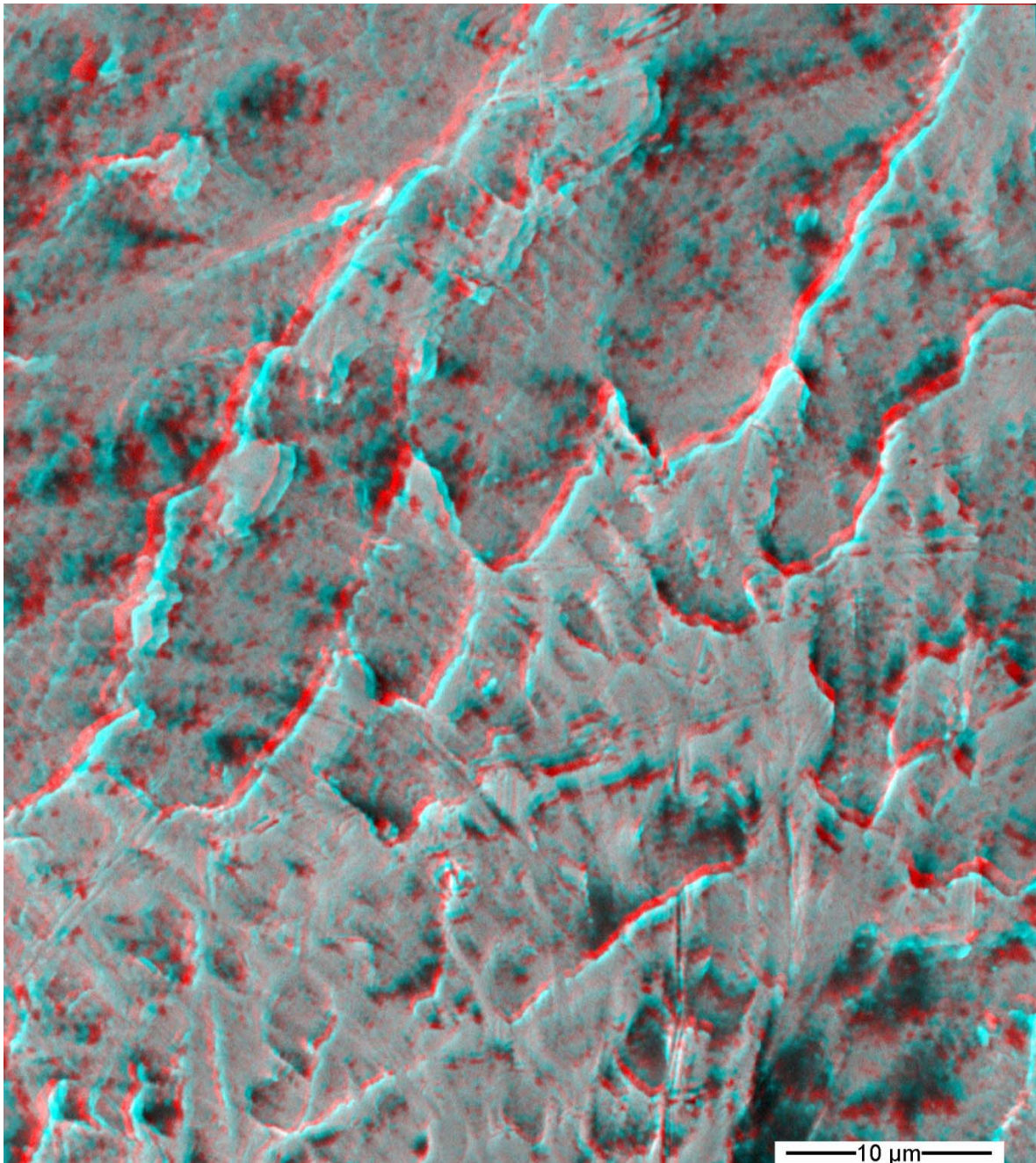


Figura 23.

Questo particolare della satinatura superficiale sulla moneta da 50 dollari può essere confrontato con la figura 20 o con la 22. Pur essendo presenti delle zone dove la superficie è incisa, in altre essa è più liscia e quindi più riflettente, come nella parte inferiore della figura qui a fianco.

A volte , quando una lega metallica viene piegata durante le varie fasi di lavorazione, può verificarsi il problema della “buccia d’arancia”, dovuto al fatto che i grani superficiali si deformano in modo dipendente dal loro orientamento cristallino, variabile da grano a grano. Una superficie liscia diviene quindi rugosa. La figura 24 mostra un esempio di “buccia d’arancia” su una lamina in oro rosso a 18 carati, piegata a 90°. Maggiori sono le dimensioni dei grani, più evidente è la buccia d’arancia.

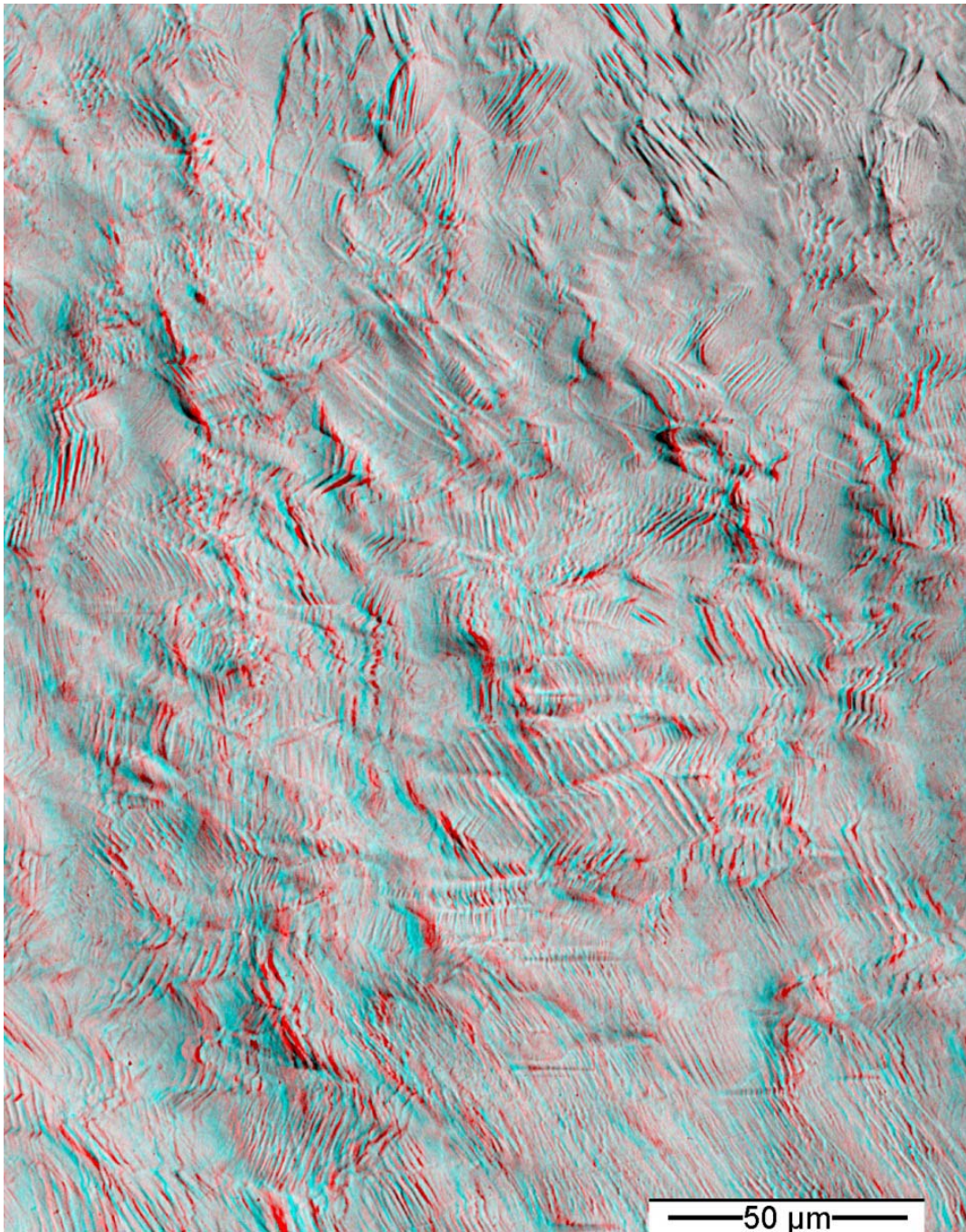


Figura 24.

La rugosità visibile sulla superficie di questa lega in oro rosso a 18 carati compare dopo aver piegato il materiale. Prima della piegatura la superficie era liscia. I piccoli scalini paralleli che si osservano sulla superficie sono causati dallo scorrimento dei piani cristallini lungo direzioni preferenziali, durante la deformazione della lega.

Un altro caso in cui piccoli rilievi su una superficie liscia generano difetti estetici importanti è quello delle “code di cometa” : Si verifica quando una superficie in fase di lucidatura presenta inclusioni dure incastonate nel materiale. La lucidatura accumula detriti a valle di questi punti duri e si formano le “code di cometa”, di cui è visibile un esempio nella figura 25. L’osservazione al SEM consente una visualizzazione 3D di questi difetti esteticamente molto dannosi (figure 26 e 27). In questo modo è possibile osservare che non si tratta solo di accumulo di materiale, ma anche di abrasione eccessiva della superficie negli spazi tra una inclusione e quella adiacente.

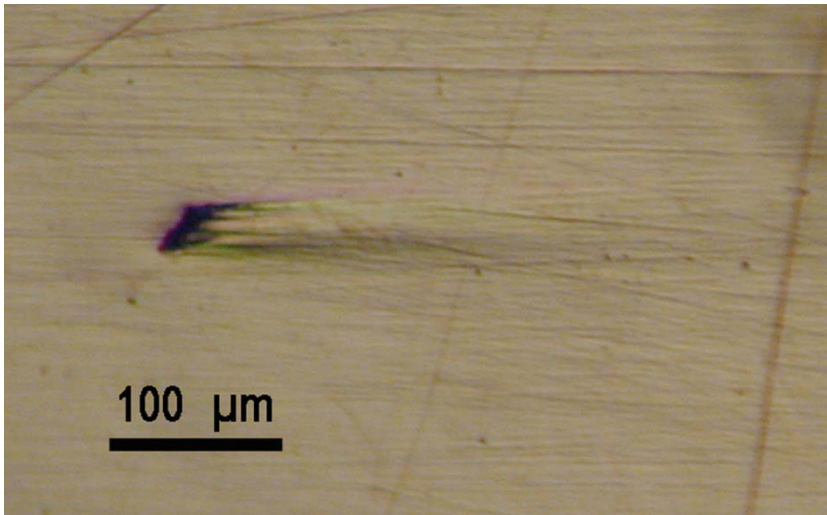


Figura 25.

Esempio di "coda di cometa", così come visibile otticamente.

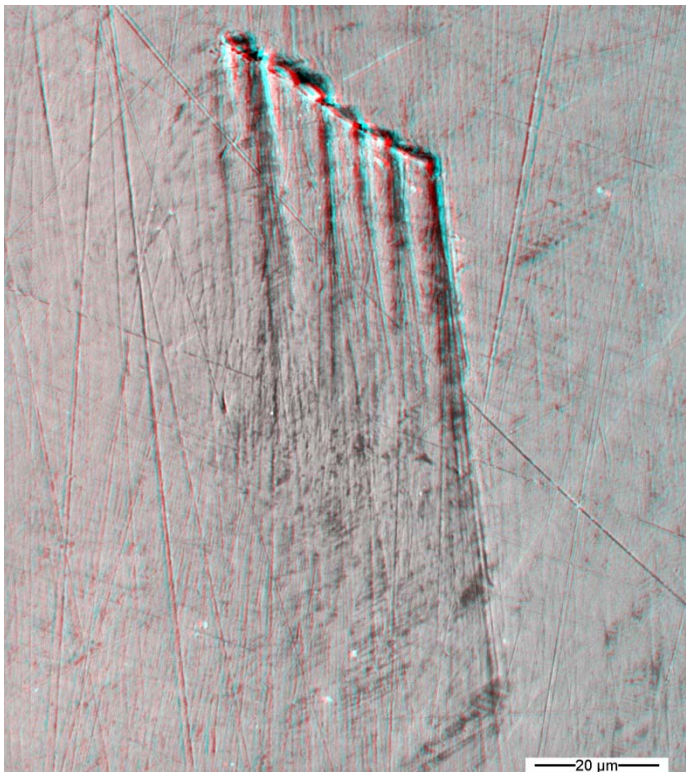


Figura 26.

L'osservazione al SEM del difetto visto in figura 25 permette di visualizzare in 3D l'accumulo di materiale che crea le code di cometa a valle delle inclusioni dure.

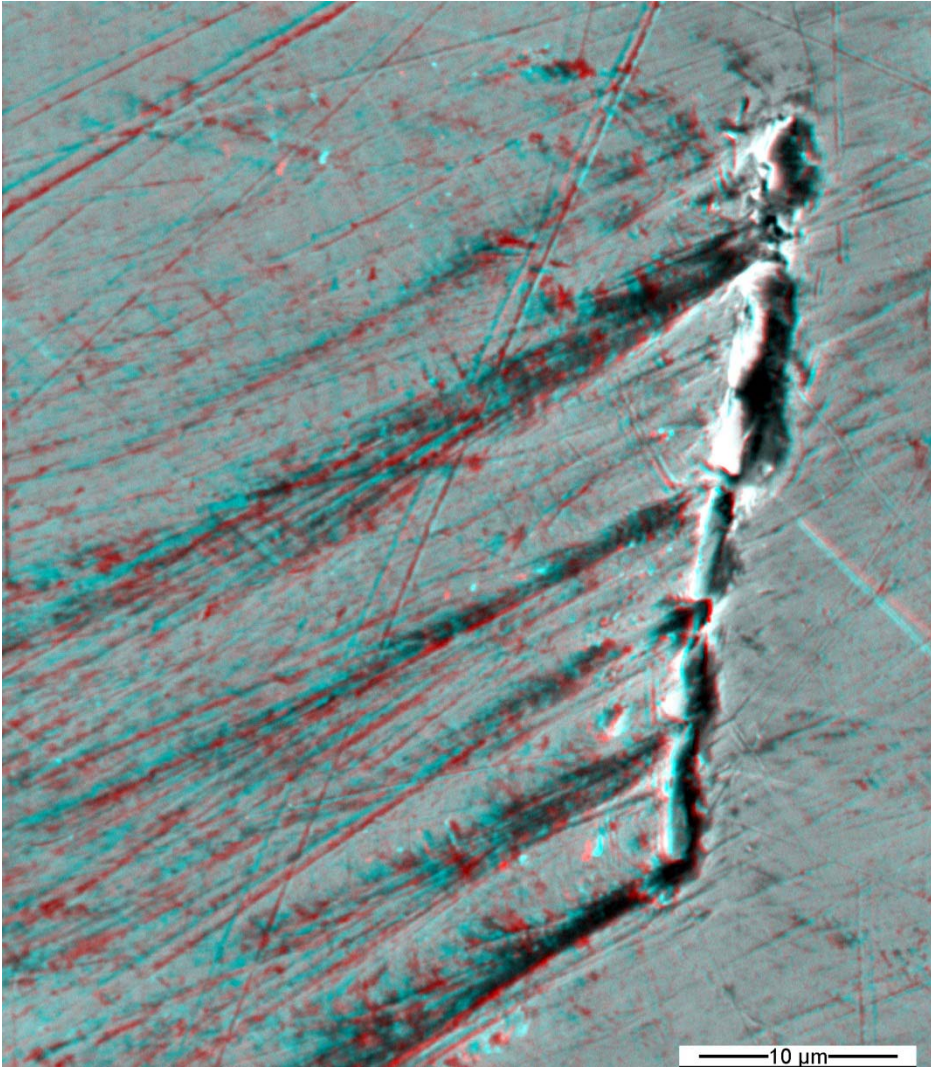


Figura 27.

L'osservazione in 3D mostra non solo l'accumulo di detriti a valle dei punti duri, ma anche una abrasione anomala con formazione di solchi tra i vari detriti qui allineati. In questo esempio i punti duri sono costituiti da ossido di alluminio.

Superficie grezza di colata.

Nel colaggio a cera persa un aspetto importante è la finitura superficiale ottenibile già sul materiale grezzo di colata, dopo la semplice rimozione del rivestimento. Questa finitura dipende da molti parametri di processo, ma anche dal tipo di lega che si sta utilizzando. Una superficie molto liscia, anche nei particolari più fini, permetterà una fedele riproduzione dei dettagli. Spesso un aspetto otticamente irregolare della superficie si accompagna a complesse morfologie microscopiche apprezzabili in 3D.

La figura 28 si riferisce alla superficie di colata di un oggetto in Argento Sterling. Visivamente la superficie si presenta liscia. Tuttavia a maggiore ingrandimento è visibile una fitta distribuzione di porosità interdendritiche (figura 29). La figura 30 è relativa alla superficie di colata di una lega in Pd 950. Qui l'osservazione 3D mostra un tipo di rugosità diverso da quello visto in figura 29. Si osservano infatti delle cavità tondeggianti, probabilmente dovute allo sviluppo di gas avvenuto al contatto tra rivestimento e lega, in fase di colata.

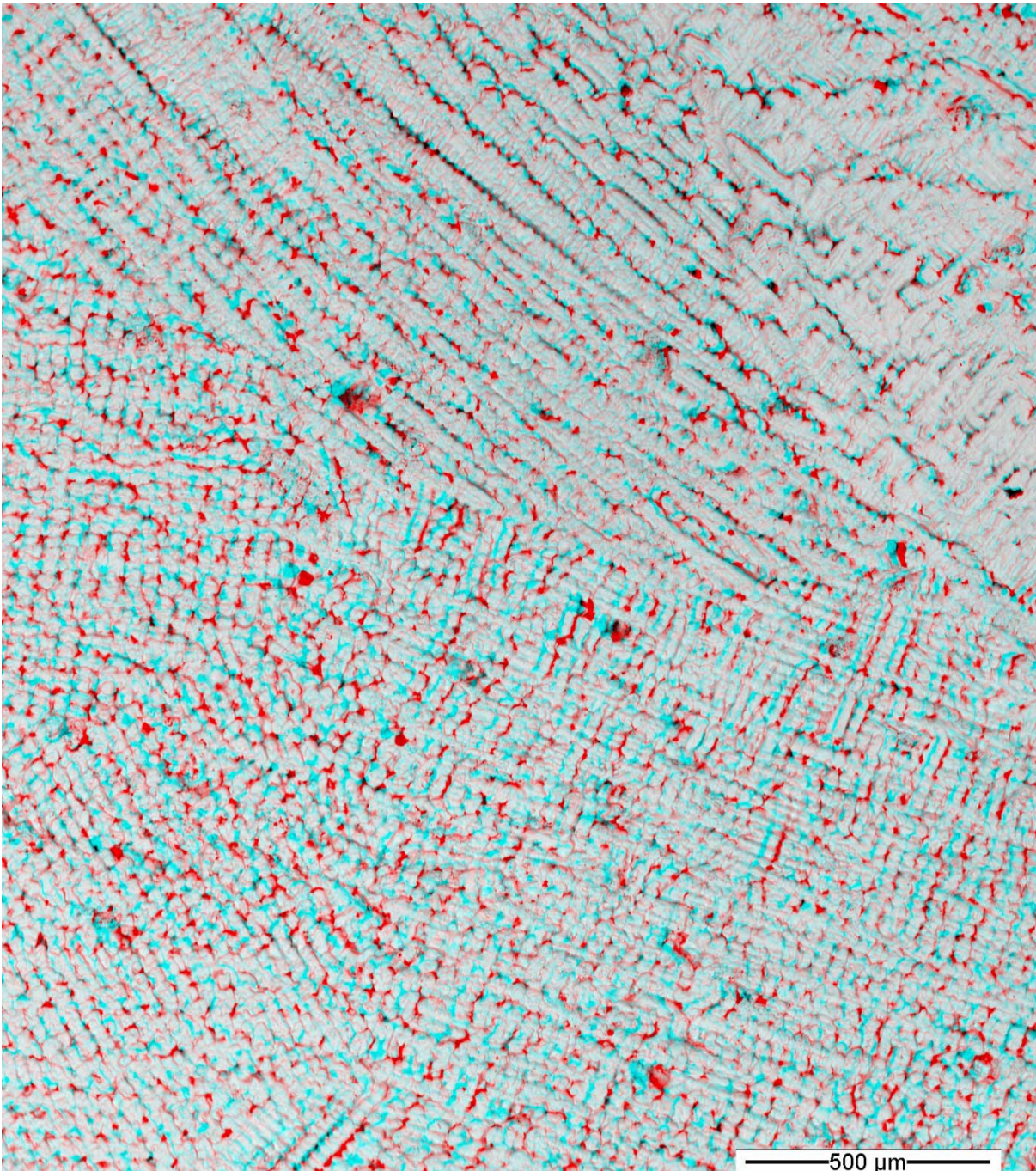


Figura 28.

Superficie grezza di colata in un manufatto in argento Sterling. La superficie è apparentemente liscia quando osservata ad occhio nudo. Presenta invece una fitta porosità interdendritica quando vista al SEM, anche ad un ingrandimento modesto, come quello in figura.

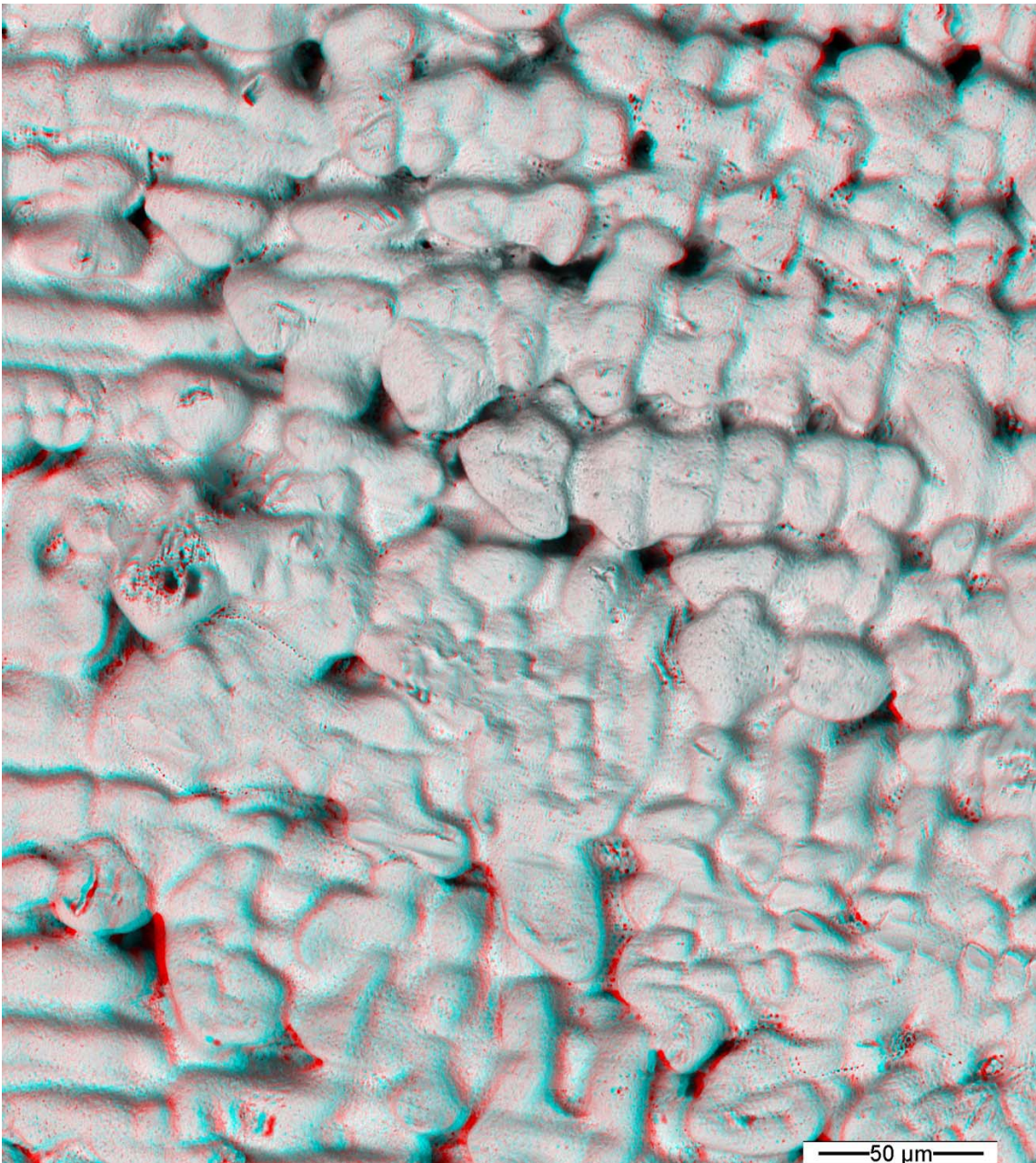


Figura 29.

Questo particolare di figura 28 evidenzia la presenza di porosità interdendritiche e la rugosità della superficie grezza di colata.

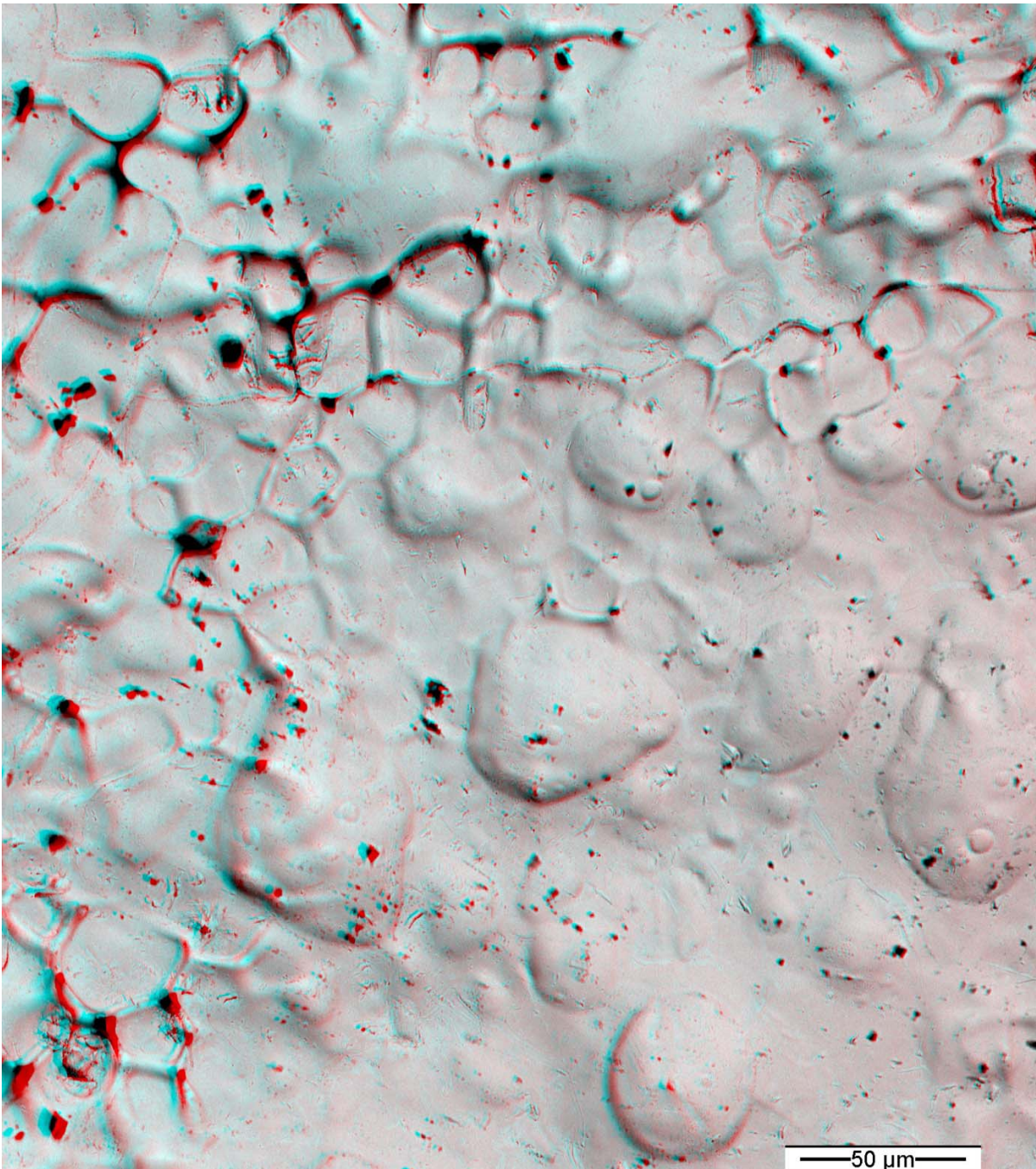


Figura 30.

Superficie grezza di colata in un manufatto in lega di Pd 950. La superficie è liscia macroscopicamente, ma presenta una porosità interdendritica e cavità tondeggianti dovute allo sviluppo di gas.

Anche la superficie di un grano di argento è una superficie grezza di colata. Spesso l'occhio esperto è in grado di riconoscere la presenza di contaminazioni nell'argento, semplicemente dalla presenza di macchie o aloni sulla superficie dei grani. La figura 31 è un esempio di grano d'argento contaminato da ossidi di stagno. L'osservazione 3D della sua superficie chiarisce il motivo per cui visivamente si osservano macchie opache su di essa. La presenza di cristalli di ossidi di stagno (figure 32 e 33) crea un aumento di rugosità che fa apparire la superficie più opaca.



Figura 31.

Talvolta è possibile riconoscere la presenza di contaminazioni nella grana di argento semplicemente osservando la superficie dei grani e individuando eventuali macchie o opacità.

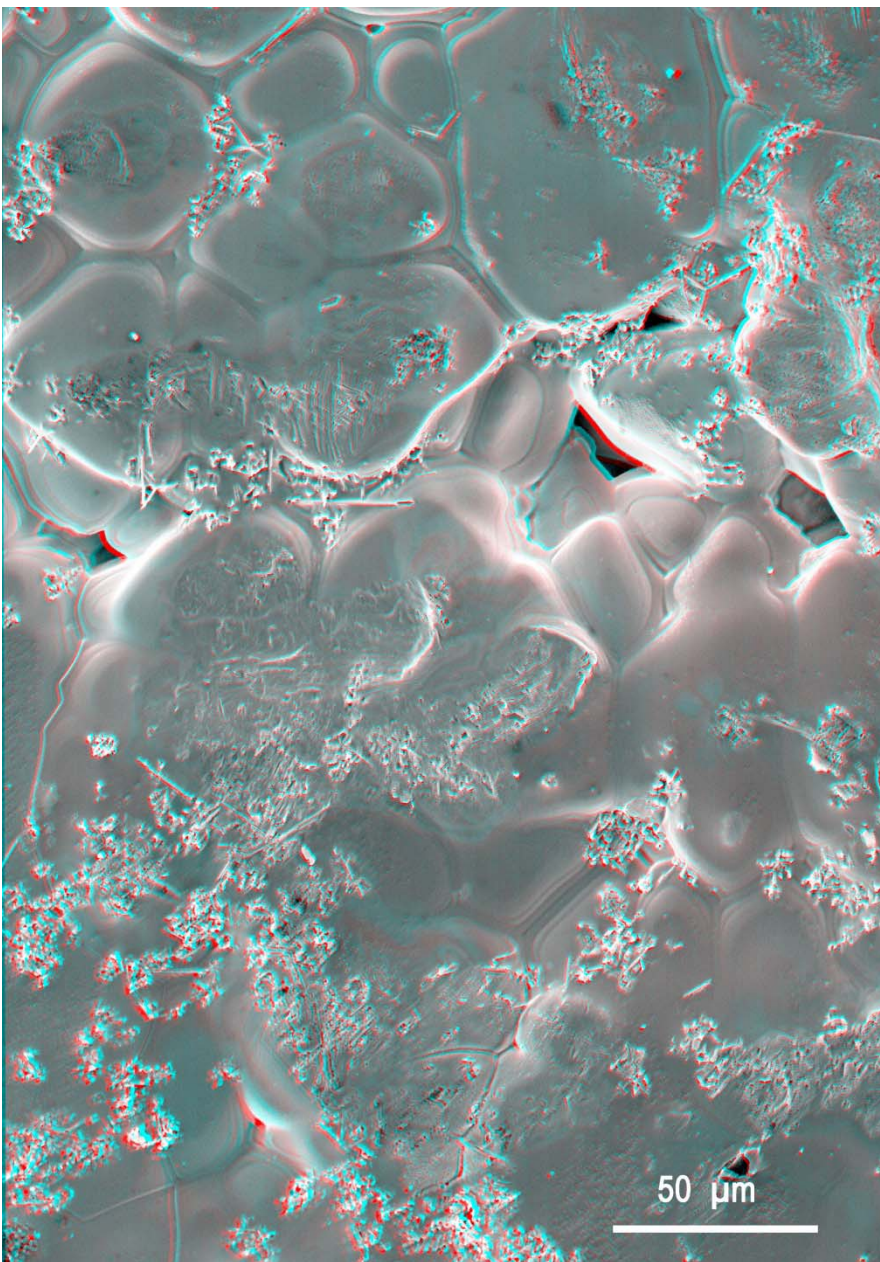


Figura 32.

Superficie del grano di argento contaminato di figura 32. La superficie è opaca poiché presenta depositi di ossidi contaminanti di stagno, oltre che porosità.

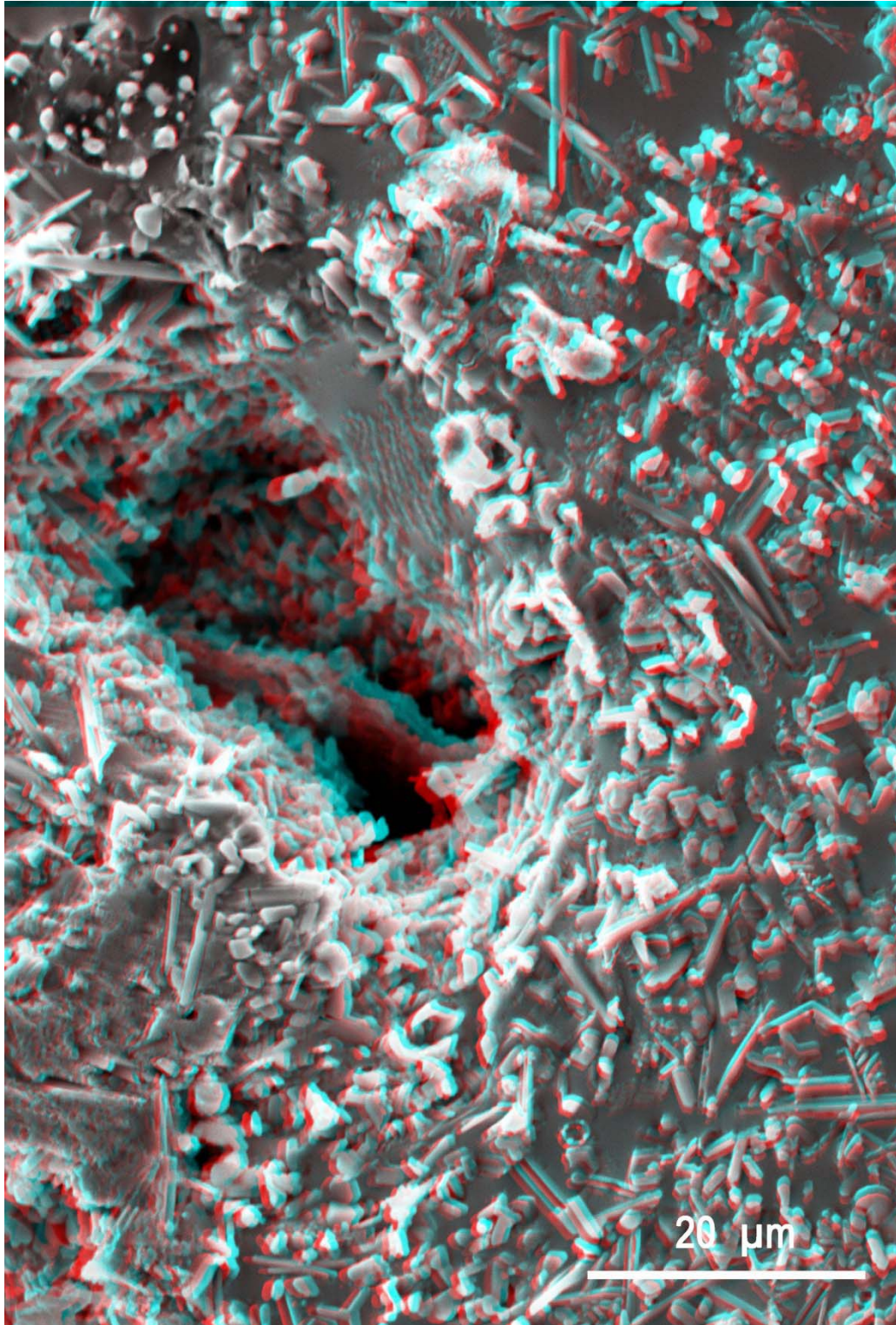


Figura 33.

Superficie del grano di argento contaminato di figura 31. Gli ossidi di stagno creano una rugosità microscopica molto accentuata e danno visivamente l'aspetto opaco al grano di argento.

CONCLUSIONI

Il microscopio elettronico a scansione ci permette di visualizzare le microstrutture mediante la tecnica dell'anaglifo. Questa consente al nostro cervello, attraverso l'osservazione tridimensionale, di comprendere più velocemente e correttamente la morfologia delle superfici. Gli esempi riportati hanno evidenziato infatti alcune caratteristiche morfologiche che non sarebbero facilmente individuabili dalla sola osservazione bidimensionale. La tecnica dell'anaglifo, nota da molti anni, è quindi un valido aiuto per migliorare la nostra conoscenza del mondo delle microstrutture che hanno una notevole importanza anche per il settore orafa.

BIBLIOGRAFIA

1. "Metallography and microstructures" ASM Handbook, Volume 9, ASM International 2004 .
2. Porta Giovanni Battista: *De Refractione. Optices Parte. Libri Novem.* (Carlinum and Pacem, Naples, 1593).
3. N.J. Wade: *A natural history of vision.* (MIT Press, Cambridge MA, 1998).
4. "Fractography" ASM Handbook, Volume 12, ASM International 1987.
5. Vannoccio Biringuccio: *De La Pirotechnia (1540).* Kessinger Publishing, print on demand.
6. "Failure Analysis and Prevention" ASM Handbook, Volume 11, ASM International 2002.
7. Paolo Battaini, "Investment Casting Behavior of Palladium-Based Alloys", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology 2008*, ed. Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2008).
8. G. Normandeau , D. Ueno, "Fire Cracking in White Gold Jewelry Articles", *The Santa Fe Symposium on Jewelry Manufacturing Technology 2002*, ed. Eddie Bell (Albuquerque: Met-Chem Research, 2002).