

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA
E MECCATRONICA

CURRICULUM MECCANICO



TESI DI LAUREA TRIENNALE

Analisi di acciai per lame da schermo

Relatore:

Ch.mo Prof. Giulio Timelli

Correlatore:

Ing. Enrico Della Rovere

Laureando:

Francesco Cosenza

Anno Accademico 2014/15

INDICE

INTRODUZIONE	1
---------------------------	---

SOMMARIO	3
-----------------------	---

CAPITOLO 1

Aspetti generali degli acciai per lame da scherma

1.1 Descrizione delle lame da scherma ad uso sportivo.....	5
1.2 Introduzione alla normativa FIE.....	7
1.3 Materiali impiegati per le lame da scherma.....	10
1.3.1 Acciaio AISI 4130.....	10
1.3.2 Acciaio <i>Maraging</i>	12

CAPITOLO 2

Procedura sperimentale

2.1 Strumentazione impiegata e suo utilizzo.....	21
2.1.1 Troncatrice.....	21
2.1.2 Inglobatrice.....	21
2.1.3 Spettrometro di massa ad emissione con sensori CCD.....	22
2.1.4 Analisi Leco®	23
2.1.5 Levigatrice.....	23
2.1.6 Attacco chimico.....	24
2.1.7 Microscopio ottico.....	25
2.1.8 Durometro.....	25
2.2 Fase di preparazione dei campioni.....	27

CAPITOLO 3

Risultati sperimentali

3.1 Risultati dell'analisi chimica.....	33
3.2 Caratterizzazione metallografica.....	35
3.2.1 Lama F 09-09.....	36
3.2.2 Lama F 07-11.....	38
3.2.3 Lama F 01-14.....	40
3.2.4 Lama F 10-14.....	41
3.2.5 Lama U 01-14.....	42
3.2.6 Lama U 10-14.....	43
3.2.7 Lama S 10-14.....	45
3.2.8 Lama F 02-09.....	46
3.3 Risultati dell'analisi di durezza.....	47
3.3.1 Lama F 09-09.....	48
3.3.2 Lama F 07-11.....	49
3.3.3 Lama F 01-14.....	50
3.3.4 Lama F 10-14.....	51
3.3.5 Lama U 01-14.....	52
3.3.6 Lama U 10-14.....	53
3.3.7 Lama S 10-14.....	55
3.3.8 Lama F 02-09.....	58
CONCLUSIONI.....	61
BIBLIOGRAFIA.....	63

APPENDICE A.....	65
APPENDICE B.....	79
APPENDICE C.....	83
LISTA FIGURE.....	87
LISTA TABELLE.....	93

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la scherma ha riscontrato un aumento del numero di atleti con una conseguente diffusione dell'utilizzo di lame che vengono impiegate per le varie armi. Le lame sono di tre tipi, ovvero per fioretto spada e sciabola e sono realizzate in due materiali, acciaio *maraging* ed acciaio allo 0,3% di carbonio.

É presente una normativa internazionale FIE che regola la produzione delle lame da scherma sia dal punto di vista delle proprietà meccaniche che da quello delle composizioni chimiche.

Le lame da scherma ad uso sportivo sono soggette a forti sollecitazioni, soprattutto di carattere impulsivo, che inducono alte tensioni, particolarmente nella parte terminale della lama, ovvero nella zona adiacente alla punta; infatti questa sezione è contraddistinta da una sezione trasversale con area minore di quella che invece caratterizza la base.

Lo studio sugli acciai per lame da scherma è stato svolto per giungere ad una conoscenza certa e approfondita dei materiali con cui esse vengono realizzate; per fare ciò esse sono state analizzate dal punto di vista della composizione chimica, della microstruttura e delle proprietà meccaniche.

Durante le analisi è stata anche evidenziata l'influenza che ha il lavoro svolto a mano, durante le fasi di produzione, sulle proprietà meccaniche delle lame da scherma.

SOMMARIO

La Tesi si pone l'obiettivo di analizzare le principali leghe impiegate per la realizzazione di lame da scherma ad uso sportivo e di venire a conoscenza delle loro proprietà metallurgiche. In apertura della Tesi è presente una introduzione riguardante le varie tipologie di armi presenti nella scherma e le corrispettive lame; ad esse sono correlate determinate sollecitazioni, di differente tipologia, che dopo un certo periodo di utilizzo portano inevitabilmente a rottura. Inoltre sono state riportate le normative FIE che regolano la produzione delle lame da scherma di tipo *maraging*, sia dal punto di vista delle proprietà di resistenza meccanica, sia per quanto riguarda la loro composizione chimica. Dopo aver illustrato i passi fondamentali del regolamento internazionale si è passati ad un'introduzione sugli acciai *maraging* con cui vengono realizzate le lame da scherma e si è parlato delle loro proprietà tipiche che le caratterizzano ed anche degli altri possibili impieghi di acciai *maraging*. Dopo ciò è stata illustrata la procedura sperimentale che è stata adottata nello svolgimento delle analisi. Sono stati introdotti i vari strumenti utilizzati in laboratorio ed è stato spiegato il loro corretto utilizzo affinché il grado di accuratezza dell'analisi fosse garantito. All'interno della sezione sulla procedura sperimentale è stata illustrata anche tutta la fase di preparazione dei provini, con particolare attenzione all'indicazione delle zone dalle quali sono stati prelevati i saggi, dalle differenti lame, per la realizzazione di campioni uniformi e direttamente confrontabili fra loro. Infine sono stati riportati i risultati ottenuti durante la fase sperimentale, consistente in tre fasi: analisi chimica, caratterizzazione metallografica e analisi di durezza. La prima fase costituita dall'analisi chimica, effettuata con lo spettrometro di massa ad emissione con sensori CCD e con l'analisi Leco[®], ha portato ai dati sulle composizioni chimiche, che sono stati organizzati in una tabella che consentisse il confronto diretto fra le varie lame. Successivamente sono stati riportati i risultati ottenuti durante la fase di caratterizzazione metallografica e le micrografie contenenti immagini esplicative accompagnate da commenti. Per quanto riguarda le prove di durezza, sono stati illustrati i dati ottenuti organizzandoli in tabelle e in grafici che consentissero di visualizzare velocemente le differenze e/o analogie presenti fra i vari campioni.

CAPITOLO 1

Aspetti generali degli acciai per lame da scherma

1.1 Descrizione delle lame da scherma ad uso sportivo

Nella scherma esistono tre discipline, che si contraddistinguono completamente l'una dall'altra: fioretto, spada e sciabola. Le tre armi sono caratterizzate da differenze nello stile e nella tecnica, perciò anche l'attrezzatura varia in base alla disciplina.

Ciascuna arma si compone di due parti, la lama e la guardia (*Figura 1.1*). La guardia è formata dalla coccia, che rappresenta l'elemento visivamente più evidente che differenzia ciascun tipo di arma e che serve per proteggere la mano, e dall'impugnatura che può a sua volta essere di tre tipi diversi: anatomica B, francese A ed italiana C. Ogni impugnatura prevede un diverso modo di inserire la mano e comporta un diverso stile di combattimento.

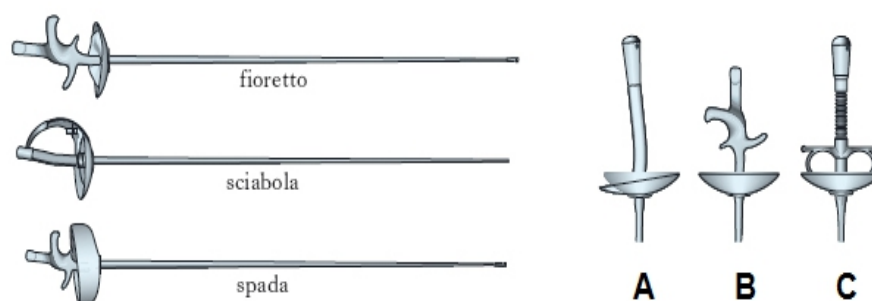


Figura 1.1: le tre diverse tipologie di armi (fioretto,sciabola e spada) e le tre differenti impugnature possibili (A francese, B anatomica e C italiana).[1]

Sul piano delle armi, da un confronto fra le lame, si può notare un diverso tipo di sezione trasversale, infatti nel caso del fioretto è adottata una sezione rettangolare, mentre per la spada la sezione è a V, ed infine per la sciabola la sezione è variabile in base alla distanza dalla base della lama; in prossimità di essa è a sezione pressoché

triangolare, mentre con l'aumentare della distanza dalla base della lama si passa ad una sezione di tipo rettangolare.

Per tutti i tipi di lama, con l'aumento della distanza dal “codolo” (*Figura 2.3*) si ha una progressiva diminuzione dell'area della sezione trasversale, ciò per consentire alla lama di flettersi nella parte superiore una volta che ha raggiunto il bersaglio.

Per conferire la forma definitiva alla lama è necessaria una lavorazione a mano, fatto che rende ogni lama unica, comportando possibili pregi e difetti. Questo aspetto influenza pesantemente le caratteristiche di ogni lama e proprio per questo si ha una variabilità nelle proprietà meccaniche ed anche nella durata di una lama. Solo in rari casi la produzione di lame avviene esclusivamente con macchine automatiche; in particolare al momento solo un produttore adotta questa tecnica.

Le lunghezze delle lame variano da 850 mm, utilizzate per le categorie inferiori, fino a 900 mm massimo, per quelle superiori. Le lame per fioretto e per spada presentano una scanalatura con sezione rispettivamente ad U ed a V, per consentire il passaggio del filo conduttivo che collega la punta dell'arma con la presa di coccia (*Figura 1.2*). Il filo quindi garantisce, grazie al collegamento con opportuno cavo passante all'apparecchio apposito, la segnalazione della stoccata avvenuta, e indica anche se il bersaglio che è stato colpito sia valido o meno. Il bersaglio

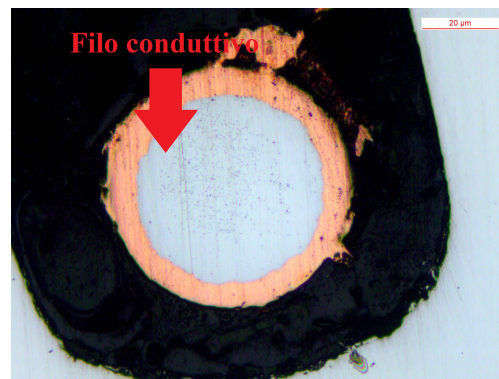


Figura 1.2: scanalatura ad U presente nelle lame da fioretto per consentire il passaggio del filo conduttivo.

valido può essere colpito solo con la punta dell'arma, che ha sulla sommità un “bottoncino” sostenuto da una molla. Affinché la stoccata sia segnalata, è necessario che sia esercitata una forza pari ad un peso di almeno 0,5 kg per il fioretto, e di 0,75 kg per la spada.

Ciò non è valido anche per la sciabola, poiché non presenta una punta con molla bensì possiede l'intera lama conduttiva, e quindi è sufficiente un contatto di qualsiasi tipo (punta/taglio) con il bersaglio valido elettrificato e la stoccata viene segnalata.

Per quanto riguarda il fioretto e la spada le sollecitazioni in esercizio sono soprattutto di tipo impulsivo, che comportano una flessione della lama, localizzata nella sua parte superiore, comportando naturalmente una deformazione in campo elastico. Spesso però si arriva a deformare anche in campo plastico, a causa dell'elevato carico a cui viene sottoposta la lama, soprattutto nella parte terminale, caratterizzata da sezione trasversale minore.

Frequentemente questa deformazione plastica è voluta dall'atleta, poiché conferendo una leggera curvatura alla lama è garantita una maggiore comodità, però si può affermare che questo aspetto sia puramente soggettivo.

Mentre per quanto riguarda la sciabola, essa è sottoposta principalmente ad urti, piuttosto che a flessione, inoltre si può affermare che le lame per sciabola siano caratterizzate da una durata inferiore ed anche da un costo inferiore, dato che richiedono un minore tempo di lavorazione e realizzazione ed anche un inferiore impiego di materiale.

In tutte le armi, la zona maggiormente sollecitata è la parte superiore, in prossimità della punta, poiché l'area della sezione trasversale della lama in quella zona è ridotta al minimo; non a caso, nella maggior parte dei casi, la rottura si verifica nella metà superiore della lama.

1.2 Introduzione alla normativa FIE

Sono presenti delle regole internazionali che indicano le specifiche per la produzione e per l'utilizzo delle lame da scherma ai fini della sicurezza degli atleti. Affinché l'acciaio sia approvato, deve essere sottoposto ad una serie di esami, ovvero: analisi chimica, prova di trazione, prova di resilienza, prova di tenacità a frattura dinamica Kld, prova di durezza, esame microscopico della struttura, prova di corrosione, controllo non distruttivo, prova di resistenza a fatica.

Quando il materiale soddisfa tutti i parametri allora può essere impiegato come acciaio per produzione di lame.

Per quanto concerne le specifiche per la produzione di lame, il regolamento comunica: “L'acciaio utilizzato per la fabbricazione delle lame da schermo deve avere un'elevata capacità di resistenza allo snervamento, un'elevata capacità di tenacità alla frattura e resistenza alla corrosione [...] la struttura dell'acciaio, dopo i trattamenti e la lavorazione per ottenere la forma del prodotto finito, deve essere fine e omogenea. Non sono ammesse discontinuità all'interno e sulla superficie del prodotto stesso. I trattamenti termici ai quali l'acciaio deve essere sottoposto, sono ineluttabili una volta che il tipo è stato stabilito in modo definitivo”[2].

Vengono anche specificate le caratteristiche meccaniche dell'acciaio dopo il trattamento termico: infatti devono essere corrispondenti a quelle riportate in *Tabella 1.1* [3].

Tensione di snervamento	Tensione di rottura	Allungamento%	Strizione %
Rp 0,2 (N / mm ²)	RM (N/mm ²)	A%	Z%
≥1900	≥2000	≥7	≥35

Resilienza	Tenacità	Durezza
KCU (Joule/cm ²)	KCI (MPa·m ^{0,5})	HV
≥30	≥120	≥500

Tabella 1.1: valori delle proprietà meccaniche minime che deve possedere un acciaio per lame da schermo secondo il regolamento FIE.

Oltre alle specifiche meccaniche, le lame devono sottostare ad altre indicazioni sul piano della composizione chimica. Esistono dei limiti sul contenuto di alcuni elementi chimici all'interno dell'acciaio, essi sono indicati nella *Tabella 1.2* [4] proveniente dal regolamento FIE internazionale, specificatamente per lame di tipo *maraging*.

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
≤0,03	≤0,0005	≤0,005	≤0,1	≤0,1	≤0,5	18÷20	4÷5

Cu	Sn	Al	B	Co	Ti	Ca	Zr
≤0,3	≤0,005	0÷0,05	≤0,003	8÷13	0,5÷2	0,005	≤0,02

Tabella 1.2: valori percentuali limite sulla composizione chimica di un acciaio maraging per lame da schermo secondo il regolamento FIE [4].

Proprio per l'elevato contenuto di elementi in lega all'interno dell'acciaio, esso viene sottoposto a trattamenti termici per lo sviluppo di opportune prestazioni meccaniche. La fasi [5] attraverso le quali deve passare la lama durante il trattamento termico sono anch'esse riportate nel regolamento FIE e sono:

- Riscaldamento fra 1150-950 °C
- Raffreddamento ad aria con le lame distanziate
- Lavorazione meccanica (con spessore in eccesso da rimuovere per rettifica)
- Omogeneizzazione a 950 ° ± 10 ° C per 1 h
- Solubilizzazione a 820 ° ± 10 ° C per 1 h
- Raffreddamento ad aria con le lame distanziate
- Invecchiamento a 480 ° per 9 h
- Raffreddamento ad aria con le lame distanziate
- Rettifica "a freddo"

Per quanto riguarda lo stato superficiale delle lame, il regolamento afferma che esse devono essere prive di difetti che possono comprometterne l'uso (pieghe di laminazione, cricche, scheggiature, decarburazione), e la rugosità superficiale deve risultare ≤ 0,1 mm ed i solchi devono svilupparsi solamente nel senso longitudinale della lama; affinché questa condizione sia verificata a conclusione del processo di produzione, le lame devono essere sottoposte a lavorazioni di rifinitura [6] .

Ovviamente il problema della decarburazione riguarda principalmente le leghe allo 0,3% di carbonio, poiché la percentuale di carbonio per le leghe *maraging* deve essere necessariamente estremamente bassa ($\leq 0,03\%$ pond).

1.3 Materiali impiegati per le lame da scherma

Per quanto riguarda i tipi di acciai impiegati per le lame da scherma esistono principalmente due tipi: acciaio allo 0,3% di carbonio a basso contenuto di elementi in lega e soprattutto gli acciai *maraging*.

Questi due materiali sono caratterizzati da parametri molto differenti sia per quanto riguarda le composizioni chimiche sia per le loro proprietà di resistenza meccanica.

1.3.1 Acciaio AISI 4130

L'acciaio allo 0,3% di carbonio si può considerare un AISI 4130 bonificato; è una lega che rientra all'interno della categoria degli acciai da costruzione ed è largamente impiegata. I suoi valori di composizione chimica fondamentali sono i seguenti [7].

Carbonio, C	0.27 - 0.33 %
Cromo, Cr	0.75 - 1.2 %
Ferro, Fe	97.1 - 98.38 %
Manganese, Mn	0.30 - 0.70 %
Molibdeno, Mo	0.15 - 0.25 %
Fosforo, P	≤ 0.035 %
Zolfo, S	≤ 0.040 %

Tabella 1.3: valori percentuali limite sulla composizione chimica di un acciaio AISI 4130.

Il trattamento di bonifica del materiale è costituito da due fasi, ovvero la tempra, in acqua, ed il rinvenimento. Quest'ultimo viene effettuato per conferire maggiore tenacità al materiale ed al contempo per abbassarne la durezza ed anche la fragilità che caratterizza la martensite. Il rinvenimento viene effettuato fra i 550°C ed i 680°C; con esso la cementite (Fe_3C) aumenta di dimensione, facendo diminuire la

superficie di bordo grano, e provocando un conseguente aumento di duttilità e tenacità. All'interno di questo tipo di acciaio non legato è sempre presente anche il manganese ($\leq 1\%$) poiché aumenta la resistenza del materiale (per soluzione solida), controlla lo zolfo e aumenta la temprabilità dell'acciaio; inoltre è presente il molibdeno che riduce il pericolo di fragilità da rinvenimento. È da evidenziare che questo acciaio non risulta resistente alla corrosione. Le sue proprietà sono riassunte nella tabella *Tabella 1.4* [8].

Densità	7,85 g / cm ³
Durezza, HB	331
Durezza, HK	359
Durezza, HR _C	36
Durezza, HV	350
Tensione di rottura	1145 MPa
Tensione di snervamento	1110 MPa
Allungamento a rottura %	16,40%
Strizione %	61,00%
Modulo di elasticità	205 GPa
Modulo di compressibilità	160 GPa
Rapporto di Poisson	0,3
Modulo di taglio	80 GPa

Tabella 1.4: valori delle proprietà fisiche e meccaniche che caratterizzano un acciaio AISI 4130 bonificato.

1.3.2 Acciaio *Maraging*

Per quanto riguarda l'altro tipo di materiale, il termine *maraging* deriva dall'espressione *martensite-aging*, e indica il processo con cui sono prodotti questi acciai, cioè per invecchiamento, o rinvenimento prolungato, della martensite. La martensite in questi acciai ha reticolo cristallino cubico, dato dall'estrema povertà del tenore di carbonio; quindi essi non presentano la fragilità propria della martensite deformata dalla presenza degli atomi di carbonio.

L'elevata resistenza meccanica, fino a 2500 MPa in trazione è dovuta alla precipitazione degli elementi in lega, con conseguente formazione dell'atmosfera di Cottrell, responsabile del blocco delle dislocazioni; principalmente nickel e cobalto, poi titanio, alluminio e molibdeno, danno vita a precipitati sui piani di scorrimento e sui bordi dei grani.

Per la produzione di acciai *maraging* è necessario sottoporre la lega ad un trattamento termico costituito da due fasi: tempra e rinvenimento. La tempra si realizza dapprima con il riscaldamento dell'acciaio a 800-900 °C, temperatura alla quale rimane per 4-5 ore per permettere agli elementi di lega di diffondersi omogeneamente. Segue il raffreddamento rapido a temperatura ambiente, per trasformare l'austenite (la fase stabile ad alta temperatura) in martensite cubica, fase metastabile, portando alla formazione di una soluzione solida sovrassatura di elementi metallici in lega. L'invecchiamento si opera con riscaldamento ad una temperatura di 400-500 °C, allo scopo di disperdere opportunamente gli elementi in lega a bordo grano e sui piani di scorrimento.

Per favorire questo processo, spesso l'invecchiamento è preceduto da lavorazioni per deformazione plastica che, per incrudimento, provocano la nucleazione di nuovi centri per la precipitazione (si creano nuovi piani di scorrimento, nuovi difetti puntiformi e dislocazioni, in cui gli elementi in lega possono posizionarsi).

È fondamentale mantenere basso il tenore di carbonio, per ottenere una martensite in forma cubica, non tensionata, e quindi più duttile; il carbonio è mantenuto al di sotto dello 0,01-0,03% in peso. Il nichel è presente in quantità rilevante, tra il 15% e il 20%. Il cobalto è il 7-10%. Il molibdeno può arrivare al 5%. Il titanio è tra lo 0,15 e lo 0,5%. L'alluminio costituisce lo 0,005-0,15%.

Si controlla il tenore di altri elementi che deve essere mantenuto il più basso possibile. Manganese e silicio al di sotto dello 0,12%, zolfo e fosforo al di sotto dello 0,01% e zirconio al di sotto dello 0,02% [9].

Operando una ricerca tramite MatWeb si può trovare una panoramica sugli acciai *maraging*, e le loro corrispettive caratteristiche, che variano all'interno di intervalli a causa della variabilità delle percentuali degli elementi in lega presenti nell'acciaio .

In seguito sono riportate le proprietà fisiche e meccaniche per differenti tipi di acciai *maraging* (Tabella 1.5) [10].

Densità	6,60 - 8,10 g / cm ³
Durezza, Brinell	290-562
Durezza, Knoop	311-625
Durezza, Rockwell C	30,0-61,0
Durezza, Vickers	301-604
Tensione di rottura	965 - 2690 MPa
Tensione di snervamento	655 - 2620 MPa
Allungamento a rottura %	1,00-18,0%
Strizione %	15,4-75,0%
Modulo di elasticità	160 - 200 GPa
Modulo di compressibilità	160 GPa
Rapporto di Poisson	0.300
Resistenza alla frattura	31,6 - 82,0 MPa-m ^{1/2}
Modulo di taglio	70,0 - 77,0 GPa

Tabella 1.5: valori delle proprietà fisiche e meccaniche che caratterizzano generalmente gli acciai maraging.

Sempre attraverso MatWeb, è possibile effettuare una indagine più approfondita sull'acciaio *maraging* impiegato per le lame da scherma.

Inserendo nel motore di ricerca le percentuali di alcuni elementi chimici (nichel, cobalto e molibdeno), trovate attraverso analisi chimica allo spettrometro di massa, è

stato individuato un tipo di lega denominato “UDIMAR® 300 (UNS K93120)” con i seguenti parametri limite (Tabella 1.6) [11].

Alluminio, Al	0.050 - 0.15 %
Carbonio, C	≤ 0.030 %
Cobalto, Co	8.0 - 9.5 %
Ferro, Fe (Bal)	65.1 - 68.8 %
Manganese, Mn	≤ 0.10 %
Molibdeno, Mo	4.6 - 5.2 %
Nichel, Ni	18 - 19 %
Fosforo, P	≤ 0.010 %
Silicio, Si	≤ 0.10 %
Zolfo, S	≤ 0.010 %
Titanio, Ti	0.55 - 0.80 %

Tabella 1.6: limiti delle percentuali degli elementi chimici presenti nella lega *maraging* UDIMAR® 300 (UNS K93120).

Dal confronto fra le percentuali di elementi chimici fornite da MatWeb sull'UDIMAR® 300 (UNS K93120) con quelle ottenute attraverso analisi al Quantometro delle lame *maraging*, si può osservare che si tratti di questo tipo di acciaio in particolare. Si può ipotizzare che il fornitore dell'acciaio per lame *maraging* sia proprio questo.

Si tratta di una lega da invecchiamento *maraging* che unisce ad altissima resistenza, tenacità e resistenza alla propagazione delle cricche.

La lega è adatta alle applicazioni in cui la distorsione da trattamento termico e le variazioni dimensionali devono essere ridotte al minimo e dove è richiesta elevata resistenza alla frattura, come ad esempio carrelli di atterraggio di velivoli leggeri, alberi per trasmissione di potenza ed utensili per impiego a bassa temperatura.

Gli acciai *maraging* al 18% di nichel offrono una combinazione unica di proprietà, diversamente dai convenzionali acciai basso legati ad alta resistenza. Essi offrono elevata resistenza, duttilità e tenacità e resistenza alla propagazione delle cricche. L'indurimento avviene grazie ad un semplice ciclo di invecchiamento di 3 ore a

900 °F (482 °C) seguito da raffreddamento in aria.

La lega UDIMAR® 300 tramite un indurimento senza tempra offre, l'assenza di decarburazione, minima distorsione durante l'invecchiamento, buona formabilità, lavorabilità alle macchine utensili, saldabilità e un basso coefficiente di dilatazione termica.

Oltre alla UDIMAR® 300 stata individuata una famiglia di acciai maraging costituita da queste leghe: *Maraging 200*, *Maraging 250*, *Maraging 300*, *Maraging 350*.

Esse si differenziano per il contenuto crescente di elementi in lega responsabili del rafforzamento del materiale. Si può osservare che l'Udimar 300 è l'equivalente del *Maraging 300*, denominato anche 18Ni300. Questa lega presenta dei limiti sulla composizione chimica pressoché analoghi al caso dell'Udimar 300 (*Tabella 1.7*) [11].

<i>Maraging 300</i>	
Alluminio, Al	0,10%
Carbonio, C	≤0,03%
Cobalto, Co	9,00%
Zirconio, Zr	0,01%
Manganese, Mn	≤0,1%
Molibdeno, Mo	4,80%
Nichel, Ni	18,50%
Fosforo, P	≤0,01%
Silicio, Si	≤0,1%
Zolfo, S	≤0,01%
Titanio, Ti	0,60%
Boro, B	0,003%

Tabella 1.7: valori percentuali limite degli elementi chimici presenti nella composizione dell'acciaio Maraging 300.

In aggiunta, per il *Maraging 300* è riportata una tabella contenente proprietà meccaniche al variare della temperatura di prova, per saggi solubilizzati per un'ora a 815°C, raffreddati all'aria ed invecchiati per 3 ore a 480 °C (*Tabella 1.8*) [12].

Test °C	UTS (MPa)	YS (MPa)	A %	Z %
315	1771	1694	12	61,8
426	1656	1570	14	61,3
482	1452	1344	17,3	68,4
510	1305	1193	22	76,5
537	1158	1057	24	77,2

Tabella 1.8: valori delle proprietà meccaniche del Maraging 300, al variare della temperatura di prova, per saggi solubilizzati a 815°C per un'ora, raffreddati all'aria ed invecchiati per 3 ore a 480 °C.

Inoltre a testimonianza dell'importanza dei trattamenti termici da effettuare sul Maraging 300 è riportata la *Figura 1.3* in cui è evidenziata la variazione delle proprietà meccaniche in base alla durata dell'invecchiamento a cui viene sottoposto il materiale [13].

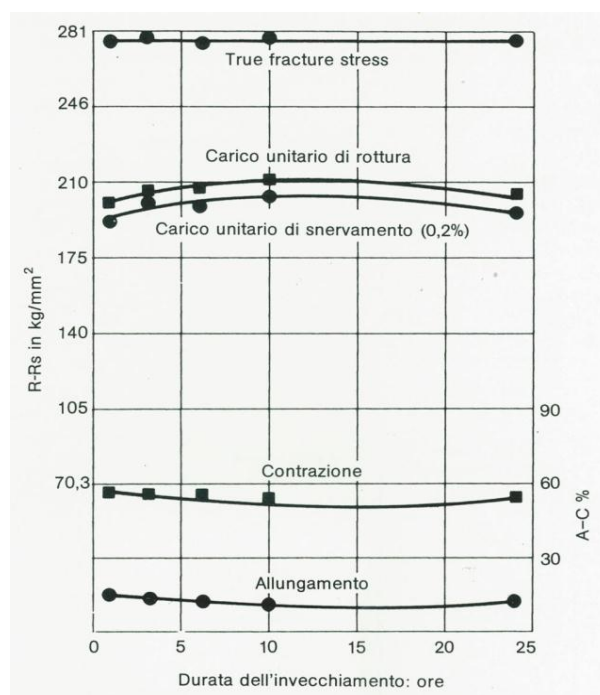


Figura 1.3: andamento delle proprietà meccaniche di un acciaio maraging al variare della durata dell'invecchiamento.

Nella *Figura 1.3* si può notare che per una determinata durata di invecchiamento si hanno le massime proprietà meccaniche di resistenza alla rottura ed allo snervamento.

Il rafforzamento per invecchiamento negli acciai *maraging* avviene soprattutto per la precipitazione di fasi intermetalliche, che avviene preferenzialmente in prossimità delle dislocazioni. Ciò produce una struttura fine caratterizzata da una distribuzione coerente di precipitati.

L'elemento che comporta il maggiore indurimento è il molibdeno, il quale durante l'invecchiamento forma Ni_3Mo . La fase metastabile di Ni_3Mo inizialmente si crea poiché si adatta al reticolo della cella martensitica. In seguito si ha la trasformazione di esso in una fase Fe_2Mo , che ha un tipo di struttura esagonale.

Il titanio invece, che è generalmente presente negli acciai *maraging*, promuove un ulteriore indurimento, attraverso l'invecchiamento, con la precipitazione di una fase Ni_3Ti , la quale possiede struttura esagonale.

Il cobalto non partecipa direttamente all'indurimento per invecchiamento, poiché questo elemento non forma precipitati con ferro, nichel, molibdeno o titanio nelle leghe 18Ni *maraging*. Il contributo principale del cobalto è l'abbassamento del limite di solubilità del molibdeno nella matrice martensitica e un conseguente aumento della quantità di precipitato Ni_3Mo che si forma durante l'invecchiamento.

Inoltre il molibdeno gioca il ruolo fondamentale di minimizzazione della precipitazione localizzata a bordo grano, diminuendo il coefficiente di diffusione degli elementi presenti in soluzione solida.

I precipitati possiedono un reticolo dalle dimensioni comparabili con quelle della cella martensitica, quindi causano una distorsione minima della matrice. Questa caratteristica, insieme all'assenza di carbonio tipica degli acciai *maraging*, permette all'acciaio di essere pesantemente rafforzato per invecchiamento senza però comportare modifiche nella forma e nelle dimensioni dei componenti.

Il carbonio e lo zolfo sono i due elementi più deleteri per gli acciai *maraging*, poiché tendono a formare precipitati fragili, come solfuri, carbonitruri e carbosolfuri. Queste inclusioni portano alla formazione di cricche quando il materiale è sottoposto a tensioni, quindi comportano una diminuzione della tenacità e della duttilità [14].

Dato che, come precedentemente detto, le leghe *Maraging* sono essenzialmente esenti da carbonio, non sono richiesti forni ad atmosfera controllata, sotto vuoto, o

mezzi protettivi durante l'invecchiamento.

Ovviamente, per spessori notevoli dovranno essere invecchiati con permanenze più lunghe, ma non è il caso delle lame da schermo. Inoltre durante l'invecchiamento le leghe *Maraging* si contraggono uniformemente consentendo all'utilizzatore la conoscenza a priori delle variazioni dimensionali già nella fase di progettazione e di sgrossatura.

Per quanto riguarda le lavorazioni a freddo delle leghe *Maraging*, esse hanno eccellenti caratteristiche di trafilatura, profondo stampaggio anche mediante azione idrodinamica (*Hydroform*) ferme restando le loro caratteristiche meccaniche.

Invece la lavorazione delle leghe *Maraging* con preriscaldamento a bassa temperatura può essere eseguita a temperatura non superiore a 315 °C. Al di sopra di questa temperatura possono verificarsi danneggiamenti. Particolare attenzione va data anche al calore generato durante la lavorazione stessa tenendo ben presente che la temperatura non dovrà superare in ogni caso i 315 °C.

Gli acciai *Maraging* sono facilmente nitrurabili per aumentare la durezza superficiale e la resistenza all'usura. Il procedimento standard necessita un materiale di partenza allo stato solubilizzato e pulito a fondo, successivamente si procede simultaneamente all'invecchiamento ed alla nitrurazione a 440 – 455 °C, con una permanenza in quella forchetta di temperatura da 40 a 48 ore.

Questa operazione produrrà un deposito di 0,13 – 0,18 mm ed un aumento di durezza di circa 2 ÷ 4 punti HR_C rispetto al materiale semplicemente invecchiato.

Mentre per il procedimento in bagni di sali, la nitrurazione dura 90 minuti a 537 °C e può produrre una durezza di circa 64/67 HR_C (800/900 HV₃₀) con 0,07 mm di spessore. Seguendo questo metodo l'invecchiamento può essere eseguito prima o simultaneamente alla nitrurazione. Le lame da schermo non necessitano di nitrurazione, poiché non è richiesto un particolare valore di durezza superficiale.

Oltre che alla nitrurazione, gli acciai *Maraging* sono sottoponibili ai trattamenti di superficie quali cromatura, nichelatura, cadmiatura.

Questi procedimenti vengono suggeriti nelle seguenti particolari condizioni: quando il materiale dovrà essere esposto a severi agenti corrosivi, oppure quando si vorrà evitare anche un leggero inizio di corrosione superficiale o anche in applicazioni in cui è necessaria una maggiore resistenza all'usura [15].

Gli acciai *Maraging* possiedono eccezionali caratteristiche [16] tra cui :

- Elevato carico unitario di rottura e di snervamento;
- Elevata resistenza a fatica;
- Elevata resistenza alla compressione;
- Durezza e resistenza all'usura sufficienti per un numero elevato di applicazioni;
- Elevata resilienza;
- Basso coefficiente di dilatazione termica che minimizza e contiene le cricche a caldo
- Facilmente saldabili anche allo stato temprato. Le saldature possono essere successivamente "invecchiate" mediante riscaldamento locale a temperatura moderata per sviluppare elevata resistenza meccanica;
- Le eccezionali caratteristiche meccaniche consentono la soluzione di innumerevoli problemi costruttivi particolarmente delicati (es. aeronautica);
- Resistenza alla corrosione, nettamente superiore agli acciai convenzionali;
- Caratteristiche meccaniche trasversali quasi uguali alle caratteristiche longitudinali;
- Valori di resistenza meccanica a caldo molto maggiori di quelli degli acciai tradizionali;
- Elevata stabilità dimensionale al trattamento termico;
- Possibilità di indurimenti superficiali anti-usura.;

Inoltre essendo caratterizzati da eccellente temprabilità:

- La contrazione durante il trattamento termico è minima, uniforme e prevedibile;
- Durezza totale ottenibile senza tempra drastica, che introdurrebbe tensioni eccessive;
- Non sono necessari forni ad atmosfera controllata o sotto vuoto, per l'invecchiamento;
- La lega non è soggetta a carburazione e/o decarburazione;

Invece per quanto concerne la lavorabilità essi sono caratterizzati da facile lavorabilità alle macchine utensili, si consigliano però utensili in acciaio rapido o super rapido o in metallo duro. Sono sottoponibili a foggatura a freddo e a caldo senza alcun procedimento di ricottura, mantenendo un'altissima resistenza alle cricche termiche. Sono caratterizzati da eccellente lucidabilità e facile saldabilità senza pre-riscaldamento o post-riscaldamento.

Lo svantaggio principale di questo tipo di acciai consiste nel costo, che si presenta molto elevato se confrontato con i normali acciai da costruzione come l'AISI 4130.

CAPITOLO 2

Procedura sperimentale

2.1 Strumentazione impiegata e suo utilizzo

In seguito si troveranno brevi cenni agli strumenti utilizzati durante le analisi, al loro funzionamento ed alle loro modalità di impiego.

2.1.1 Troncatrice

La troncatrice si usa per ricavare i provini a partire da un semilavorato o da un pezzo finito. Per il taglio si usano dischi di vari materiali e durezza a seconda del materiale da tagliare: normalmente dischi al carburo di silicio (utilizzata durante queste analisi) o ossido di alluminio (SiC , Al_2O_3), per materiali particolarmente duri, come i ceramici, una lama diamantata. L'operazione viene sempre svolta con un adeguato apporto di fluido lubro-refrigerante .

2.1.2 Inglobatrice

L'inglobatura è un'operazione fondamentale per la preparazione dei provini, consente una più facile manipolazione di porzioni di materiale di piccole dimensioni e diventa fondamentale nel caso in cui il pezzo di partenza abbia subito trattamenti superficiali termici (es. nitrurazione) o di deposizione (es. verniciatura). Altro vantaggio è quello di garantire una maggiore planarità della superficie del provino, fondamentale per eseguire i successivi test.

L'inglobatura può essere effettuata a caldo o a freddo. L'inglobatura a caldo viene effettuata con resine fenoliche (che lavorano a 170°C) o bachelitiche (che lavorano a 190°C). Il tempo di inglobatura è di 11 minuti con macchina fredda e di 8 minuti con

macchina già calda. Per la preparazione degli otto provini analizzati è stata adottata questa tecnica.

L'inglobatura va effettuata prendendo la sezione metallografica e appoggiandola sulla base del pistone dell'inglobatrice; si fa scendere il pistone all'interno del macchinario, vi si introduce la quantità adeguata di resina termoindurente, si chiude la camera del pistone e si mette il tutto in pressione. All'interno della camera c'è una resistenza, la quale riscalda la resina alla temperatura opportuna per circa 8-12 minuti per far avvenire la polimerizzazione. Passato questo tempo, si apre l'elettrovalvola che toglie la pressione aprendo la camera e permettendo l'estrazione della sezione inglobata.

L'inglobatura a freddo è necessaria qualora il materiale abbia subito trattamenti superficiali, per non alterarne le proprietà.

Quando non ci sono particolari vincoli di temperature la tipologia di inglobatura da preferire è sicuramente quella a caldo, poiché è molto più veloce per un pezzo singolo, mentre conviene quella a freddo per la preparazione di più provini contemporaneamente.

2.1.3 Spettrometro di massa ad emissione con sensori CCD

Lo spettrometro di massa è uno strumento che determina la composizione chimica del campione.

In seguito viene illustrato il principio di funzionamento.

Ogni elemento chimico emette una radiazione con una certa lunghezza d'onda e con una certa intensità. Lo spettrometro riesce a rilevare queste differenti lunghezze d'onda e quindi a distinguere i vari elementi chimici di cui è composto il materiale. Inoltre l'intensità indica quale sia la percentuale di un dato elemento presente.

Nello strumento utilizzato è presente un database che contiene le composizioni dei principali e più diffusi materiali, quindi quando si effettua l'analisi viene ricercata un'eventuale corrispondenza.

Per quanto riguarda le modalità di prova, per prima cosa è fondamentale pulire lo strumento insufflando argon (gas inerte) e pulendo l'elettrodo. La superficie del provino non deve essere a specchio e non deve presentare strati ossidati, si effettua una levigatura con una carta abrasiva alla zirconia (ZrO_2) per non alterare in seguito

l'analisi chimica. Si pone il provino in corrispondenza dell'elettrodo, la macchina con un fascio di plasma vaporizza una piccola quantità di materiale, i vapori vengono convogliati nella camera contenente i sensori che rilevano le varie lunghezze d'onda e le relative intensità. I risultati della prova vengono mostrati sul computer.

Per effettuare le analisi in questo particolare caso è stata utilizzata la tecnica impiegata per esaminare la composizione di fili con un sostegno/adattatore particolare, poiché risultavano dati variabili all'interno di intervalli troppo ampi attraverso il procedimento classico (oscillazioni massime del 5%). La prova ha una durata di circa 15 secondi.

2.1.4 Analisi Leco®

L'analisi Leco® è stata utilizzata per venire a conoscenza delle percentuali di carbonio e zolfo presenti all'interno della lega. Questo tipo di strumentazione fornisce un valore più affidabile rispetto a quello fornito dallo spettrometro di massa, e per questo motivo è stata adottata.

La conoscenza delle percentuali di questi due elementi chimici è importante poiché sono due elementi chimici che influenzano in modo rilevante la struttura e le proprietà meccaniche del materiale. Con il Leco® il materiale viene portato rapidamente ed interamente a fusione per mezzo di un riscaldamento ad induzione e i vapori vengono analizzati dallo strumento, il quale, attraverso il calcolo della conducibilità termica dei vapori, fornisce C% e S%.

2.1.5 Levigatrice

Per effettuare l'analisi al microscopio ottico è necessario che la superficie dei provini sia lucidata a specchio e perfettamente in piano per una migliore osservazione.

Tramite un movimento radiale, il provino viene fatto passare sul piatto per ridurre al minimo la rugosità della superficie. È stata utilizzata l'acqua come lubrificante e per raffreddare ed asportare materiale abraso.

Si è partiti da una sgrossatura usando carte all'ossido di zirconio con grana 120 - 180, per passare poi a carte con grana da 600 – 1200 – 2400 e infine sospensioni (si possono utilizzare anche paste) diamantate prima da 6 micron poi da 3 micron, con panno corrispettivo, per ottenere l'effetto a specchio finale.

In fase di lucidatura, spesso la superficie presentava degli strisci evidenti ad occhio nudo è stato perciò necessario ritornare alla carta abrasiva precedente per poterli eliminare e per poter apprezzare a pieno l'immagine al microscopio.

2.1.6 Attacco chimico

L'attacco chimico serve a corrodere in modo non uniforme la superficie, in particolare la corrosione è preferenziale lungo i bordi grano. Grazie a ciò è possibile distinguere i bordi grano e le eventuali fasi.

Per quanto riguarda i reagenti chimici, per gli acciai comuni al carbonio viene usata una soluzione chiamata Nital X, costituita da acido nitrico e alcol, dove X identifica la percentuale di acido nitrico in soluzione.

Durante le analisi è stato adottato prevalentemente il Kalling 2 [17], mentre per solo un campione in particolare è stata utilizzata la soluzione Nital 3.

Il Kalling 2 è costituito da: CuCl_2 cloruro rameico cristallizzato 5g, acido cloridrico 100ml, alcool etilico 100ml, acqua distillata 190 ml. La durata dell'attacco varia da pochi secondi a qualche minuto, ad una temperatura di 20°C; esso fa assumere colorazione scura alla martensite.

In seguito sono illustrate le modalità d'esecuzione dell'attacco chimico.

La superficie del campione viene immersa nella soluzione acida per un certo tempo, definito dalla soluzione e dal tipo di materiale. L'attacco acido viene interrotto risciacquando con acqua corrente la superficie. Se il provino viene lasciato troppo a lungo a contatto con l'acido, si verifica la "bruciatura" della superficie. In questo caso, bisogna ripetere gli ultimi stadi di lucidatura e rieseguire l'attacco per un tempo inferiore o con una soluzione meno aggressiva.

Nel caso in cui si abbia mantenuto l'acido per un tempo inferiore si può rimediare in due modi in base al materiale in esame: se si ha un materiale sul quale non si crea

uno strato di ossido, come l'acciaio, si può continuare la corrosione apportando altra soluzione per un tempo adeguato.

2.1.7 Microscopio ottico

Esistono due tipologie di microscopi ottici: a luce riflessa e a luce trasmessa. Il microscopio a luce trasmessa viene utilizzato con campioni trasparenti, mentre si usa un microscopio a luce riflessa per materiali che sono lucidabili a specchio come i metalli.

La luce viene emessa da una fonte e deviata da un opportuno sistema di specchi riflettenti. È presente una telecamera digitale che serve ad inviare le immagini al computer, passando attraverso un'unità di elaborazione d'immagine.

Per le analisi, è stato impiegato un microscopio ottico a luce riflessa, che presenta un *range* di ingrandimento di 10-1000 volte.

Questo strumento ha però uno svantaggio: manca di profondità di campo, cioè è possibile mettere a fuoco l'immagine solamente in un piano per volta. Nel caso siano presenti più piani (superficie non piana o che presenta porosità) l'immagine risulterà sfocata in alcune zone. Il campione deve essere messo in piano, con l'ausilio della plastilina.

2.1.8 Durometro

Le prove di durezza (e di microdurezza) vengono eseguite per ottenere un indice convenzionale dal quale trarre delle informazioni dirette o indirette circa la qualità e le proprietà del materiale. La differenza tra le due sta nel carico utilizzato: per le prove di durezza è sempre maggiore di 1 kg, mentre per quelle di microdurezza è inferiore a 1 kg.

Con il durometro utilizzato durante le analisi è possibile effettuare le tre principali prove di durezza: Brinell, Vickers e Rockwell. Queste differiscono tra loro per tipo di penetratore e per i carichi applicati.

Nella prova di durezza Vickers, che è quella adottata durante le analisi, si utilizza un penetratore a forma di piramide a base quadrata in diamante, con angolo al vertice di 136°. È la prova più sicura perché il materiale del penetratore, essendo in diamante, può essere utilizzato per esaminare materiali molto duri. Inoltre questa prova non necessita di calcoli particolari per verificarne l'accuratezza. L'unica cosa a cui fare attenzione è lo spessore del campione da esaminare che deve essere almeno 7-8 volte maggiore della profondità dell'impronta, ed ogni impronta deve distare dalla successiva almeno una misura pari a due volte e mezza la diagonale dell'impronta (ambedue le condizioni sono state rispettate durante le analisi).

La misura della durezza si calcola con la formula seguente (in alternativa con le apposite tabelle):

$$HV = 1.854*(F/d^2)$$

dove F è il carico applicato e d la diagonale media dell'impronta.

Il valore della durezza va indicato nel modo seguente: HV carico [kg]/ tempo [s]. Anche qui la durata della prova standard è di 15 secondi e in questo caso non è necessario inserirla all'interno dell'indice.

Per le prove svolte è stato adottato un carico di 30 kg ed una durata di 15 secondi, come da prova standard e sono state effettuate cinque prove per ogni saggio.

Durante queste analisi non sono state effettuate misure di microdurezza (Knoop o Vickers) poiché è una prova poco rappresentativa delle proprietà meccaniche (interessa un'area minore rispetto alla durezza normale). Infatti sotto la superficie lucidata possono essere presenti delle porosità non visibili a priori, che possono falsare il valore effettivo della durezza indicandone uno inferiore (l'impronta lasciata nel materiale ha dimensioni maggiori).

Inoltre il ritorno elastico del materiale può alterare il valore della durezza in modo più significativo rispetto alla prova convenzionale, facendone riscontrare uno più alto poiché l'impronta risultante è minore. Sarebbe sicuramente stata adottata se si fosse trattato di materiali sottoposto ad indurimento superficiale.

2.2 Fase di preparazione dei campioni

Gli otto campioni analizzati provengono da 7 lame per fioretto e 1 lama per spada, e sono caratterizzati da differenti produttori o lotti produttivi (*Figura 2.1*).

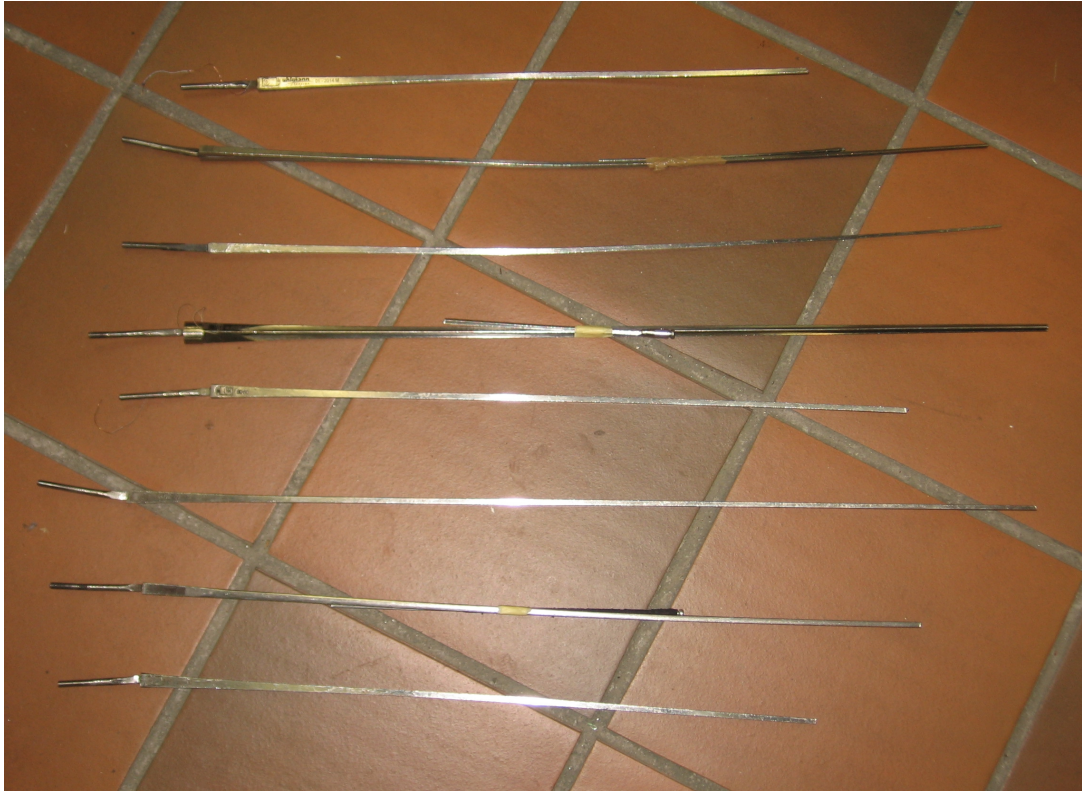


Figura 2.1: otto lame sottoposte ad analisi. Si può notare una certa variabilità di lunghezza determinata da punti di rottura differenti.

I campioni sono stati nominati con sigle che consentissero di risalire facilmente al tipo di lama, eventualmente al produttore (ogni produttore è noto) ed anche alla data di produzione (mese-anno). Le lame sottoposte ad analisi non erano intere (ovvero per la lunghezza di 90 cm) perché caratterizzate da punti di rottura differenti e per alcune non era presente la parte terminale della lama.

Va sottolineato che sono state analizzate lame che sono state sottoposte ad uso, quindi sono andate incontro a deformazione elastica e plastica durante l'esercizio; questo è un fattore molto importante che caratterizza in modo significativo i risultati soprattutto delle prove di durezza. Di seguito è riportata l'immagine (*Figura 2.2*).

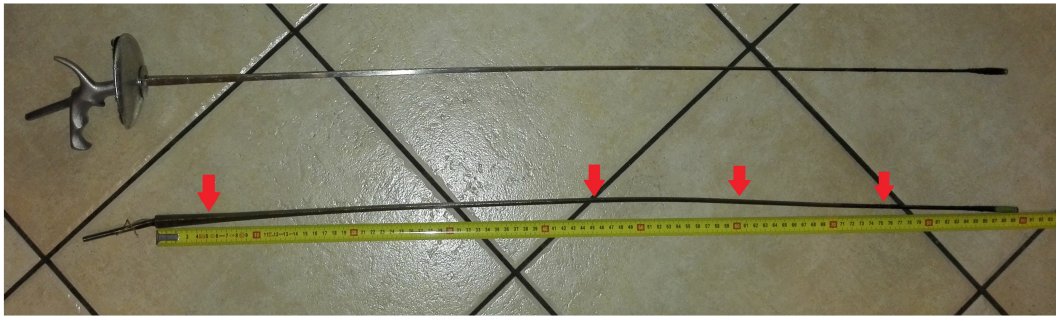


Figura 2.2: fioretto intero e lama smontata. I punti dove sono stati prelevati i saggi dalla lama sono indicati con delle frecce.

La Figura 2.2 precedente mostra una lama per fioretto intera smontata ed un fioretto completo e consente di vedere dove sono localizzate le zone dalle quali sono stati prelevati i vari saggi per la realizzazione dei campioni. Sono stati effettuati dei tagli mediante troncatrice nei punti indicati (Figura 2.2). Come riferimento del punto 0 mm è stato assunto l'inizio della lama (Figura 2.3). Nella Figura 2.3 è anche indicata la zona dalla quale è stato prelevato il truciolo per il Leco®.



Figura 2.3: parte iniziale della lama, comprensiva del codolo.

Le posizioni dei tagli che sono stati effettuati tramite troncatrice sono:

- 50 mm dalla base, per campione destinato ad analisi al Quantometro ed all'analisi Leco® ; questa sezione non è stata inglobata in alcun caso
- 450 mm
- 600 mm

- 750 mm
- zona pre-rottura, ove possibile, ovvero se non coincidente con una delle altre sezioni da ricavare
- zona rottura

Da ognuna di queste sezioni è stato ricavato un saggio, e ciò è stato fatto per evidenziare eventuali differenze presenti al variare della distanza dalla base. I campioni sono costituiti da un numero di saggi prelevati dalle lame che varia da 2 a 4, in base alla lunghezza della lama sottoposta ad analisi. Questi saggi sono caratterizzati da una lunghezza di circa 5 mm ciascuno, tranne nel caso della sezione ricavata a 50 mm, che comprende tutto il “codolo” fino ad una distanza di 50 mm dalla base a 0 mm. I campioni ricavati dai fioretti sono rispettivamente, con la loro denominazione:

- U 10-14

Sezioni ricavate: 50, 450, 600, 730, 750 mm

- U 01-14

Sezioni: 50, 450, 480 mm

- F 02-09

Sezioni: 50, 450, 600, 750 mm

- F 07-11

Sezioni: 50, 450, 600 mm

- F 10-14

Sezioni: 50, 450, 600 mm

- F 01-14

Sezioni: 50, 450, 560 mm

- F 09-09

Sezioni: 50, 450, 570 mm

Mentre il campione ricavato dalla spada è stato nominato:

- S 10-14

Sezioni: 50, 450, 600 mm

Durante la fase di preparazione dei campioni è stata adottata l'inglobatura a caldo e ovviamente per ogni campione ne è stata realizzata una unica contenente i suoi saggi rispettivi, ciò per facilitare le analisi, per velocizzare i confronti fra i vari saggi e per ridurre al minimo il rischio di errori causati dal loro numero elevato. I saggi, all'interno delle inglobature, sono stati posizionati in modo che durante la caratterizzazione metallografica e l'analisi di durezza si potesse analizzare la sezione trasversale della lama.

Per sottoporre gli otto campioni ad osservazione al microscopio ottico, prima e dopo dell'attacco chimico, è necessario adottare la procedura di levigatura e lucidatura indicata nel paragrafo precedente. E per quanto riguarda l'attacco chimico, solo per il campione F 02-09 è stato utilizzato il Nital 3, mentre per tutti gli altri sette campioni *maraging* è stato necessario adottare il Kalling 2.

Per l'analisi Leco® è stato prelevato un saggio a 10 mm dalla base di ogni lama (*Figura 2.3*), ovvero in una zona sufficientemente larga che consentisse l'operazione. È stato necessario prelevare una massa di almeno 2,5 grammi di truciolo di metallo per ogni campione da sottoporre ad analisi Leco®.

Per ciascun campione sono state effettuate tre misure allo spettrometro di massa, affinché fosse verificata l'affidabilità della misura, garantendo una maggiore sicurezza sulle percentuali degli elementi chimici presenti negli acciai.

Diversamente dalla normale prassi per l'analisi allo spettrometro di massa, è stato necessario utilizzare la tecnica di analisi di fili metallici, con l'utilizzo di un opportuno adattatore/sostegno per il campione. Infatti, utilizzando il metodo normale appariva un range di oscillazione delle percentuali degli elementi chimici troppo ampio. L'analisi è stata effettuata sul cosiddetto “codolo”, ovvero la parte filettata per il collegamento, tramite bloccaggio a dado esagonale o quadrato, della lama con la guardia (coccia ed impugnatura).

Prima dell'analisi al Quantometro il codolo è stato passato sulla levigatrice con carta abrasiva a grana grossa a base di ZrO_2 .

Per quanto riguarda lo svolgimento delle prove di durezza, sono state effettuate cinque prove per ogni saggio contenuto all'interno degli otto campioni, quindi un numero di misurazioni del valore di durezza per ogni lama che varia da un minimo di dieci ad un massimo di venti, in base al campione analizzato. In seguito dalle cinque misurazioni effettuate per ogni saggio è stato ricavato un valore medio di durezza con la corrispettiva deviazione standard.

CAPITOLO 3

Risultati sperimentali

3.1 Risultati dell'analisi chimica

I valori riportati all'interno della tabella sono da considerarsi valori medi ottenuti dalle tre prove svolte su ogni campione (per la consultazione dei valori completi si rimanda all'Appendice B). Per individuare le percentuali del carbonio e dello zolfo è stata utilizzata l'analisi Leco[®].

La *Tabella 3.1* risulta utile se si vuole operare un confronto diretto fra differenti tipologie di lame, fra diversi lotti produttivi o produttori di lame stesse.

I vari campioni sono ordinati in base al tipo di lega che costituisce la lama, al produttore e secondo la data di produzione, dal più datato al più recente.

I	C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	Fe (Balance)
F 09-09	0,0067	0,0276	0,0103	0,0007	4,5800	18,33	0,1540	9,59	0,5970	66,68
F 07-11	0,0280	0,0316	0,0115	0,0013	4,4967	18,10	0,1237	9,49	0,5987	67,1
F 01-14	0,0075	0,0306	0,0096	0,0007	4,5433	17,70	0,1390	9,57	0,6240	67,36
F 10-14	0,0038	0,0259	0,0086	0,0006	4,5067	17,87	0,1133	9,66	0,6133	67,19
U 01-14	0,0069	0,0348	0,0057	0,0012	4,6300	17,63	0,1350	9,38	0,6360	67,52
U 10-14	0,0200	0,0373	0,0104	0,0012	4,5600	17,73	0,1160	9,43	0,6307	67,44
S 10-14	0,0064	0,0491	0,0101	0,0005	4,5200	18,00	0,1021	9,53	0,6063	67,16
F 02-09	0,3200	0,5720	0,0257	0,0230	0,0139	0,09	0,04	0,02	0,0050	98,89

Tabella 3.1: analisi chimica delle otto lame analizzate(%pond.).

Osservando le varie composizioni nella *Tabella 3.1* si può notare una grande somiglianza fra i primi sette campioni; infatti per quanto riguarda le percentuali significative, si ha nichel per circa il 18%, molibdeno attorno il 4,5% e cobalto approssimativamente per il 9,5% , invece il carbonio rimane a valori bassi, arrivando al massimo allo 0,028% nel caso dell'F 07-11.

Dalla composizione si nota che le prime sette lame sono acciai ricchi di elementi responsabili del rafforzamento del materiale; in particolare osservando nichel, molibdeno e cobalto si può affermare che si tratti di acciai *maraging*.

Per questi primi sette campioni non si nota, al variare dei lotti produttivi, dei produttori e del tipo di lama (spada/fioretto), una sostanziale variazione del tenore di elementi in lega, infatti si ha un *range* di oscillazione massima del nichel dell'ordine del mezzo punto percentuale. Si ipotizza che questa variazione non comporti una pesante modifica del tipo di lega, ma potrebbe influire sul diagramma di stato ed anche sulle sue proprietà meccaniche. Osservando elementi chimici come Mo e Co si può notare un *range* di oscillazione al massimo di tre decimi di punto percentuale. Anche in questo caso vale quanto detto precedentemente, infatti ad una maggiore presenza di elementi carburigeni si suppone corrisponda una maggiore possibilità di rafforzamento del materiale per precipitazione e quindi un incremento delle sue proprietà di resistenza meccanica.

Invece, se si osserva l'ultimo campione, si noterà che possiede un tenore di carbonio decisamente più elevato; infatti osservando i valori delle percentuali della sua composizione può essere considerato (secondo normativa EN 10083-1:1998 [18]) un acciaio C30.

Il campione F 02-09 possiede un basso tenore di elementi in lega, diversamente da tutti gli altri campioni, tanto da poter essere considerato un acciaio non legato ($Mn \leq 1\%$). Quindi questo tipo di materiale sarà caratterizzato da proprietà molto differenti rispetto a quelle di un acciaio *maraging* ed anche da un costo inferiore.

Per quanto riguarda i primi sette campioni, da un confronto con la normativa FIE, che regola la produzione di lame *maraging*, si nota che gli unici valori limite che non sono rispettati sono quelli di zolfo (max consentito 0,0005%) e fosforo (max

consentito 0,005%), che rappresentano sostanzialmente delle impurezze per gli acciai in questione. Le limitazioni riportate in normativa fanno riferimento solo ed esclusivamente ad acciai di tipo *maraging* quindi il campione F 02-09 essendo costituito da C30 bonificato rimane comunque utilizzabile (infatti possiede il marchio FIE).

3.2 Caratterizzazione metallografica

Per ogni campione verranno illustrate prima le micrografie prese antecedentemente all'attacco chimico ed in seguito quelle successive ad esso. Anche in questo caso i campioni sono ordinati secondo la stessa modalità adottata precedentemente nell'elenco fatto al paragrafo 3.1 .

3.2.1 Lama F 09-09

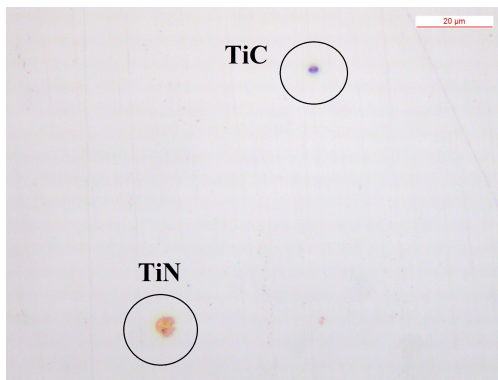


Figura 3.1: sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si possono apprezzare due inclusioni di TiC e di TiN (pre-attacco).

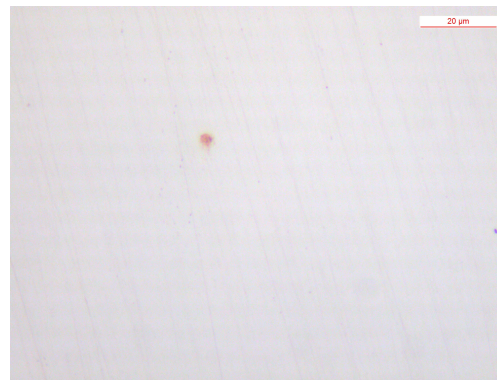


Figura 3.2: sezione di pre-rottura a 570 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si può apprezzare una inclusione di TiN (pre-attacco).

Dalla *Figura 3.1* e *Figura 3.2*, prese prima dell'attacco chimico, si può notare la presenza di due differenti tipi di inclusioni su uno sfondo dal colore uniforme grigio chiaro; esse sono distinguibili facilmente per il differente colore. Un tipo di inclusione presenta colorazione tendente al blu-viola, mentre la seconda presenta un colore giallo-rosato. Si suppone siano rispettivamente carburo di titanio e nitruro di titanio. Il titanio ha la capacità di formare nitruri e carburi con durezza molto elevata. Ad esempio il nitruro di titanio possiede una durezza stimata sui 2500 HV. Da una stima sulla misura si può affermare che le dimensioni delle inclusioni si attestino intorno ai 2-4 micron.

Nella *Figura 3.1* e nella *Figura 3.2*, prese allo stesso ingrandimento, ma in sezioni differenti non si nota una sostanziale differenza nella quantità di inclusioni presenti. Se si fosse registrata una variazione del tenore inclusionale in prossimità della sezione di rottura questo fatto sarebbe stato sicuramente significativo per la rottura stessa della lama; si può affermare che anche per le dimensioni dei precipitati non siano presenti differenze significative. Quindi si può attestare che questo campione sia caratterizzato da una struttura dall'aspetto costante al variare della distanza dalla base.

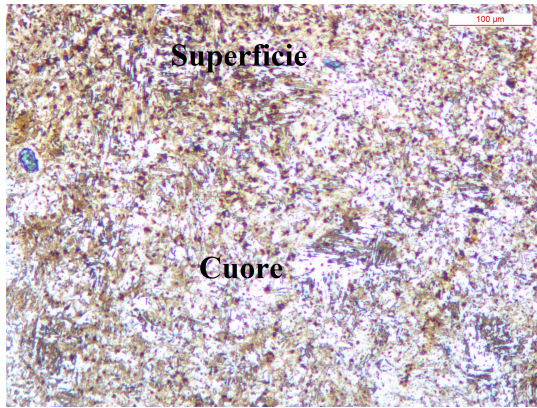


Figura 3.3: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a bordo che a cuore della lama F 09-09 (dopo attacco).

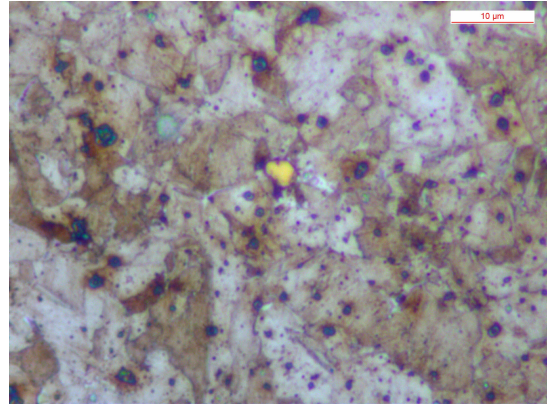


Figura 3.4: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base della lama F 09-09. Si può apprezzare la presenza di un'inclusione di TiN circondata dai grani austenitici e martensitici (dopo attacco).

Nella *Figura 3.3* non si nota una variazione della dimensione del grano in base alla distanza dal cuore; mentre nella *Figura 3.4* ad alto ingrandimento è messa in particolare evidenza la struttura del materiale post-attacco chimico ed anche l'inclusione centrale di TiN.

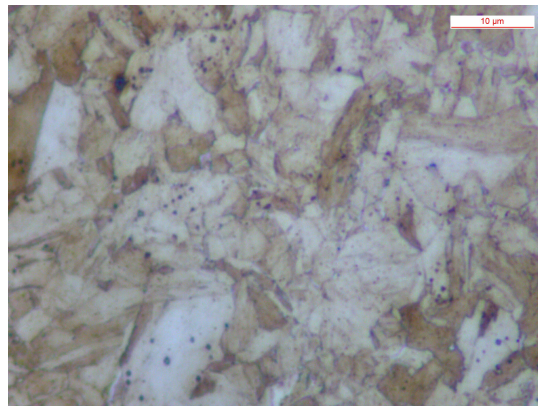


Figura 3.5: microstruttura della sezione di pre-rottura a 570 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si può apprezzare la grana cristallina dell'acciaio maraging (dopo attacco).

Dalle micrografie (*Figura 3.4-Figura 3.5*) prese ad alto ingrandimento post attacco chimico si evince la struttura dell'acciaio *maraging*, che non risulta invece visibile prima dell'attacco. Si può notare una struttura costituita da zone alternate chiare e scure, ovvero aree austenitiche e martensitiche. Si può notare la presenza di geminati, che si formano a causa della presenza di elementi alliganti all'interno dell'acciaio in fase di raffreddamento. I grani presentano una forma allungata e la lunghezza approssimativamente è intorno ai 10-15 micron.

3.2.2 Lama F 07-11

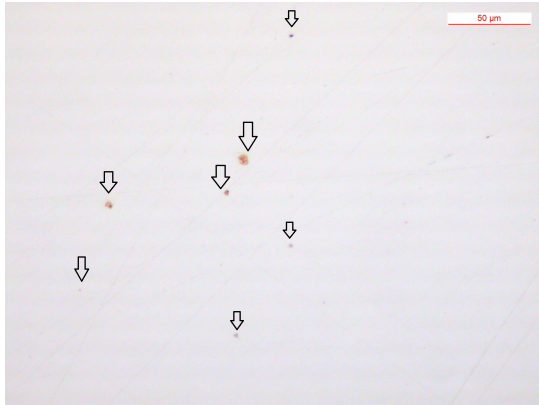


Figura 3.6: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare in totale 7 inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

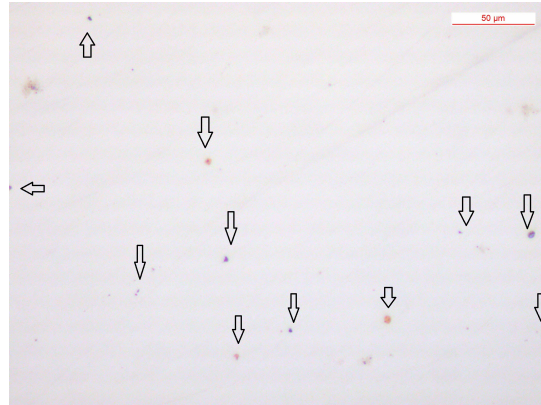


Figura 3.7: microstruttura della sezione di rottura a 650 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare in totale 11 inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

Se si effettua un confronto del tenore inclusionale fra la sezione a 450 mm (*Figura 3.6*) e la sezione in prossimità della rottura (*Figura 3.7*), si può notare una lieve variazione nella quantità di inclusioni presenti. È stata calcolata un'area dell'immagine presa di $67710 \mu\text{m}^2$, che è uguale a $0,06771 \text{ mm}^2$; quindi nel primo caso è stata calcolato una tenore di $104 \text{ inclusioni/mm}^2$, mentre nel secondo caso un tenore pari a $163 \text{ inclusioni/mm}^2$; si suppone che la distribuzione delle inclusioni sia uniforme e che non siano segregate. L'aumento del tenore inclusionale al variare della sezione potrebbe essere ipoteticamente un aspetto che ha influenzato la rottura della lama proprio in quella zona.

Anche in questo caso si possono notare due tipi di inclusioni già illustrate precedentemente, caratterizzate sempre da una forma poligonale e da dimensioni attorno i $3 \mu\text{m}$.

La forma di queste fasi è di fondamentale importanza, poiché se avessero forma allungata e sottile rappresenterebbero dei punti di concentrazione di tensione, quindi sarebbero deleteri per le proprietà meccaniche. Invece con il loro aspetto poligonale sono in grado di distribuire in maniera ottimali gli sforzi quando il materiale in esercizio viene sottoposto a carichi.

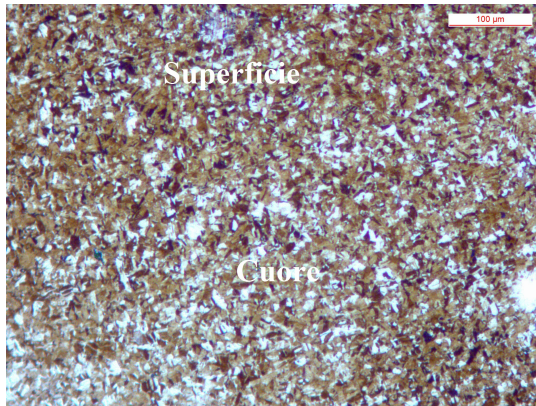


Figura 3.8: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 07-11 (dopo attacco).

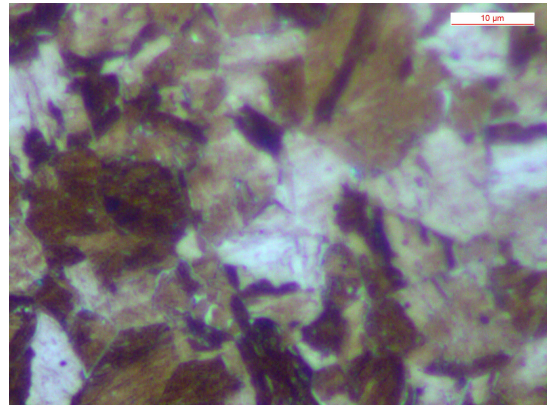


Figura 3.9: microstruttura della sezione di rottura a 650 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare i grani martensitici caratterizzati da una lunghezza di 10-15 micron (dopo attacco).

Nelle micrografie precedenti (*Figura 3.8-Figura 3.9*) si può notare la forma allungata della martensite, come nel caso precedente; la dimensione dei grani rimane pressoché invariata (10-15 micron) fra sezione a 450 mm e quella di rottura. Inoltre se si osserva la *Figura 3.8* non si nota variazione della struttura se si confronta cuore e superficie del campione.

3.2.3 Lama F 01-14

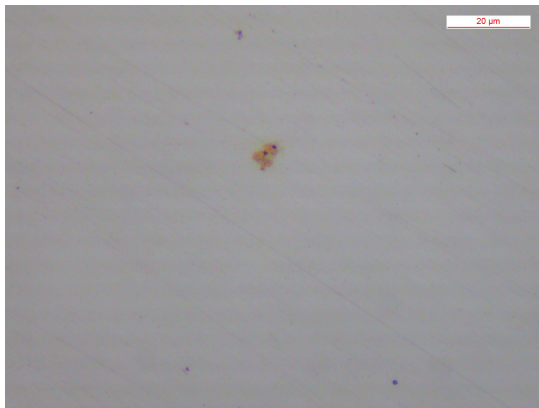


Figura 3.10: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 01-14; sezione nella quale si può apprezzare un'inclusione di TiN (pre-attacco).

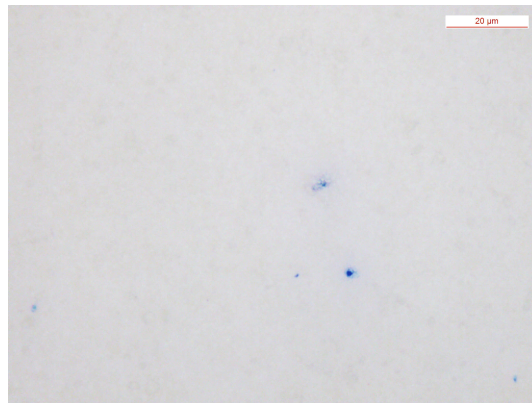


Figura 3.11: microstruttura della sezione di pre-rottura a 560 mm dalla base a cuore della lama F 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC (pre-attacco).

In queste due micrografie (*Figura 3.10-Figura 3.11*) si possono apprezzare singolarmente i due tipi di inclusioni. Non si nota una variazione del tenore inclusionale fra le diverse sezioni, inoltre le inclusioni presentano dimensioni costanti, come verificato con i precedenti campioni.

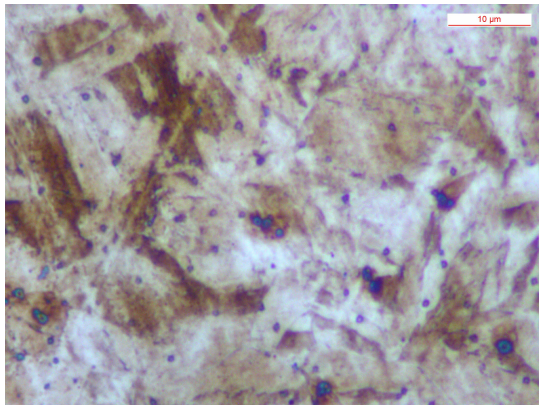


Figura 3.12: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base della lama F 01-14 (dopo attacco).

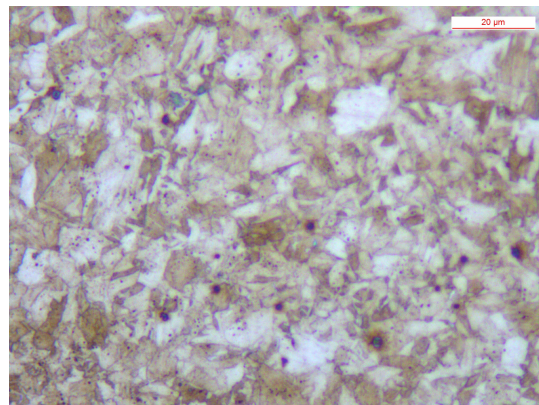


Figura 3.13: microstruttura della sezione di pre-rottura a 560 mm dalla base a cuore della lama F 01-14 (dopo attacco).

Nelle due micrografie (*Figura 3.12-Figura 3.13*) si può apprezzare la microstruttura e si può affermare che non siano riscontrabili differenze significative con gli altri campioni, per quanto riguarda il tipo di struttura e la dimensione dei grani.

3.2.4 Lama F 10-14

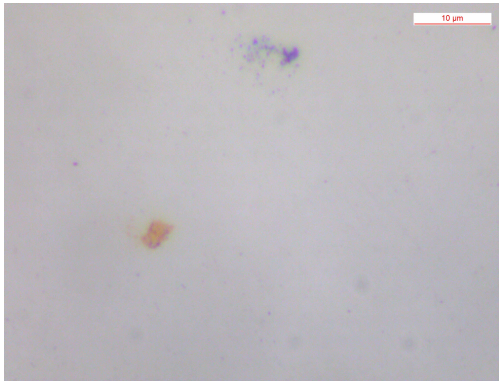


Figura 3.14: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 10-14; sezione nella quale si può apprezzare un'inclusione di TiN dalle caratteristiche già riscontrate in casi precedenti (pre-attacco).

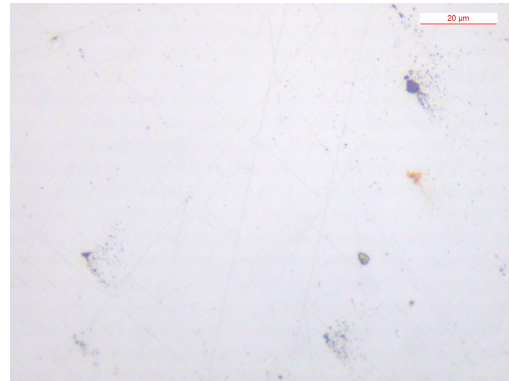


Figura 3.15: microstruttura della sezione di rottura a 600 mm dalla base a cuore della lama F 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

Nella *Figura 3.14* è messo in particolare evidenza un precipitato di nitruro di titanio (colore giallo-rosato) dalle dimensioni già verificate precedentemente. Mentre nella *Figura 3.15* presa ad una sezione differente si possono notare dei precipitati di TiC e TiN, dalle dimensioni nella media (attorno 3-4 µm). Anche in questo caso, al variare della distanza dal “codolo” non si nota una differenza significativa nel tenore inclusionale, né nel tipo di inclusioni.

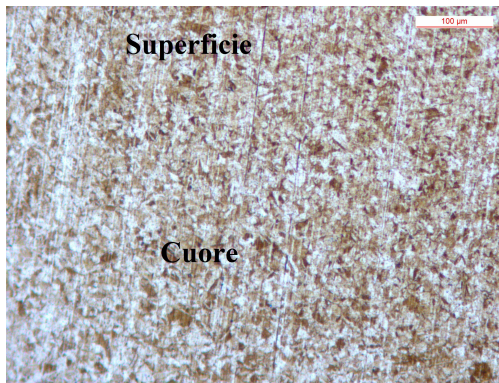


Figura 3.16: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 10-14 (dopo attacco).

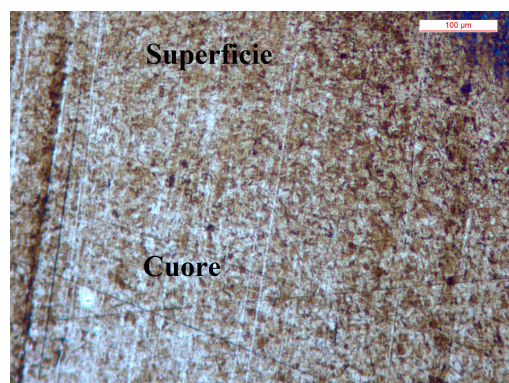


Figura 3.17: rappresenta la struttura della sezione a 600 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 10-14 (dopo attacco).

Con le *Figure 3.16-3.17*, essendo ad ingrandimento contenuto, è possibile apprezzare un'area maggiormente estesa e quindi si può notare che non si ha una variazione significativa della struttura in base alla variazione della distanza dal cuore della lama, vero la superficie.

3.2.5 Lama U 01-14



Figura 3.18: microstruttura della sezione di rottura a 450 mm dalla base a cuore della lama U 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

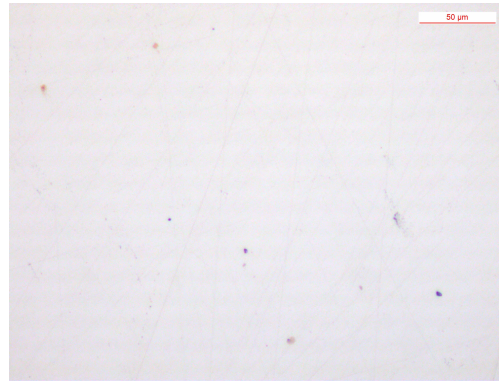


Figura 3.19: microstruttura della sezione di rottura a 480 mm dalla base a cuore della lama U 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

Nelle due micrografie (*Figura 3.18-Figura 3.19*) si nota la presenza dei due tipi di inclusione; non sono presenti differenze sostanziali nel tenore inclusionale al variare della distanza dalla base della lama e soprattutto nella sezione in prossimità della rottura si ha un tenore inclusionale nella media. Le dimensioni delle inclusioni sono costanti, e la loro forma rimane poligonale, a favore dell'incremento delle proprietà meccaniche. Non si notano differenze significative rispetto ai campioni già visti.

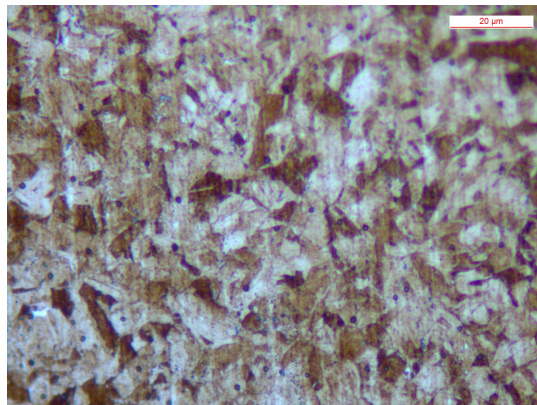


Figura 3.20: microstruttura della sezione di rottura a 480 mm dalla base a cuore della lama U 01-14 (dopo attacco).

Vale lo stesso per quanto detto in merito allo stesso campione non sottoposto ad attacco chimico, infatti si ha lo stesso tipo di struttura evidenziato nelle analisi dei campioni precedenti.

3.2.6 Lama U 10-14



Figura 3.21: microstruttura della sezione di rottura a 730 mm dalla base a cuore della lama U 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

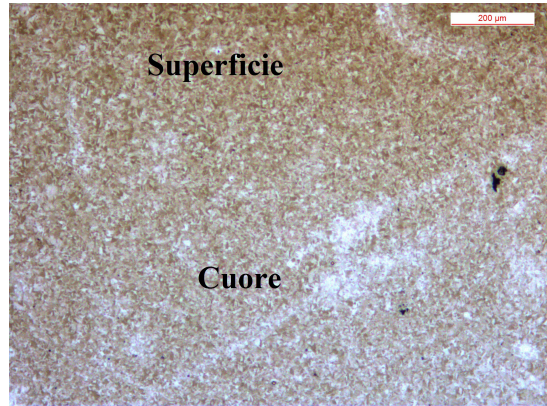


Figura 3.22: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama U 10-14 (dopo attacco).

Nella *Figura 3.21* è evidenziata la tipica struttura dell'acciaio *maraging* prima di essere sottoposto ad attacco chimico. Si notano le due tipologie differenti di inclusioni con le loro caratteristiche forme, dimensioni e colori. La *Figura 3.22* presa a bassi ingrandimenti consente di osservare sia le zone in prossimità del bordo sia quelle a cuore della lama; si può notare che non è presente una variazione delle dimensioni del grano.

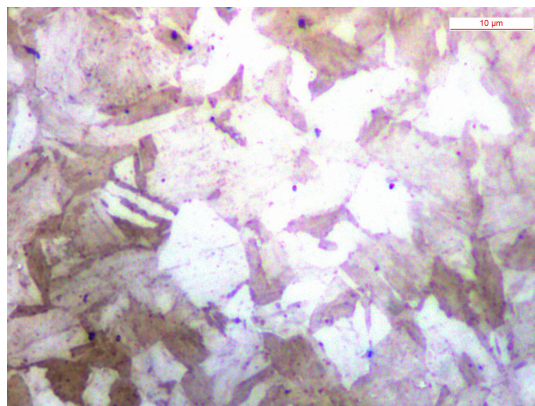


Figura 3.23: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama U 10-14 (dopo attacco).

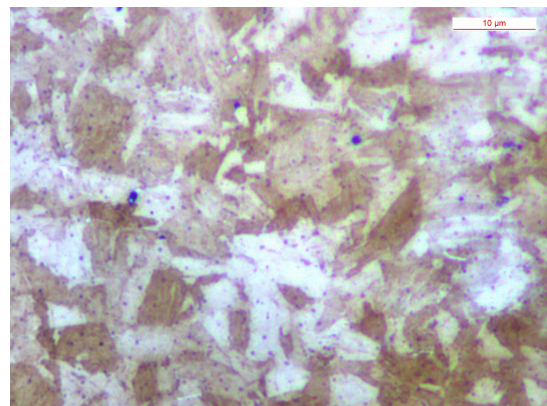


Figura 3.24: microstruttura della sezione a 750 mm dalla base a cuore della lama U 10-14 (dopo attacco).

Grazie a queste due micrografie (*Figura 3.23- Figura 3.24*) prese dopo attacco chimico a sezioni differenti, l'una a 450 mm, l'altra a 750 mm dalla base, si può notare una, seppur sensibile, diminuzione delle dimensioni dei grani. Ciò può essere causato dalle lavorazioni a cui viene sottoposta la lama; infatti per conferirle la sua forma caratteristica è necessario sottoporla a deformazione plastica, provocando una riduzione dell'area della sezione trasversale.

Questo fattore comporta una deformazione dei grani.

Inoltre a causa della dimensione minore del grano nelle sezioni maggiormente distanti dalla base della lama, si può ipotizzare una durezza superiore, ad esempio rispetto alla sezione situata a 450 mm.

3.2.7 Lama S 10-14



Figura 3.25: microstruttura della sezione di rottura a 710 mm dalla base a cuore della lama S 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare 3 inclusioni di TiN (pre-attacco).

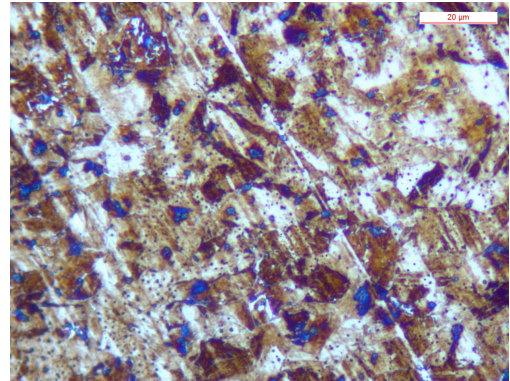


Figura 3.26: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore della lama S 10-14; sezione nella quale si nota la grana cristallina già riscontrata in altri campioni (pre-attacco).

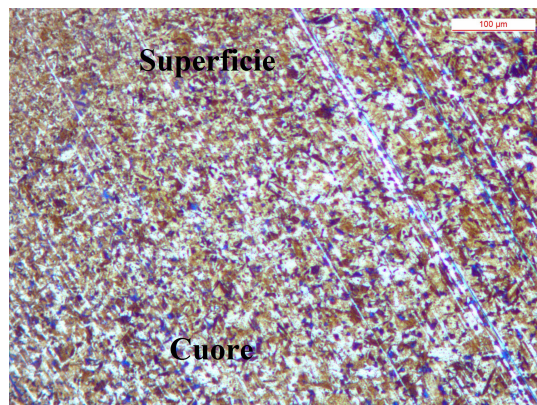


Figura 3.27: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore ed in prossimità del bordo della lama S 10-14 (dopo attacco).

Nella *Figura 3.25* si notano i nitruri di titanio presenti anche negli altri campioni. Le dimensioni di queste inclusioni sono nella media. Anche in *Figura 3.26* si può notare la tipica struttura degli acciai *maraging* con dimensioni stimate dei grani attorno i 10-15 μm . Non sono state rilevate differenze significative rispetto agli altri campioni, malgrado questa fosse una lama per spada. Inoltre, in *Figura 3.27*, che è stata acquisita a bassi ingrandimenti, si nota che non si verifica variazione della grana cristallina al variare della distanza del cuore della lama.

3.2.8 Lama F 02-09

L'ultimo campione è completamente differente rispetto ai precedenti analizzati, infatti è un acciaio AISI 4130 bonificato. Esso presenta, dopo attacco chimico, una struttura composta da matrice ferritica di colore scuro e globuli di cementite chiari (stimati 5-7 micron) dispersi all'interno di essa (sorbite). La sequenza di tempra e rinvenimento è necessaria per consentire la globulizzazione della cementite e quindi permettere all'acciaio di resistere agli urti ed alle flessioni a cui è sottoposto durante l'utilizzo, aumentandone la tenacità. Infatti se non venisse effettuato il rinvenimento si avrebbe un materiale eccessivamente fragile, e non tenace, che comporterebbe anche maggiori rischi per gli atleti (frattura delle lame di tipo fragile).

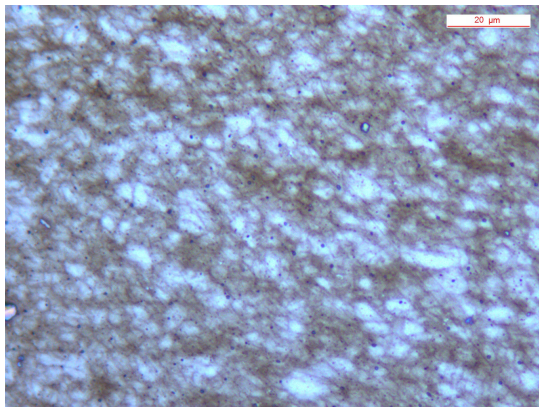


Figura 3.28: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 02-09 (dopo attacco).

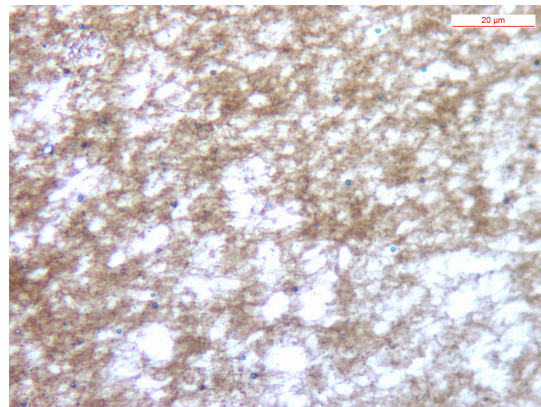


Figura 3.29: microstruttura della sezione a 750 mm dalla base a cuore della lama F 02-09; si può apprezzare una struttura sorbitica (dopo attacco).

Nelle tre micrografie riportate per l'F 02-09 (Figura 3.28 - Figura 3.29 - Figura 3.30), non si notano sostanziali differenze nella dimensione del grano all'aumento della distanza della base ed al variare della distanza dal cuore della lama la struttura appare costante.

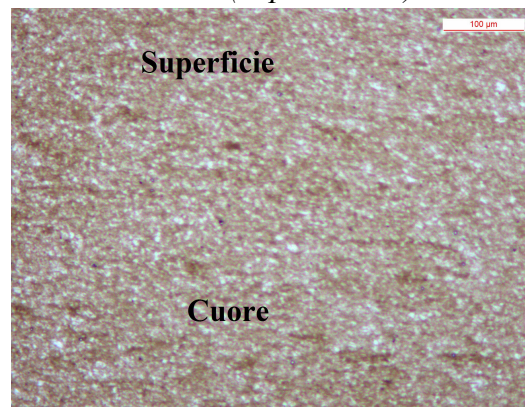


Figura 3.30: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore ed in prossimità del bordo della lama F 02-09 (dopo attacco).

3.3 Risultati dell'analisi di durezza

Le prove sono state effettuate con le modalità illustrate nel Capitolo 2 e le misure di durezza sono da intendere come $HV_{30/15}$, o anche HV_{30} (essendo di 15 secondi la durata standard della prova). La temperatura a cui stata svolta la prova è di 25°C circa (temperatura ambiente). Le sezioni sono ordinate secondo la direzione di crescita della distanza dalla base della lama. Sono stati riportati dei grafici per facilitare la comprensione dell'andamento della durezza in base alla distanza dal punto 0 mm. É da notare che tutte le lame analizzate soddisfano le specifiche FIE sulla durezza minima (*Capitolo 1*, normative FIE). Di seguito sono riportati i valori medi della durezza di ogni lama nelle sue differenti sezioni, con le rispettive deviazioni standard; per i valori completi dell'analisi di durezza si faccia riferimento all'Appendice C.

3.3.1 Lama F 09-09

Nel caso di questo campione si può notare un incremento della durezza media all'aumentare della distanza dalla base della lama. In particolare si registra il valore maggiore in prossimità della sezione rottura; questo può ipoteticamente essere causato dall'incrudimento a cui viene sottoposto il materiale quando va incontro a rottura. Ma sono possibili anche due altri motivi, ovvero le lavorazioni a cui la lama è stata sottoposta, e l'incrudimento a cui è stata soggetta in esercizio (cause del movimento di dislocazioni). Inoltre è rappresentato il range di oscillazione della durezza ricavato dalla deviazione standard della durezza, che contiene la curva rappresentativa della durezza media (Figura 3.31). Si può notare aumento della dispersione dei valori di durezza in zona di rottura.

Sezione	450 mm	Pre-rottura 570 mm
Media	630 HV ₃₀	639 HV ₃₀
Dev.Std	10 HV ₃₀	22 HV ₃₀

Tabella 3.2: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 09-09.

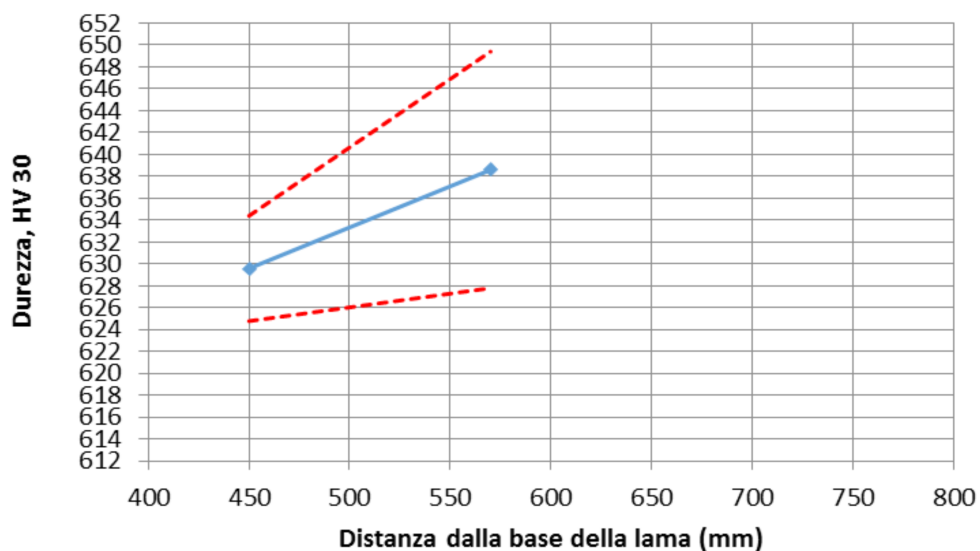


Figura 3.31: andamento della durezza media della lama F 09-09 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard della durezza.

3.3.2 Lama F 07-11

Nel caso del campione F 07-11 non si nota una variazione significativa nella durezza al variare della distanza dal codolo, infatti si registra un lievissimo aumento di un solo punto. Nella *Figura 3.32* è rappresentato anche l'intervallo di oscillazione del valore di durezza dato dalla deviazione standard.

Sezione	450 mm	600 mm
Media	620 HV ₃₀	621 HV ₃₀
Dev.Std	4 HV ₃₀	4 HV ₃₀

Tabella 3.3: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 07-11.

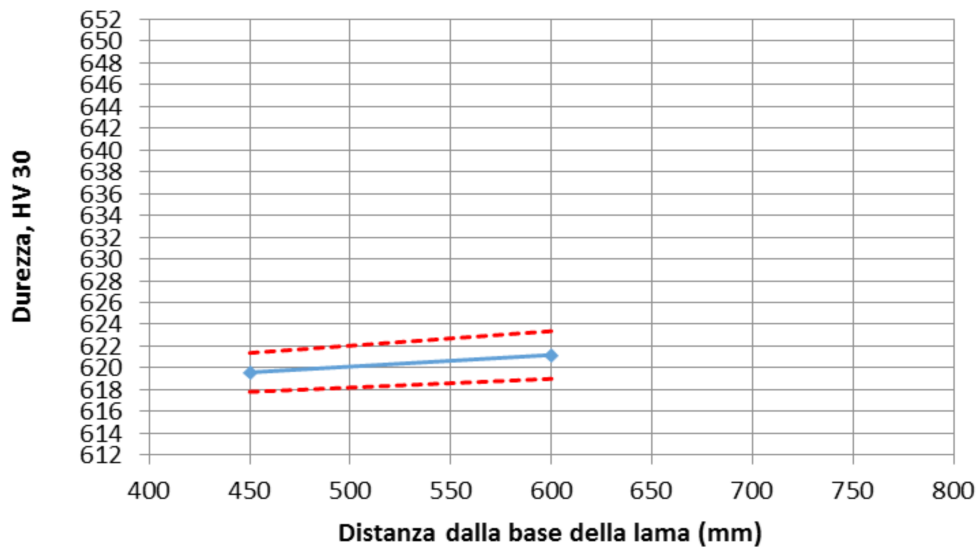


Figura 3.32: andamento della durezza media della lama F 07-11 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

In questo caso la dispersione dei valori di durezza in prossimità della zona a maggiore distanza dal codolo è minore se confrontata col caso precedente.

3.3.3 Lama F 01-14

Per questa lama si ha una situazione simile a quella registrata per il campione F 09-09, dove si ha un aumento di durezza (in questo caso minore, vedi *Tabella 3.4*) ipoteticamente causato da incrudimento del materiale. Nella *Figura 3.33* è rappresentato l'andamento del valore di durezza media al variare della distanza dalla base della lama. Il valore medio è compreso in un intervallo dato dalla deviazione standard.

Sezione	450 mm	Pre-rottura 560 mm
Media	624 HV ₃₀	628 HV ₃₀
Dev.Std	3 HV ₃₀	7 HV ₃₀

Tabella 3.4: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 01-14.

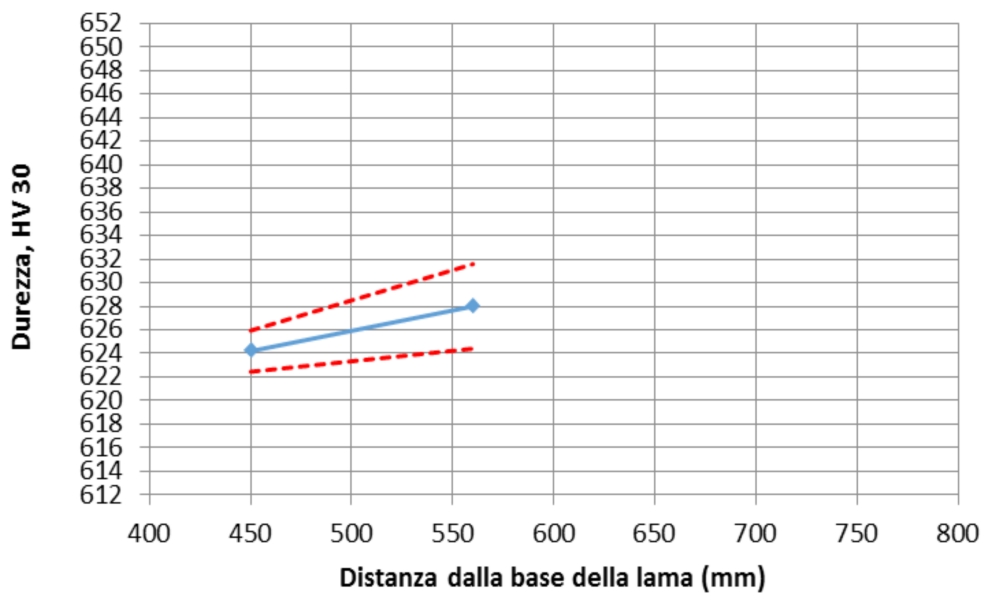


Figura 3.33: andamento della durezza media della lama F 01-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

3.3.4 Lama F 10-14

In questo caso è stata registrata una variazione di sette punti HV₃₀ dalla sezione a 450 mm a quella a 600 mm. E si può notare come nei casi precedenti un aumento della durezza media con l'incremento della distanza dalla base. Nella *Figura 3.34* è evidenziata anche l'oscillazione del valore di durezza media.

Si ha una variazione della dispersione da 4 a 7 punti Vickers, con l'incremento della distanza dal codolo.

Sezione	450 mm	600 mm
Media	621 HV ₃₀	628 HV ₃₀
Dev.Std	4 HV ₃₀	7 HV ₃₀

Tabella 3.5: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 10-14.

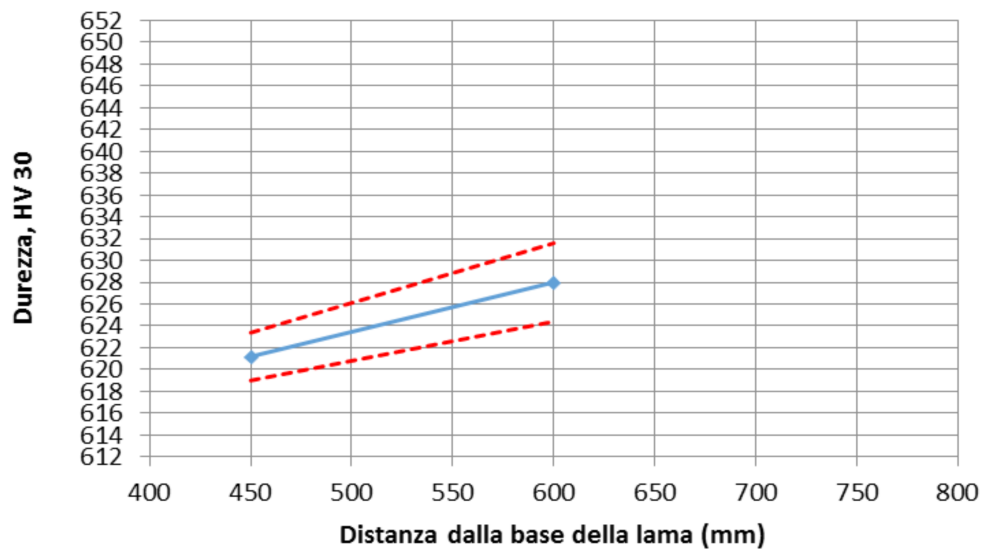


Figura 3.34: andamento della durezza media della lama F 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

3.3.5 Lama U 01-14

In questo caso si ha un lieve aumento di durezza, ipoteticamente causato da un altrettanto leggero incrudimento del materiale in prossimità della sezione di rottura, comunque si può affermare che non si tratti di un salto significativo (appena 2 punti HV₃₀). Si può osservare ciò sia nella *Tabella 3.6*, sia nella *Figura 3.35*; in quest'ultima è rappresentato l'andamento del valore medio di durezza che è compreso nell'intervallo ricavato con le deviazioni standard dei valori di durezza

Sezione	450 mm	Rottura 480 mm
Media	621 HV ₃₀	623 HV ₃₀
Dev.Std	4 HV ₃₀	4 HV ₃₀

Tabella 3.6: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama U 01-14.

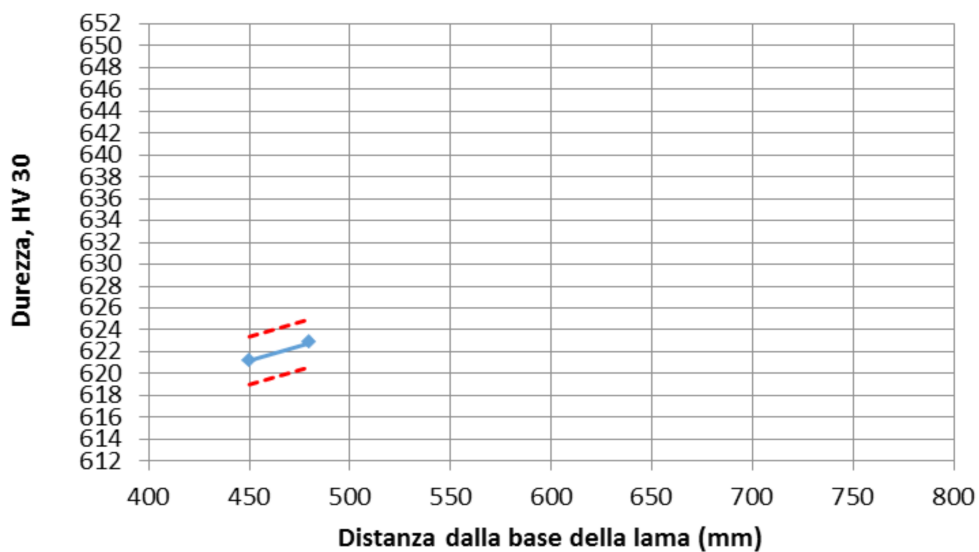


Figura 3.35: andamento della durezza media della lama U 01-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

3.3.6 Lama U 10-14

Il campione U 10-14, dato che contiene al suo interno quattro saggi prelevati dalle corrispettive zone della lama, fornisce la migliore panoramica sia per quanto riguarda le analisi al microscopio ottico sia per le prove di durezza.

Sezione	450 mm	600 mm	Rottura 730 mm	750 mm
Media	618 HV ₃₀	623 HV ₃₀	626 HV ₃₀	631 HV ₃₀
Dev.Std	6 HV ₃₀	4 HV ₃₀	6 HV ₃₀	7 HV ₃₀

Tabella 3.7: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama U 10-14.

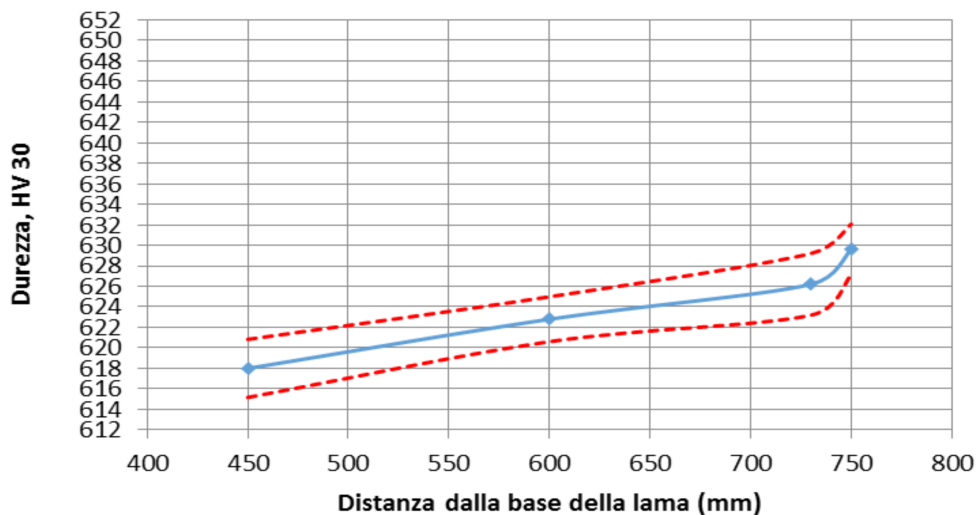


Figura 3.36: andamento della durezza media della lama U 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza. Si può apprezzare un cambio di pendenza della curva di durezza media nel tratto finale della lama.

Nel caso di questo campione viene data conferma alle ipotesi formulate sulla durezza durante la caratterizzazione metallografica.

Infatti era stata registrata una diminuzione della dimensione del grano costituente il materiale; alla luce di questo dato era stato supposto un possibile corrispettivo aumento della durezza; lo si può notare in Tabella 3.7 e nella Figura 3.36 correlata ad essa. La variazione delle proprietà del materiale è da imputare alle lavorazioni subite e alle sollecitazioni della lama in esercizio.

Inoltre nella *Figura 3.36* sono riportati i valori medi di durezza ottenuti durante le prove sulle quattro sezioni (450, 600, 730, 750 mm) e dalla curva si può apprezzare un incremento della durezza con l'aumento della distanza dal “codolo”. È stato rappresentato l'andamento della durezza media che è compreso fra l'andamento della durezza massima e minima; questi valori fanno riferimento alla deviazione standard dei valori di durezza riscontrati durante le prove. Si nota in particolar modo che la durezza massima di $\sim 630 \text{ HV}_{30}$ è stata registrata nella sezione a maggiore distanza dalla base, ove l'area trasversale della lama è ridotta al minimo. Inoltre nel passaggio dalla sezione a 730 mm a quella a 750 mm si nota un cambio di pendenza della curva di durezza media. In *Figura 3.36* si può apprezzare anche l'andamento del range di oscillazione del valore di durezza al variare della distanza dalla base.

3.3.7 Lama S 10-14

In questo caso, nella *Tabella 3.8* e nella *Figura 3.37*, si riscontra quanto è già stato evidenziato in altri campioni, ovvero un aumento lieve della durezza con l'incremento della distanza dalla base della lama.

Malgrado si tratti di una lama per spada non si nota un andamento della durezza differente rispetto a quello che caratterizza le lame da fioretto. Anche durante la fase di caratterizzazione metallografica si era potuto apprezzare una forte somiglianza (o meglio uguaglianza) nella microstruttura fra lame per fioretto e spada.

Inoltre in *Figura 3.37* si può apprezzare la costanza del range di oscillazione del valore di durezza al variare della distanza dalla base.

Sezione	450 mm	600 mm
Media	630 HV ₃₀	635 HV ₃₀
Dev.Std	10 HV ₃₀	10 HV ₃₀

Tabella 3.8: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama S 10-14.

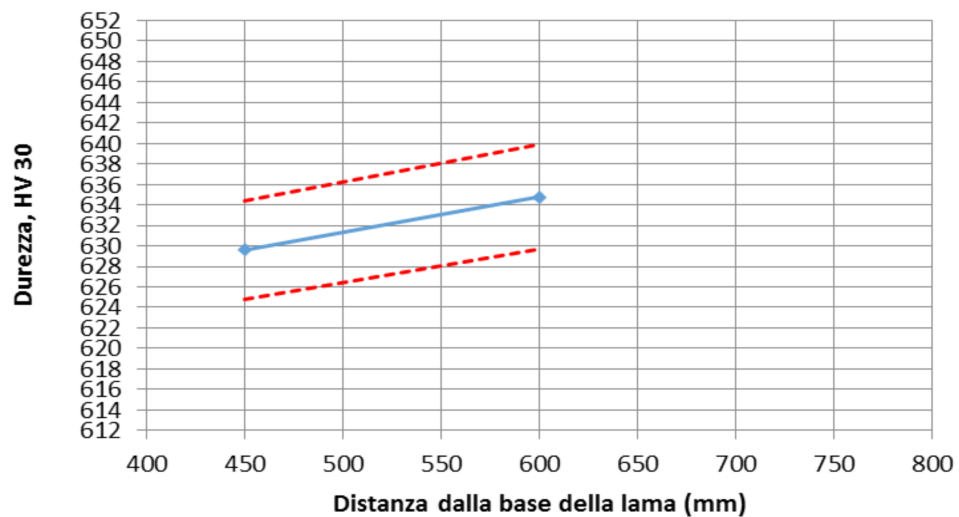


Figura 3.37: andamento della durezza media della lama S 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

Quindi, volendo trarre delle conclusioni generali inerenti la durezza dei campioni in acciaio *maraging* è stato creato un grafico (*Figura 3.38*) contenente i valori di durezza medi corrispettivi alle differenti sezioni (450, 600, 750 mm).

Per tracciare l'andamento sono stati utilizzati tre punti, ovvero le medie dei valori di durezza registrati nelle varie sezioni di ogni campione.

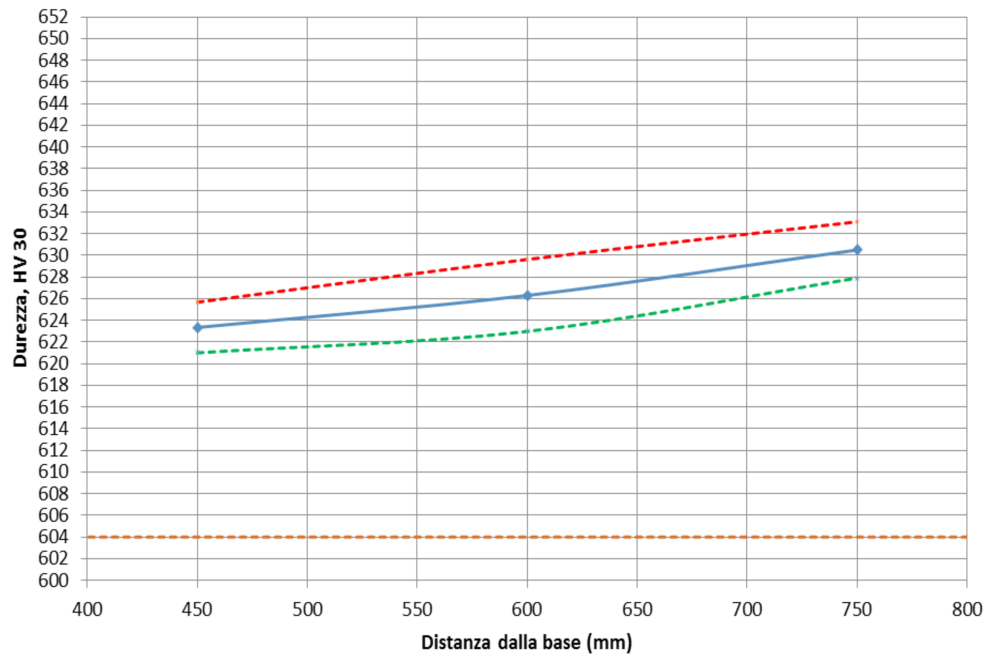


Figura 3.38: nella parte superiore rappresenta l'andamento della durezza media di tutte le lame maraging (tratto continuo) al variare della distanza dalla base, compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza (tratteggiato). Nella parte inferiore è segnalato il valore 604 HV₃₀.

Nel grafico sono state riportate quattro curve; in ordine dall'alto verso il basso si ha prima la curva dell'andamento del valore di durezza massima (tratteggiata), al di sotto la curva dell'andamento del valore di durezza media (continua), inferiormente si ha quella che rappresenta l'andamento del valore di durezza minima (tratteggiata) ed infine si ha una linea orizzontale localizzata a 604 HV (tratteggiata). Le tre curve superiori sono state individuate facendo riferimento ai valori medi e alle loro deviazioni standard registrati esclusivamente per tutte le lame *maraging*. Si nota facilmente un aumento della durezza con il corrispettivo incremento della distanza dal codolo, con durezza media per la sezione a 450 mm caratterizzate da un valore di

626 HV, con una deviazione standard di 5 HV. Invece per quella a 600 mm si ha un valore medio di 626 HV, con una deviazione standard di 7 HV ed infine per quella a 750 mm si ha un valore di 631 HV con una deviazione standard di 5 HV. Nel grafico è rappresentata anche una linea orizzontale che fa riferimento al valore di durezza massimo che caratterizza gli acciai *maraging* riportato nella *Tabella 1.5*. Secondo i dati sulle proprietà meccaniche degli acciai *maraging* estratti da MatWeb, il valore di durezza massimo per questo tipo di acciaio è di 604 HV; quindi nel caso di queste lame si può notare quanto siano influenti sul valore di durezza due fattori fondamentali, ovvero il processo di lavorazione che subiscono le lame in fase di produzione e le sollecitazioni a cui sono state sottoposte durante l'utilizzo. Questi due aspetti determinano l'incrudimento e quindi il movimento di dislocazioni, che comporta un conseguente aumento di durezza; perciò si suppone anche una diminuzione della tenacità della lama.

In generale è visibile una certa variabilità della durezza delle lame *maraging*, questo fatto è probabilmente imputabile al fatto che ogni lama in fase di produzione viene ribattuta a mano a caldo per conferirle la forma definitiva. In aggiunta va considerato il fatto che ogni lama in passato era stata sottoposta ad utilizzo di atleti differenti e quindi a sollecitazioni anch'esse diverse da un caso all'altro.

3.3.8 Lama F 02-09

Se si osserva l'andamento della durezza media (Tabella 3.9, Figura 3.39) si noter  come nei casi precedentemente analizzati un incremento della durezza all'aumento della distanza dalla base, che per  in questo caso risulta pi  significativo nel passaggio dalla sezione a 450 mm a quella situata a 600 mm; infatti si registra un salto di 51 HV. Inoltre   stato rappresentato l'intervallo di oscillazione fra durezza massima e minima ricavato sulla base della deviazione standard dei valori ottenuti durante le prove, che varia da 17 HV a 450 mm a 4 HV a 750 mm.

Sezione	450 mm	600 mm	750 mm
Media	564 HV ₃₀	615 HV ₃₀	620 HV ₃₀
Dev.Std	17 HV ₃₀	4 HV ₃₀	4 HV ₃₀

Tabella 3.9: contiene i valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 02-09.

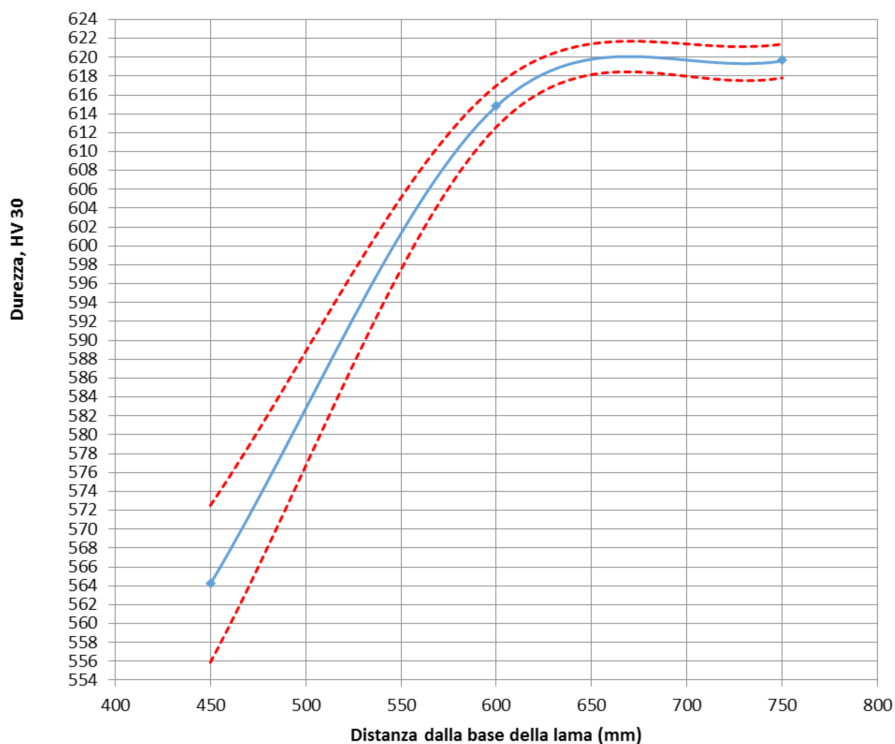


Figura 3.39: andamento della durezza media della lama F 02-09 (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.

Si può concludere la sezione riguardante l'analisi di durezza affermando che per tutte le lame (acciaio *maraging* e AISI 4130 bonificato) è stato riscontrato un aumento della durezza con l'incremento della distanza dalla base della lama. Ciò è causato da molteplici fattori già nominati precedentemente (lavorazione lama a mano ed uso dall'atleta) che inducono nel materiale deformazioni elastiche e plastiche che sono diretta causa del movimento di dislocazioni che incrementano la durezza del materiale e un abbassamento della sua tenacità. In particolar modo ciò riguarda la lama F 02-09, che è caratterizzata da una grande variazione del valore di durezza passando dalla sezione a 450 mm a quella situata a 600 mm.

Però si può affermare che questo incremento di durezza non sia un parametro costante, poiché risulta soggettivo alla lama e alla sua storia di carico precedente. Per visualizzare meglio i risultati generali è stato realizzato un grafico che raffigura tutti gli andamenti dei valori medi di durezza di tutte le otto lame analizzate (*Figura 3.40*). In *Figura 3.40* si può notare la tendenza generale di crescita del valore di durezza medio all'aumentare della distanza dalla base. Inoltre si evidenzia che il valore massimo della durezza media di ogni lama si è registrato nel punto a maggiore distanza dalla base.

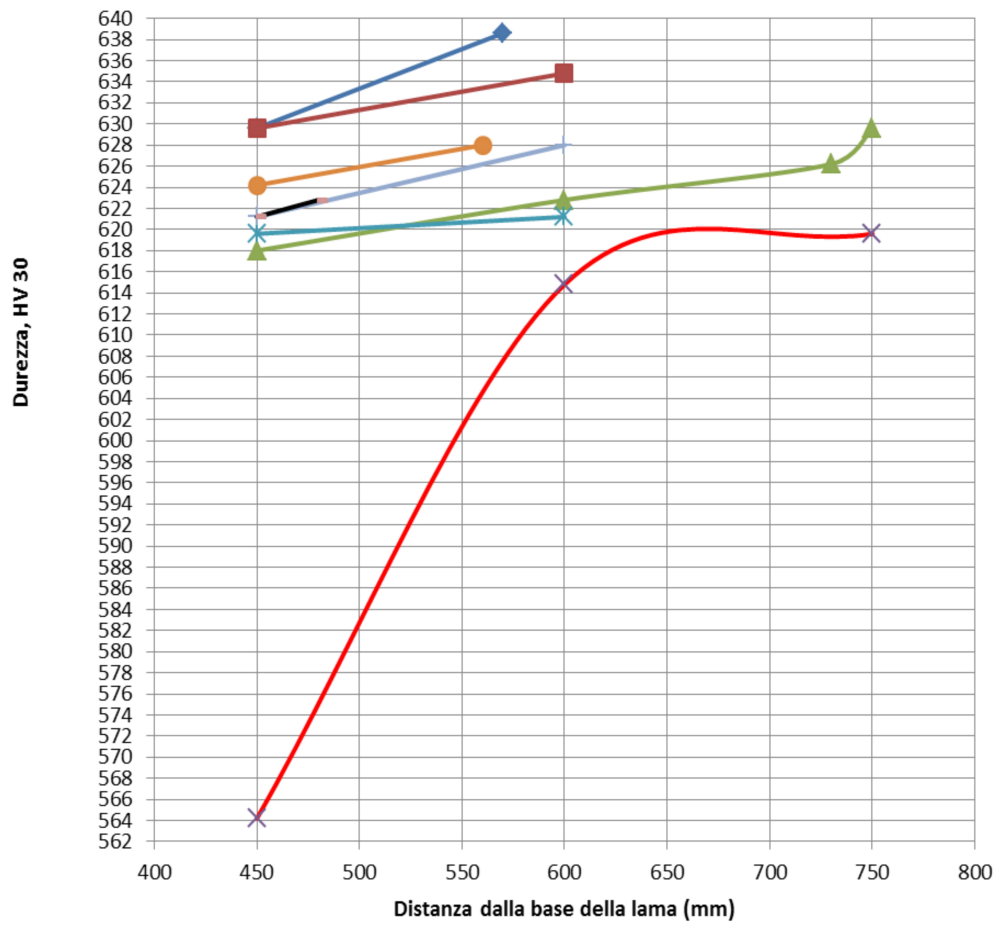


Figura 3.40: andamento del valore medio di durezza di ogni lama analizzata al variare della distanza dalla base.

CONCLUSIONI

Sono stati riportati i risultati ottenuti tramite analisi chimica, caratterizzazione metallografica e analisi della durezza, riguardanti gli otto campioni differenti che sono stati sottoposti ad esame. Sono stati individuati due differenti tipi di materiali per la realizzazione di lame da scherma: acciaio *maraging* e acciaio AISI 4130 bonificato.

Per quanto riguarda il primo materiale si è riscontrato che i valori della composizione chimica oscillano all'interno di *range* ridotti; gli elementi principali sono il nichel per circa il 18%, cobalto per circa il 9,5% e molibdeno per circa il 4,5%. Per le lame *maraging* non si presentano differenze dal punto di vista della composizione chimica al variare del produttore e del lotto produttivo. Inoltre è stato notato che zolfo e fosforo non rientrano nelle percentuali della normativa FIE sulle leghe *maraging*.

Per quanto riguarda la microstruttura sono stati individuati due tipi di inclusioni poligonali dalle dimensioni di circa 3-4 micron (si ipotizza siano di TiC, colore blu-viola e di TiN, colore giallo rosato) presenti in tutti i campioni *maraging*, e la struttura del grano visibile dopo attacco chimico risultava pressoché uguale sia in forma che in dimensione al variare del campione. Si è potuta apprezzare una struttura costituita da zone alternate chiare e scure, ovvero aree austenitiche e martensitiche con presenza di geminati; la dimensione del grano è stata stimata sui 10-15 micron. Solamente all'aumento della distanza dalla base della lama il grano risultava di dimensioni progressivamente minori; si è ipotizzata una durezza maggiore in prossimità della punta.

In seguito con l'analisi di durezza si è verificata questa ipotesi poiché si è notato un incremento della durezza all'aumento della distanza dalla base della lama e si è verificato che le lame *maraging* analizzate rispettano il limite minimo di durezza imposto dalla normativa FIE.

Anche per quanto riguarda il campione in AISI 4130 bonificato, è stata effettuata l'analisi chimica ed si è riscontrato un tenore di carbonio dello 0,32% e manganese allo 0,57%, quindi un acciaio non legato. In seguito si è svolta la caratterizzazione metallografica e si è individuata la presenza di una matrice ferritica, scura, con

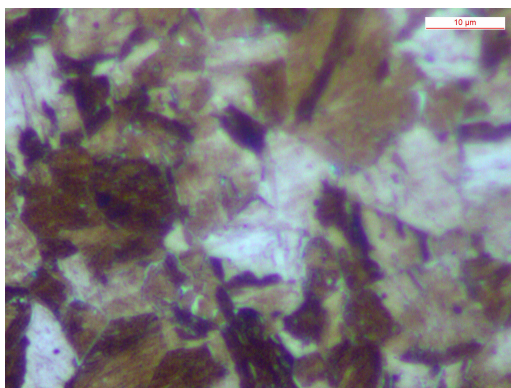
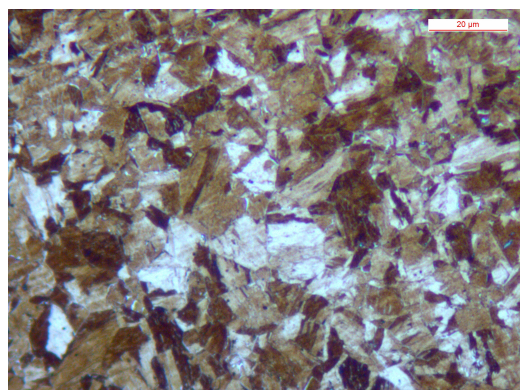
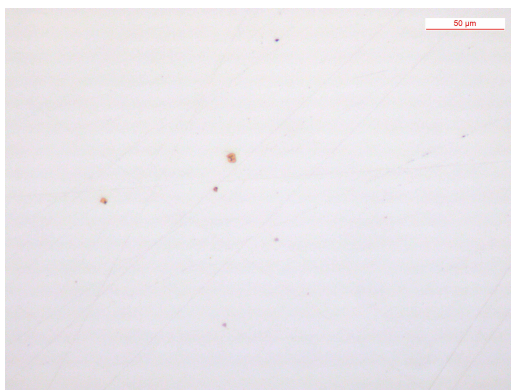
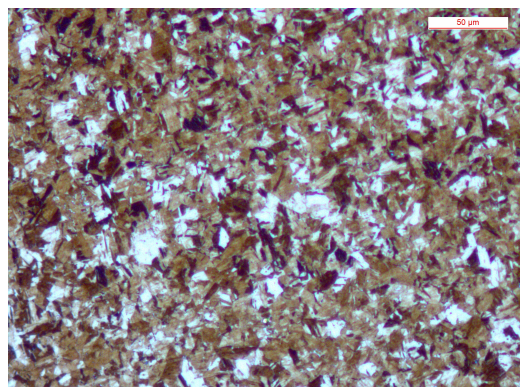
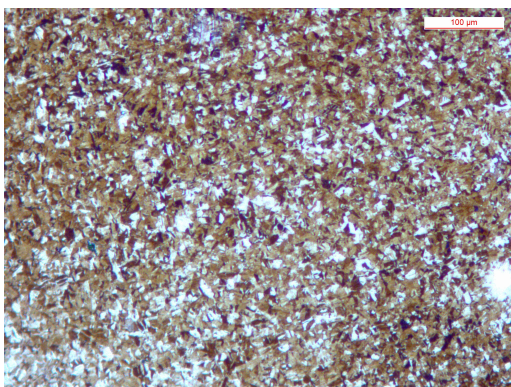
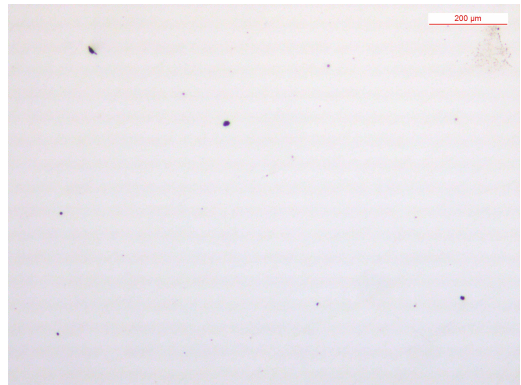
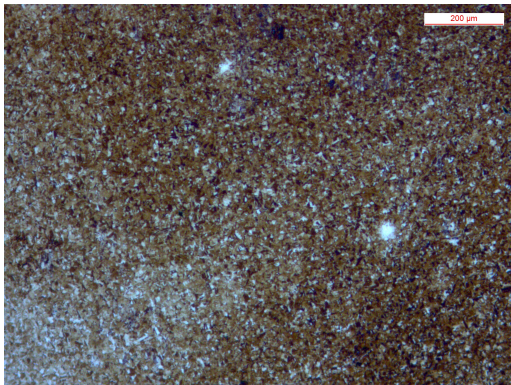
globuli di cementite (dimensioni stimate 5-7 micron), chiari, dispersi in essa, struttura tipica della sorbite che caratterizza un acciaio ipo-eutetoidico sottoposto a rinvenimento per consentire la globulizzazione della cementite. Successivamente a ciò si è eseguita l'analisi di durezza e si è osservato quanto era stato notato anche per i campioni in acciaio *maraging*, ovvero un aumento della durezza con l'incremento della distanza dalla base della lama. Anche in questo caso si è verificato che la lama in C30 bonificato analizzata rispetta il limite minimo di durezza imposto dalla normativa FIE.

Per ambedue i tipi di materiali si è registrato un incremento del valore di durezza con l'aumento della distanza dalla base. Si ipotizza che questo fatto sia correlato alle lavorazioni a mano a cui viene sottoposta la lama ed al suo utilizzo, quindi alla modifica della grana cristallina ed all'incrudimento che è fonte di dislocazioni; fattori soggettivi ad ogni lama che coinvolgono principalmente la sua parte finale e che comportano un certo grado di variabilità delle proprietà meccaniche della lama stessa.

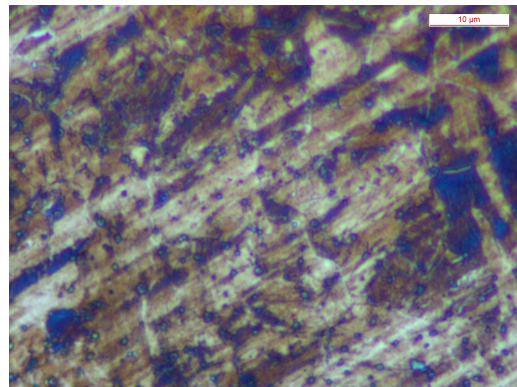
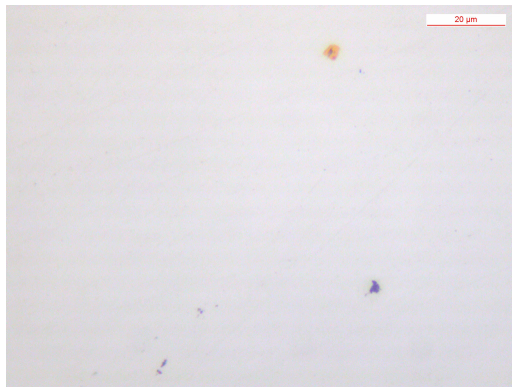
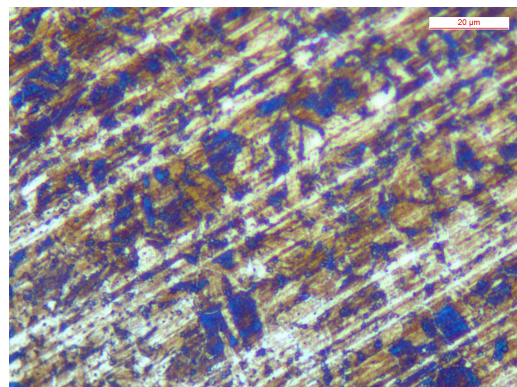
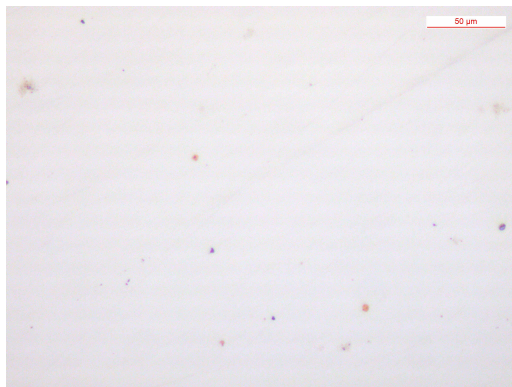
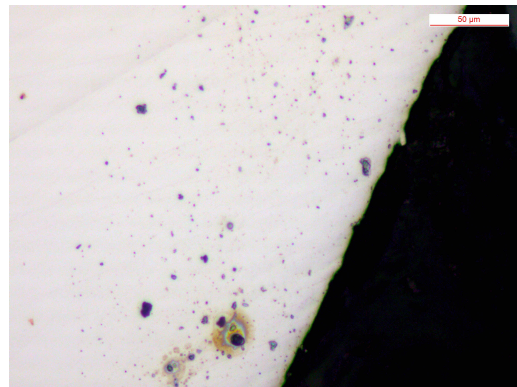
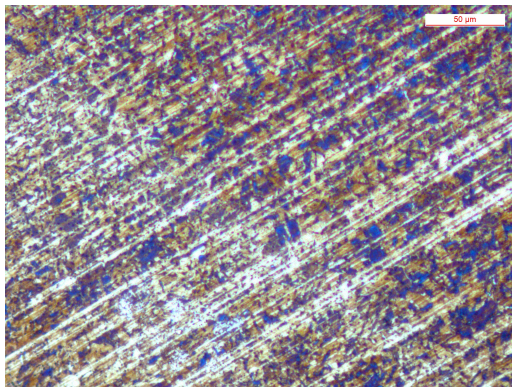
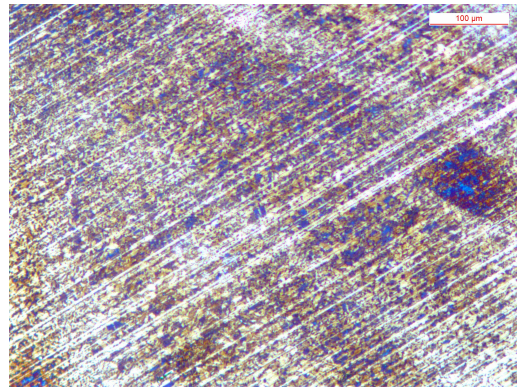
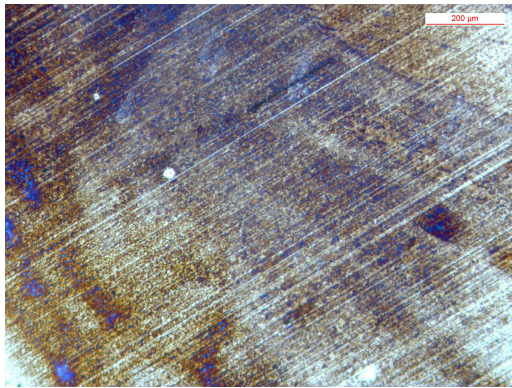
BIBLIOGRAFIA

- [1] Figura 1.1 www.treccani.it
- [2]-[3] Federazione Italiana Scherma, Pdf “Regolamento dei materiali”, pp. 33.
- [4]-[5] Federazione Italiana Scherma, Pdf “Regolamento dei materiali”, pp. 35.
- [6] Federazione Italiana Scherma, Pdf “Regolamento dei materiali”, pp. 36.
- [7]-[8] MatWeb, “AISI 4130 Steel”.
- [9] Maraging steels, https://en.wikipedia.org/wiki/Maraging_steel.
- [10] MatWeb, “Overview of materials for Maraging Steels”.
- [11] MatWeb, “Special Metals UDIMAR® 300 (UNS K93120) alloy 300 Fe-Ni Maraging Steels”
- [12]-[13] AG STEELS acciai speciali, Pdf “Acciai Maraging al 18% di nichel” pp. 7-8.
- [14] ASM HANDBOOK INTERNATIONAL, “Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys”, Specialty Steels and Heat-Resistant Alloys pp. 794-795.
- [15] AG STEELS acciai speciali, Pdf “Acciai Maraging al 18% di nichel” pp. 11.
- [16] Politecnico di Milano, Pdf “Gli acciai Maraging” di Barbara Rivolta, 2 Febbraio 2006, Milano, pp. 19.
- [17] Metkon, http://www.metkon.com/en/application_etching_13.html
- [18] Normativa EN 10083-1:1998

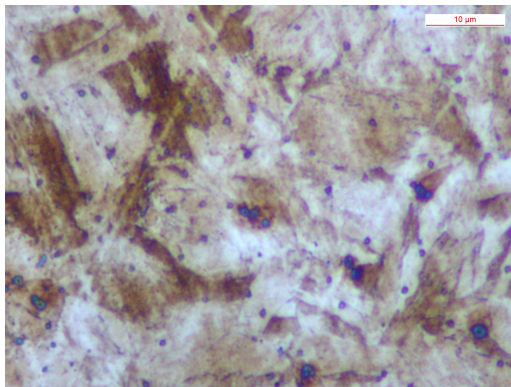
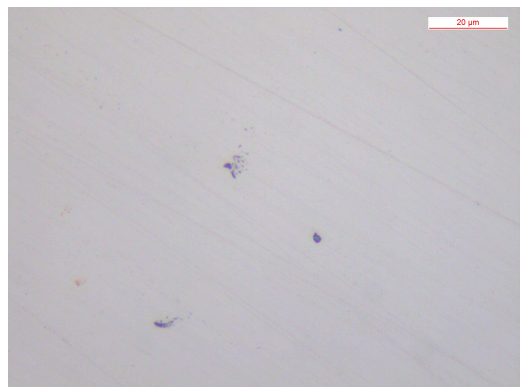
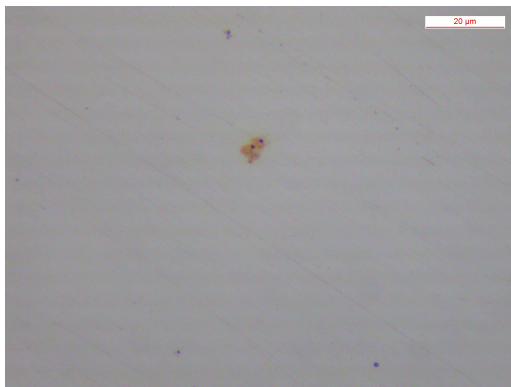
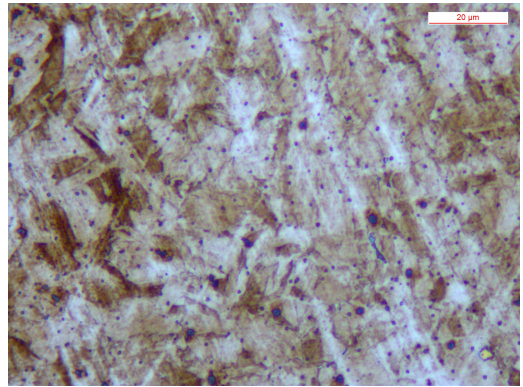
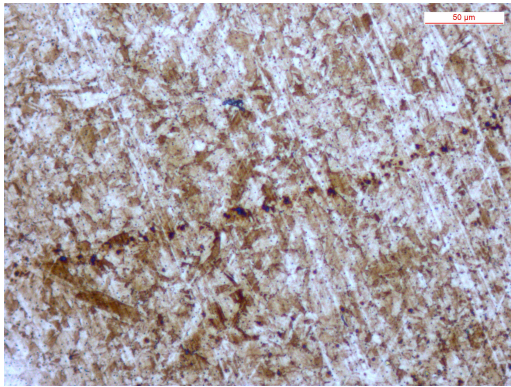
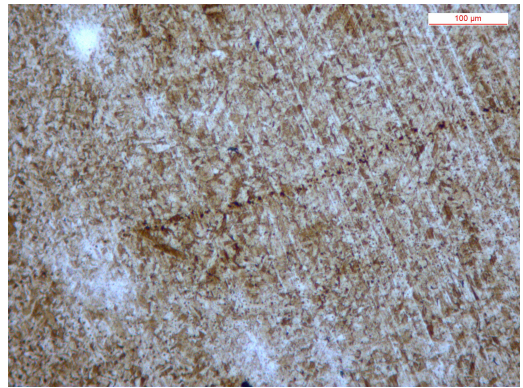
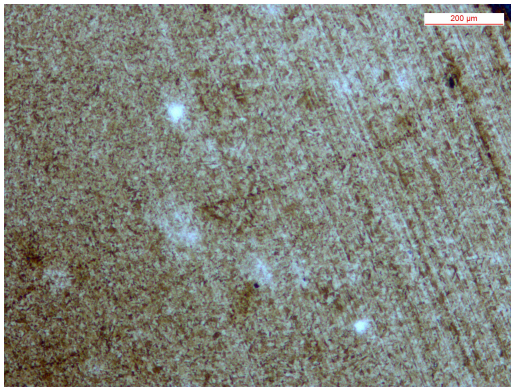
APPENDICE A: micrografie
F 07-11 sezione 450 mm.



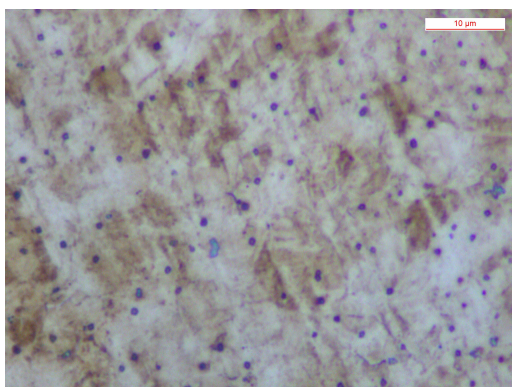
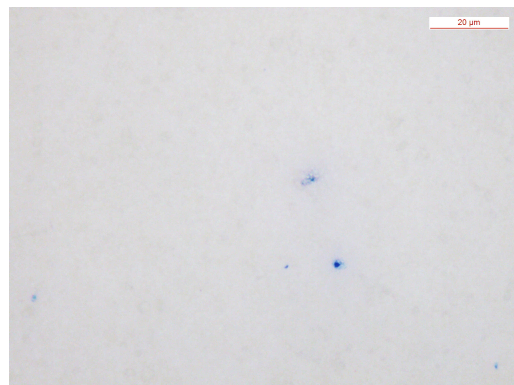
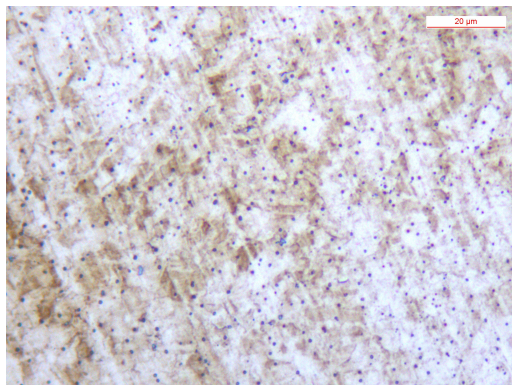
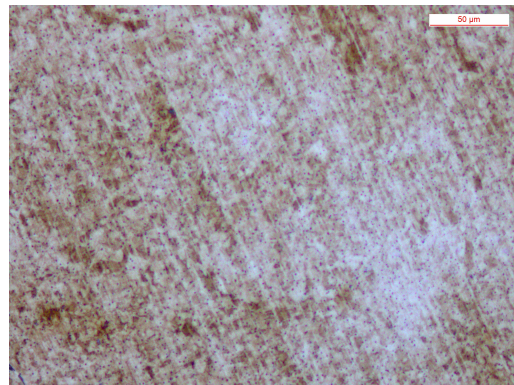
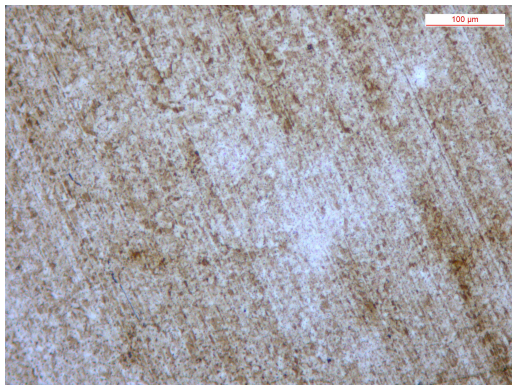
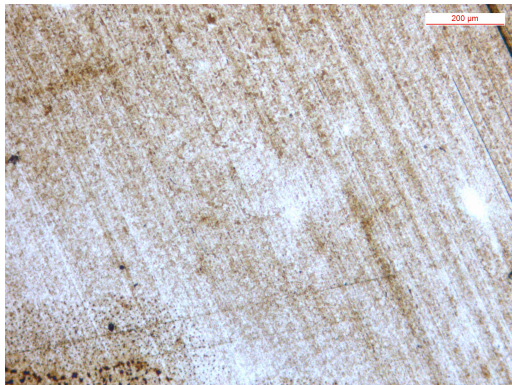
F 07-11 sezione rottura.



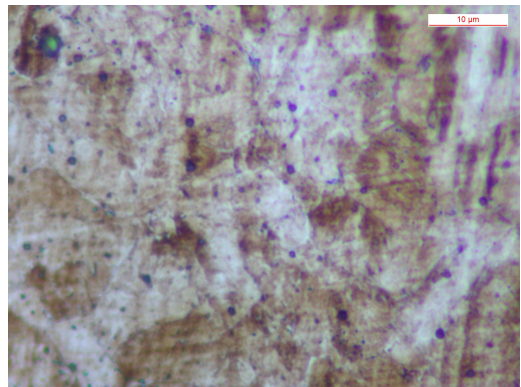
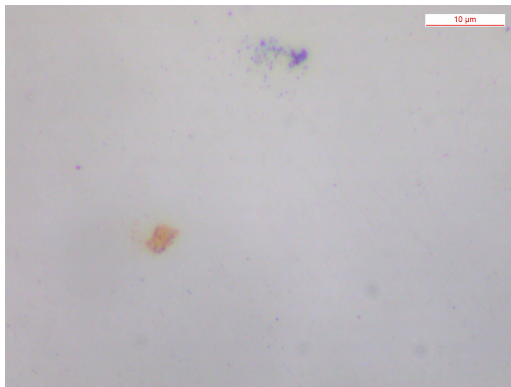
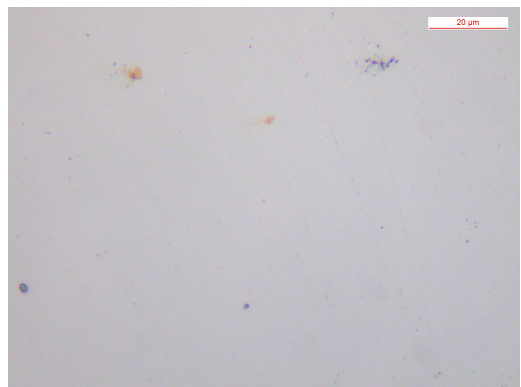
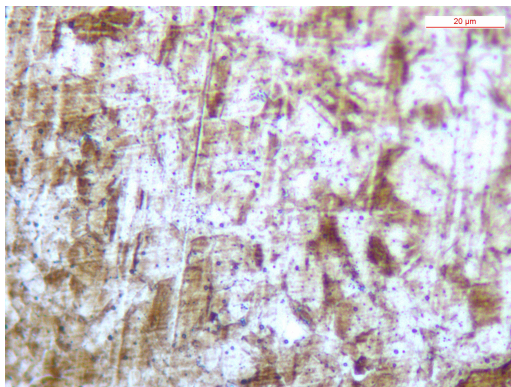
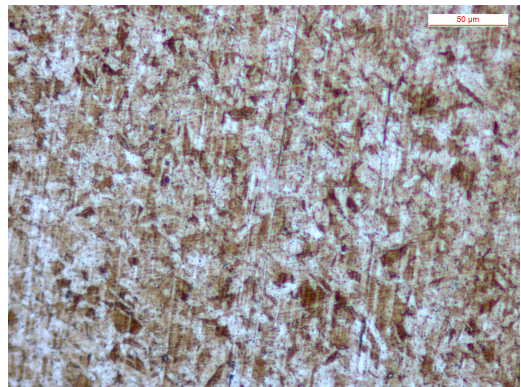
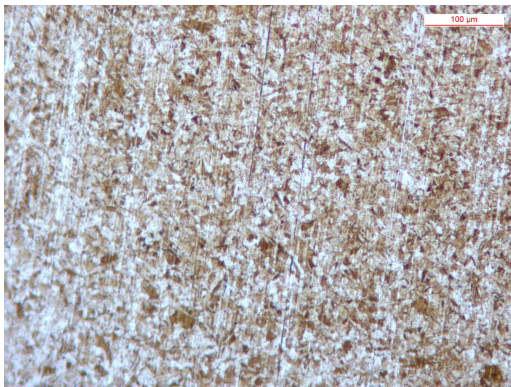
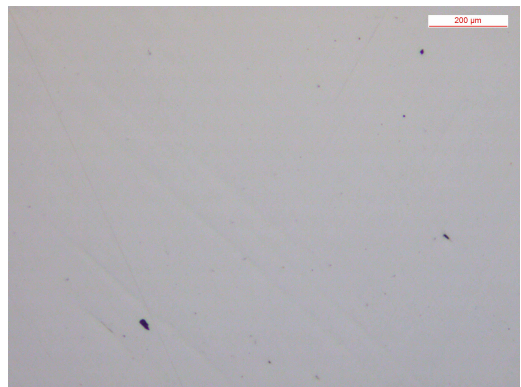
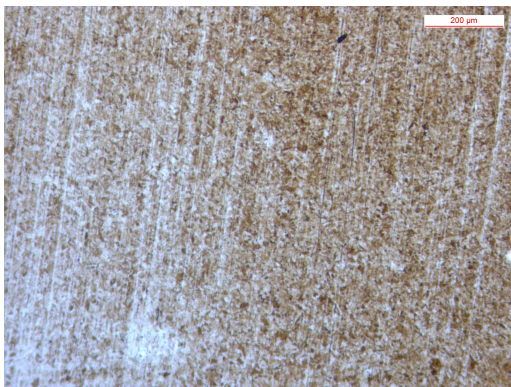
F 01-14 sezione 450 mm.



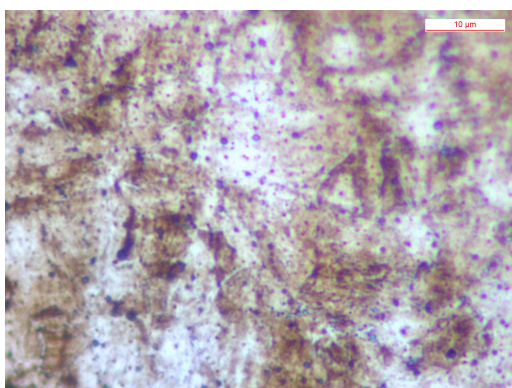
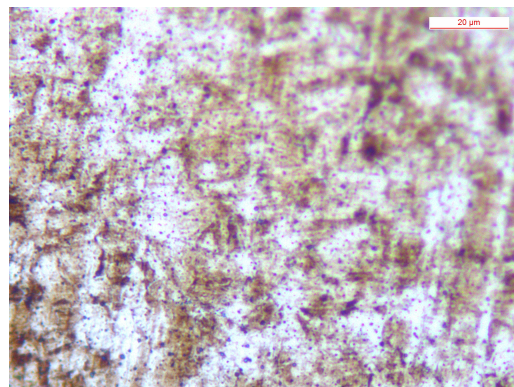
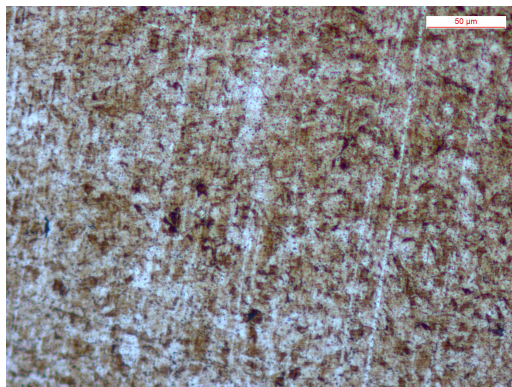
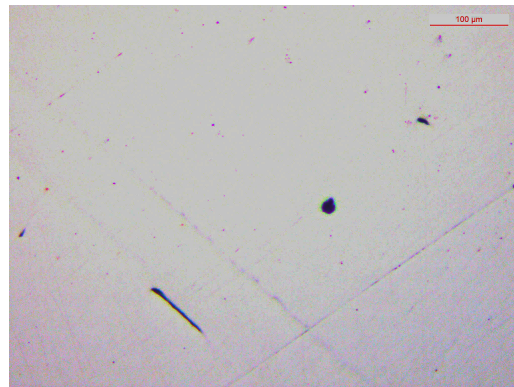
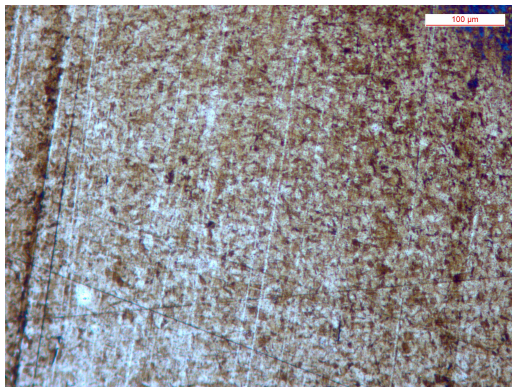
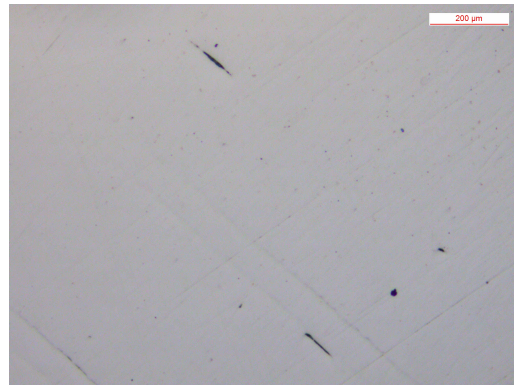
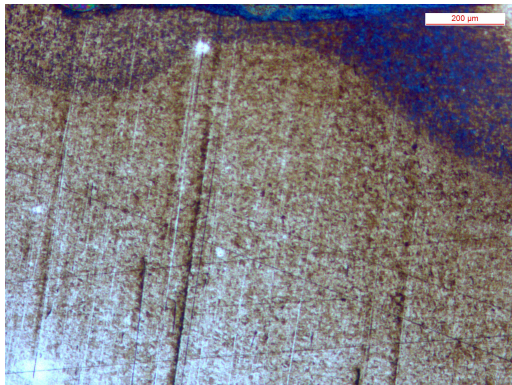
F 01-14 sezione rottura.



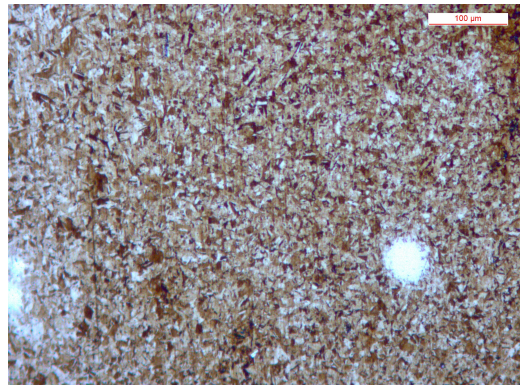
F 10-14 sezione 450 mm.



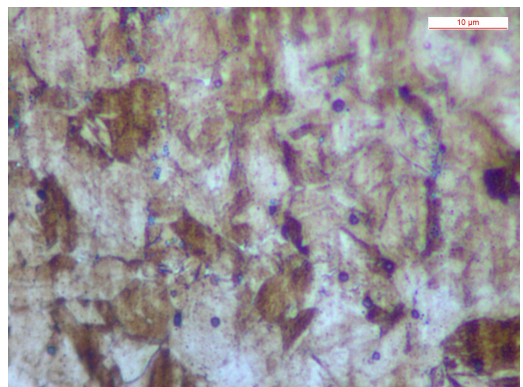
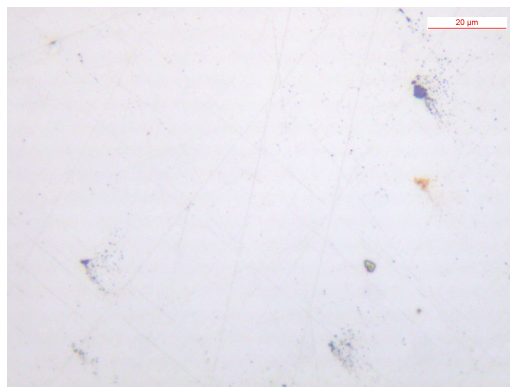
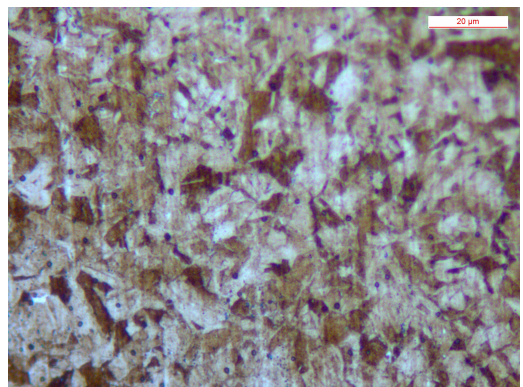
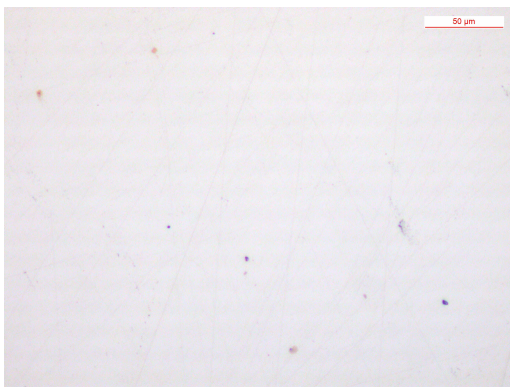
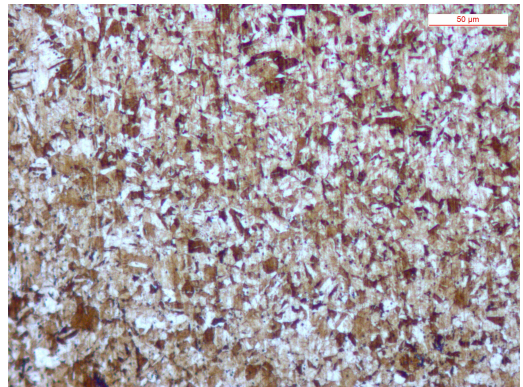
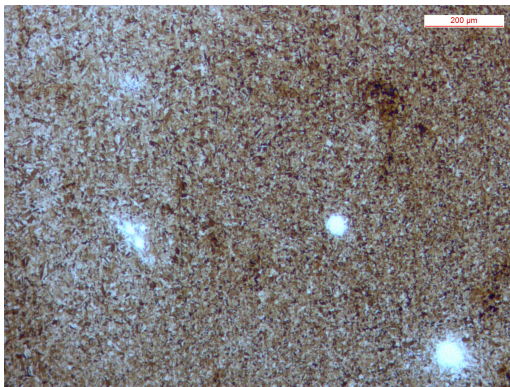
F 10-14 sezione 600 mm.



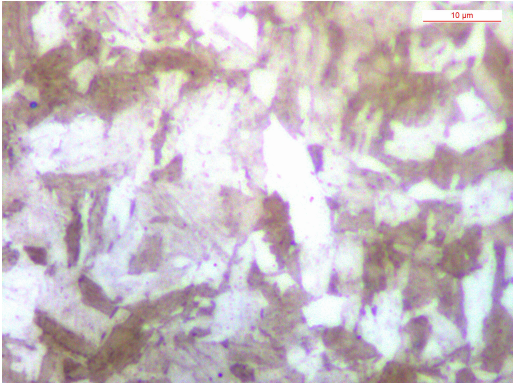
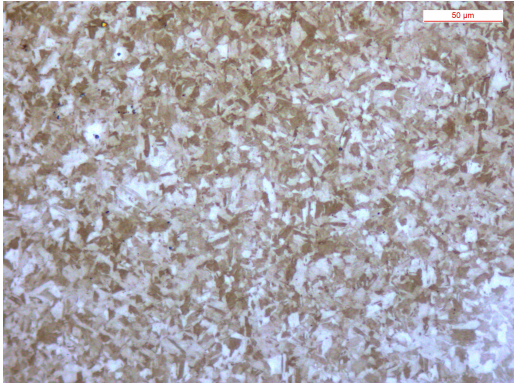
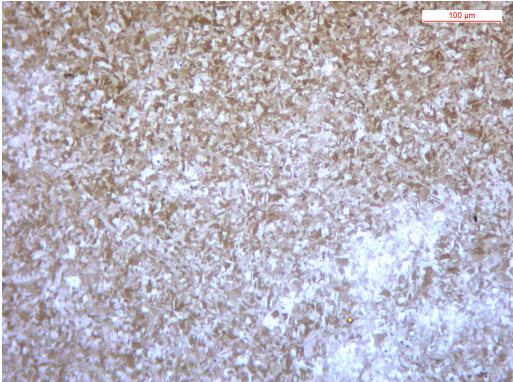
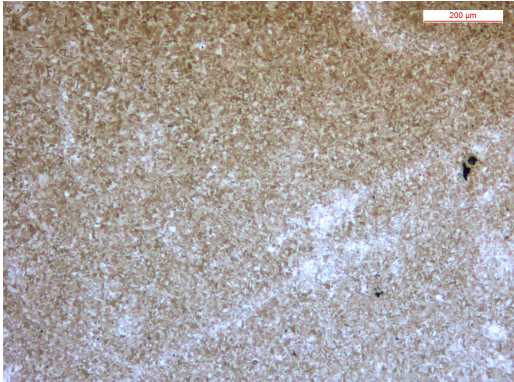
U 01-14 sezione 450 mm.



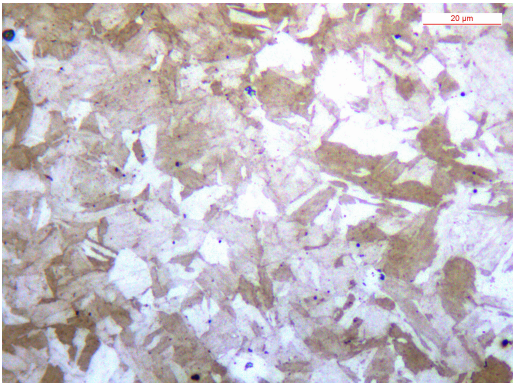
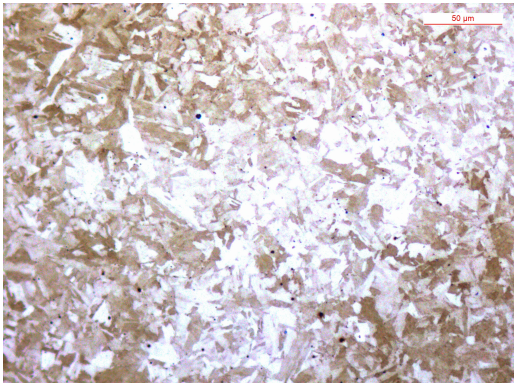
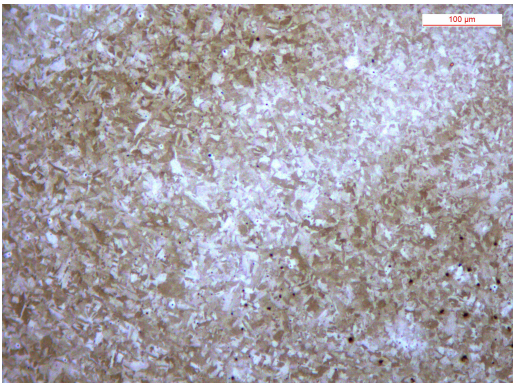
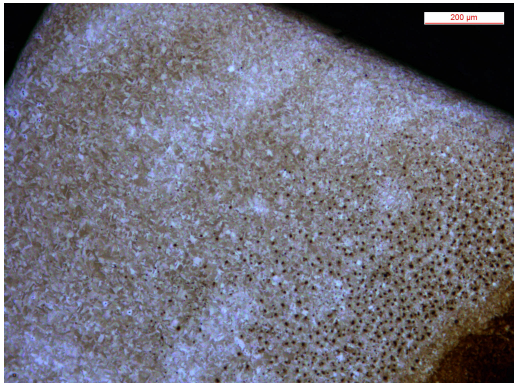
U 01-14 sezione rottura.

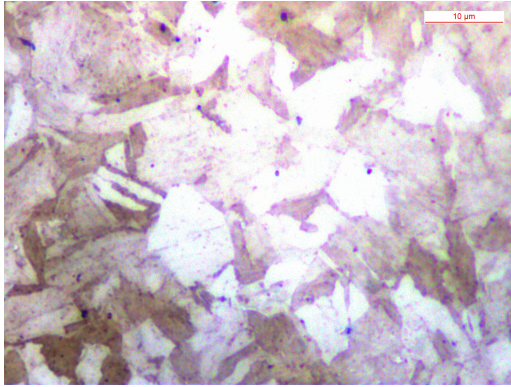


U 10-14 sezione 450 mm.

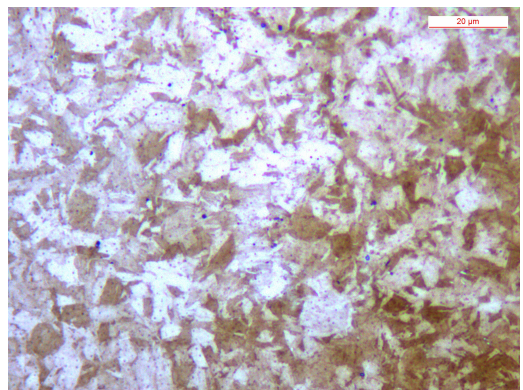
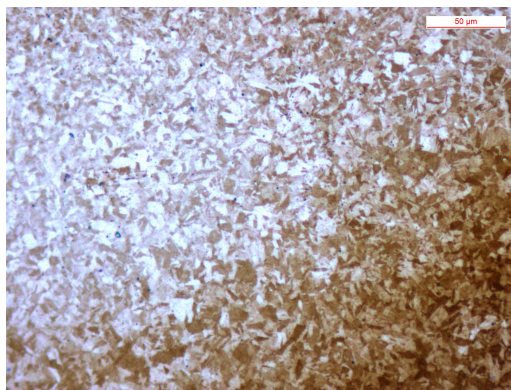
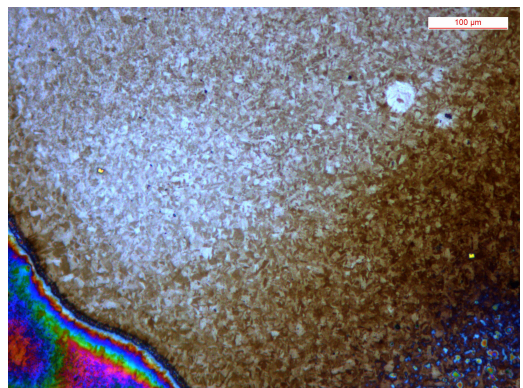
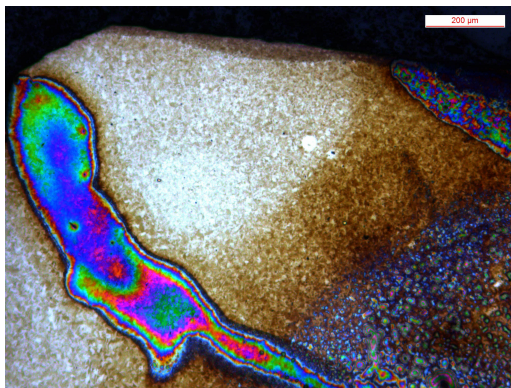


U 10-14 sezione 600 mm.

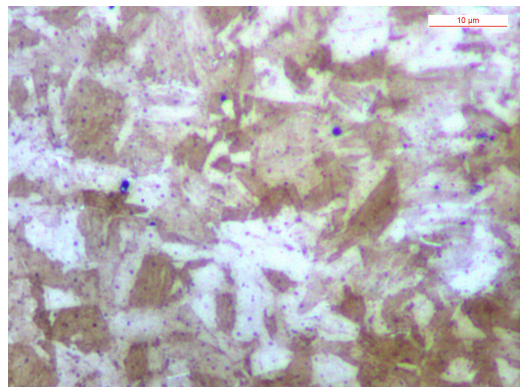
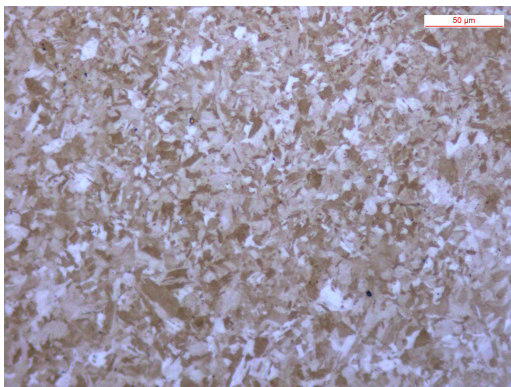


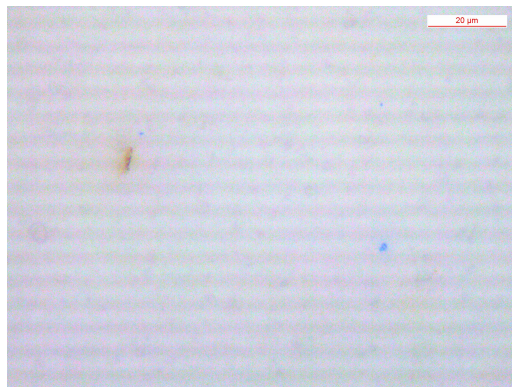
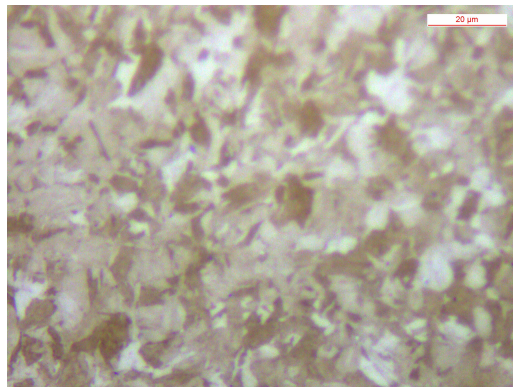
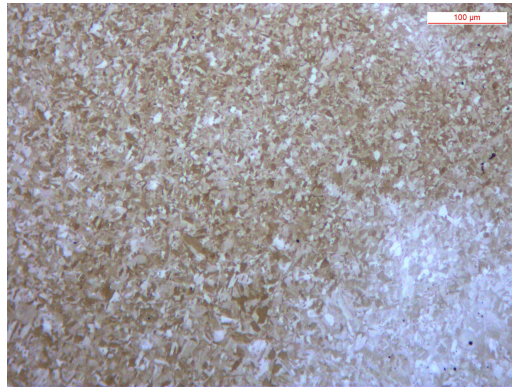
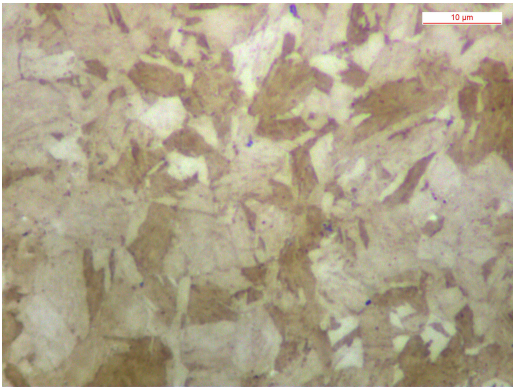
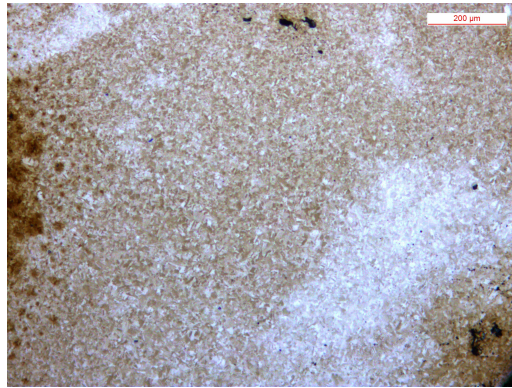
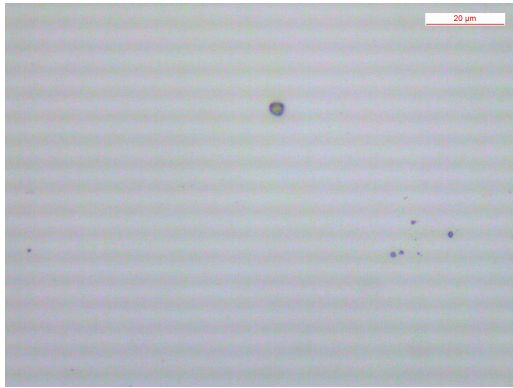


U 10-14 sezione 750 mm.

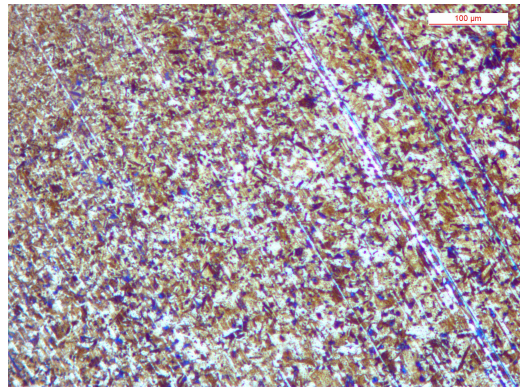
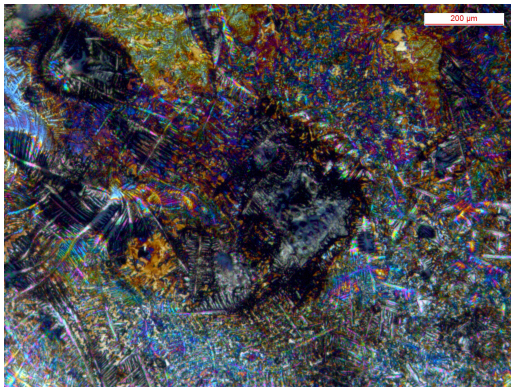


U 10-14 sezione rottura.

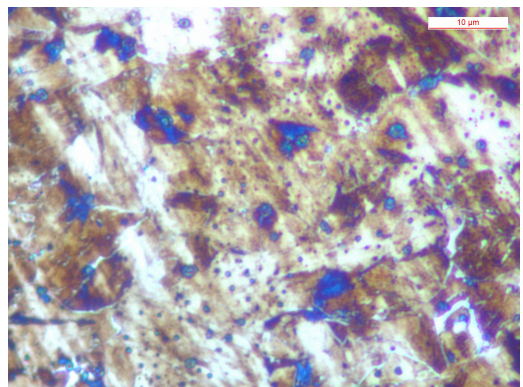
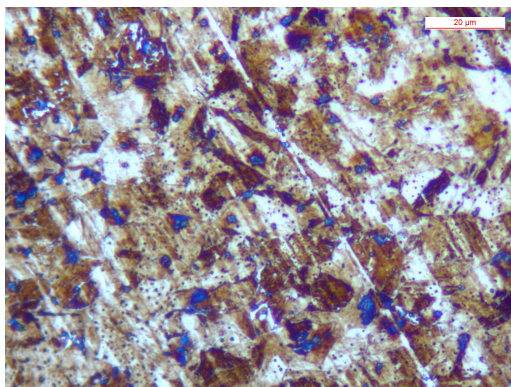
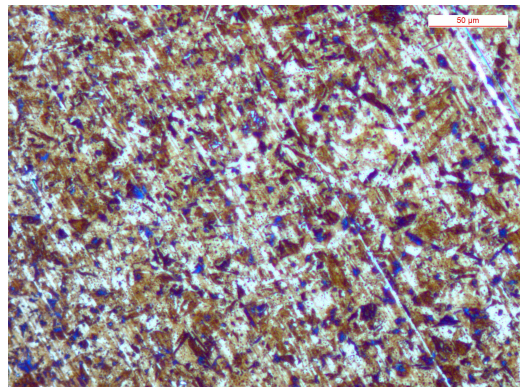
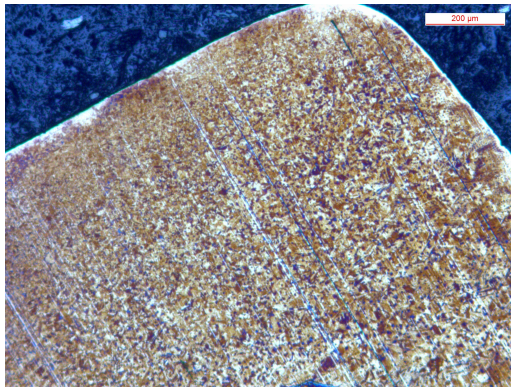




S 10-14 sezione 450 mm.

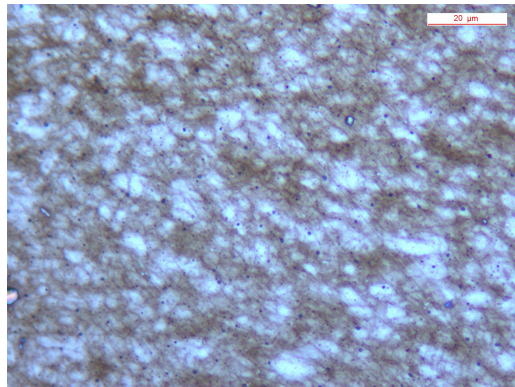
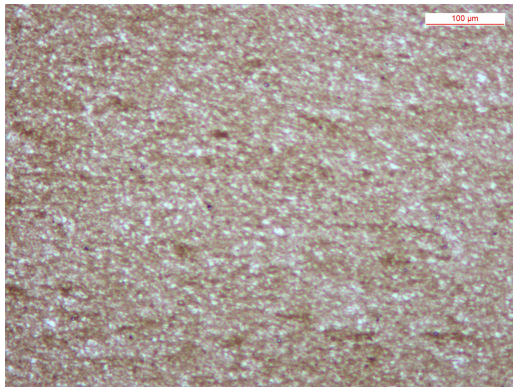
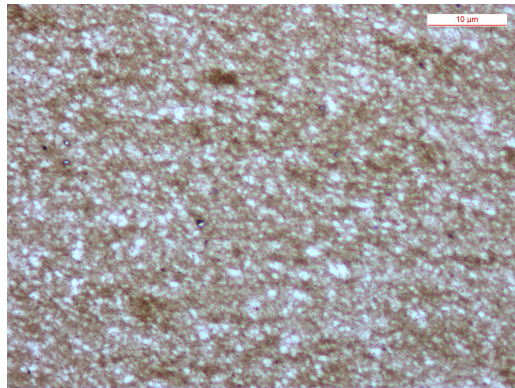
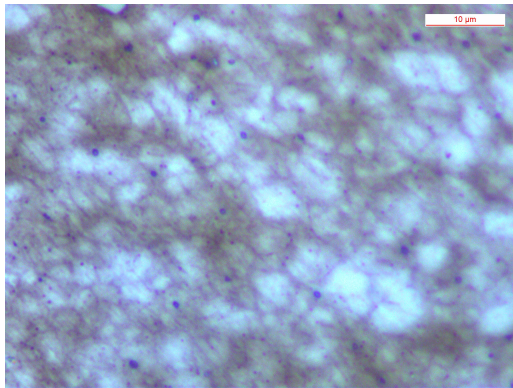
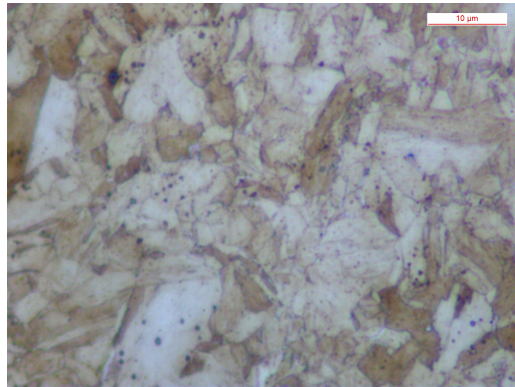


S 10-14 sezione 600 mm.

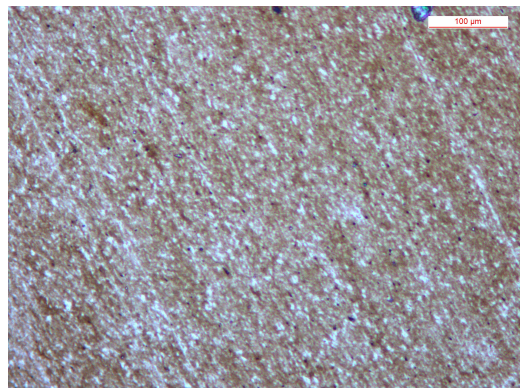
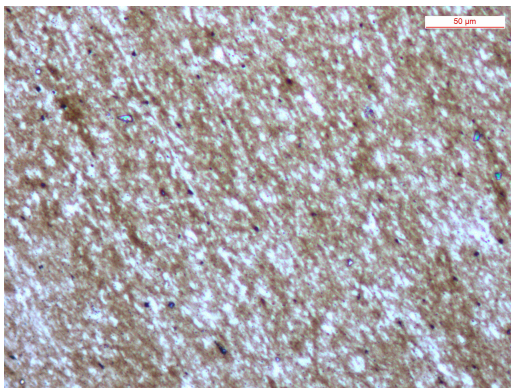
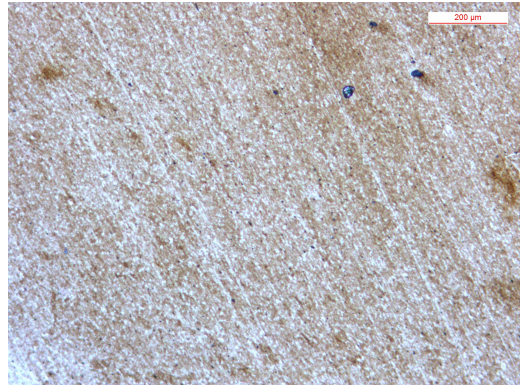
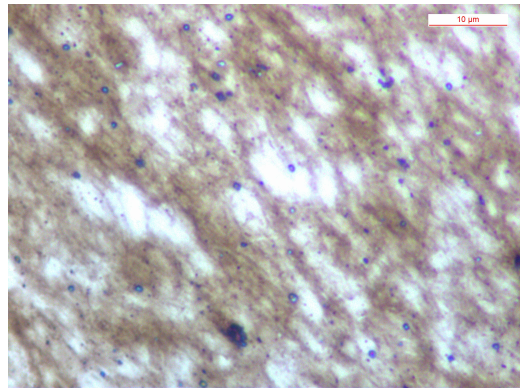
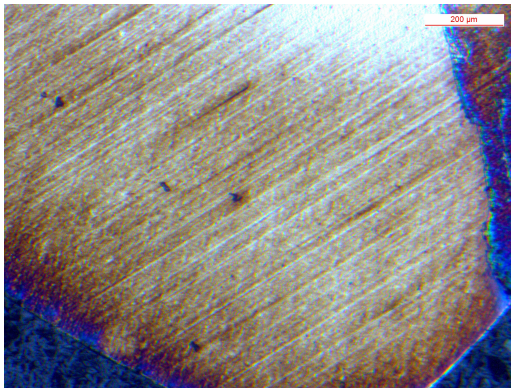




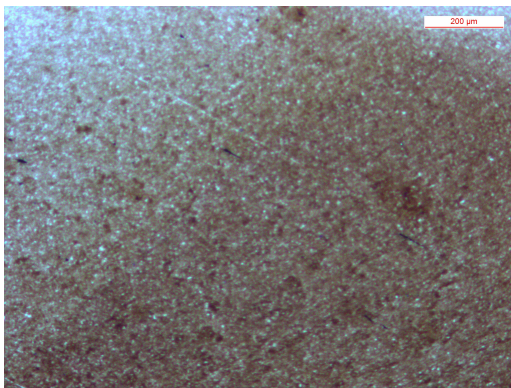
F 02-09 sezione 450 mm

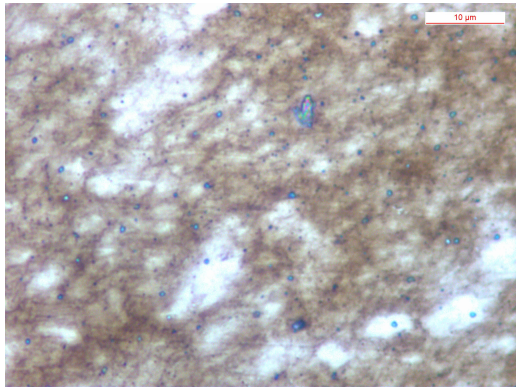
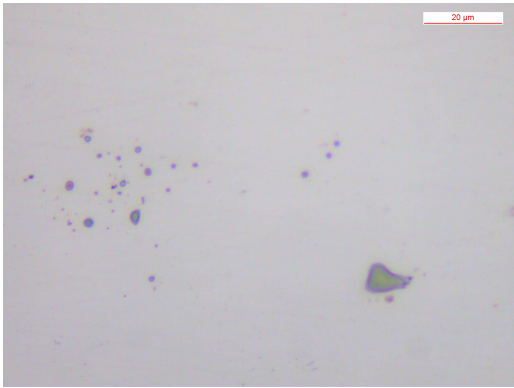
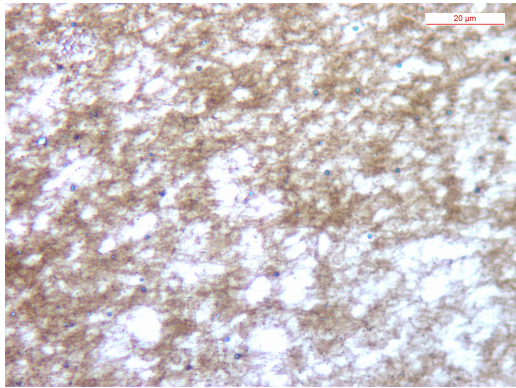
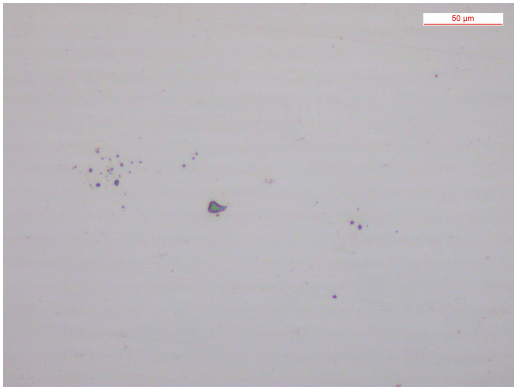
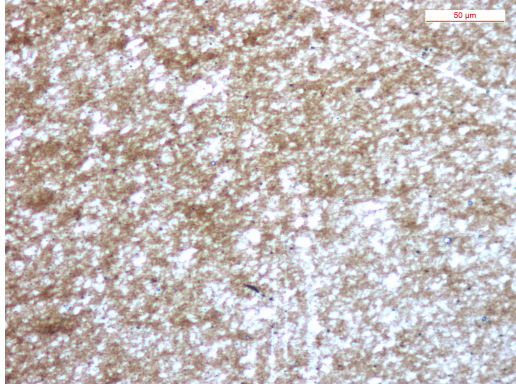
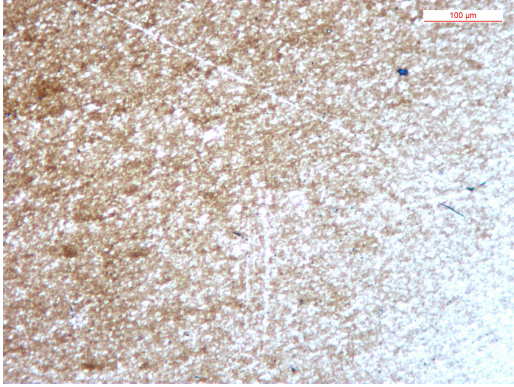


F 02-09 sezione 600 mm



F 02-09 sezione 750 mm





APPENDICE B: risultati completi dell'analisi chimica

Lama F 09-09

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,0067	0,0288	0,0091	0,0007	4,68	18,50	0,164	9,48	0,605	0,0157	66,00
	0,0263	0,0116		4,48	18,20	0,144	9,70	0,589	0,0172	66,40
	0,0276	0,0103		4,58	18,30	0,154	9,59	0,597	0,0164	66,20
<u>0,0067</u>	<u>0,0276</u>	<u>0,0103</u>	<u>0,0007</u>	<u>4,5800</u>	<u>18,33</u>	<u>0,1540</u>	<u>9,59</u>	<u>0,5970</u>	<u>0,0164</u>	<u>66,2</u>

Tabella B.1: risultati completi dell'analisi chimica della lama F 09-09.

Lama F 07-11

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,028	0,031	0,011	0,0013	4,37	18,30	0,125	9,50	0,589	0,018	66,60
	0,0323	0,012		4,62	17,90	0,122	9,48	0,608	0,0169	66,80
	0,0316	0,0115		4,5	18,10	0,124	9,49	0,599	0,0174	66,70
<u>0,028</u>	<u>0,0316</u>	<u>0,0115</u>	<u>0,0013</u>	<u>4,4967</u>	<u>18,10</u>	<u>0,1237</u>	<u>9,49</u>	<u>0,5987</u>	<u>0,0174</u>	<u>66,7</u>

Tabella B.2: risultati completi dell'analisi chimica della lama F 07-11.

Lama F 01-14

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,008	0,031	0,01	0,0007	4,58	17,6	0,142	9,65	0,623	0,017	67,00
	0,031	0,009		4,51	17,8	0,136	9,49	0,625	0,016	67,00
	0,031	0,01		4,54	17,7	0,139	9,57	0,624	0,017	67,00
<u>0,0075</u>	<u>0,0306</u>	<u>0,0096</u>	<u>0,0007</u>	<u>4,5433</u>	<u>17,70</u>	<u>0,1390</u>	<u>9,57</u>	<u>0,6240</u>	<u>0,0167</u>	<u>67</u>

Tabella B.3: risultati completi dell'analisi chimica della lama F 01-14.

Lama F 10-14

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,0038	0,0253	0,0087	0,00058	4,51	18,00	0,114	9,61	0,612	0,0154	66,70
	0,0264	0,0084		4,5	17,70	0,113	9,71	0,615	0,0164	66,80
	0,0259	0,0086		4,51	17,90	0,113	9,66	0,613	0,0159	66,80
<u>0,0038</u>	<u>0,0259</u>	<u>0,0086</u>	<u>0,0006</u>	<u>4,5067</u>	<u>17,87</u>	<u>0,1133</u>	<u>9,66</u>	<u>0,6133</u>	<u>0,0159</u>	<u>66,77</u>

Tabella B.4: risultati completi dell'analisi chimica della lama F 10-14.

Lama U 01-14

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,0069	0,0349	0,007	0,0012	4,61	17,70	0,129	9,33	0,631	0,0194	67,20
	0,0347	0,005		4,65	17,60	0,141	9,43	0,641	0,0188	67,10
	0,0348	0,005		4,63	17,60	0,135	9,38	0,636	0,0191	67,10
<u>0,0069</u>	<u>0,0348</u>	<u>0,0057</u>	<u>0,0012</u>	<u>4,6300</u>	<u>17,63</u>	<u>0,1350</u>	<u>9,38</u>	<u>0,6360</u>	<u>0,0191</u>	<u>67,13</u>

Tabella A.5: risultati completi dell'analisi chimica della lama U 01-14.

Lama U 10-14

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,020	0,0361	0,011	0,0012	4,59	17,70	0,118	9,51	0,627	0,0191	66,90
	0,0384	0,0098		4,53	17,80	0,114	9,36	0,634	0,0192	67,00
	0,0373	0,0104		4,56	17,70	0,116	9,43	0,631	0,0192	67,00
<u>0,020</u>	<u>0,0373</u>	<u>0,0104</u>	<u>0,0012</u>	<u>4,5600</u>	<u>17,73</u>	<u>0,1160</u>	<u>9,43</u>	<u>0,6307</u>	<u>0,0192</u>	<u>66,97</u>

Tabella A.6: risultati completi dell'analisi chimica della lama U 10-14.

Lama S 10-14

C	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Co	Ti	V	Fe (Balance)
0,0064	0,0493	0,0107	0,0005	4,49	17,90	0,106	9,54	0,605	0,017	66,90
	0,0488	0,0096		4,55	18,10	0,0984	9,52	0,608	0,0164	66,70
	0,0491	0,0101		4,52	18,00	0,102	9,53	0,606	0,0167	66,80
<u>0,0064</u>	<u>0,0491</u>	<u>0,0101</u>	<u>0,0005</u>	<u>4,5200</u>	<u>18,00</u>	<u>0,1021</u>	<u>9,53</u>	<u>0,6063</u>	<u>0,0167</u>	<u>66,8</u>

Tabella A.7: risultati completi dell'analisi chimica della lama S 10-14.

Lama F 02-09

C	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Fe (Balance)
0,320	0,566	0,0276	0,0230	0,897	0,0154	0,0924	0,04	0,021	97,40
	0,578	0,0238		0,902	0,0124	0,0812	0,03	0,0186	97,40
	0,572	0,0257		0,900	0,0139	0,0868	0,04	0,0198	97,40
<u>0,320</u>	<u>0,5720</u>	<u>0,0257</u>	<u>0,0230</u>	<u>0,8997</u>	<u>0,0139</u>	<u>0,0868</u>	<u>0,04</u>	<u>0,0198</u>	<u>97,40</u>

Tabella A.8: risultati completi dell'analisi chimica della lama F 02-09.

APPENDICE C: risultati completi dell'analisi di durezza

Sezione	450 mm	Pre-rottura 570 mm
	635 HV	635 HV
	643 HV	661 HV
	626 HV	661 HV
	626 HV	618 HV
	618 HV	618 HV
Media	630 HV	639 HV
Dev.Std	10 HV	22 HV

Tabella C.1: valori completi di durezza per la lama F 09-09

Sezione	450 mm	600 mm
	626 HV	618 HV
	618 HV	626 HV
	618 HV	618 HV
	618 HV	618 HV
	618 HV	626 HV
Media	620 HV	621 HV
Dev.Std	4 HV	4 HV

Tabella C.2: valori completi di durezza per la lama F 07-11

Sezione	450 mm	Pre-rottura 560 mm
	626 HV	635 HV
	626 HV	635 HV
	625 HV	626 HV
	618 HV	626 HV
	626 HV	618 HV
Media	624 HV	628 HV
Dev.Std	3 HV	7 HV

Tabella C.3: valori completi di durezza per la lama F 01-14

Sezione	450 mm	600 mm
	618 HV	635 HV
	626 HV	635 HV
	626 HV	626 HV
	618 HV	626 HV
	618 HV	618 HV
Media	621 HV	628 HV
Dev.Std	4 HV	7 HV

Tabella C.4: valori completi di durezza per la lama F 10-14

Sezione	450 mm	Rottura 480 mm
	626 HV	618 HV
	618 HV	626 HV
	626 HV	618 HV
	618 HV	626 HV
	618 HV	626 HV
Media	621 HV	623 HV
Dev.Std	4 HV	4 HV

Tabella C.5: valori completi di durezza per la lama U 01-14

Sezione	450 mm	600 mm	Rottura 730 mm	750 mm
	618 HV	626 HV	635 HV	635 HV
	626 HV	618 HV	626 HV	626 HV
	618 HV	626 HV	626 HV	626 HV
	610 HV	618 HV	618 HV	635 HV
	618 HV	626 HV	626 HV	626 HV
Media	618 HV	623 HV	626 HV	631 HV
Dev.Std	6 HV	4 HV	6 HV	7 HV

Tabella C.6: valori completi di durezza per la lama U 10-14

Sezione	450 mm	600 mm
	643 HV	635 HV
	618 HV	643 HV
	635 HV	635 HV
	626 HV	618 HV
	626 HV	643 HV
Media	630 HV	635 HV
Dev.Std	10 HV	10 HV

Tabella C.7: valori completi di durezza per la lama S 10-14

Sezione	450 mm	600 mm	750 mm
	579 HV	618 HV	626 HV
	571 HV	610 HV	618 HV
	536 HV	618 HV	618 HV
	571 HV	610 HV	618 HV
	564 HV	618 HV	618 HV
Media	564 HV	615 HV	620 HV
Dev.Std	17 HV	4 HV	4 HV

Tabella C.8: valori completi di durezza per la lama F 02-09

LISTA FIGURE

- *Figura 1.1* www.treccani.it, le tre diverse tipologie di armi (fioretto, sciabola e spada) e le tre differenti impugnature possibili (A francese, B anatomica e C italiana).
- *Figura 1.2*: scanalatura ad U presente per le lame da fioretto per consentire il passaggio del filo conduttivo.
- *Figura 1.3* Google, AG STEELS acciai speciali, Pdf “Acciai Maraging al 18% di nichel” pp. 7-8: andamento delle proprietà meccaniche di un acciaio maraging al variare della durata dell'invecchiamento.
- *Figura 2.1*: otto lame sottoposte ad analisi, nel loro stato iniziale, prima che fossero sottoposte a taglio con troncatrice. Si può notare una certa variabilità di lunghezza determinata da punti di rottura differenti.
- *Figura 2.2*: fioretto intero ed una lama smontata. I punti dove sono stati prelevati i saggi dalla lama sono indicati con delle frecce.
- *Figura 2.3*: parte iniziale della lama, comprensiva del codolo.
- *Figura 3.1*: sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si possono apprezzare due inclusioni di TiC e di TiN (pre-attacco).
- *Figura 3.2*: sezione di pre-rottura a 570 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si può apprezzare una inclusione di TiN (pre-attacco).
- *Figura 3.3*: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a bordo che a cuore della lama F 09-09 (dopo attacco).
- *Figura 3.4*: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base della lama F 09-09. Si può apprezzare la presenza di un'inclusione di TiN circondata dai grani austenitici e martensitici (dopo attacco).
- *Figura 3.5*: microstruttura della sezione di pre-rottura a 570 mm dalla base a cuore della lama F 09-09; sezione nella quale si può apprezzare la grana cristallina dell'acciaio maraging (dopo attacco).
- *Figura 3.6*: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare in totale 7 inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).

- *Figura 3.7: microstruttura della sezione di rottura a 650 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare in totale 11 inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.8: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 07-11 (dopo attacco).*
- *Figura 3.9: microstruttura della sezione di rottura a 650 mm dalla base a cuore della lama F 07-11; sezione nella quale si possono apprezzare i grani martensitici caratterizzati da una lunghezza di 10-15 micron (dopo attacco).*
- *Figura 3.10: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 01-14; sezione nella quale si può apprezzare un'inclusione di TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.11: microstruttura della sezione di pre-rottura a 560 mm dalla base a cuore della lama F 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC (pre-attacco).*
- *Figura 3.12: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base della lama F 01-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.13: microstruttura della sezione di pre-rottura a 560 mm dalla base a cuore della lama F 01-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.13: rappresenta la struttura della sezione di pre-rottura a 560 mm dalla base a cuore della lama; si può apprezzare il tipo di grana cristallina già riscontrato in altri casi.*
- *Figura 3.14: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 10-14; sezione nella quale si può apprezzare un'inclusione di TiN dalle caratteristiche già riscontrate in casi precedenti (pre-attacco).*
- *Figura 3.15: microstruttura della sezione di rottura a 600 mm dalla base a cuore della lama F 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.16: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 10-14 (dopo attacco).*

- *Figura 3.17: rappresenta la struttura della sezione a 600 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama F 10-14(dopo attacco).*
- *Figura 3.18: microstruttura della sezione di rottura a 450 mm dalla base a cuore della lama U 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.19: microstruttura della sezione di rottura a 480 mm dalla base a cuore della lama U 01-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.20: microstruttura della sezione di rottura a 480 mm dalla base a cuore della lama U 01-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.21: microstruttura della sezione di rottura a 730 mm dalla base a cuore della lama U 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare inclusioni di TiC e TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.22: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base sia a cuore che in prossimità del bordo della lama U 10-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.23: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama U 10-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.24: microstruttura della sezione a 750 mm dalla base a cuore della lama U 10-14 (dopo attacco).*
- *Figura 3.25: microstruttura della sezione di rottura a 710 mm dalla base a cuore della lama S 10-14; sezione nella quale si possono apprezzare 3 inclusioni di TiN (pre-attacco).*
- *Figura 3.26: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore della lama S 10-14; sezione nella quale si nota la grana cristallina già riscontrata in altri campioni (pre-attacco).*
- *Figura 3.27: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore ed in prossimità del bordo della lama S 10-14 (dopo attacco).*

- *Figura 3.28: microstruttura della sezione a 450 mm dalla base a cuore della lama F 02-09 (dopo attacco).*
- *Figura 3.29: microstruttura della sezione a 750 mm dalla base a cuore della lama F 02-09; si può apprezzare una struttura sorbitica(dopo attacco).*
- *Figura 3.30: microstruttura della sezione a 600 mm dalla base a cuore ed in prossimità del bordo della lama F 02-09 (dopo attacco).*
- *Figura 3.31: è rappresentato l'andamento della durezza media della lama F 09-09 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard della durezza.*
- *Figura 3.32: andamento della durezza media della lama F 07-11 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.33:andamento della durezza media della lama F 01-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.34:andamento della durezza media della lama F 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.35:andamento della durezza media della lama U 01-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.36:andamento della durezza media della lama U 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo) , compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza. Si può apprezzare un cambio di pendenza della curva di durezza media nel tratto finale della lama.*
- *Figura 3.37:andamento della durezza media della lama S 10-14 al variare della distanza dalla base (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.38:nella parte superiore rappresenta l'andamento della durezza media di*

tutte le lame maraging (tratto continuo) al variare della distanza dalla base, compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza (tratteggiato). Nella parte inferiore è segnalato il valore 604 HV₃₀

- *Figura 3.39: rappresenta l'andamento della durezza media della lama F 02-09 (tratto continuo), compreso nell'intervallo di oscillazione ricavato dalla deviazione standard del valore di durezza.*
- *Figura 3.40: andamento del valore medio di durezza di ogni lama analizzata al variare della distanza dalla base.*

LISTA TABELLE

- *Tabella 1.1, Federazione Italiana Scherma, Pdf “Regolamento dei materiali”, pp. 33.: i valori delle proprietà meccaniche minime che deve possedere un acciaio per lame da scherma secondo il regolamento FIE.*
- *Tabella 1.2, Federazione Italiana Scherma, Pdf “Regolamento dei materiali”, pp. 35:valori percentuali limite sulla composizione chimica di un acciaio maraging per lame da scherma secondo il regolamento FIE.*
- *Tabella 1.3, MatWeb, “AISI 4130 Steel”: valori percentuali limite sulla composizione chimica affinché un acciaio possa essere considerato un AISI 4130 bonificato.*
- *Tabella 1.4, MatWeb, “AISI 4130 Steel”: valori delle proprietà fisiche e meccaniche che caratterizzano un acciaio AISI 4130 bonificato.*
- *Tabella 1.5, MatWeb, “Overview of materials for Maraging Steels”: valori delle proprietà fisiche e meccaniche che caratterizzano generalmente gli acciai maraging.*
- *Tabella 1.6, MatWeb, “Special Metals UDIMAR® 300 (UNS K93120) alloy 300 Fe-Ni Maraging Steels”: limiti delle percentuali degli elementi chimici presenti nella lega maraging denominata UDIMAR® 300 (UNS K93120).*
- *Tabella 1.7, Google, AG STEELS acciai speciali, Pdf “Acciai Maraging al 18% di nichel” pp. 7-8 : valori percentuali limite degli elementi chimici presenti nella composizione dell'acciaio Maraging 300.*
- *Tabella 1.8, Google, AG STEELS acciai speciali, Pdf “Acciai Maraging al 18% di nichel” pp. 7-8: valori delle proprietà meccaniche del Maraging 300, al variare della temperatura di prova, per saggi solubilizzati per un'ora a 815°C, raffreddati all'aria ed invecchiati per 3 ore a 480 °C.*
- *Tabella 3.1: analisi chimica delle otto lame analizzate(%pond.).*
- *Tabella 3.2: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 09-09.*
- *Tabella 3.3: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 07-11.*
- *Tabella 3.4: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 01-14.*

- *Tabella 3.5: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 10-14.*
- *Tabella 3.6: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama U 01-14.*
- *Tabella 3.7: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama U 10-14.*
- *Tabella 3.8: valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama S 10-14.*
- *Tabella 3.9: contiene i valori di durezza media e deviazione standard registrati nelle differenti sezioni della lama F 02-09.*