

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**SEDE DECENTRATA DI VICENZA**



*FACOLTÀ DI INGEGNERIA*  
*Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali*  
*CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA*



**TESI DI LAUREA**

**RULLO "SPONGE ROLLER BID59":  
ANALISI DEL CICLO PRODUTTIVO E DELLE  
PROBLEMATICHE DI UTILIZZO**

**RELATORE: CH.MO PROF. FRANCO BONOLLO**

**LAUREANDO: MARCO PONZO**

**ANNO ACCADEMICO 2011/2012**

# INDICE

## 1 – INTRODUZIONE

## 2 – STAMPA DIGITALE

2.1 – TECNOLOGIA IP e NIP

2.2 – TIPOLOGIE DI STAMPA NON A IMPATTO

2.3 – VISIONE GENERALE DEL PROCESSO ELETTROGRAFICO

## 3 – PROCESSO MODERNO DI STAMPA ELETTROGRAFICA

3.1 – GENERAZIONE DELL'IMMAGINE LATENTE

3.2 – SVILUPPO DELL'IMMAGINE LATENTE

3.3 – TRASFERIMENTO DELL'IMMAGINE LATENTE

## 4 – RULLO 'SPONGE ROLLER BID59'

4.1 – POSIZIONE E CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL RULLO

4.2 – DISEGNI DI PRODUZIONE DEL RULLO

4.3 – MATERIE PRIME

4.3.1 – ANIMA

4.3.2 – SPUGNA

4.3.3 – COLLA

4.4 – CICLO DI PRODUZIONE

4.4.1 – TORNITURA ALBERO

4.4.2 – RADDRIZZATURA ALBERO

4.4.3 – TRATTAMENTO DI TEMPRA ALBERO

4.4.4 – RETTIFICA ALBERO

4.4.5 – LAVAGGIO ALBERO

4.4.6 – TRATTAMENTO BRUNITURA ALBERO

4.4.7 – SABBIAATURA ALBERO

4.4.8 – FORATURA SPUGNA

- 4.4.9 – ASSEMBLAGGIO E INCOLLAGGIO ALBERO + SPUGNA
- 4.4.10 – PRERETTIFICA, INTESTATURA E RETTIFICA DI FINITURA SPUGNA
- 4.4.11 – PULITURA TESTATE E LUCIDATURA
- 4.4.12 – CONTROLLI FINALI
- 4.4.13 – IMBALLAGGIO SPEDIZIONE

## **5 – ANALISI DELL'ALBERO 'SPONGE ROLLER BID59'**

### 5.1 – PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

- 5.1.1 – TAGLIO
- 5.1.2 – INGLOBAMENTO A CALDO
- 5.1.3 – PRELEVIGATURA E PULITURA

### 5.2 – ANALISI SPETTROGRAFICA

- 5.2.1 – PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLO SPETTROMETRO
- 5.2.2 – PROCEDURA DI ANALISI
- 5.2.3 – CONCLUSIONI ANALISI SPETTROGRAFICA

### 5.3 – ANALISI MICROGRAFICA

- 5.3.1 – ANALISI MICROGRAFICA DELLE INCLUSIONI
- 5.3.2 – ATTACCO METALLOGRAFICO
- 5.3.3 – ANALISI MICROGRAFICA DEL GRANO CRISTALLINO

### 5.4 – PROFILO DI DUREZZA

- 5.4.1 - PROVA DI MICRODUREZZA VICKERS
- 5.4.2 - PROVA DI MACRODUREZZA ROCKWELL

### 5.5 – PROFILO DI RUGOSITÀ

## **6 – CONCLUSIONI**

## **7 – BIBLIOGRAFIA**

## **8 – RINGRAZIAMENTI**

## 1 – INTRODUZIONE

Come argomento di tesi ho scelto di raccontare il percorso di “vita” di un prodotto dell’azienda meccanica in cui lavoro. A partire dai disegni di progettazione passando per la produzione sino ad arrivare all’utilizzo effettivo del pezzo in macchina, approfondendo anche le caratteristiche chimiche e metallurgiche.

Trattasi di un rullo costituito da un’anima di metallo rivestita da un tubo di spugna.

Si può essere indotti a credere che un prodotto di questo tipo non richieda approfondimenti meccanici particolari. La realtà invece dimostra che l’articolo in esame, denominato “*Sponge Roller Bid59*”, è un componente meccanico di alta qualità, destinato al mercato della stampa digitale industriale e commerciale. Le stampe moderne richiedono un’elevata precisione grafica e di conseguenza le stampanti, soprattutto quelle per grossa produzione, esigono componenti precisi e all’avanguardia per poter riprodurre fino a 30 mila stampe di alta qualità all’ora.



Figura 1.1 – particolare del rullo “Sponge Roller Bid59”

Essenzialmente la tesi è divisa in due parti.

La **prima parte** descrive il processo di produzione e l'utilizzo in macchina del componente.

Inizia introducendo la collocazione di mercato ove il rullo è inserito, quello della stampa digitale non a contatto, in particolare della stampa elettrografica, un processo articolato che sfrutta la fotoconduttività dei componenti che lo costituiscono.

Si passa poi a descrivere nel dettaglio la stampante industriale che usufruisce del nostro rullo. Si analizzano tutti i componenti costituenti il "cuore" tecnologico di questo macchinario, passando in rassegna le tre fasi principali di produzione della stampa, dalla generazione dell'immagine latente, allo sviluppo e al trasferimento su carta della stessa. Si conosceranno le funzionalità degli altri componenti che assieme allo "*Sponge Roller Bid59*" permettono il funzionamento della macchina, quali il principale pip drum, l'unità caricatrice Scorotron, il raggio laser che scarica le zone interessate del pip drum per formare l'immagine latente, i vari rulli di trasferimento dell'immagine, la stazione di pulitura. Approfondiremo anche la composizione del particolare inchiostro chiamato Working Dispersion Ink, costituito da particelle colorate elettricamente cariche e dal liquido isolante all'interno del quale esse si trovano.

Ci si soffermerà in particolare sull'unità Bid, dove appunto il nostro rullo assume un ruolo fondamentale, cioè quello di trasferire la soluzione d'inchiostro liquido al grosso cilindro centrale (pip drum) dove il laser ha "disegnato" l'immagine latente.

Lo "*Sponge Roller Bid 59*" è costituito da un'anima in acciaio che possiede tutte le caratteristiche meccaniche pretese da un rullo di precisione, quali robustezza, resistenza a fatica, resistenza all'abrasione nelle zone dei vincoli, scostamenti lungo l'asse non superiori a 5 µm. Quest'anima è rivestita da un cilindro di materiale espanso a celle aperte che ha il compito specifico di trasferire la quantità d'inchiostro ottimale, né troppa, né troppo poca, oltre ad essere rettificata ad un diametro ben definito e preciso al centesimo di millimetro.

Si entra quindi all'interno dell'azienda produttrice del rullo per approfondire tutto il ciclo di lavorazione dell'anima e della spugna, a partire dalla fornitura della materia prima sino ad

arrivare al montaggio finale. Senza dimenticare di passare in rassegna i disegni dell'ufficio tecnico, evidenziando le misure e le tolleranze più delicate.

Le lunghe barre in acciaio CK45E di diametro 10 mm vengono tagliate, lavate, raddrizzate, tornite, rettificate, trattate e sabbiate. I blocchi di spugna vengono forati. Dopo che i due componenti sono stati incollati e assemblati si passa alla rettifica della spugna per portare il rullo alla sua configurazione finale.

Ultimo gradino di produzione prima della spedizione, ma non meno importante, è il momento in cui i pezzi vengono accertati con l'ausilio dei più moderni strumenti di controllo.

La **seconda parte** della tesi tratta invece dell'analisi chimica e metallurgica effettuata su frammenti dell'albero d'acciaio, corrispondenti a momenti produttivi diversi.

Lo studio è stato realizzato con l'ausilio della strumentazione a disposizione del laboratorio di metallurgia, presso la sede di Ingegneria di Vicenza.

E' stato anzitutto seguito il processo di creazione dei campioni MetaLog, dal taglio alla lucidatura, passando per l'inglobamento in resina. I campioni sono stati inizialmente analizzati allo spettrografo per verificarne la composizione, poi sono state visionate le micrografie tramite microscopio ottico. Questi ingrandimenti hanno dimostrato visivamente il modo che hanno i trattamenti di modificare la struttura cristallina, in particolar modo il trattamento di tempra a induzione e di brunitura.

Successivamente sono stati effettuati i profili di micro e macro durezza che hanno decretato l'effettivo rafforzamento del pezzo in seguito a trattamento di tempra.

Concludendo è stato eseguito il profilo di rugosità sulla superficie lavorata, poi su quella brunita ed infine su quella sabbiata che ha chiaramente dato i valori di Ra più alti.

Alla fine avremo quindi passato in rassegna tutte le fasi produttive dello "*Sponge Roller Bid59*", approfondendone l'impiego effettivo, iniziando con l'introdurre la tecnologia di stampa digitale elettrografica. L'analisi in laboratorio dimostrerà gli effetti dei trattamenti termici e delle lavorazioni meccaniche, oltre a confermare la composizione chimica del materiale in esame.

## 2 – STAMPA DIGITALE

Nella stampa digitale sono inclusi tutti quei procedimenti ove la copia è ottenuta attraverso processi elettronici. Tali procedure sono molteplici e si differenziano sia per la tecnologia che per il tipo di inchiostro utilizzato.

La qualità della stampa digitale si è progressivamente alzata con il passare degli anni. A partire dalle prime stampanti ad aghi negli anni '70 con tecnologia esclusivamente ad impatto (IP), procedendo con le innovative, per agli anni '80, stampanti a getto d'inchiostro che hanno poi avuto enorme diffusione, giungendo alle stampe ottenute tramite raggio laser.

Questo capitolo introdurrà genericamente le due grandi divisioni tecnologiche della stampa digitale IP e NIP, soffermandosi in particolare sulla seconda e sul processo di stampa elettrografica, la cui tecnologia, attualizzata, è il fondamento su cui si basa la moderna stampa commerciale e industriale.

### 2.1 - TECNOLOGIA IP e NIP

Le svariate soluzioni per la stampa offerte dalla tecnologia dalla fine dell'Ottocento ad oggi rientrano nell'uno o nell'altro di questi due grandi filoni tecnologici:

- **Tecnologia a impatto (IP o Impact Printing)** prevede la stampa del carattere attraverso punzoni che imprimono direttamente il carattere sulla carta. I caratteri possono essere impressi in forma compiuta (stampa "a carattere") oppure riprodotti come insieme di punti (stampa "a matrice di punti" o ad aghi o dot matrix).
- **Tecnologia non a impatto (NIP o Non Impact Printing)** realizza la stampa senza diretta pressione sulla superficie da stampare, utilizzando varie soluzioni, dalla termica all'elettrofotografica (laser), passando per quelle a getto d'inchiostro (o inkjet).

La tecnologia a impatto nasce essenzialmente con le macchine da scrivere ed è basata su soluzioni di tipo meccanico, per poi progredire con l'arrivo dell'elettromeccanica e dell'elettronica. Fino agli anni '70 è la tecnologia predominante. Agli inizi degli anni '80, con i primi personal computer commerciali, si ha lo sviluppo e l'espansione della stampa digitale e di conseguenza le stampanti a tecnologia non a impatto si affermano sul mercato facendo leva sulle doti di grande flessibilità, silenziosità, qualità e in seguito anche facilità nell'uso del colore.

## 2.2 - TIPOLOGIE DI STAMPA NON A IMPATTO

Nella stampa *NIP* (non a impatto) esistono tre sottogruppi tecnologici:

- **La tecnologia termica:** lo sviluppo di questa tecnologia inizia, come già detto, negli anni '70. Le testine di stampa sono formate da un insieme di piccole resistenze elettriche percorse da corrente che scaldandosi riproducono il carattere o l'immagine senza impatto meccanico sulla superficie di stampa. Il meccanismo è elettronico e la stampa può avvenire in modalità "seriale" (una lettera per volta) o "parallela" usata specialmente nei fax (una riga per volta grazie a una testina larga quanto l'intera pagina). L'impressione del carattere può avvenire secondo diverse metodologie che qui non verranno approfondite.
- **La tecnologia a getto d'inchiostro (o inkjet):** ha avuto uno straordinario successo nel personal printing e lascia intravedere interessanti possibilità di sviluppo anche in settori diversi da quello della stampa. Questa tecnologia utilizza un inchiostro liquido che viene "sparato" sottoforma di piccolissime gocce sul foglio di carta e più in generale su diverse superfici di stampa. Il congegno di stampa è formato da un serbatoio per l'inchiostro e una testina con numerosi ugelli da cui le gocce di inchiostro fuoriescono a getto continuo o a richiesta.
- **La tecnologia elettrofotografica:** verrà introdotta nel prossimo paragrafo.



### 2.3 – VISIONE GENERALE DEL PROCESSO ELETTROGRAFICO

La stampa elettrografica deriva direttamente dalla xerografia, inventata dal fisico americano Chester Carlson nel 1938, brevettata il 6 ottobre 1942. Essenzialmente si tratta di un processo di stampa a secco basato sul principio della fotoconduttività.

Il cuore del processo elettrofotografico è il tamburo fotoconduttore di alluminio (drum) rivestito da uno strato di selenio che diventa conduttore nei punti in cui viene illuminato. Il tamburo viene caricato elettrostaticamente e poi colpito in modo selettivo da un raggio di luce laser ( figura 2.1, disegni 1 e 2). I punti illuminati perdono parte della loro carica in funzione dell'intensità di illuminazione formando un'immagine elettrostatica, copia della figura da stampare.

Il trasferimento dell'immagine sul foglio di carta avviene grazie al toner, una fine polvere secca di materiali sintetici e pigmenti ( figura 2.1, disegno 3).

Quando il tamburo giunge a contatto con il foglio, il toner è attratto sulla carta dalle zone cariche del tamburo ( figura 2.1, disegno 4). Con il successivo processo di fissaggio il foglio passa sotto un rullo riscaldato che fonde il toner facendolo aderire alla carta, stabilizzando l'immagine stampata. Il tamburo prosegue la sua corsa attraverso una sezione dove viene scaricato e ripulito dal toner residuo da una lama di pulizia, pronto per ricominciare.

Ora in sostituzione del toner si utilizzano inchiostri liquidi e densi, caricati elettrostaticamente.

Abbiamo inteso in questo secondo capitolo la differenza che intercorre tra le due grandi famiglie di stampa NIP e IP e in particolare le principali tecnologie sfruttate nella stampa non a impatto. Tra queste ci siamo soffermati sul principio di funzionamento su cui si basa la stampa elettrografica, derivante dall'antico processo di xerografia, la cui evoluzione moderna rappresenta oggi il "non plus ultra" tecnologico nelle grandi stampe su carta industriali e commerciali, come vedremo appunto nel prossimo capitolo.

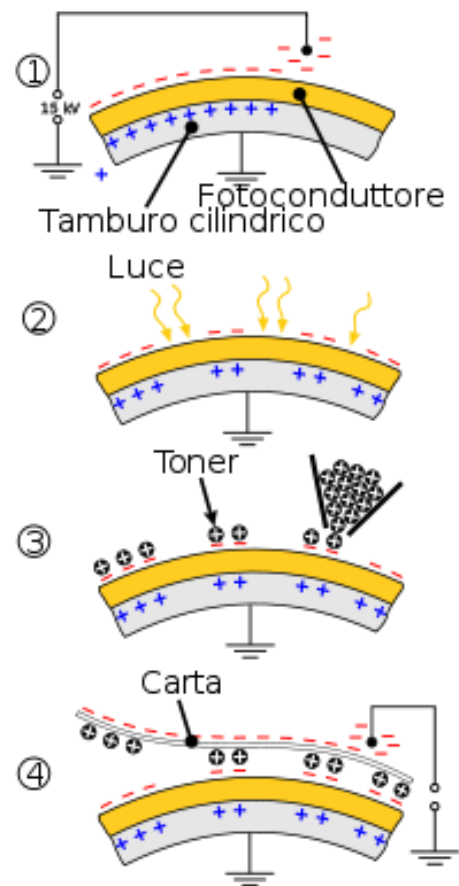


Figura 2.1

### 3 – PROCESSO MODERNO DI STAMPA ELETTROGRAFICA

Negli ultimi 15 anni la stampa elettrografica classica si è adeguata alle nuove tecnologie, i laser si sono fatti sempre più precisi e la produzione sempre più ampia ed esigente. Invece del toner si utilizzano inchiostri liquidi ed elettro-sensibili.

All'avanguardia tecnologica c'è la stampante digitale commerciale prodotta da una nota azienda del settore, schematizzata nel disegno in figura 3.1.

La sua capacità produttiva è di circa 30 mila pagine all'ora, con una risoluzione che raggiunge i 1219 dpi. E' chiaro che numeri del genere richiedono un'alta tecnologia e una gamma di componenti di massima qualità.



Figura 2.0

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Feeder                        | 8. Perfector                     |
| 2. High-speed laser writing head | 9. Ink cabinet                   |
| 3. Charge roller                 | 10. Vision System                |
| 4. Photo Imaging Plate (PIP)     | 11. Proof tray                   |
| 5. Binary Ink Developers (BIDs)  | 12. Stacker                      |
| 6. Blanket                       | 13. Imaging Oil Recycling System |
| 7. Impression cylinder           |                                  |

In figura 3.1 è sommariamente rappresentato il cuore tecnologico di questa stampante commerciale, il sito in cui avviene l'effettiva trasformazione dei dati digitali in ingresso in fogli stampati in altissima risoluzione.

Le principali fasi di lavorazione per arrivare alla stampa finale sono le seguenti:

- a) *Generazione dell'immagine latente*
- b) *Sviluppo dell'immagine latente*
- c) *Trasferimento dell'immagine latente*

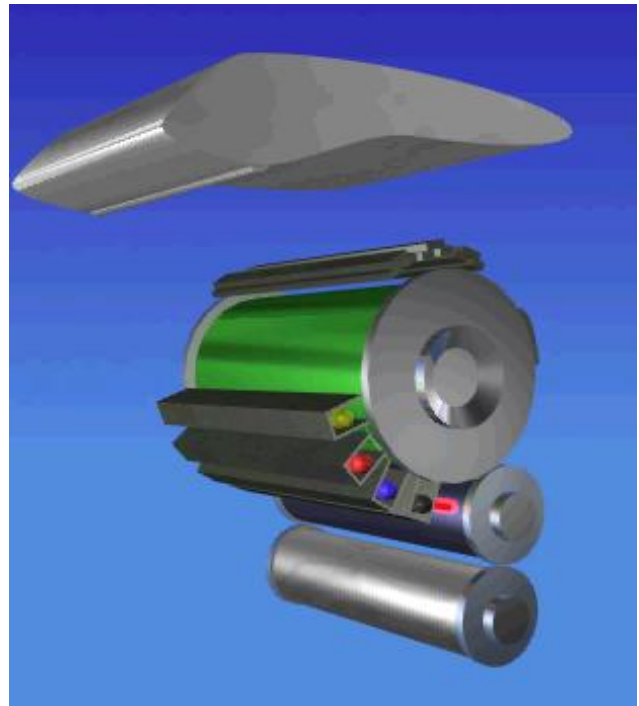


Figura 3.1

### 3.1 – GENERAZIONE DELL'IMMAGINE LATENTE

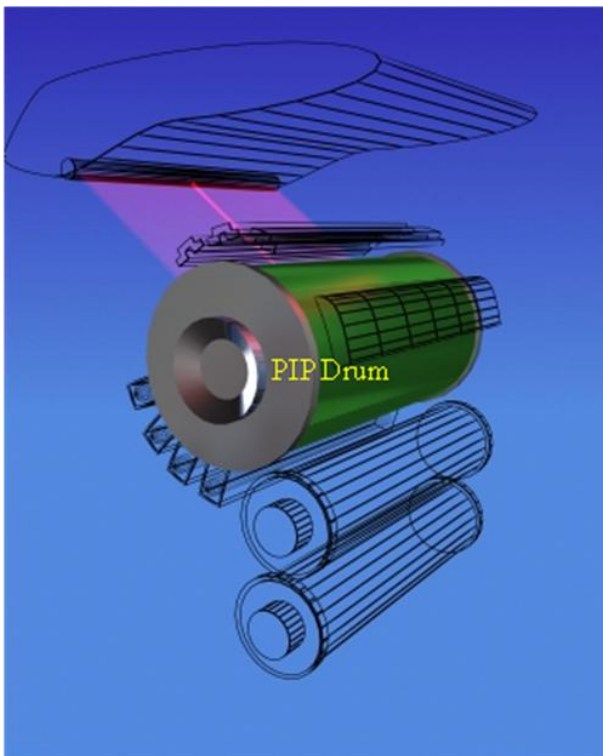


Figura 3.2

Durante questa fase viene creata un'immagine latente mediante la luce del laser che scarica elettronicamente i punti interessati sulla superficie del tamburo fotoconduttore, in precedenza completamente caricato dello Scorotron. I componenti della stampante responsabili nell'iniziale processo di generazione dell'immagine sono i seguenti:

- *PIP drum (Photo Imaging Plate)*
- *Scorotron assembly (PIP charging unit)*
- *Writing head*

Il *PIP drum* (figura 3.2) è un grosso cilindro rivestito da una lamina realizzata mediante materiali fotoconduttori che risultano isolanti quando si trovano al buio e conduttori quando esposti alla luce. La luce ha la capacità di “liberare” elettroni dagli atomi del fotoconduttore aumentando la conducibilità dello stesso. Essenzialmente avviene una conversione del materiale illuminato da isolante a conduttore elettrico. La lamina che riveste il PIP è costituita da diversi strati ognuno dei quali gioca un ruolo nella generazione dell’immagine latente. Inizialmente il PIP drum viene caricato elettrostaticamente. Quando il raggio laser lo colpisce gli elettroni si muovono da uno strato all’altro attraverso fori sulla superficie, liberandosi nell’aria. Si forma così un’immagine latente costituita da aree elettricamente cariche e scariche.

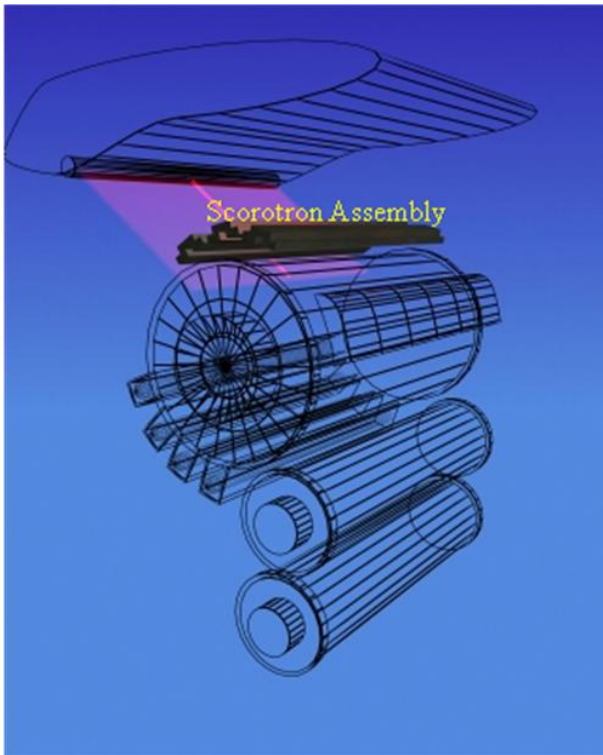


Figura 3.3

Lo *Scorotron assembly* (figura 3.3) serve a caricare elettrostaticamente la superficie del PIP ed è costituito da tre unità Scorotron.

L’unità Scorotron possiede un lungo tunnel di metallo aperto sul fondo. All’interno di questo tunnel c’è un sottile filo metallico teso.

Una tensione elevata di circa -6000 V viene applicata a questo filo metallico e ciò causa la formazione di una nube ardente di molecole ionizzate attorno al filo stesso. Queste molecole ionizzate sono attratte dal campo magnetico fino alla superficie della lamina del PIP.

Ogni apertura inferiore di ciascuna unità Scorotron é coperta da una griglia di metallo (figura 3.4) attraverso la quale transitano queste

molecole ionizzate, che raggiungono la superficie del PIP. Tale griglia ha il compito di regolare la quantità e l’uniformità della carica che raggiunge il PIP, solitamente di circa 900 V.

In seguito alla rotazione del PIP drum, sulla superficie del tamburo appena uscita dalle unità Scorotron abbiamo una carica uniforme estesa lungo tutta la larghezza del tamburo di circa -900 V. Non essendo ancora illuminato dal laser, il materiale fotoconduttore di cui è costituita la superficie del PIP si comporta come un isolante.

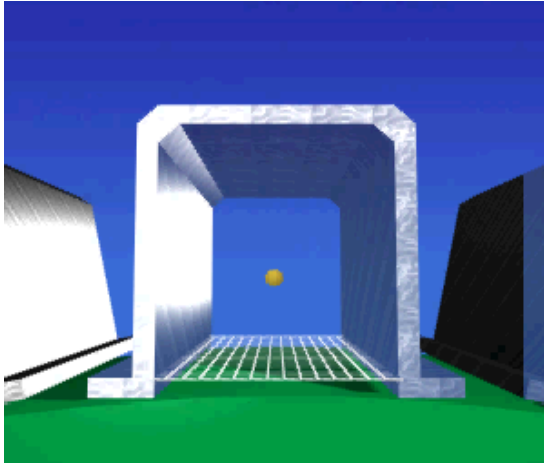


Figura 3.4

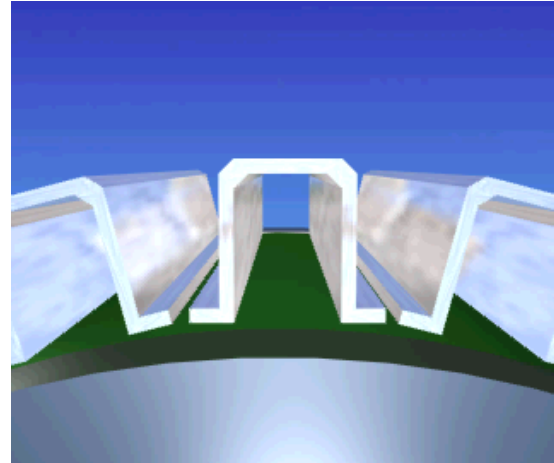


Figura 3.5

La *Writing Head* (figura 3.6) é un dispositivo di emanazione laser atto a creare l'immagine latente sulla superficie del PIP caricata precedentemente dalle unità Scorotron. La testata utilizza un raggio laser multiplo per scaricare il PIP in più punti specifici, portando il potenziale elettrico a -50 V. Tali punti corrispondono al negativo dell'immagine da stampare.

Ricapitolando, la generazione dell'immagine latente inizia col caricamento elettrostatico a -900 V del PIP drum tramite le unità Scorotron, la superficie del PIP scorrerà sotto il laser emesso dalla Writing Head che "disegna" l'immagine latente al negativo scaricando le zone interessate fino a -50 V.

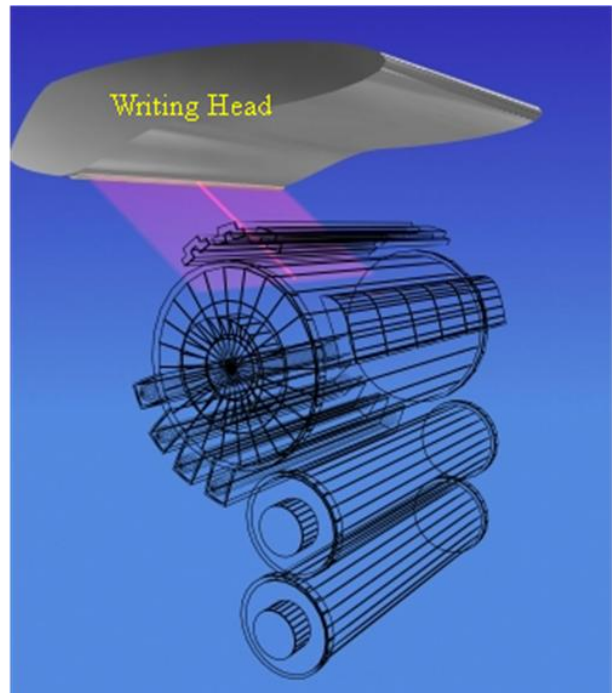


Figura 3.6

Il passo successivo sarà quello che ci consentirà di ottenere lo sviluppo dell'immagine latente tramite il gruppo BID e l'applicazione dell'inchiostro apposito.

### 3.2 – SVILUPPO DELL'IMMAGINE LATENTE

All'uscita delle unità scorotron l'immagine latente impressa sulla superficie del PIP drum entra nella zona delle unità **BID (Binary Ink Development)** raffigurate in figura 3.7 all'interno delle quali è presente lo SPONGE ROLLER BID59 che verrà in seguito approfondito e analizzato nei dettagli.

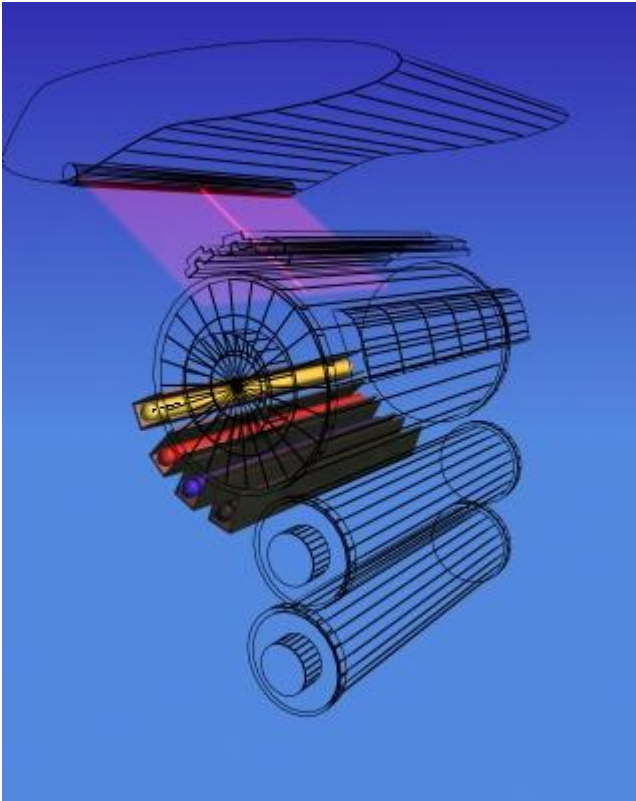


Figura 3.7

Durante questa fase sofisticati sistemi meccanici avvicinano un'unità BID alla superficie del PIP drum.

All'interno del BID il *developer roller*, un rullo caricato a -500 V e imbevuto di un inchiostro composto da particelle cariche negativamente chiamato *ElectroInk*, preme sulla superficie del PIP drum, rilasciando l'inchiostro stesso nelle zone a più basso potenziale negativo.

Le particelle di *ElectroInk* infatti si allontanano dal *developer roller* per unirsi alla superficie del PIP drum dove la carica elettrostatica è rimasta inalterata dopo il passaggio del laser (-900 V)

L'ElectroInk in realtà è l'elemento più importante di un composto chiamato, *Working Dispersion Ink*, non altro che una soluzione eterogenea costituita da tre elementi:

- *ElectroInk®* , costituito da piccole particelle di inchiostro colorato elettricamente cariche (negativamente), di forma tentacolare e con una superficie relativamente ampia. Quando si trovano all'interno di un campo elettrico questa loro forma tentacolare consente di "aggrapparsi" ad altre particelle di ElectroInk, formando delle catene molecolari.
- *Imaging Oil™* , si tratta di un liquido altamente isolante all'interno del quale sono sospese le particelle ElectroInk. Agisce come un veicolo liquido per le particelle all'interno del quale si possono muovere.
- *Imaging Agent™* , è composto di molecole attive che mantengono la carica sulle particelle di ElectroInk.

Esiste più di una unità BID e ognuna di esse contiene l'inchiostro di un determinato colore. Ad ogni giro avviene l'applicazione di un colore e quindi occorrono più giri e la creazione di più immagini latenti per arrivare all'immagine finale. Il PIP drum viene "resettato" ad ogni rivoluzione.

### 3.3 – TRASFERIMENTO DELL'IMMAGINE LATENTE

Dopo che un'unità BID ha rilasciato l'inchiostro di un determinato colore sulle zone cariche del PIP drum, seguono tre stazioni che hanno il compito di togliere le impurità, trasferire l'inchiostro alla carta e infine di pulire il PIP drum riportandolo alla condizione iniziale.

- *PTE unit (Pre Transfer Erase)*
- *ITM drum (Intermediate Transfer Member) or Blanket*
- *IMP drum ( Impression)*
- *Cleaning station*

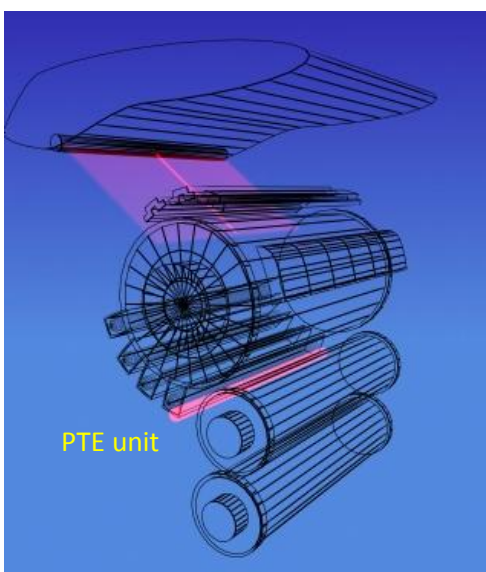


Figura 3.8

L'unità *PTE* (figura 3.8) non è altro che una serie di led che, illuminando la superficie del PIP drum che transita al di sotto di essa, azzerano tutte le cariche rimaste sulla superficie del tamburo centrale. In altre parole scaricano tutto il PIP drum riportandolo alla condizione iniziale, infatti l'inchiostro è già stato collocato per cui non c'è più bisogno di avere l'immagine latente costituita da zone cariche e zone scariche sulla superficie del PIP drum.

L'*ITM drum* (figura 3.9) è un rullo ricoperto da una lamina (*Blanket*) costituita da diversi strati. Il primo strato in gomma aggiunge elasticità al tamburo e uno strato conduttivo dà la polarizzazione allo stesso. Il primo trasferimento consiste nel passaggio dell'immagine sviluppata dal PIP al Blanket attraverso forze elettriche e meccaniche, essendo i due tamburi a contatto. Questo avviene perché la lamina è caricata positivamente e riscaldata a circa 100 °C, fatto che provoca l'innalzamento della temperatura dell'inchiostro le cui particelle si gonfiano e assumono una condizione gelatinosa. In tal modo l'immagine diventa appiccicosa e facilmente trasferibile al rullo successivo.

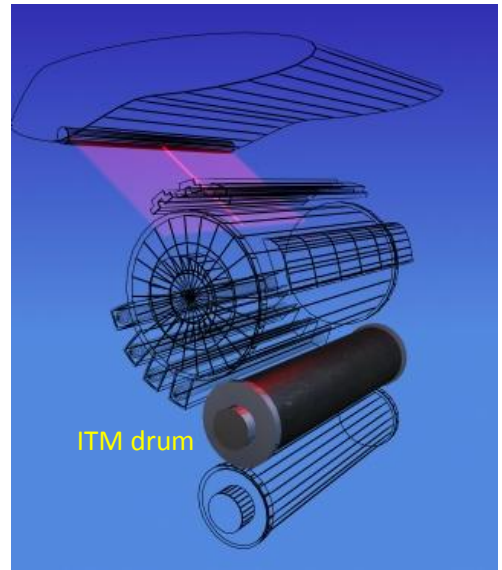


Figura 3.9

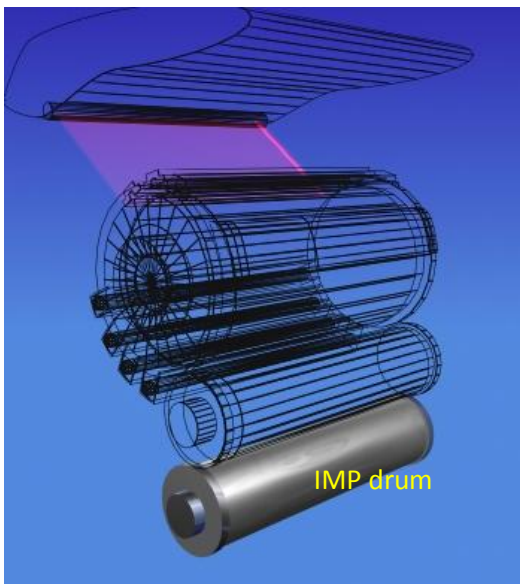


Figura 3.10

L'*IMP drum* (figura 3.10) è un componente attore del secondo trasferimento. Questo rullo viene portato a contatto con la Blanket sul tamburo ITM. Si crea pressione e l'immagine di inchiostro caldo e umido viene quindi trasferito all'ultimo substrato.

Tra questi due rulli passa il rotolo di carta finale.

La *Cleaning Station* (figura 3.11) ha il compito di pulire e raffreddare la superficie del PIP drum prima che arrivi di nuovo allo Scorotron. Viene versato del componente Imaging Oil a freddo, sulla superficie del PIP drum e subito dopo rimosso insieme agli altri residui liquidi da un'rullo rivestito di poliuretano all'interno della stazione di pulizia.

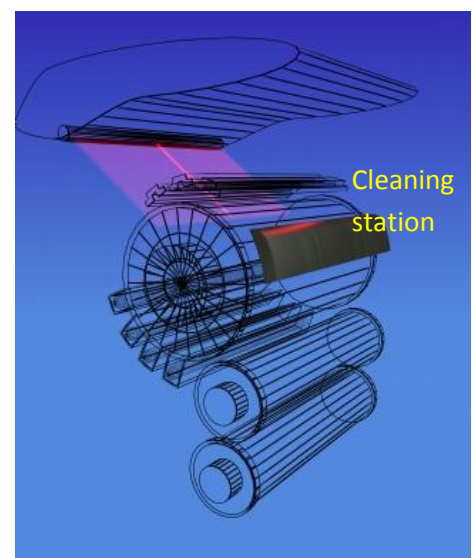


Figura 3.11



## 4 – RULLO ‘SPONGE ROLLER BID59’

L’azienda GTK-TIMEK GROUP produce e sviluppa diversi componenti di questa stampante digitale UltraStream:

- i rulli rivestiti in poliuretano e spugna presenti nella Cleaning Station
- i rulli cromati che premono la spugna per rimuovere la determinata quantità di inchiostro
- il Developer roller
- lo *Sponge roller Bid59* presente in ogni unità BID, oggetto del nostro approfondimento, in figura 4.1.



Figura 4.1

Lo *Sponge Roller Bid59* è un rullo composto da un’anima di acciaio rivestita da una spugna rettificata:

- L’anima deve resistere alla corrosione e all’ossidazione in quanto opera all’interno di un ambiente umido, semi-sommerso dalla soluzione d’inchiostro. Deve sopportare milioni di cicli senza perdere le proprie caratteristiche meccaniche. Le tolleranze sono infatti molto ristrette perché la stampa digitale attualmente richiede una precisione al millesimo per poter ottenere stampe di qualità ottimale.
- La spugna anch’essa ha un’alta precisione nelle misure, oltre ad avere proprietà assorbenti adeguate per movimentare la quantità d’inchiostro ideale tale da trattenerne il necessario e rilasciarne quanto basta.

#### 4.1 – POSIZIONE E CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL RULLO BID59

Come già detto, l'unità BID svolge il compito di collocamento dell'inchiostro sul PIP drum. Essendo l'inchiostro costituito da particelle elettrostatiche queste vanno ad unirsi alle zone di segno opposto sulla superficie del tamburo, precedentemente "scaricate" dal raggio laser.

Più in dettaglio all'interno di una unità BID vengono svolte tre funzioni principali:

- Movimentazione dell'inchiostro
- Applicazione dell'inchiostro sul PIP drum
- Rimozione dell'inchiostro residuo

Ognuna di queste funzioni è lavoro specifico di un tipo di rullo.

L'inchiostro, o meglio, la soluzione *Working Dispersion Ink* sta all'interno della vasca centrale, sede dello *Sponge Roller Bid59*, indicato dalla freccia in figura 4.2 (A) un rullo rivestito di spugna

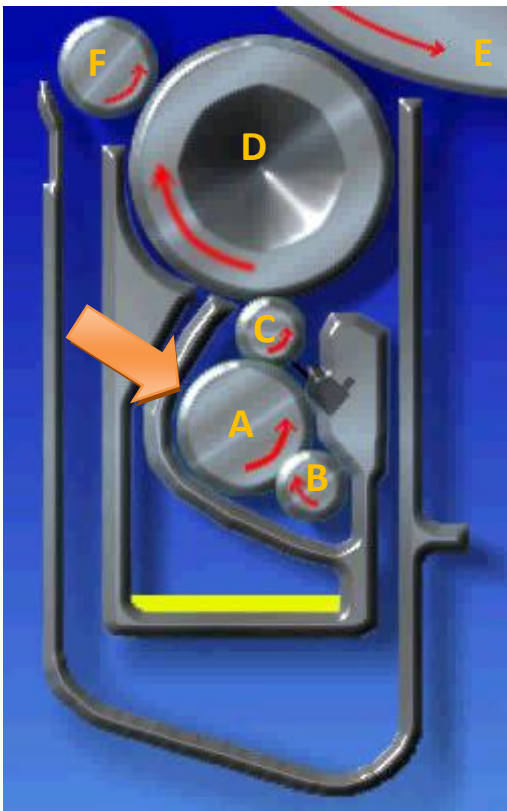


Figura 4.2

che quindi risulta per metà annegato nella soluzione di inchiostro. Il rullo cromato piccolo inferiore (figura 4.2 – B) è costituito da una superficie dura atta a premere la spugna del rullo Bid59, bilanciando così l'assorbimento dell'inchiostro da parte della stessa. L'altro rullo, *Rubber Roller*, (figura 4.2 – C) posizionato tra lo Sponge e il Developer Roller gira ad una velocità indipendente rispetto a quella del Bid59 e nello stesso senso antiorario. Questo gli permette di bagnarsi di inchiostro nella misura adatta per distenderlo sul *Developer Roller* (figura 4.2 – D), il quale poi applica l'inchiostro sul PIP drum centrale (figura 4.2 – E).

L'ultimo rullo in alto a sinistra (figura 4.2 – F), è un ulteriore rullo cromato che ha la stessa funzione di quello visto precedentemente: comprimere la spugna per

togliere inchiostro eccedente. Una serie di canalizzazioni permette di riportare l'inchiostro in esubero nella vaschetta centrale o nella vasca di recupero.

Ricapitolando abbiamo quindi visto che la movimentazione dell'inchiostro è incombenza dello *Sponge Roller bid59* e del *Rubber Roller*, la sua applicazione sul PIP drum è competenza del *Developer Roller*, mentre la rimozione dell'inchiostro residuo viene effettuata dai rulli cromati.

#### 4.2 – DISEGNI DI PRODUZIONE DEL RULLO BID59

I seguenti disegni dimostrano nel dettaglio le misure e le tolleranze effettive del pezzo.

Il primo (figura 4.3) mostra l'assieme lavorato, montato e finito, cioè l'anima in acciaio (1) e il rivestimento in spugna (2)

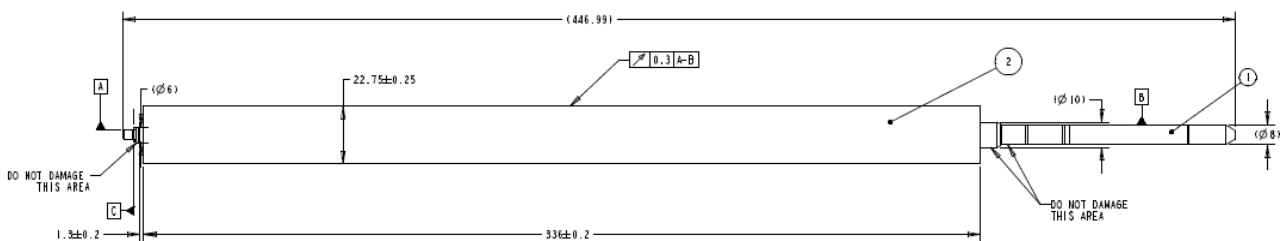


Figura 4.3

Il disegno successivo (figura 4.4) raffigura il particolare del blocco di spugna non rettificato, da montare sull'anima e rettificare per darne la forma finale.

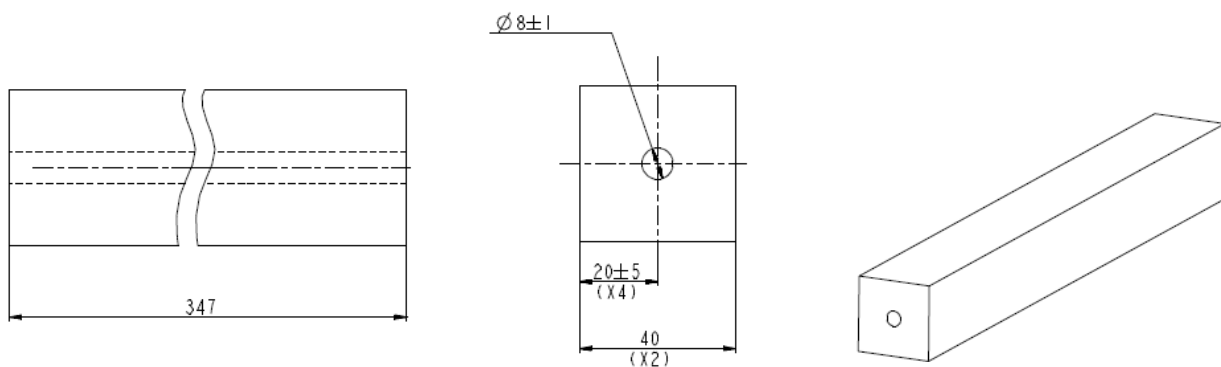


Figura 4.4

I disegni successivi (figura 4.5) raffigurano solo l'anima lavorata, con i relativi dettagli ingranditi. Le quote critiche sono quelle evidenziate in rosso, corrispondenti principalmente alle zone da rettificare. La stampa digitale richiede componenti meccanici di alta precisione e in questo caso si raggiunge una precisione al millesimo.

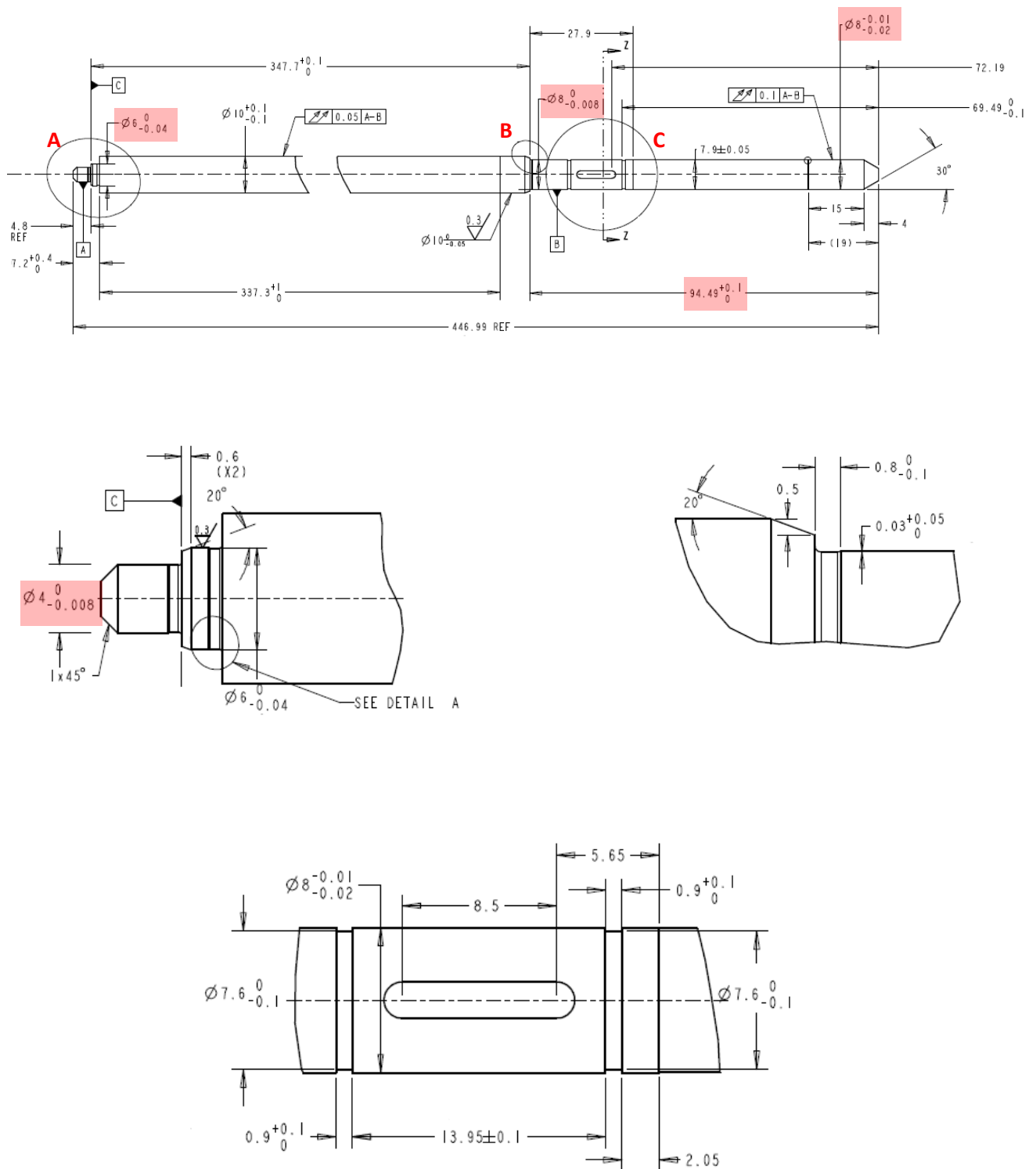


Figura 4.3

### 4.3 – MATERIE PRIME

Come abbiamo già visto il rullo è composto da un'anima in acciaio rivestita da una spugna. L'anima essenzialmente serve a dare rigidità e un supporto solido, funge da albero, infatti presenta anche la sede di una chiavetta. La spugna serve a movimentare l'inchiostro, assorbendolo e rilasciandolo nelle quantità stabilite. Infine l'elemento che permette l'accoppiamento di queste due parti è la colla a contatto.

#### 4.3.1 – ANIMA

L'albero è costituito da acciaio di qualità C45E+C ( DIN 1.1191 – SAE 1045 ), l'acciaio da tempra più diffuso nella classe carbonio. Viene usato per la costruzione di ingranaggi, mozzi, alberi. Dopo il trattamento di tempra a induzione si ottengono circa 58/60HRC in superficie, raggiungendo buone caratteristiche tecnologiche.

Ne verrà in seguito analizzata la struttura micrografica e chimica, per ora limitiamoci ad elencare le motivazioni principali che hanno portato alla scelta di questo materiale:



Figura 4.6

- **Costo accettabile**
- **Adatto ad essere temprato**
- **Buona tenacità e duttilità**
- **Facile reperibilità sul mercato**

Il tondo grezzo viene fornito in barre trafilate  $\varnothing 10h9$  lunghe 6 metri, con tolleranze normate secondo UNI EN ISO 22768 (figura 4.6).

#### 4.3.2 – SPUGNA

La scelta della spugna è frutto di uno studio approfondito sul potere di assorbimento della stessa. Si tratta di una spugna in poliuretano espanso a celle aperte, non reticolata, con densità 60 kg/m<sup>3</sup>.

Scopo della spugna è impregnarsi il più possibile e nel contempo mantenere la superficie esterna bagnata sempre dalla stessa quantità di inchiostro. Ad ogni giro la spugna rilascia una certa quantità d'inchiostro che dev'essere sempre istantaneamente ripristinata. Il potere assorbente dev'essere alto senza però rilasciare troppo liquido.

La spugna ci viene fornita in blocchi di misura 40mm x 40mm x 347mm ed è di colore nero (figura 4.7).



Figura 4.7

#### 4.3.3 – COLLA

La colla è di tipo nitrilico a contatto. Viene inizialmente applicata sull'albero e all'interno del foro della spugna, si lascia asciugare il tutto per un ben determinato lasso di tempo, poi unendo i due componenti le superfici ricoperte di colla vengono a contatto consolidando il legame. I pezzi appena incollati vengono rinvenuti in forno a circa 50°C per accelerare il processo e stabilizzare l'incollaggio.

#### 4.4 – CICLO DI PRODUZIONE

Anche il ciclo di produzione comincia da due percorsi inizialmente separati, uno per l'anima e l'altro per la spugna, che poi arriveranno a congiungersi con l'assemblaggio di ambedue i componenti.

Il processo produttivo attuale dello Sponge Roller Bid59 è il seguente:

- a) TORNITURA ALBERO
- b) RADDRIZZATURA ALBERO
- c) TRATTAMENTO TEMPRA ALBERO
- d) RETTIFICA ALBERO
- e) LAVAGGIO ALBERO
- f) TRATTAMENTO BRUNITURA ALBERO
- g) SABBIATURA ALBERO
- h) FORATURA SPUGNA
- i) ASSEMBLAGGIO E INCOLLAGGIO ANIMA + SPUGNA
- j) PRERETTIFICA, INTESTATURA E RETTIFICA DI FINITURA SPUGNA
- k) PULITURA TESTATE E LUCIDATURA
- l) CONTROLLI FINALI
- m) IMBALLAGGIO E SPEDIZIONE

#### 4.4.1 – TORNITURA ALBERO

Le barre di acciaio  $\varnothing 10$  vengono caricate su un tornio a fantina mobile, a nove assi, con alimentazione automatica continua. Questo permette di ottenere l'anima finita comprensiva della sede per chiavetta con un ciclo ininterrotto di 24h su 24h. L'albero viene eseguito a disegno tranne che per le seguenti dimensioni (sostanzialmente le quote critiche prima evidenziate):



Figura 4.8

- Le misure ove è richiesta una rettifica di precisione, in tal caso sono lasciati 0.15mm di sovrametallo (evidenziati in giallo in figura 4.9)
- La quota 94.49mm (+0.1mm, 0) è soggetta a possibile allungamento a seguito del trattamento di tempra, per questo viene tornito a 94.51mm (evidenziata in verde in figura)

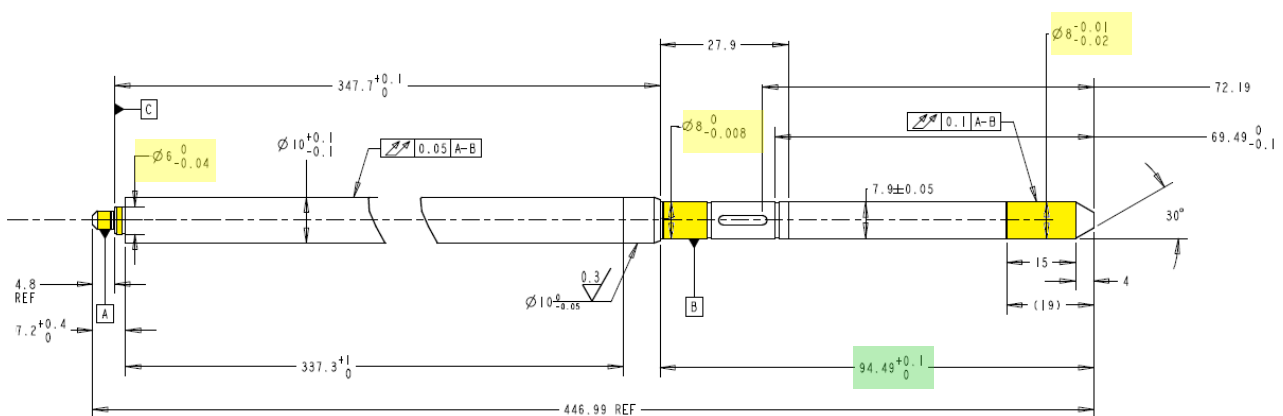


Figura 4.9



#### 4.4.2 – RADDRIZZATURA ALBERO

Dopo essere sottoposti ad un primo ciclo di controlli a campione le anime tornite vengono posizionate nei vassoi appositamente modellati, che a loro volta vengono impilati e posizionati all'interno dell'isola automatica di raddrizzamento. In questa sede un braccio robotico completamente automatizzato preleva gli alberi uno a uno e li posiziona sul supporto della macchina raddrizzatrice. Questa grazie ad una serie di sensori e di pistoni corregge la linearità dell'albero in modo completamente automatico. Finita l'operazione il braccio robotico riposiziona il pezzo al suo posto e procede con il prossimo. Oltre a questo in piena autonomia sposta i vassoi vuoti e ne prepara altri di pieni.

La linearità dell'albero è importante in quanto il rullo deve ruotare con un'oscillazione compresa nei 0.05mm (evidenziata in verde in figura 4.10).

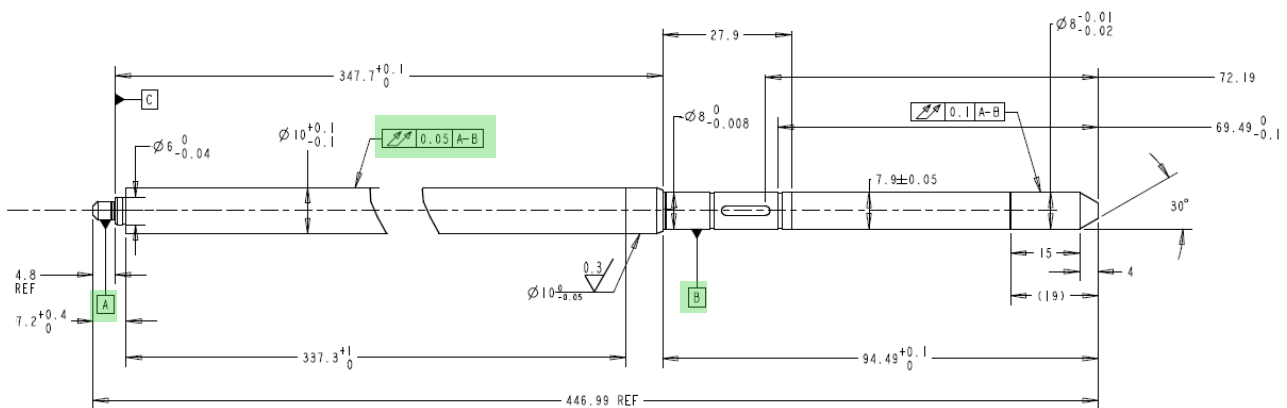


Figura 4.10

#### 4.4.3 – TRATTAMENTO DI TEMPRA ALBERO

Gli alberi torniti e raddrizzati vengono sottoposti a trattamento di tempra a induzione, localizzata negli ultimi 19mm (zona evidenziata in arancione in figura 4.12) dell'anima, zona di vincolo in cui il rullo è sottoposto a notevoli forze di attrito e quindi necessita di una superficie dura di 58 – 62 HRC.



La tempra a induzione utilizza un solenoide conduttore di elettricità che posizionato all'interno di un campo magnetico alternato si scalda per effetto Joule grazie alle correnti indotte. In questo modo si può portare ad alta temperatura il metallo in modo localizzato, anche su piccole sezioni e forme particolari, mentre lo

Figura 4.11

spessore dello strato riscaldato varia con la frequenza della corrente (ma dipende anche dalla conducibilità del materiale).

Segue la fase di raffreddamento immediato, per spruzzamento di liquido refrigerante quale acqua o olio. L'acciaio viene infine rinvenuto a 180°C per rimuovere eventuali tensioni critiche.

Approfondiremo il trattamento di tempra sotto l'aspetto chimico e micro-strutturale nel capitolo apposito.

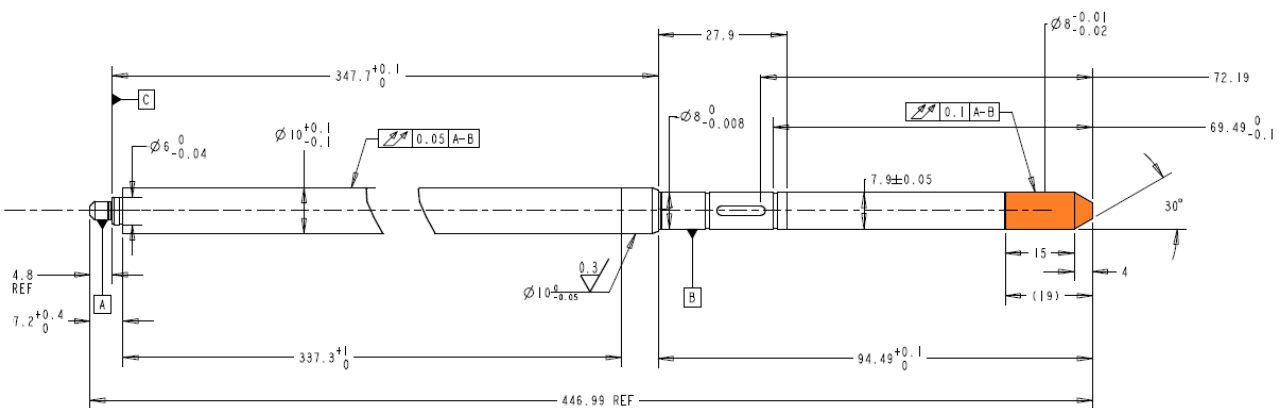


Figura 4.12

#### 4.4.4 – RETTIFICA ALBERO

Gli alberi torniti, raddrizzati e temprati vanno poi rettificati nelle zone in cui in fase di tornitura è stato lasciato del sovrametallo per uno spessore di 0,15mm (evidenziate in giallo in figura 4.13). Questo perché il tornio, anche se a fantina mobile e con nove assi, non riesce a finire diametri con precisione al millesimo di millimetro, compito che spetta invece alle macchine rettificatrici.

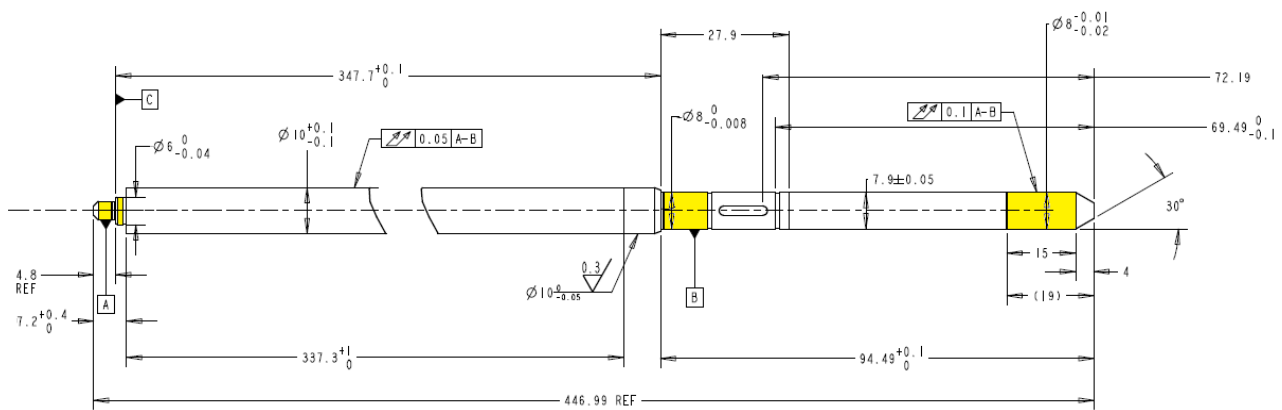


Figura 4.13

Inizialmente si utilizzavano due mole abrasive diverse, in quanto per la zona temprata occorre un grano con minore densità rispetto a quello idoneo a rettificare il resto dell'anima. Nell'ultimo anno si è riusciti ad ottimizzare il processo utilizzando un unico utensile per entrambe le superfici. Una mola costituita da abrasivo in corindone semipregiato a legante ceramico, a granulometria fine (80 densità per pollice). Morbida, adatta all'acciaio in questione, grazie alla quale possiamo ottenere la precisione richiesta asportando la quantità di materiale minima possibile, sia sulla superficie temprata che non.

#### 4.4.5 – LAVAGGIO ALBERO

In seguito a tutti i processi di lavorazione le anime finite vengono raggruppate in cesti appositi, inseriti all'interno di una lavatrice industriale, dove vengono sottoposte a un lavaggio intenso per eliminare ogni residuo d'olio, trucioli e polvere metallica.

#### 4.4.6 – TRATTAMENTO BRUNITURA ALBERO



Figura 4.14

Il trattamento di brunitura (black oxide Mil-Dtl-13924D, Class1) consiste nella formazione di uno strato di ossido, principalmente  $Fe_3O_4$ , di colore nero sulla superficie dei metalli ferrosi con l'esclusione degli acciai inox. Si ottiene immergendo il pezzo in una soluzione acquosa di solfantimoniato di sodio, di carbonato di sodio anidro, praticando infine un'elettrolisi per alcuni minuti alla temperatura ambiente con corrente dai 2.4 V ai 4.0 V. Essenzialmente serve a dare una colorazione superficiale al metallo con lo scopo ulteriore di fornire una protezione contro l'ossidazione, oltre che di migliorarne l'aspetto, senza modificarne le proprietà meccaniche né le dimensioni. Ricordiamo che la brunitura non è un rivestimento pertanto non copre i difetti, se il particolare presenta un graffio questo rimarrà anche dopo il trattamento. Quindi occorre trattare gli alberi con estrema cautela e questo spiega anche il lavaggio preventivo. Per mantenere la colorazione nel tempo i particolari devono essere oliati e stoccati in un posto asciutto lontano da agenti atmosferici.

#### 4.4.7 – SABBIAATURA ALBERO

Una volta lavati gli alberi vanno preparati all'assemblaggio con la spugna. La colla ha necessità di essere applicata su di una superficie ruvida per avere più tenuta e non scivolare fuori nel momento in cui l'albero andrà ad infilarci nella spugna forata. Per questo tutti gli alberi vengono posizionati su dei vassoi sagomati identici

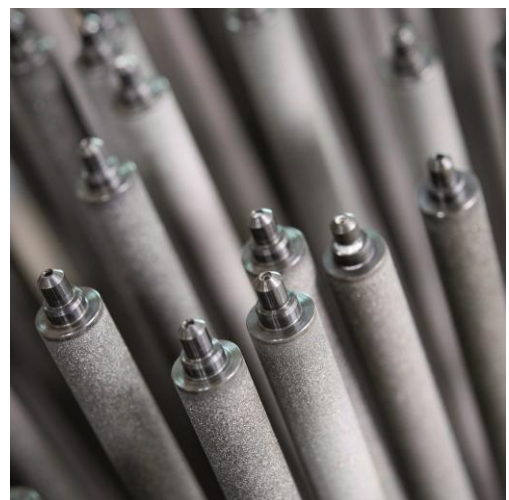


Figura 4.15

a quelli utilizzati durante la raddrizzatura ed immessi nel sistema di caricatori automatici della macchina sabbiatrice. All'interno di questa due pistole a scorrimento verticale sparano contro l'anima una sabbia metallica con grano di grandezza 0.85-1.20mm misti a solfuri di ferro.

Come si vede in figura 4.16, dove evidenziato in azzurro, la zona da sabbiare è limitata alla porzione che verrà coperta dalla spugna, per questo su di ogni anima vengono applicati due tappi di poliuretano che hanno il compito di proteggere le zone da non sabbiare.

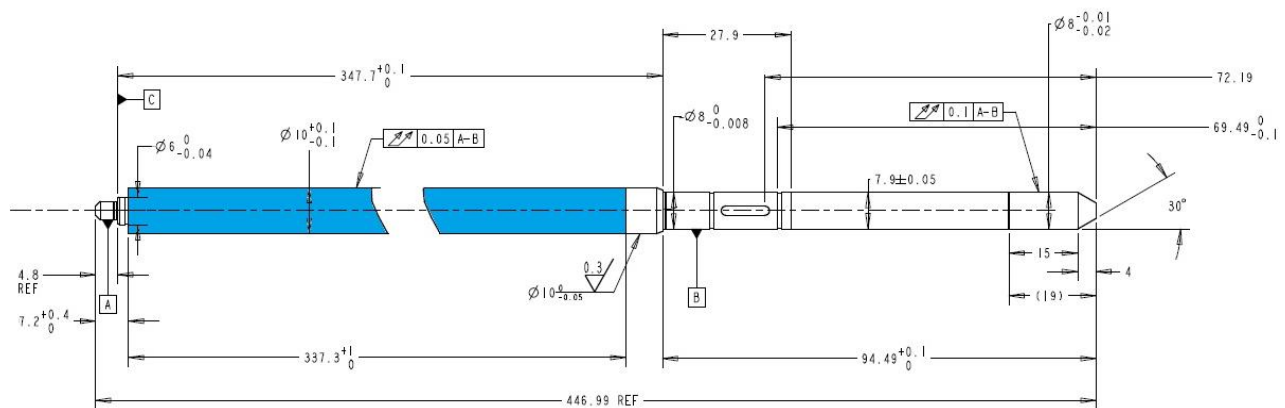


Figura 4.16

#### 4.4.8 – FORATURA SPUGNA

Nello stesso momento in cui le anime vengono sabbiare, in un'altra postazione i blocchi di spugna vengono forati uno alla volta da un macchinario munito di fustella e movimentato ad aria compressa. Un nastro trasportatore fa avanzare il prisma fino all'interno di una gabbia di alluminio che si chiude serrando per bene la spugna al suo interno. Da un lato della gabbia entra un pistone che comprime la spugna portandola da 347mm di lunghezza a 100mm, mentre dall'altro lato una fustella cava girevole fora il prisma. Al rilascio della compressione viene immessa aria compressa all'interno della fustella per liberarla dal "verme" asportato dalla



Figura 4.17

spugna. La gabbia si riapre e libera la spugna forata che si immette in un secondo nastro trasportatore diretto alla stazione d'incollaggio.

#### 4.4.9 – ASSEMBLAGGIO E INCOLLAGGIO ALBERO + SPUGNA

A questo punto i due percorsi seguiti autonomamente dalle anime e dalle spugne congiungono, dando vita al pezzo assemblato. La spugna arriva forata e l'anima lavorata, finita e sabbiata. Viene applicata la colla nitrilica a contatto all'interno del foro della spugna, lungo tutta la sua estensione, con l'ausilio di una punta ad avanzamento automatico che rilascia la colla dall'ugello posto all'estremità. Lo stesso collante viene applicato sulla parte sabbiata dell'albero, anche qui tramite una punta automatica che oltre a rilasciare il "filo" di colla è provvisto di una paletta opportunamente sagomata che la distende e la livella.



Figura 4.18

Un operatore ha poi il compito di assiemare i due componenti che entrando in contatto avviano la reazione adesiva della colla. In seguito i pezzi assemblati transitano nel forno impostato alla temperatura di 45°C per 30 minuti, per l'ultimo rinvenimento che rafforza ed accelera il processo d'incollaggio. In seguito vengono lasciati riposare 24 ore.

#### 4.4.10 – PRERETTIFICA, INTESTATURA E RETTIFICA DI FINITURA SPUGNA

Dopo il periodo di riposo di 24 ore la spugna incollata all'albero dev'essere sagomata cilindricamente e portata al diametro finale, il rullo passa di nuovo quindi nel reparto di rettifica, questa volta però assemblato. La fase di rettifica ora ha tre scopi:

- Sgrossare il prisma di spugna, ottenendo un cilindro di diametro  $\text{Ø}25 \pm 0.2 \text{ mm}$
- Intestare la spugna alla lunghezza finale di  $336 \pm 0.2 \text{ mm}$
- Finire il diametro con precisione al diametro  $\text{Ø}22.75 \pm 0.25$

La prima rettifica di sgrossatura è quella che dà la forma cilindrica alla spugna con una serie di passate, poi la stessa mola intesta a misura la lunghezza della stessa, arrivando a sfiorare il metallo. Infine l'ultima passata di finitura porta la spugna al diametro finale con precisione al centesimo.

Tutte queste operazioni sono effettuate in un ciclo unico, con una sola mola costituita da una miscela di abrasivo in corindone sinterizzato e pregiato bianco, a legante galvanico, granulometria media (54 densità per pollice). Una mola morbida, con granulometria più grossa rispetto a quella utilizzata per la rettifica dell'albero, che permette in base alla velocità di rotazione e di avanzamento di sgrossare, intestare e finire la spugna.

Anche durante questa fase vengono utilizzati dei bracci robot che hanno il compito di movimentare i pezzi dai vassoi appositi alle rettifiche, che in questo caso sono due per aumentare la produttività.

#### **4.4.11 – PULITURA TESTATE E LUCIDATURA**

Dopo la rettifica rimangono dei residui di spugna per uno spessore di un paio di millimetri nelle zone adiacenti. Questo perché durante l'intestatura della spugna alla lunghezza di 336 mm la mola non può arrivare a toccare l'anima, per cui rimangono dei residui incollati da pulire.

Questa operazione è effettuata manualmente da operatori addetti, con l'aiuto di un abrasivo morbido sui rulli che vengono mantenuti in rotazione.

Non appena pulite le testate, sempre manualmente viene applicato un olio sulle superfici metalliche per renderle lucide.

#### **4.4.12 – CONTROLLI FINALI**

Quando si ha a che fare con prodotti che richiedono tolleranze così ristrette occorre avere anche i mezzi per poter controllare la qualità del lavoro. Durante la produzione vengono effettuati

controlli a campione per verificare la bontà della stessa ed evitare di ritrovarsi alla fine con pezzi da scartare.

L'accertamento più importante però spetta al responsabile controllo qualità alla fine della produzione. La ditta GTK-TIMEK GROUP possiede strumenti di controllo assai sofisticati, adatti a elaborare report di accertamento approfonditi e precisi. Ci limitiamo a elencare solo quelli utilizzati per l'analisi del rullo Sponge Roller Bid59 in questione.

- DUROMETRO DIGITALE
- RUGOSIMETRO DIGITALE
- PROFILOMETRO DIGITALE
- SCANNER OTTICO A LASER
- CONTROLLO SPC
- MICROMETRO DIGITALE SPONGE

Oltre a questi vengono effettuati anche tutti i controlli visivi sullo stato della spugna per rintracciare buchi, tagli e per analizzarne visivamente la forma, oltre ad accertamenti manuali per scovare eventuali grumi dovuti ad un accumulo localizzato di colla all'interno della spugna e per testarne la piena adesione sull'anima.

Il *durometro digitale* ci permette di verificare l'effettiva durezza ottenuta dopo trattamento di tempra, nel segmento interessato.

Il *rugosimetro digitale* (figura 4.19, misure coinvolte evidenziate in verde) determina la finitura superficiale ottenuta.

Il *profilometro digitale* è costituito da un tastatore che "accompagna", raffigurandola su schermo, la forma dell'oggetto da analizzare. Questo strumento ci permette di analizzare l'effettiva profondità delle cave e gli smussi.





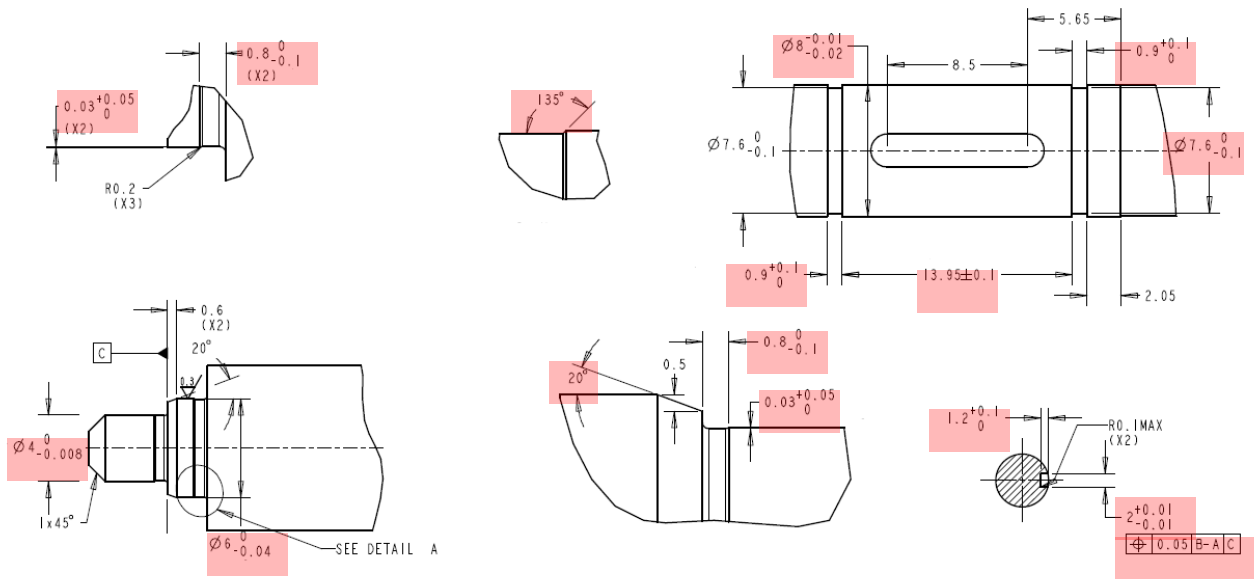


Figura 4.19

#### 4.4.13 – IMBALLAGGIO E SPEDIZIONE

Nell'ultimo passaggio i pezzi vengono avvolti da una carta velina che protegge la spugna, ognuno poi viene inserito in tubi di cartone chiuso da due tappi di plastica. Questi tubi vanno a riempire uno scatolone che al raggiungimento del 72esimo pezzo viene chiuso, sigillato e spedito al cliente.

## 5 – ANALISI DELL'ALBERO 'SPONGE ROLLER BID59'

Dopo aver approfondito il processo di produzione del rullo completo ci soffermiamo ora sull'analisi metallurgica, chimica e strutturale del solo albero di acciaio.

Tutti gli esami del caso sono stati effettuati con l'ausilio della strumentazione a disposizione del laboratorio di materiali metallici, presso la sede di Ingegneria di Vicenza.

La traccia in ordine temporale delle azioni eseguite durante questi due giorni in laboratorio è stata la seguente:

- PREPARAZIONE DEI CAMPIONI
- ANALISI SPETTROGRAFICA E CHIMICA
- ANALISI MICROGRAFICA
- PROFILO DI DUREZZA
- PROFILO DI RUGOSITÀ

### 5.1 – PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

Con lo scopo di analizzare le conseguenze dei trattamenti sulla struttura del metallo abbiamo deciso di analizzare tre alberi in momenti di produzione differenti:

- A. Tornito e non trattato
- B. Tornito, temprato, brunito e non sabbiato
- C. Tornito, temprato, brunito e sabbiato



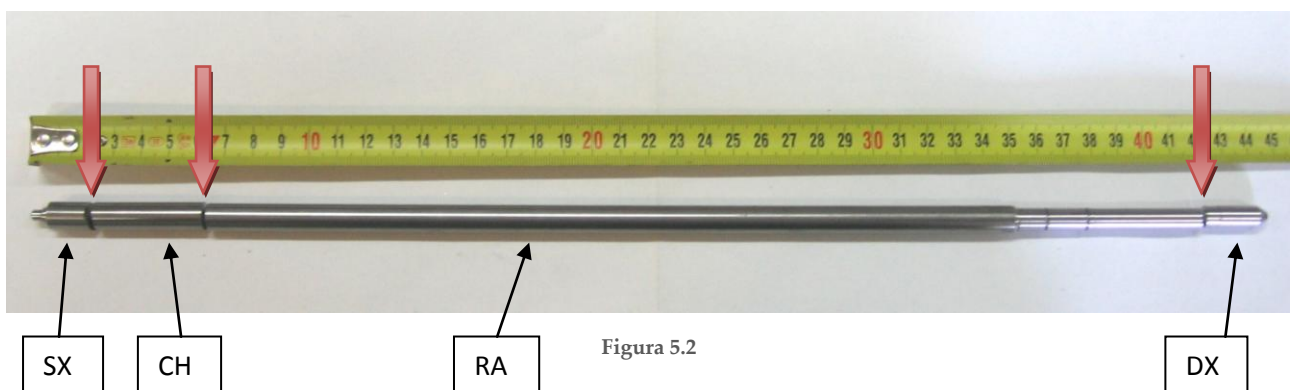
Figura 5.1

Da questi sono stati ricavati i campioni secondo il procedimento di laboratorio Metalog che presuppone la preparazione di campioni metallografici tramite un metodo sistematico e riproducibile. Tali campioni devono essere perfettamente puliti, sterilizzati in Argon, non devono avere rigature, inclusioni estranee, deformazioni o alterazioni termiche.

### 5.1.1 – TAGLIO

L'albero denominato come C in figura 5.1 è mantenuto integro per la successiva misurazione del profilo di rugosità. Gli altri due (A e B in figura 5.1) invece vengono *sezionati trasversalmente* in 3 punti differenti, come indicato in figura, ricavando così 4 segmenti differenti per ciascuno:

- Segmento SX, per verificare la differenza tra il metallo non brunito e brunito
- Segmento CH, da utilizzare per l'analisi chimica e ricavarne i componenti
- Segmento RA, per il profilo di rugosità da confrontare con l'albero sabbiato
- Segmento DX, per verificare la differenza tra il metallo non temprato e temprato



Il taglio trasversale si ottiene grazie all'ausilio di un disco rotante adatto alla lavorazione dell'acciaio, costituito da ossido di alluminio in legante bachelitico. Nel caso di acciai molto duri si utilizzerebbe il nitrato cubico di boro (o abrasivo diamantato), ma in questo caso possiamo tranquillamente usufruire dei dischi a consumo continuo, molto più economici e pratici. Al

consumo dello strato superficiale quello sottostante entra subito in gioco, vengono così mantenuti sempre grani abrasivi nuovi a contatto col campione. E' molto importante la scelta del disco adatto perché questo assicura deformazioni limitate, planarità di superficie e quindi una maggiore rapidità nel metodo di preparazione

Successivamente i segmenti indicati come SX, CH e DX sono stati *sezionati longitudinalmente* tramite una macchina per lucidatura metallografica, dispositivo che con l'ausilio di una mola piana ci porta ad ottenere i campioni come indicato nella figura 5.3, pronti ad essere inglobati.

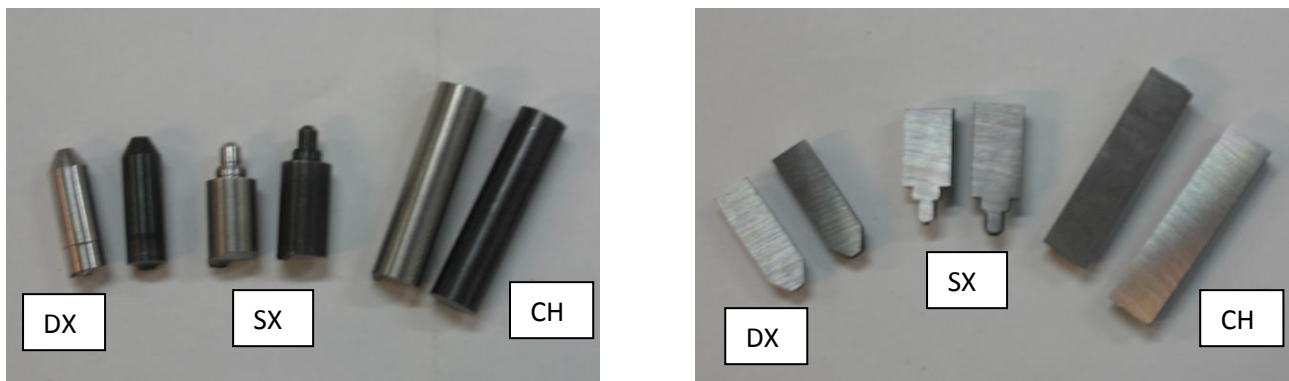


Figura 5.3

### 5.1.2 – INGLOBAMENTO A CALDO

Per facilitare la manipolazione e migliorare la precisione dell'analisi al microscopio i campioni vengono inglobati entro delle resine speciali. Questo procedimento diventa necessario quando vogliamo un campione che mantenga un'alta ritenzione del bordo o una protezione maggiore di tutti gli strati.

I campioni vengono inizialmente lavati e puliti. Poi vengono inseriti all'interno della macchina inglobatrice assieme ad una sabbia di resina fenolica, nera per dare contrasto. All'avviamento dell'apparecchio si attende il tempo necessario al raggiungimento della temperatura di 120°C all'interno della camera di compressione. La temperatura, unita alla pressione determinata dal pistone interno, provoca la fusione della resina termoindurente e quindi alla formazione del

tampone a forma di disco entro il quale sta vincolato il campione come si vede in figura. Si preferisce utilizzare resine termoindurenti perché hanno un minor ritiro e quindi rimane maggiore adesione tra il campione e la resina.

L'inglobamento a caldo ha il vantaggio di dare risultati ottimali vista l'alta omogeneità dimensionale del campione, oltre a richiedere un limitato tempo di preparazione e a utilizzare resine poco costose.

Ora i campioni inglobati devono essere levigati e lucidati per poter essere analizzabili.



### 5.1.3 – PRELEVIGATURA E PULITURA

Il primo passo per preparare i campioni inglobati all'analisi al microscopio è la levigatura che permette di ottenere una superficie liscia e piana che successivamente verrà lucidata.

Sia nella prelevigatura che nella lucidatura si utilizza un supporto girevole sopra al quale viene posto un disco abrasivo costituito da ossido di alluminio.

Si sceglieranno dischi con particelle di abrasivo man mano più sottili procedendo verso la lucidatura, visto che più grosso è il grano abrasivo maggiore sarà il materiale asportato e minore la finitura della superficie levigata, viceversa per un grano più fine. Si parte da dischi abrasivi P180 per arrivare al più fine P2400.

E' importante durante la prelevigatura ottenere il profilo voluto senza andare fuori piano. Ciò richiede una forte pressione manuale sul campione sopra al disco girevole, controllando di volta in volta che l'asportazione di materiale resti omogenea su tutta la superficie.

Con l'ottenimento della superficie levigata inizia il processo di pulitura o lucidatura tramite l'ausilio di un disco rivestito da un panno diamantato costituito da setole alte  $6\ \mu\text{m}$ , bagnato da una sospensione diamantata contenente particelle di diametro  $3\ \mu\text{m}$ .

In seguito a quest'ultima operazione, se ben fatta, si ottengono campioni la cui superficie è perfettamente lucidata a specchio, senza graffi o segni che possono alterare l'analisi al microscopio.

## 5.2 – ANALISI SPETTROGRAFICA



Per analizzare chimicamente il materiale abbiamo sottoposto i campioni sezionati (CH) ad uno spettrometro di massa ottico. In figura si notano le bruciature lasciate sulla superficie del campione dalla scarica dello spettrometro.

### 5.2.1 – PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELLO SPETTROMETRO

Uno spettrometro di massa è uno strumento utilizzato per misurare la massa di una molecola dopo che essa è stata ionizzata, ossia alla quale è stata impartita una carica elettrica. Non misura direttamente la massa molecolare ma il rapporto massa/carica degli ioni che si formano dalla molecola in esame. La carica di uno ione è espressa come il numero  $z$  di cariche elementari, e il rapporto massa/carica è quindi espresso in termini di Da per unità elementare di carica.

Il campione viene inserito in una camera da vuoto mediante un opportuno sistema di introduzione. Gli ioni prodotti vengono separati nell'analizzatore sulla base del loro rapporto

massa/carica e vengono raccolti da un rivelatore. Nel rivelatore essi generano un segnale elettrico proporzionale al numero di ioni presenti.

I segnali ottenuti vengono poi trasmessi ad un calcolatore in grado di rappresentare l'abbondanza di ogni ione in funzione della sua massa, cioè lo spettro di massa finale.

L'uso dei calcolatori permette inoltre di combinare rapidamente la gestione dei parametri dello strumento con la ricerca bibliografica in librerie di spettri in formato elettronico, in modo da automatizzare l'identificazione dei composti in base al loro spettro ed alle condizioni operative in cui è stata condotta l'analisi.

Lo Spettrometro OES in dotazione è equipaggiato con un tavolino di scarica aperto e flussato in argon.

### **5.2.2 – PROCEDURA DI ANALISI**

Avendo già informazioni sulla qualità del metallo di cui è costituito l'albero (CK45) ci basta un'analisi orientativa. Tale processo di analisi segue i seguenti punti:

- Il campione e la camera vengono puliti e sterilizzati tramite Argon
- Viene installato l'elettrodo appropriato per l'analisi degli acciai
- Posizioniamo il campione con la parete piana sul tavolo di scarica. Essendo il diametro dell'albero di soli 10mm occorre fare attenzione nella collocazione in quanto il foro dal quale esce la scarica è pressappoco della stessa larghezza.
- Avviamo la scarica e attendiamo la visualizzazione del risultato su schermo

### **5.2.3 – CONCLUSIONI ANALISI SPETTROGRAFICA**

I campioni analizzati sono due, quello dell'albero A e l'altro ricavato dall'albero B.

I risultati usciti dall'analisi allo spettrometro sono stati i seguenti:



	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Cu</i>
<i>CAMPIONE A</i>	0.43	0.42	0.72	0.30	0.34	0.40	0.12	0.41	0.002	0.016
<i>CAMPIONE B</i>	0.45	0.41	0.72	0.32	0.34	0.41	0.12	0.40	0.002	0.015

Entrambe le rilevazioni hanno portato al grado effettivamente corrispondente alla realtà:

*1.0503 C45-CK45*

### 5.3 – ANALISI MICROGRAFICA

Ora riprendiamo i campioni rimasti, le due estremità dell'albero, settori meccanicamente interessanti perché temprati (DX) e bruniti (DX e SX), oltre ad avere dimensioni tollerate al millesimo. Anche qui abbiamo la possibilità di analizzare il metallo pre trattamento e post trattamento, ma se nel caso dell'esame spettrografico questa differenza non portava a risultati diversi (il metallo è sempre lo stesso), nell'analisi al microscopio c'è la possibilità di conoscere a fondo la trasformazione che subisce l'acciaio dopo trattamento di tempra e di riconoscere lo spessore di ossido che si forma in seguito a quello di brunitura.

Utilizziamo il microscopio ottico in dotazione nel laboratorio (figure 5.4 e 5.5). Le operazioni che effettuiamo sono le seguenti:



Figura 5.4

1. Analisi micrografica delle inclusioni
2. Corrosione simulata
3. Analisi micrografica del grano cristallino

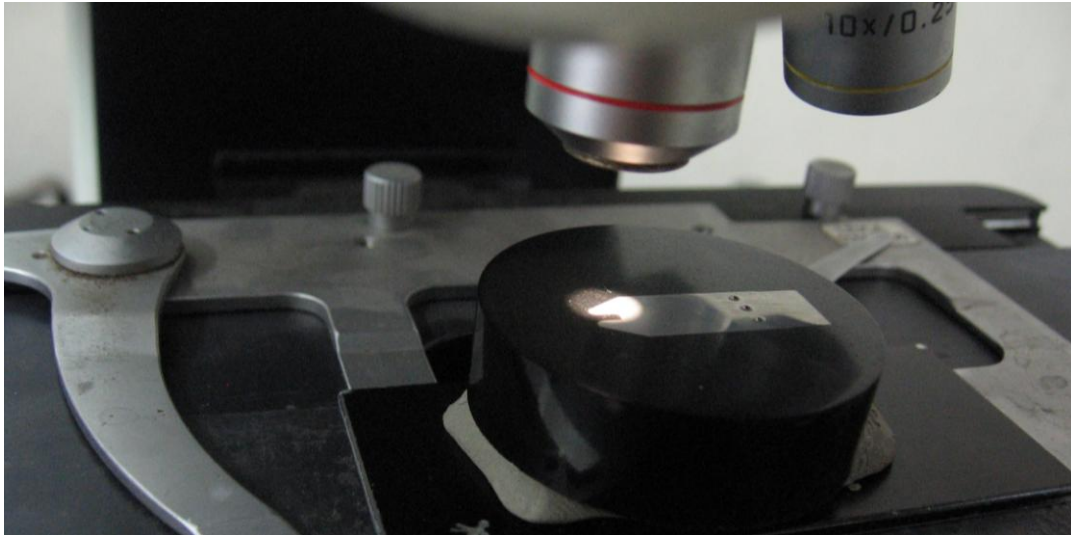


Figura 5.5

### 5.3.1 – ANALISI MICROGRAFICA DELLE INCLUSIONI

Il campione viene pulito con l'acetone prima di essere posizionato sul vetrino del microscopio ottico. I primi ingrandimenti mostrano la struttura del metallo in due diversi settori (figura 5.6):

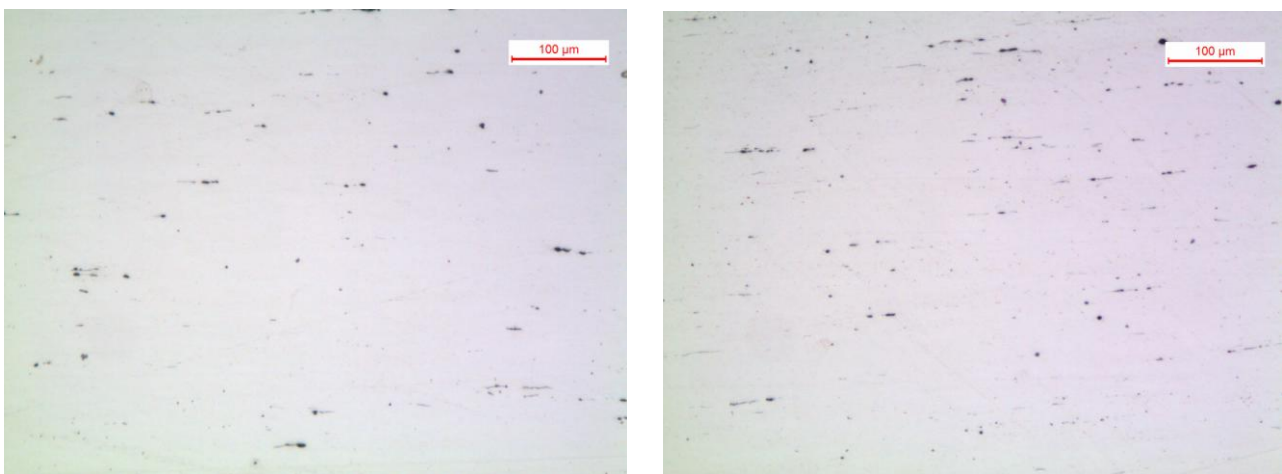


Figura 5.6

Aumentando la scala d'ingrandimento a 500x otteniamo le immagini in figura 5.7:

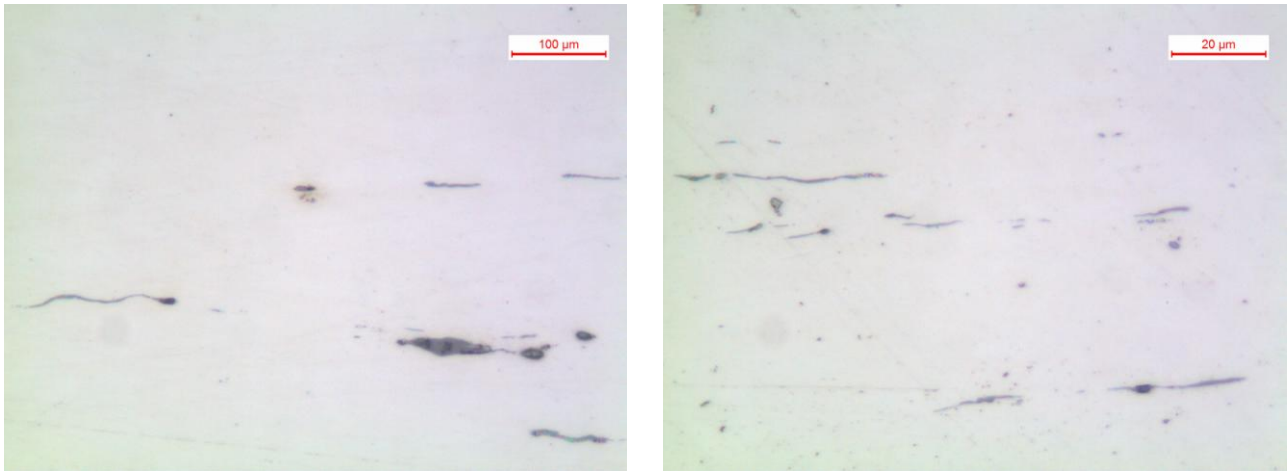


Figura 5.7

Essenzialmente da queste foto possiamo solo notare che la struttura microscopica dell'acciaio è interrotta talvolta da alcune inclusioni non metalliche esogene e dai solfuri di ferro.

I solfuri di ferro sono inclusioni metalliche endogene e si generano nel bagno metallico per effetto delle reazioni che hanno luogo durante il processo produttivo dell'acciaio. Hanno forma allungata e se presenti in quantità superiori alla norma possono essere dannosi perché danno fragilità al rosso e abbattano il limite di fatica. Attorno alla temperatura di 988 °C fondono e si depositano poi durante la solidificazione addensandosi. Se ci sono altri elementi il solfuro di ferro si unisce a questi formando composti ancora più basso fondenti. Peggiorano le caratteristiche meccaniche, si diffondono con facilità e si rimuovono con difficoltà.

Fortunatamente nel nostro caso i solfuri di ferro sono abbastanza dispersi nella massa dell'acciaio, anzi rientrano in un quantitativo normale per un acciaio basso legato come il C45E, per cui non provocano un peggioramento nella qualità dello stesso.

Lo Zolfo è un elemento nocivo nell'acciaio ma occorre ricordare che questo tipo di acciaio ne contiene comunque uno 0.035% per garantire la lavorabilità delle macchine utensili.

### 5.3.2 – ATTACCO METALLOGRAFICO

In laboratorio chimico viene versato sul campione un composto formato da 97% di alcool etilico e 3% di acido nitrico. Questo acido va lasciato agire sulla superficie del metallo per qualche secondo,

poi viene arrestato lo stato corrosivo tramite acqua corrente che pulisce il campione dal composto aggressivo.

Questa operazione non è altro che un modo per corrodere la superficie del metallo appunto, con lo scopo di evidenziare la linea di separazione dei grani cristallini. Agisce penetrando attraverso i giunti del grano. Possiamo in questo modo vedere con chiarezza al microscopio la morfologia del grano cristallino che costituisce i campioni metallici in esame.

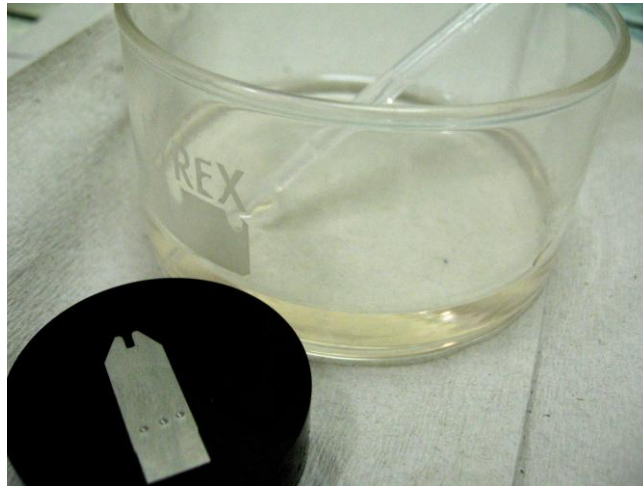


Figura 5.8

### 5.3.3 – ANALISI MICROGRAFICA DEL GRANO CRISTALLINO

I campioni dopo l'attacco metallografico sono pronti per essere visionati al microscopio ottico, in modo tale da rilevare le differenze tra la morfologia del grano prima dei trattamenti e dopo gli stessi.

Anzitutto sono stati scelti dei settori nei punti del campione da noi considerati nevralgici, come si vede nelle figure (figura 5.9 per il pezzo prima denominato SX, figura 5.10 per il settore DX), valevoli sia per i campioni provenienti dall'albero A che da quelli dall'albero B trattato.

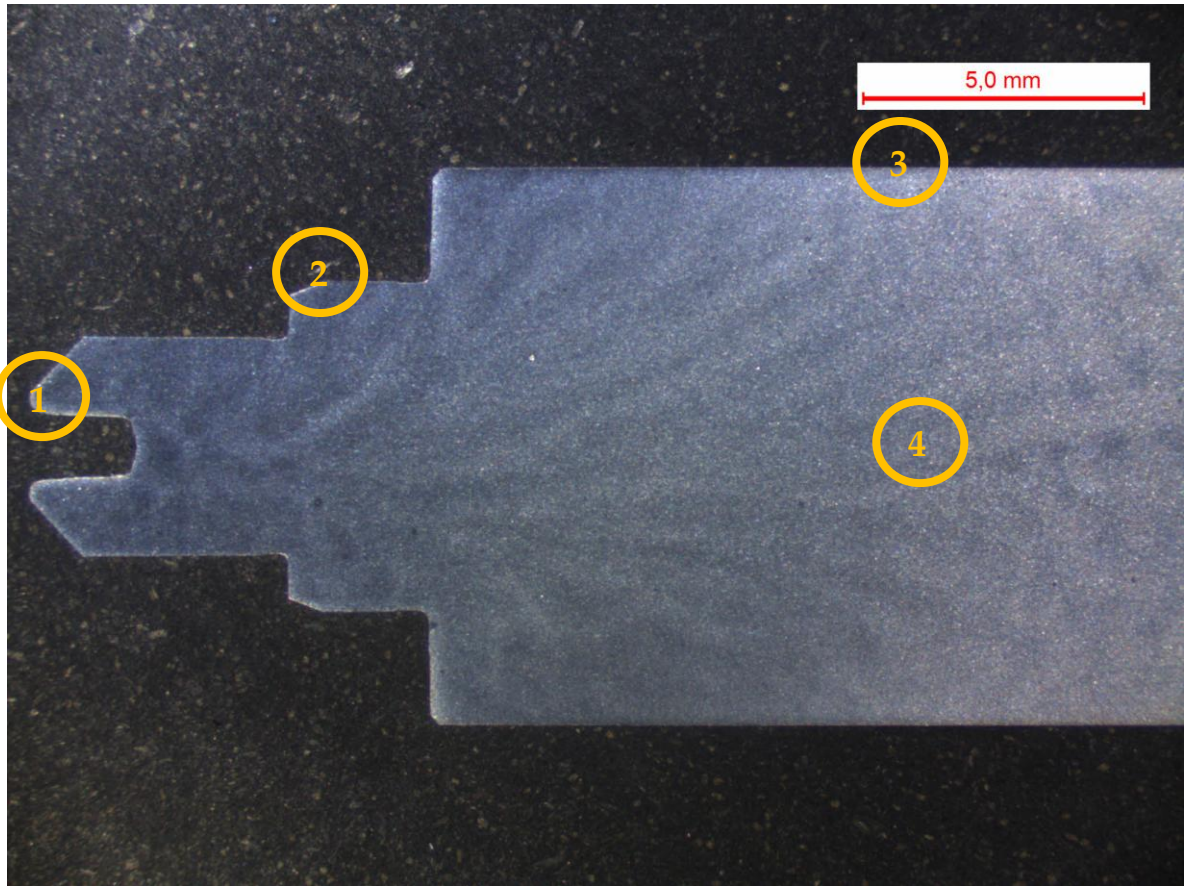


Figura 5.9 – PEZZO SX BRUNITO

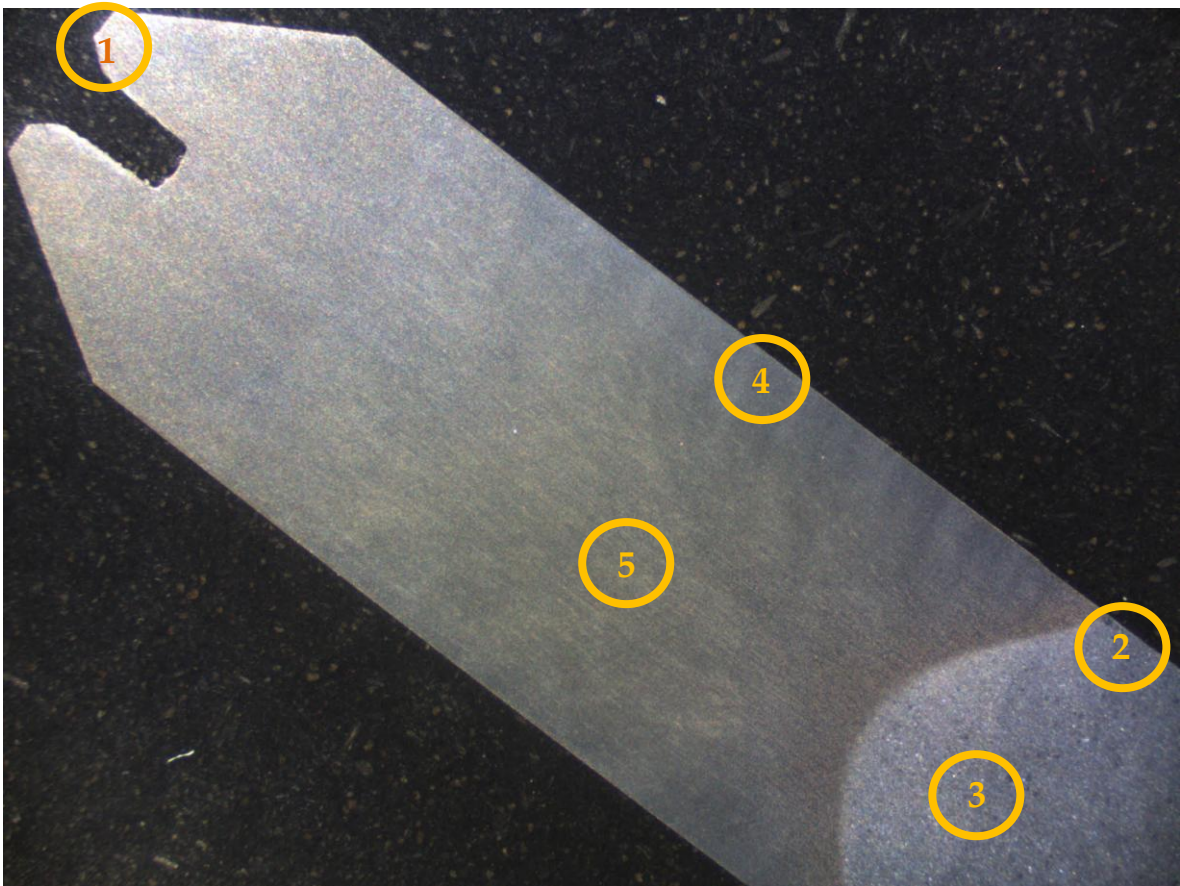
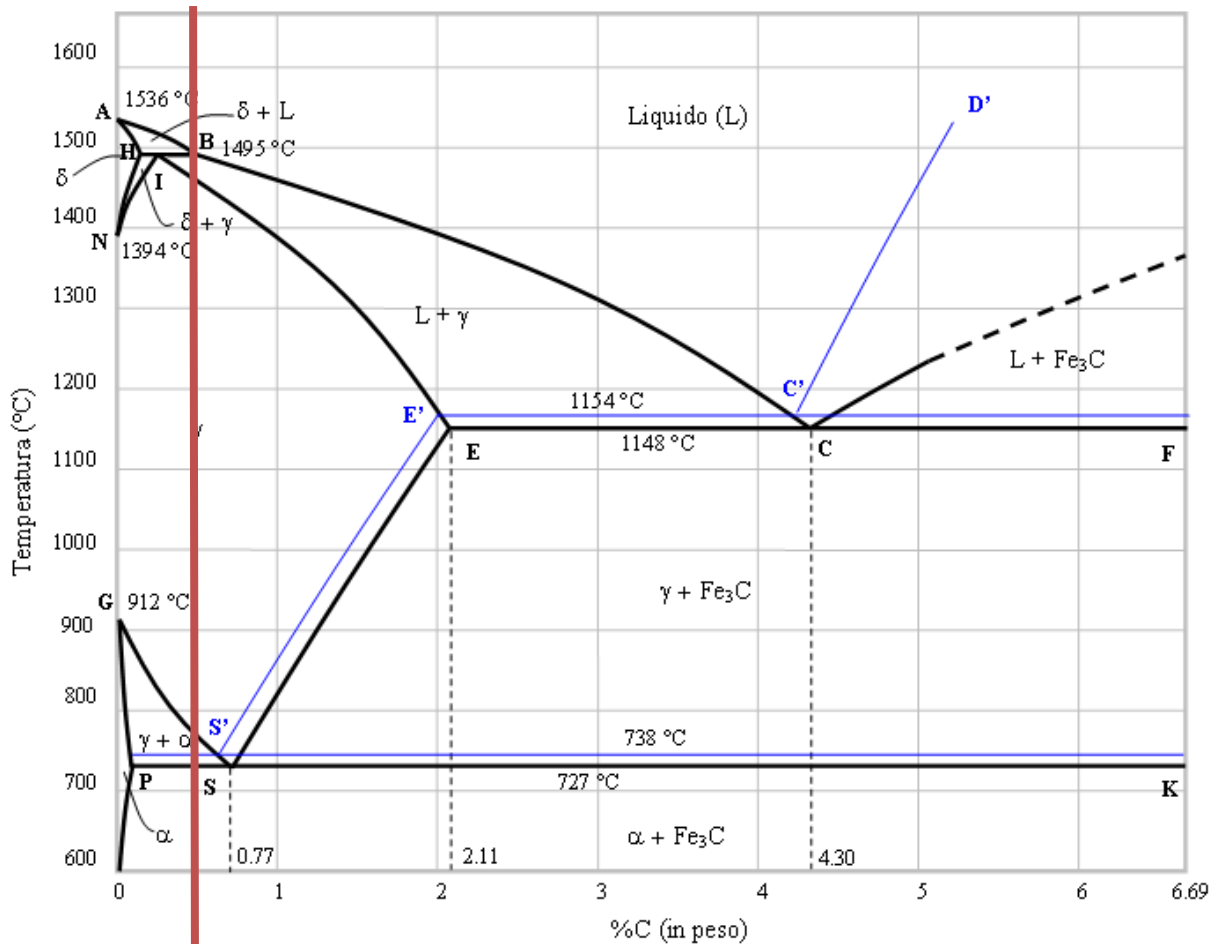


Figura 5.10 – PEZZO DX BRUNITO E TEMPRATO

Su questi settori sono stati effettuati tre diversi ingrandimenti (50X, 500X e 1000X) e uno svariato numero di fotografie tramite l'ausilio del microscopio ottico in dotazione del laboratorio. In seguito troveremo solo quelle più significative e utili ai fini della nostra esaminazione.

Prima di introdurre le micrografie approfondiamo teoricamente quale dev'essere la struttura molecolare di un acciaio al carbonio quale il C45E.

Conosciamo chiaramente quale dovrebbe essere la quantità di carbonio presente all'interno del metallo, C 0,45 %. Nella figura 5.11 è rappresentato il diagramma Fe-C, stabiliamo in esso la posizione approssimativa di questo metallo (linea rossa) e quindi la sua composizione:



**C45E**

Figura 5.11 – Diagramma Fe-C

Teoricamente dal diagramma Fe-C si capisce che a temperatura ambiente il metallo con quel tenore di carbonio è costituito da:

### ***FERRITE (Fe $\alpha$ )***

È la soluzione interstiziale formata da piccole quantità di carbonio nel reticolo CCC (cubico a corpo centrato) del ferro  $\alpha$ . La presenza di atomi di carbonio nel reticolo CCC del ferro  $\alpha$  produce delle notevoli distorsioni, per questo la solubilità del carbonio nel ferro  $\alpha$  è molto limitata e può raggiungere un valore massimo dello 0.02% (a 727 °C).

### ***CEMENTITE (Fe<sub>3</sub>C)***

Un composto interstiziale duro e fragile, costituito da carbonio + ferro (carburo di ferro), la cui presenza negli acciai promuove un aumento delle proprietà meccaniche di durezza e resistenza, favorendo di contro un comportamento fragile della lega.

La struttura lamellare alternata di ferrite e cementite caratteristica di questo tipo di acciai è chiamata:

### ***PERLITE***

Inizia a formarsi sul bordo dei grani austenitici con la nucleazione di un cristallo di ferrite. Il carbonio presente viene espulso dal nucleo di ferrite dando origine a nuclei di cementite, i quali ingrandiranno fino ad occupare tutto l'ex grano austenitico. Le lamelle che si formano non hanno però una precisa orientazione a causa della diversa disposizione dei bordi grano da cui nucleano, il materiale risulta per questo isotropo.

In figura 5.12 un ingrandimento del campione non trattato termicamente, pezzo SX, nel settore nr.5 ovvero nel cuore del campione.

Si nota chiaramente la struttura del grano cristallino e la forma lamellare della perlite, costituita da lamelle alternate di cementite (bianca) e ferrite (marrone).

Si nota distintamente anche l'isotropia del materiale.

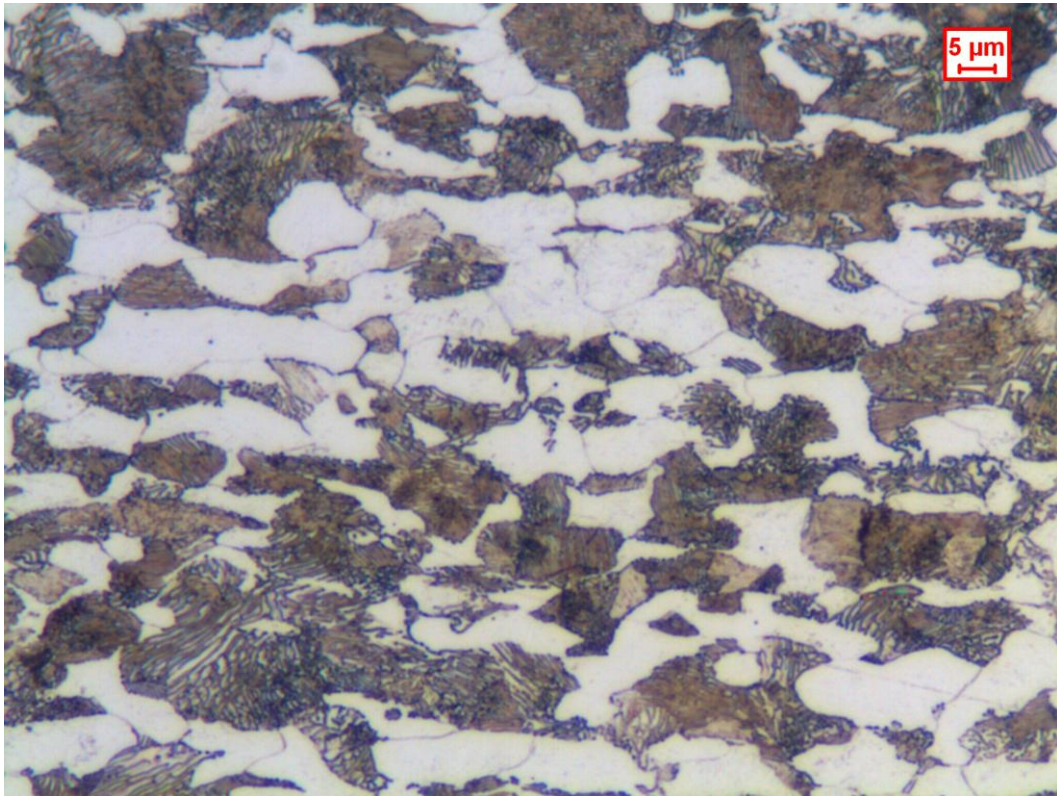


Figura 5.12 – struttura perlitica

Illustriamo ora l'ingrandimento corrispondente, nello stesso settore, del campione però temprato.

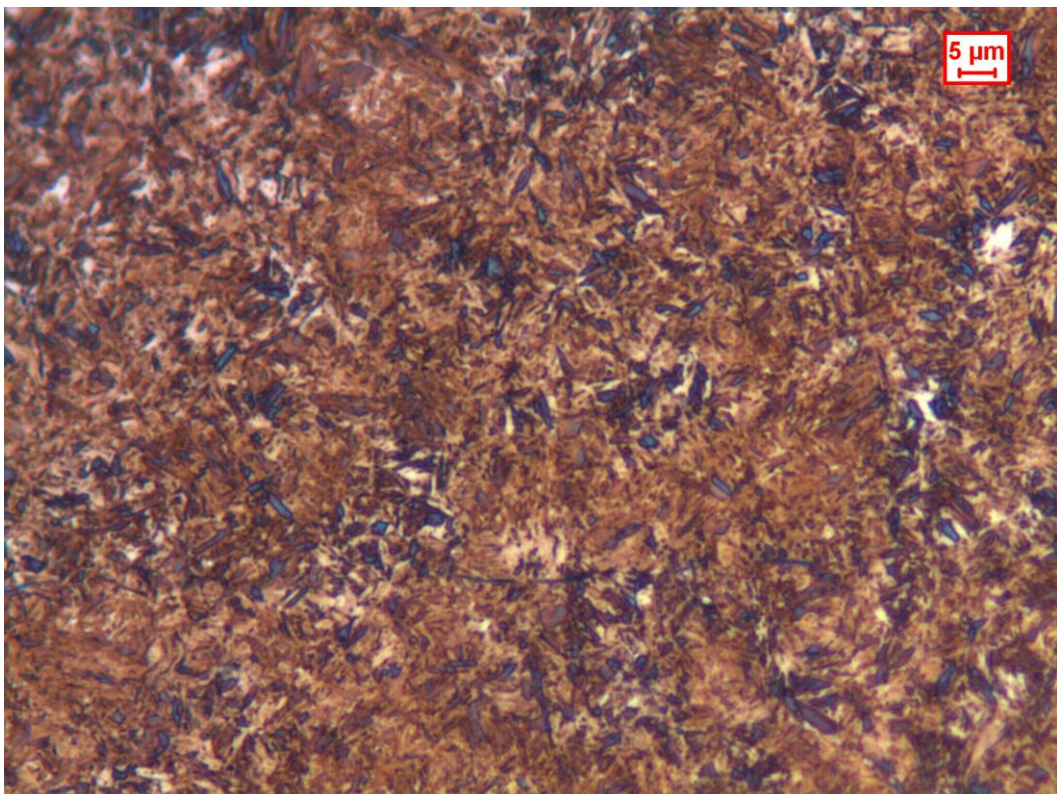


Figura 5.12 – struttura martensitica



Si nota subito uno stravolgimento della struttura molecolare. In seguito al trattamento di tempra a induzione il campione presenta ora una struttura non più perlitica ma martensitica.

### *MARTENSITE*

E' una forma allotropica metastabile dell'acciaio sovrassatura di carbonio, nel reticolo del ferro  $\alpha$ . È una fase che non sussiste in equilibrio ma può essere ottenuta mediante "congelamento" strutturale dell'austenite (detta anche Fe  $\gamma$ ), cioè tramite un brusco raffreddamento da temperature superiori a quella di austenitizzazione sino a temperatura ambiente. Si origina così un reticolo tetragonale a corpo centrato piuttosto tensionato.

A temperatura ambiente la struttura perlitica sarebbe stabile, il raffreddamento troppo rapido però fa sì che la massa metallica "non riesca" ad arrangiarsi nella struttura di equilibrio andando invece a formare una struttura simile a quella austenitica ma altamente tensionata detta appunto Martensite.

Nella trasformazione da austenite a martensite si ha aumento di volume, per questo le dimensioni dell'albero in fase di lavorazione devono essere sottostimate, per compensare l'aumento del volume dovuto al trattamento di tempra.

La martensite è una fase che presenta alta durezza e resistenza meccanica, cio' che si vuole raggiungere appunto con la tempra. Lo svantaggio tuttavia è che si tratta di una struttura macroscopicamente fragile e altamente tensionata, per questo alla tempra si fa seguire un trattamento di rinvenimento allo scopo di rilassare tali tensioni pericolose e raggiungere un buon compromesso tra durezza, resistenza e tenacità dell'acciaio.

Se l'acciaio contiene meno dello 0,6% di carbonio, come nel nostro caso, la martensite sarà di tipo aciculare mentre se il tenore di carbonio all'interno dell'acciaio è superiore allo 0,6% la martensite sarà denominata martensite a placchette.

In seguito possiamo visivamente confrontare le micrografie dei campioni DX, pre e post trattamento di tempra, in tre settori differenti all'interno della zona temprata.

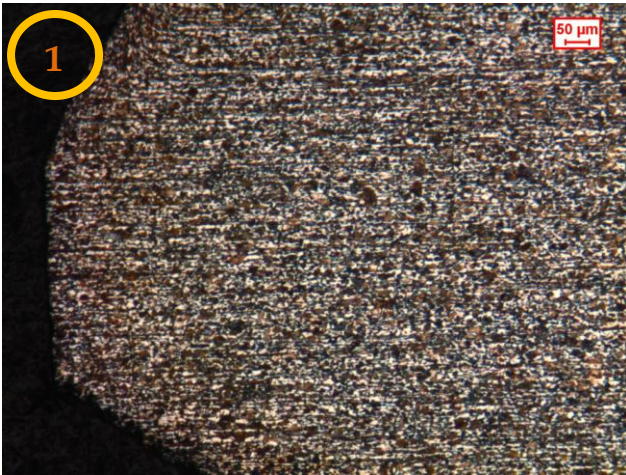


Figura 5.12 – non trattato



Figura 5.13 – trattato

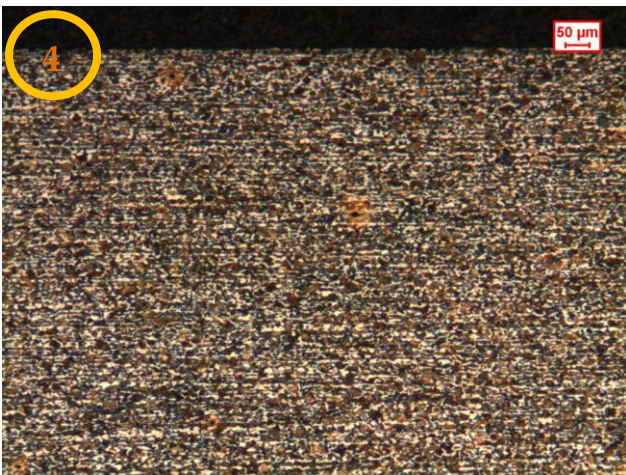


Figura 5.14 – non trattato



Figura 5.15 – trattato

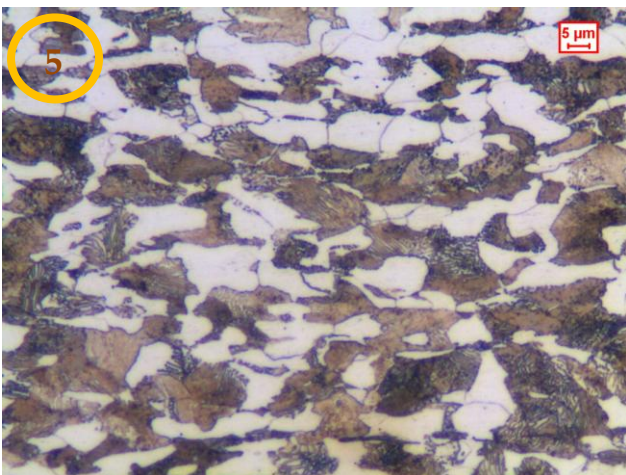


Figura 5.16 – non trattato

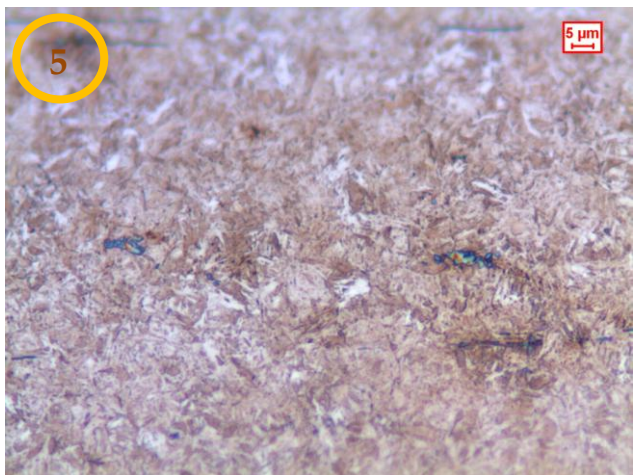


Figura 5.17 – trattato

Notiamo invece che nel settore esterno alla zona temprata la struttura perlitica del materiale rimane chiaramente sempre la stessa.

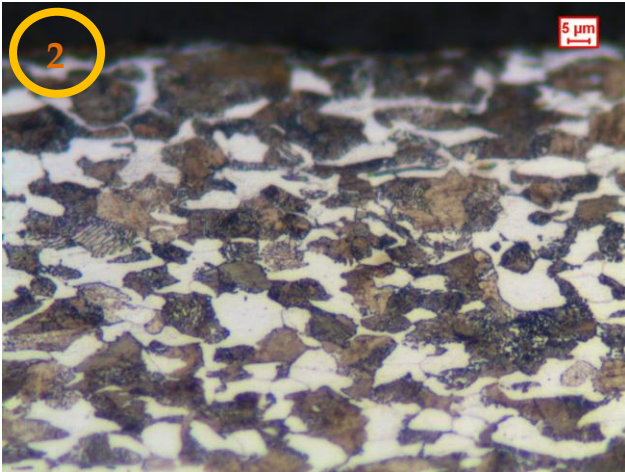


Figura 5.18 – non trattato

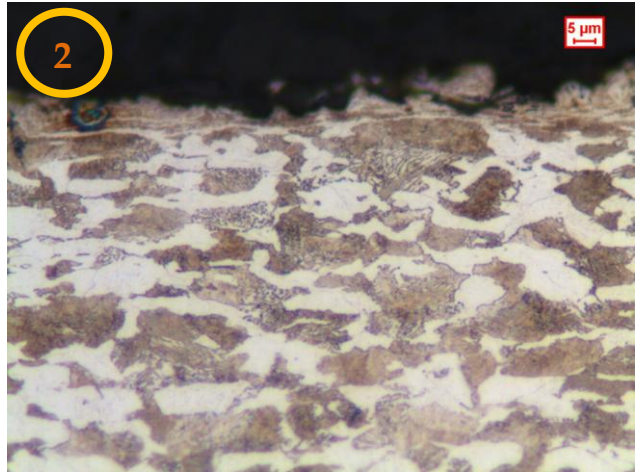


Figura 5.19 – temprato

Il trattamento di brunitura invece provoca solamente la formazione di un sottilissimo strato di ossido, principalmente  $Fe_3O_4$ , sulla superficie dell'acciaio. Questo rivestimento si forma mediante una reazione chimica che si attiva quando il pezzo viene immerso nella soluzione alcalina alla temperatura di circa  $140\text{ }^{\circ}C$ .

Lo strato di ossido che si genera ha uno spessore di  $1 \div 1.5\ \mu m$ , non provoca variazioni sostanziali nel volume del pezzo, per questo non c'è necessità di sottostimare a priori le dimensioni come nel caso del trattamento di tempra.

In figura 5.20 si nota a malapena lo strato di ossido sul pezzo brunito.

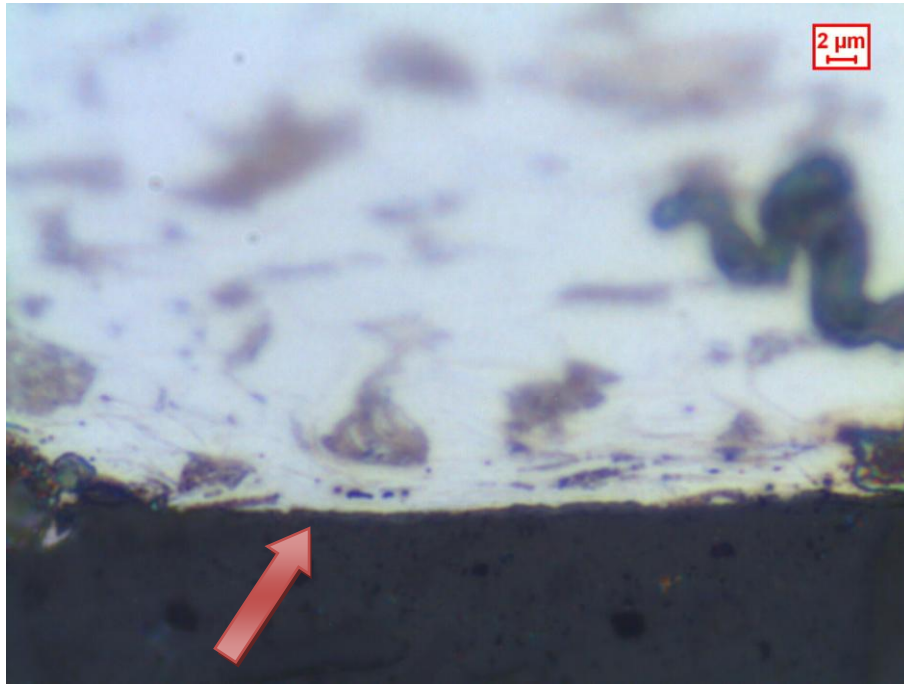


Figura 5.20 – strato ossido brunitura

Interessante è anche vedere al microscopio ottico le deformazioni superficiali dovute ai processi di lavorazione, quali la tornitura e la rettifica, durante la produzione dell'albero. In figura 5.21 si nota chiaramente lo strato superficiale di  $10 \div 20 \mu\text{m}$  in cui si generano le distorsioni che seguono l'andatura del taglio dell'inserto utilizzato.

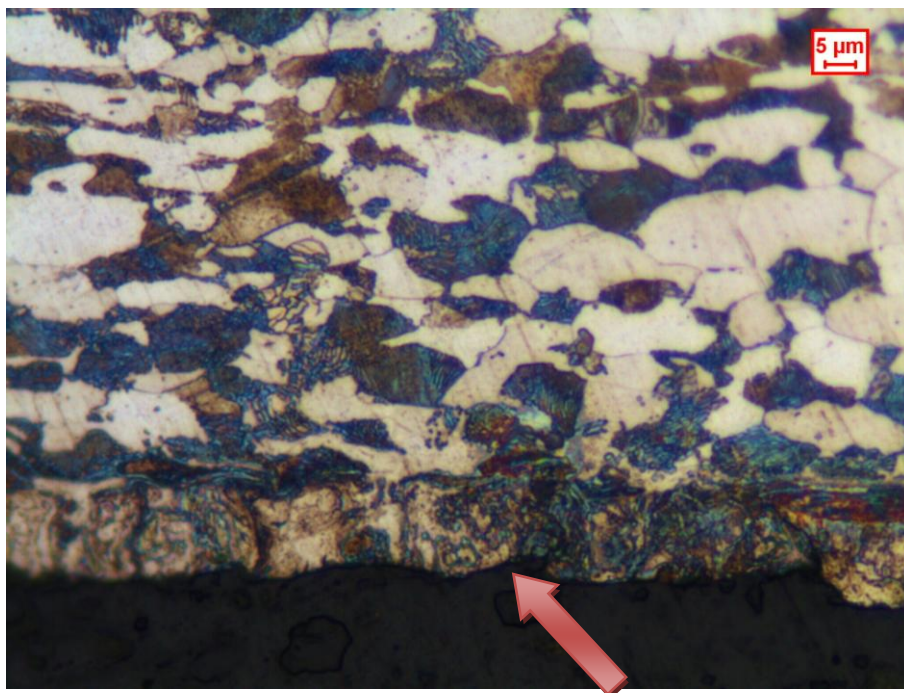


Figura 5.21

## 5.4 – PROFILO DI DUREZZA

Con l'ausilio delle attrezzature presenti in laboratorio andiamo a misurare la resistenza offerta dal materiale alla penetrazione di una punta adeguata. Com'è noto esistono diverse scale per misurare la durezza dei materiali, noi ci atteniamo alla Scala di Rockwell, perché quella richiesta dal disegno, e alla Scala Vickers in uso nei durometri a disposizione del laboratorio. Essenzialmente troviamo le misure in scala Vickers e poi le convertiamo in Rockwell. Si distinguono inoltre due sottotipi di analisi della durezza Vickers, microdurezza e macrodurezza.

### 5.4.1 - PROVA DI MICRODUREZZA VICKERS

Nella prova di micro durezza Vickers il penetratore di diamante è costituito da una piramide retta a base quadrata con un angolo di  $\theta=136^\circ$ . Quello che si misura è il rapporto fra il carico applicato e la superficie dell'impronta, che ricalca la piramide a base quadrata del penetratore la cui superficie viene calcolata automaticamente dal software.

Tale valore si ottiene dal valore medio delle due diagonali del quadrato, tracciate manualmente sull'impronta tramite il mouse, sotto microscopio. Le unità di misura della scala Vickers sono quindi quelle di una pressione (Newton) su una superficie.

Il carico applicato varia generalmente da 1kgf a 120kgf.

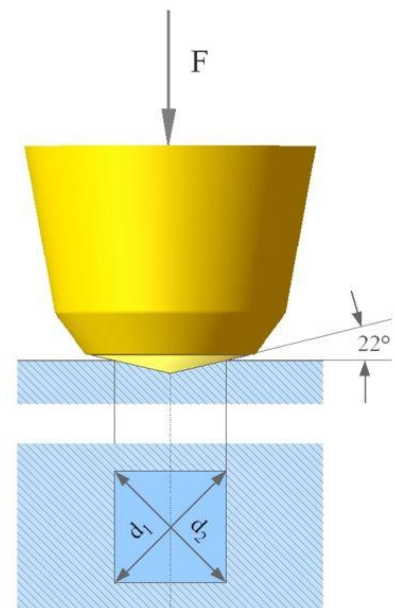


Figura 5.22

Per questa prova di micro durezza ci atteniamo al pezzo di albero interessato dal trattamento di tempra (DX), per capire quanto varia effettivamente la durezza del materiale lungo un profilo lineare prima e dopo il trattamento. Prendiamo quindi i due campioni del pezzo DX (figure 5.23 e 5.24).

Tracciamo delle linee ideali sulle fotografie generali, come traccia da seguire col tastatore, partendo da un lato del campione e attraversando il cuore dello stesso, raggiungendo infine il lato opposto.

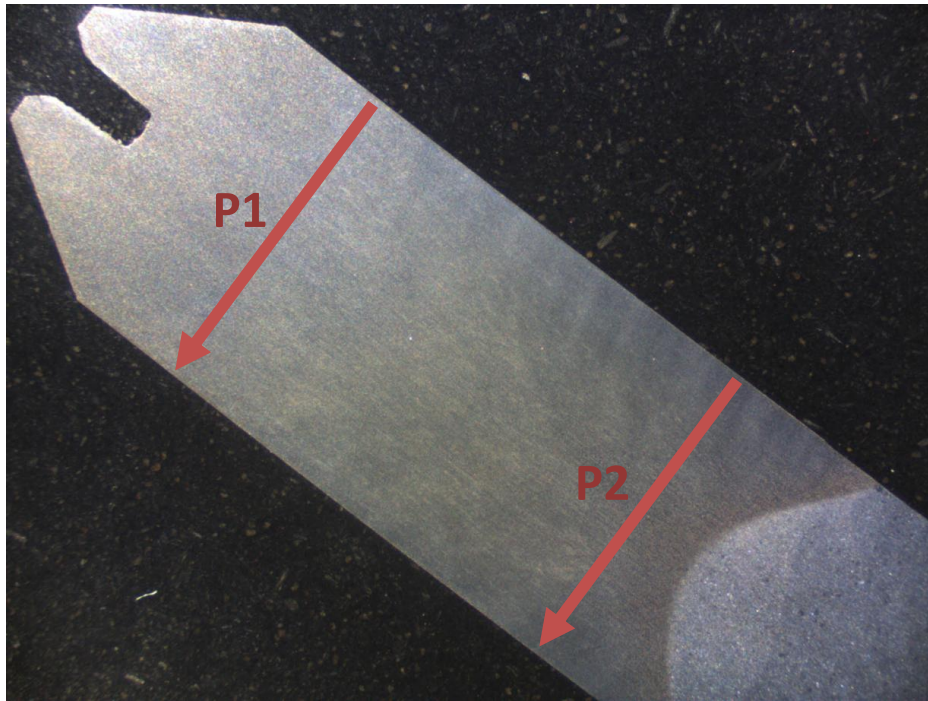


Figura 5.23 - temprato

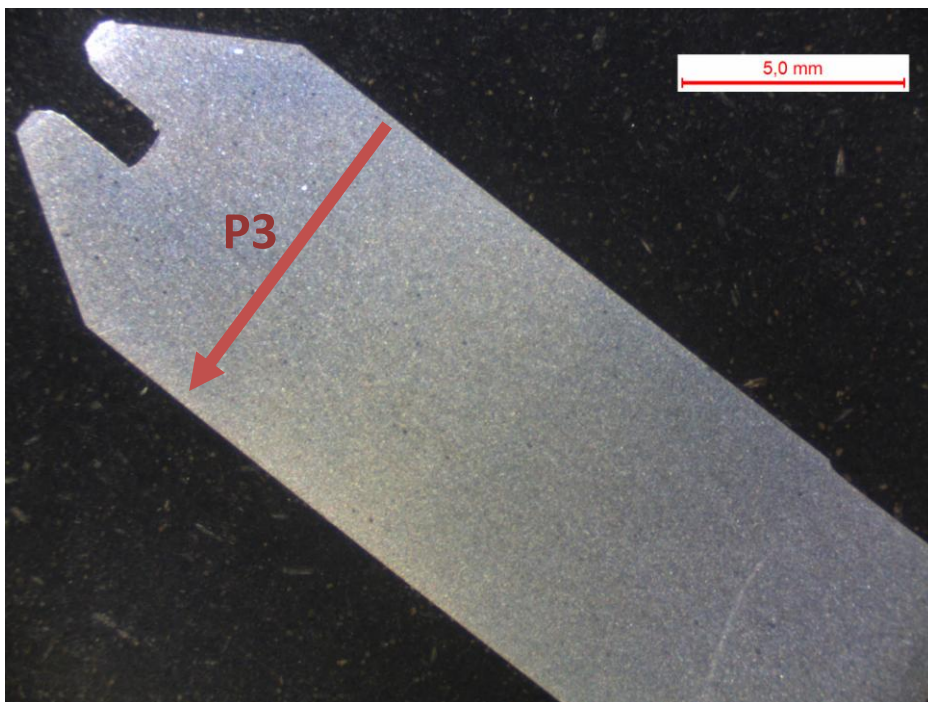


Figura 5.24 - non temprato

Ogni misurazione viene effettuata ad una distanza ben definita l'una dall'altra, partendo dallo 0 sul lato in alto, procedendo lungo la linea, arrivando infine dopo 8mm al lato opposto. In tabella nella colonna a sinistra l'avanzamento, a destra i risultati ottenuti.

<b>P1</b>		<b>P2</b>		<b>P3</b>	
<b>avanzamento</b>	<b>durezza</b>	<b>avanzamento</b>	<b>Durezza</b>	<b>avanzamento</b>	<b>durezza</b>
100 $\mu\text{m}$	763 HV	100 $\mu\text{m}$	737 HV	100 $\mu\text{m}$	280 HV
200 $\mu\text{m}$	702 HV	200 $\mu\text{m}$	769 HV	200 $\mu\text{m}$	292 HV
500 $\mu\text{m}$	782 HV	500 $\mu\text{m}$	650 HV	500 $\mu\text{m}$	291 HV
1000 $\mu\text{m}$	690 HV	1000 $\mu\text{m}$	659 HV	1000 $\mu\text{m}$	304 HV
2000 $\mu\text{m}$	650 HV	2000 $\mu\text{m}$	752 HV	2000 $\mu\text{m}$	254 HV
3000 $\mu\text{m}$	762 HV	3000 $\mu\text{m}$	710 HV	3000 $\mu\text{m}$	276 HV
4000 $\mu\text{m}$	822 HV	4000 $\mu\text{m}$	757 HV	4000 $\mu\text{m}$	264 HV
5000 $\mu\text{m}$	881 HV	5000 $\mu\text{m}$	681 HV	5000 $\mu\text{m}$	304 HV
6000 $\mu\text{m}$	670 HV	6000 $\mu\text{m}$	774 HV	6000 $\mu\text{m}$	282 HV
7000 $\mu\text{m}$	711 HV	7000 $\mu\text{m}$	545 HV	7000 $\mu\text{m}$	301 HV
7500 $\mu\text{m}$	808 HV	7500 $\mu\text{m}$	702 HV	7500 $\mu\text{m}$	312 HV
7800 $\mu\text{m}$	790 HV	7800 $\mu\text{m}$	718 HV	7800 $\mu\text{m}$	288 HV
7900 $\mu\text{m}$	763 HV	7900 $\mu\text{m}$	841 HV	7900 $\mu\text{m}$	279 HV
<b>media</b>	753 HV	<b>media</b>	745 HV	<b>media</b>	286 HV

I profili di microdurezza Vickers effettuati con lo strumento a disposizione del laboratorio confermano quindi l'aumento della durezza da 286 a circa 750 HV in seguito a tempra.

## 5.4.2 - PROVA DI MACRODUREZZA ROCKWELL

Nella prova di macrodurezza, a differenza della microdurezza, il penetratore genera impronte visibili all'occhio umano. Il durometro analogico presente in laboratorio (figura 5.25) ha penetratore di forma conica con punta sferica e la misura della durezza è determinata in base alla deformazione elasto-plastica del materiale in esame.

Principalmente la procedura consiste nel collocare il penetratore sulla superficie del pezzo di cui



Figura 5.25

misurare la durezza, applicando una forza iniziale (precarico) di circa 30 N (massa di 3 kg) e infine applicandone una addizionale per un intervallo di tempo definito. Quando il penetratore raggiunge la penetrazione massima si rimuove la forza addizionale lasciando agire solo il precarico. La misura della profondità raggiunta è correlata con la misura di durezza.

Le scale rockwell maggiormente utilizzate sono:

- **HRC:** Il penetratore è un cono di diamante con un angolo di apertura pari a  $120^\circ$  e raggio di raccordo 0.2 mm. Questo metodo è usato di preferenza per materiali molto duri con valore di durezza Brinell  $HB > 200$ .
- **HRB:** Il penetratore è una sfera di metallo duro (carburo di tungsteno) del diametro di  $1/16''$  (1,59 mm); è utilizzata per materiali non eccessivamente duri, con valore di durezza Brinell  $HB < 200$ .

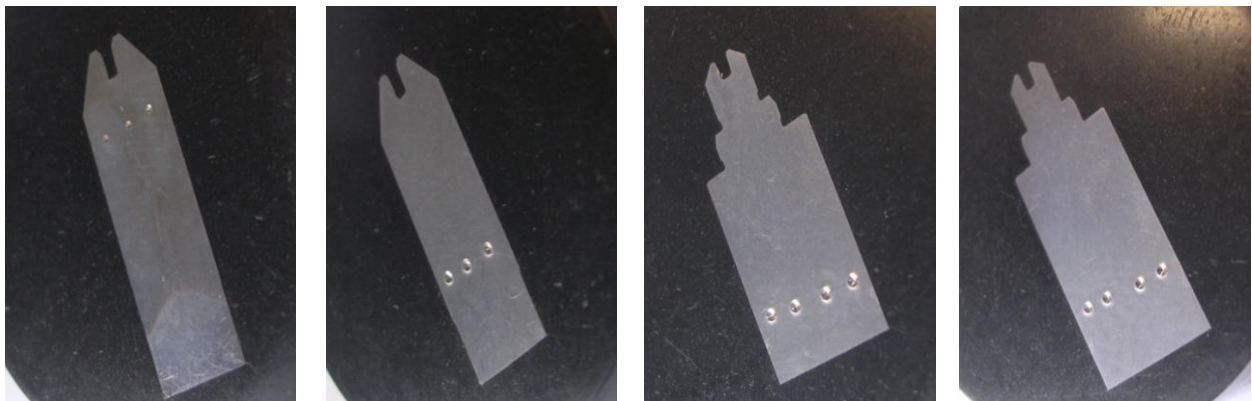
Il durometro a nostra disposizione utilizza la scala Rockwell HRC, come quella richiesta esplicitamente nel disegno.



Alla fine della prova i campioni presentano impronte visibili ad occhio nudo come si vede nelle foto sottostanti.

Si ravvisa inoltre che sono state effettuate tre o quattro sulla parete piana del campione e in questo caso sono stati testati entrambi i pezzi dell'albero (SX e DX), prima e dopo trattamento, per un totale di quattro campioni analizzati.

I risultati per ciascun campione sono stati i seguenti:



<b>DX temprato</b>	
posizione	durezza
Z1	57 HRC
Z2	57 HRC
Z3	58 HRC

<b>media</b>	<b>57 HRC</b>
--------------	---------------

<b>DX non temprato</b>	
posizione	durezza
Z1	35 HRC
Z2	33 HRC
Z3	31 HRC

<b>media</b>	<b>33 HRC</b>
--------------	---------------

<b>SX brunito</b>	
posizione	durezza
Z1	28 HRC
Z2	32 HRC
Z3	29 HRC
Z4	33 HRC

<b>media</b>	<b>30 HRC</b>
--------------	---------------

<b>SX non brunito</b>	
posizione	durezza
Z1	30 HRC
Z2	29 HRC
Z3	31 HRC
Z4	31 HRC

<b>media</b>	<b>30 HRC</b>
--------------	---------------

Anche dai risultati della macrodurezza si evince che la tempra porta un indurimento del materiale fino a circa 60 HRC, quando il metallo non temprato è di circa 30 HRC. Si conferma inoltre che il trattamento di brunitura non provoca alcuna modifica nella struttura dell'acciaio, essendo un trattamento che porta solamente alla formazione di un sottilissimo strato di ossido superficiale e quindi i profili di durezza restano identici.

## 5.5 – PROFILO DI RUGOSITÀ

La rugosità (o scabrosità o scabrezza o scabrezza assoluta) è una proprietà della superficie di un corpo, costituita da microimperfezioni geometriche normalmente presenti sulla superficie o anche risultanti da lavorazioni meccaniche.

Il procedimento di misura della rugosità consiste nella registrazione del profilo della superficie ottenuto lungo una determinata linea di misura. Tale profilo viene poi analizzato definendo un parametro numerico che costituisce la misura della rugosità. Parte fondamentale del processo di calcolo dei vari parametri di rugosità è l'operazione di filtraggio che consente di ottenere una misura della sola qualità della superficie, depurata dagli effetti che gli errori di geometria del pezzo hanno sul profilo misurato.

La misura della rugosità  $R_a$ , espressa in micron, è il valore medio aritmetico degli scostamenti (presi in valore assoluto) del profilo reale della superficie rispetto alla linea media.

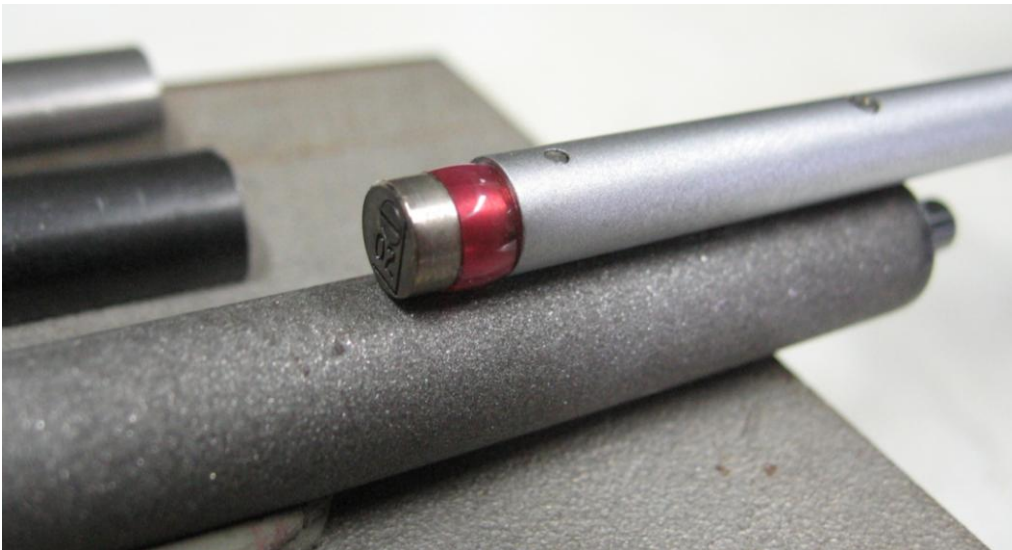


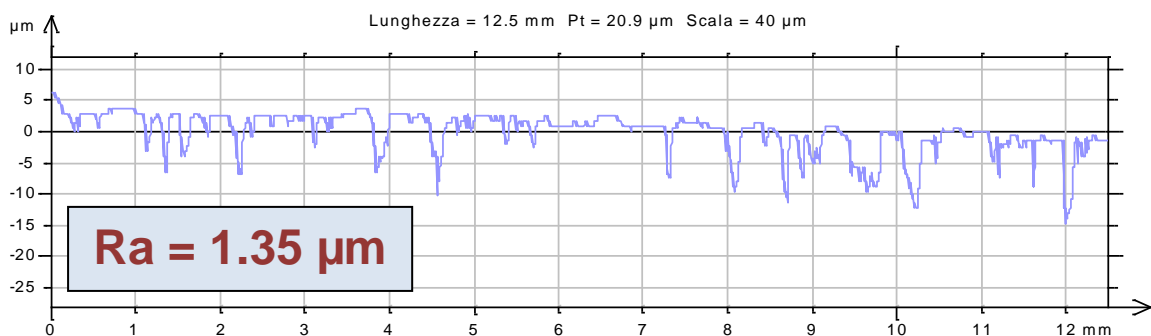
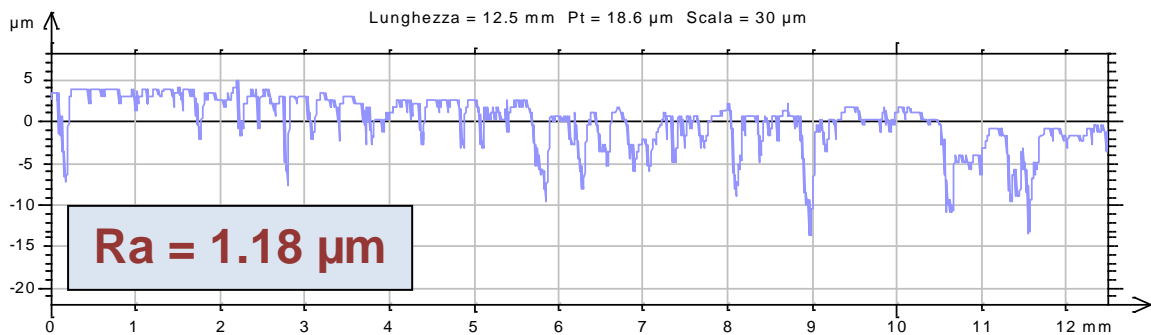
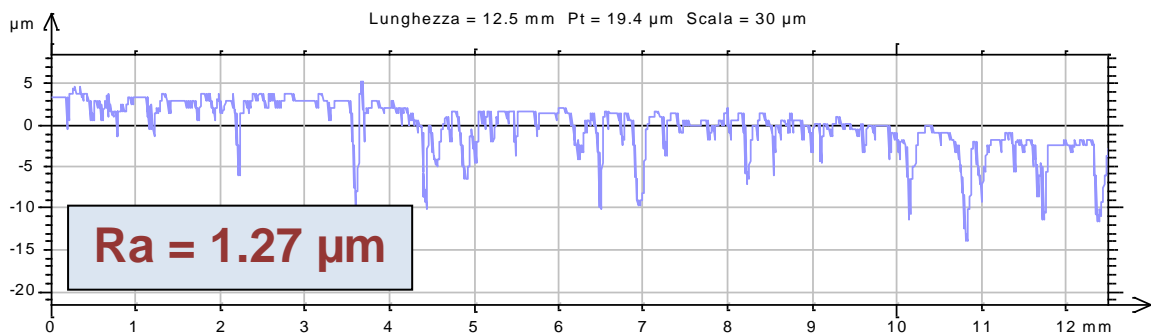
Figura 5.30

Il rugosimetro a disposizione del laboratorio ci consente di misurare la diversa Rugosità della superficie dell'albero in tre diverse fasi di produzione:

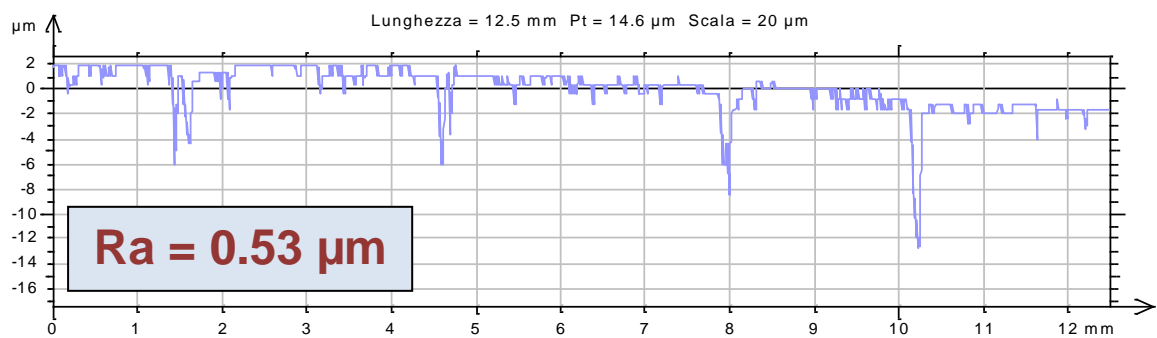
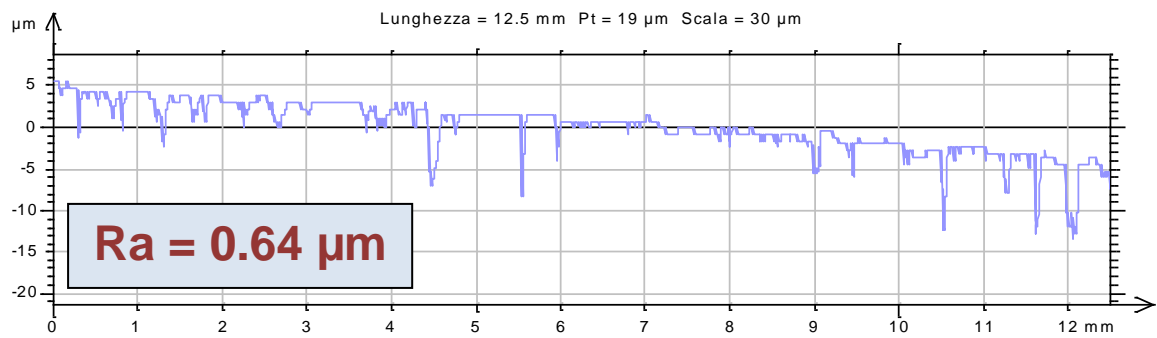
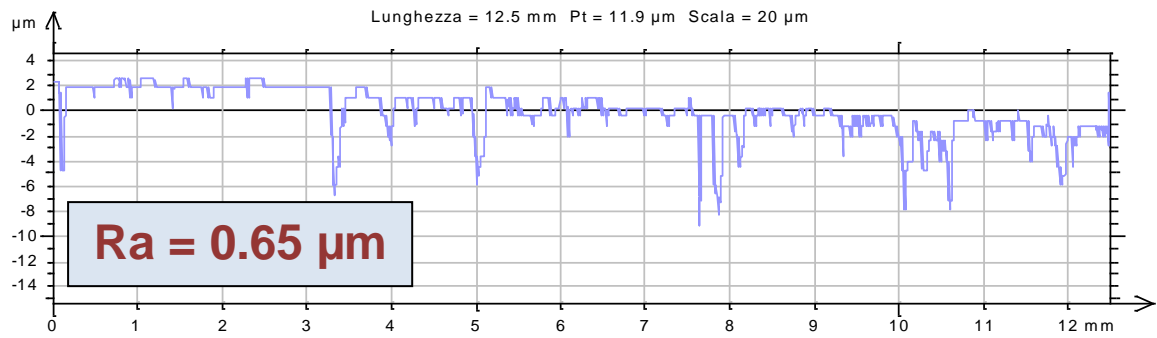
- Tornito
- Tornito e brunito
- Tornito, brunito e sabbiato

Essendo la misura effettuata nel segmento centrale dell'albero (RA), un ruolo importante gioca la rugosità del profilo sabbato, in quanto maggiore è l'asperità della superficie in seguito a sabbatura, maggiore sarà l'efficienza della colla, che avrà quindi più solchi e avallamenti dove fare presa. In seguito i profili di rugosità ottenuti in laboratorio per ognuno dei segmenti, in una serie di tre misurazioni distanziate di qualche centimetro l'una dall'altra, con filtro di Gauss = 0.8 mm.

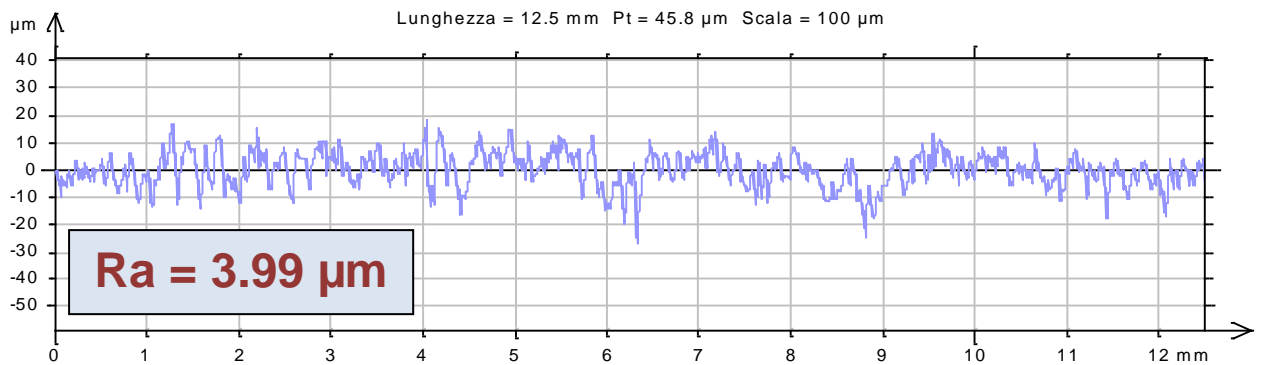
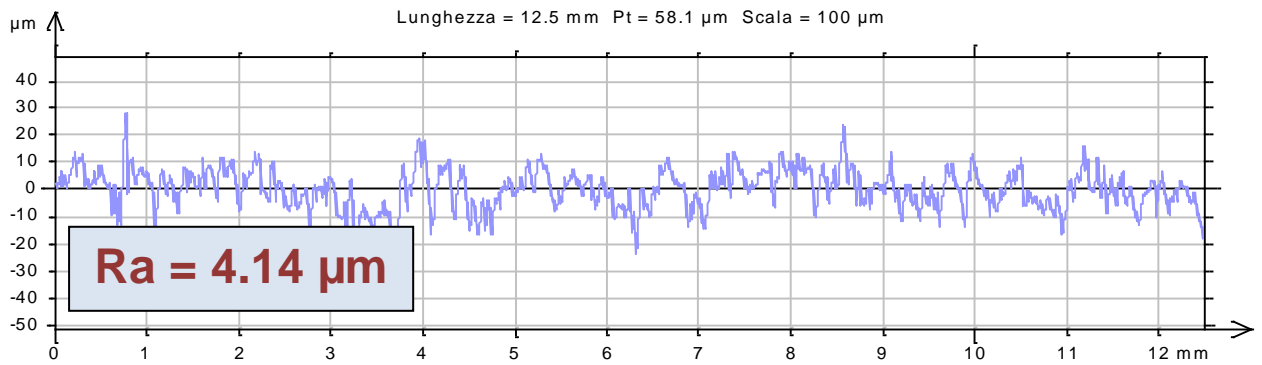
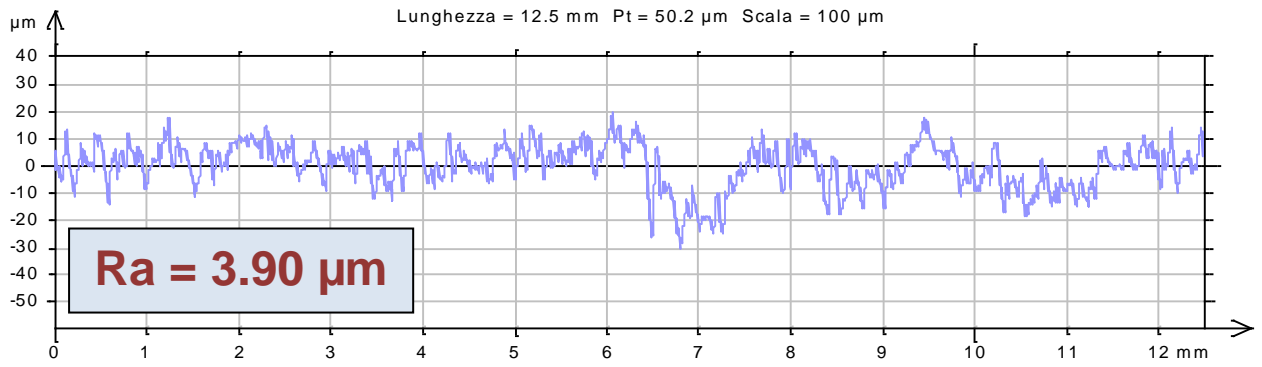
**ALBERO LAVORATO, NON TRATTATO**



ALBERO LAVORATO, BRUNITO E NON SABBIATO



ALBERO LAVORATO, BRUNITO E SABBIAATO



Ricapitolando, le misure medie ottenute per ciascuno dei tre segmenti sono le seguenti:

- Tornito →  $Ra = 1.27 \mu\text{m}$
- Tornito e brunito →  $Ra = 0.61 \mu\text{m}$
- Tornito, brunito e sabbiato →  $Ra = 4.01 \mu\text{m}$

Da questi risultati si può intuire che la lavorazione di tornitura che trasforma la barra d'acciaio C45E grezza in albero, in corrispondenza del diametro  $\varnothing 10$  mm che successivamente verrà sabbiato, porta ad avere una finitura superficiale con rugosità  $Ra = 1.27 \mu\text{m}$ .

Il trattamento di brunitura viene operato mettendo a bagno tutto il pezzo, per cui si ossida anche questo segmento, nonostante sia inutile visto che poi verrà sabbiato. Notiamo comunque che in seguito a brunitura la rugosità si abbassa notevolmente raggiungendo  $Ra = 0.61 \mu\text{m}$ , ciò può essere dovuto all'applicazione dell'olio, per questo le superfici brunate presentano un aspetto lucente ed è chiamato trattamento estetico.

Infine con la sabbiatura aumenta la rugosità fino a  $Ra = 4.01 \mu\text{m}$ , un valore alto, adatto a far attecchire la colla.

## 6 – CONCLUSIONI

In conclusione in questa tesi ho voluto suggerire due analisi diverse.

Nella prima ho intrapreso una sorta di viaggio nel tempo, percorrendo tutte le fasi di vita di un prodotto altamente tecnologico, dalla sua creazione all'applicazione in macchina, approfondendo anche le moderne tecniche di stampa digitale.

Nella seconda c'è invece una chiara dimostrazione pratica di ciò che ho appreso teoricamente durante lo studio dei materiali metallici. Si hanno le prove visive di cosa è costituito un metallo e come la sua struttura si trasforma in seguito ai trattamenti e alle lavorazioni meccaniche. Oltre a questo abbiamo confermato in laboratorio i valori di durezza e rugosità richiesti a disegno grazie ai precisi strumenti di misura a disposizione.

E' importante capire quanto studio e lavoro vi sia dietro un prodotto industriale di questo tipo.

Per arrivare a vendere lo *Sponge Roller Bid59* il reparto di ricerca e sviluppo dell'azienda costruttrice ha dovuto superare ostacoli tecnologici rilevanti, come ad esempio l'aumento del volume del metallo in seguito a trattamento di tempra su particolari precisi al millesimo di millimetro. O le innumerevoli prove e gli investimenti fatti per garantire una spugna con una capacità assorbente ottimale. Le difficoltà incontrate nel trovare la sabbatura adatta e la colla con la giusta miscela, che permettessero alla spugna di restare perfettamente incollata all'anima di metallo anche dopo milioni di cicli. Senza dimenticare la complessità degli strumenti di controllo utilizzati per garantire l'alta qualità.

Attualmente è in studio un'isola di montaggio completamente automatizzata, ove le anime vengono sabbiate, le spugne forate ed infine incollate e assemblate. Il tutto movimentato da un braccio robotico appositamente programmato. Questo investimento permetterà all'azienda di avere una produzione ininterrotta di un pezzo ogni 40 secondi, soddisfacendo quindi la crescente richiesta e abbassando il costo del lavoro in queste fasi di fabbricazione del 70%.

Attorno a questo rullo c'è quindi un rigoroso studio metallurgico, meccanico e gestionale, che ancora oggi persiste con l'obiettivo di migliorarne ancora la qualità diminuendone i costi.

## 7 – BIBLIOGRAFIA

Paolucci, G.M., *Scienza dei materiali vol.1*, Cortina (Padova) 1984;

Paolucci, G.M., *Appunti di Metallurgia: vol. 2*, ed. Libreria Progetto (Padova) 2000;

Paolucci, G.M., *dispense delle lezioni*;

W.F. Smith, J. Hashemi, *Scienza e Tecnologia dei materiali 3/ed*, McGraw-Hill 2008;

Struers, *Metalog Guide*, <[http://www.struers.com/default.asp?top\\_id=5&main\\_id=19&doc\\_id=85](http://www.struers.com/default.asp?top_id=5&main_id=19&doc_id=85)>;  
agg.2010

Olivetti, *Storia di un'impresa*, <<http://www.storiaolivetti.it/default.asp>>; agg.2008

*Figura 2.2 pag.8*, da <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Processo\\_xerografico.svg](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Processo_xerografico.svg)>;

*Figura 5.11 pag.45*, da <[http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagramma\\_Ferro-Carbonio.PNG](http://it.wikipedia.org/wiki/File:Diagramma_Ferro-Carbonio.PNG)>;

*Figura 5.22 pag.52*, da <<http://it.wikipedia.org/wiki/File:VickersSkizze.jpg>>;





## 8 – RINGRAZIAMENTI

Durante il mio lungo e tribolato percorso di studi universitari ho conosciuto diverse persone che mi hanno dato la possibilità e la forza di andare avanti, ognuno a modo suo. A ciascuna di esse sarò sempre grato, perché mi hanno permesso di mettere a fuoco e poi superare i miei limiti, di arrivare in fondo e di crescere.

A partire dai docenti che con grande sensibilità e intelligenza mi hanno trascinato e aiutato. Non sono stati molti, ma quelli che lo hanno fatto voglio citarli, ringraziandoli di cuore.

Il coinvolgente prof. G.M.Paolucci, prof. Leonardo Di Noi, prof. Carlo Bettanini, prof. Nicola Petrone. Il prof. Franco Bonollo, che ha accolto subito la mia proposta di tesi.

Tutti coloro che hanno reso possibile il bellissimo terzo anno di studi a Feltre, il sig. Piero Monestier in primis. La fortuna di avere un docente a disposizione per pochissimi studenti è stato cruciale per il mio proseguo negli studi, condizione ottimale per me.

Tutto il team del reparto “test development” della Campagnolo s.r.l., a partire dall’ing. Franch, per l’utilissimo tirocinio.

Ringrazio la ditta Gtk Timek Group, la famiglia Domeniconi e Lorenzo in particolare, per l’opportunità professionale, per avermi assunto nonostante ancora non in possesso di alcun titolo. Quindi i colleghi, Massimo e Mauro in primis, dai quali ho solo da imparare. Finalmente i concetti teorici trovano applicazione pratica e molte cose iniziano a farsi chiare.

Poi ultima, ma assolutamente fondamentale, la mia famiglia. I miei genitori per il supporto, la pazienza e tutto il resto. Mio fratello Mattia per la musica che mi ha alleggerito dalla pressione durante questi anni.

Mia moglie Federica semplicemente perché senza di lei non avrei mai scritto queste righe.