



**Politecnico
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica
A.a. 2022/2023
Sessione di Laurea Dicembre 2022

Analisi metallurgica di un meccanismo di sparo del XVIII secolo

Relatori:

Prof. Paolo Matteis
Prof. Giorgio Scavino

Candidato:

Alessandro Chiofalo

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la Fondazione Brescia musei per avermi permesso di sostenere la tesi di laurea magistrale fornendo un campione di materiale storico e l'autorizzazione allo studio in laboratorio del suddetto. Un ringraziamento speciale va al direttore del museo delle armi "Luigi Marzoli" di Brescia il Dott. Marco Merlo per la disponibilità, le informazioni riguardo il campione in questione e la dettagliata descrizione dei componenti utilizzati nei meccanismi di innesco d'epoca.

INTRODUZIONE

Scopo dell'attività è lo studio di meccanismi antichi, in particolare di un acciarino alla moderna/moderno o alla francese, meccanismo a pietra focaia fissato nella cassa delle armi da fuoco portatili utilizzato per accendere l'innesco e dare fuoco alla carica. Questo componente risale al XVIII secolo, e, molto probabilmente, proveniente da Brescia.

Iniziando da una generale introduzione alla storia delle armi e successivamente ai meccanismi di accensione, con un breve excursus si arriva all'acciarino in questione, fornendo contesto storico-geografico, nascita, elementi costitutivi e funzionamento; si passerà successivamente ai metodi di produzione e quindi alla produzione e lavorazione del ferro, passando inoltre in rassegna una vasta gamma di fornaci a partire dall'antichità fino ad arrivare a quelle più in voga ai tempi dell'acciarino che andremo ad analizzare nei capitoli successivi.

Dopo la parentesi teorico-bibliografica che serve a dare un contesto all'attività che si è svolta, si passa al cuore della tesi: l'analisi e lo studio del meccanismo. Successivamente alla descrizione delle lavorazioni attuate durante le analisi si prosegue con lo scoprire il processo produttivo dell'acciarino evidenziandone struttura, trattamenti, possibili lavorazioni tramite l'aiuto dei risultati forniti durante l'attività in laboratorio.

È proprio questo il motivo del fascino che deriva dallo studio dei meccanismi di armi da fuoco: infatti, questi componenti, non sono altro che un gruppo di diversi pezzi che messi intelligentemente insieme permettono il funzionamento dell'acciarino ed ognuno di questi singoli pezzi ha la sua storia, la sua struttura, la sua tecnica di lavorazione, i suoi pregi e difetti; quindi, risulta molto più interessante come ricerca. Nonostante ciò, il campo delle armi bianche ha molto più seguito nei lavori di ricerca malgrado abbiano composizione molto standardizzate, basti pensare al campo delle spade, in cui sono giustamente

adoperati unicamente acciai ad alto tenore di carbonio o discostandoci dalle armi bianche anche le canne, costituite da basso carbonio. Sono quindi queste le motivazioni principali per cui si è deciso di voler analizzare questo tipo di componente, gentilmente concesso dal museo delle armi "Luigi Marzoli" di Brescia, ottenendo l'autorizzazione per il taglio, lo studio e l'analisi dei risultati dei campioni che sono stati introdotti in questa attività.

INDICE

RINGRAZIAMENTI.....	2
INTRODUZIONE	3
1. MECCANISMI DI ACCENSIONE	1
1.1. Storia armi da fuoco	1
1.2. Acciarino moderno o alla francese.....	7
1.2.1 Nascita	7
1.2.2 Elementi costitutivi.....	9
1.2.3 Caricamento	11
1.2.4 Funzionamento.....	12
1.3. Contesto storico-geografico	13
2. METODI DI PRODUZIONE	16
2.1. Il minerale di ferro	16
2.2. Preparazione del minerale	21
2.3. Riduzione del minerale	22
2.3.1 Metodo diretto.....	22
2.3.2 Metodo indiretto	31
2.4. Lavorazione del ferro	35
2.4.1 Decorazioni.....	36
3. MATERIALI E METODI	39
3.1. Descrizione meccanismo alla moderna analizzato.....	39
3.2. Metodi di caratterizzazione	42
3.2.1 Taglio	43

3.2.2	Inglobamento	43
3.2.3	Lucidatura su carta abrasiva e su panno	44
3.2.4	Osservazione al microscopio ottico	46
3.2.5	Attacco metallografico.....	47
3.2.6	Microdurezza	48
3.2.7	Analisi chimica	49
4.	RISULTATI.....	51
4.1	Molla del cane	52
4.1.1	Taglio	52
4.1.2	Analisi microscopio	53
4.1.3	Analisi microscopio dopo attacco metallografico	56
4.1.4	Analisi microdurezza	60
4.1.5	Analisi chimica	62
4.1.6	Discussione	65
4.2	Vitone del cane	66
4.2.1	Taglio	66
4.2.2	Analisi microscopio	67
4.2.3	Analisi microscopio dopo attacco metallografico	69
4.2.4	Analisi microdurezze	72
4.2.5	Discussione	74
4.3	Dado	75
4.3.1	Taglio	75
4.3.2	Analisi microscopio	76
4.3.3	Analisi microscopio dopo attacco metallografico	76
4.3.4	Analisi microdurezze	78
4.3.5	Discussione	79

4.4 Piattello del cane	80
4.4.1 Taglio	80
4.4.2 Analisi microscopio	81
4.4.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico	82
4.4.4 Analisi microdurezze	85
4.4.5 Analisi chimica	87
4.4.6 Discussione	88
4.5 Molla dello scatto.....	90
4.5.1 Taglio	90
4.5.2 Analisi microscopio	91
4.5.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico	95
4.5.4 Analisi microdurezze	98
4.5.5 Discussione	100
4.6 Vite molla dello scatto	101
4.6.1 Taglio	101
4.6.2 Analisi microscopio	101
4.6.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico	103
4.6.4 Analisi microdurezze	108
4.6.5 Discussione	110
CONCLUSIONI	111
INDICE DELLE FIGURE.....	113
INDICE DEI GRAFICI	120
INDICE DELLE TABELLE	121
RIFERIMENTI	122

1. MECCANISMI DI ACCENSIONE

Nell'evoluzione dell'uomo l'arma ha rappresentato lo strumento per eccellenza; questa forniva la terza e la quarta necessità della vita, dopo l'aria e l'acqua: cibo e protezione. Ha dato all'uomo preistorico la possibilità di cacciare animali troppo grandi per essere catturati a mano e ha fornito protezione dai predatori, in particolare dalla più grande minaccia di tutte: i suoi simili [1]. Durante l'età della pietra si perfezionarono asce, coltelli e lance e intorno al 6000 a.C. vi fu la prima invenzione "meccanica": l'arco, che sfruttava l'elasticità del legno per lanciare la freccia. L'arco e la freccia erano l'arma a proiettile portatile più diffusa fino alla fine del Medioevo. Intorno al 4000 a.C. si sviluppò la lavorazione dei metalli e coltelli, asce e punte di frecce e lance furono realizzati in bronzo, per essere sostituite dal 2000 a.C. circa dal ferro. La produzione di armi e armature con lama di ferro raggiunse un alto livello di sofisticatezza, culminando in spade giapponesi come la Katana. Questo periodo vide anche lo sviluppo della guerra su larga scala, che rese necessaria l'introduzione di grandi armi da lancio di proiettili o "macchine" come la balista, il trabucco e la catapulta: i predecessori dell'artiglieria moderna [2].

1.1. Storia armi da fuoco

Si specifica che vengono prese in considerazione solamente le armi portatili e nello specifico i principali meccanismi di accensione sviluppati prima dell'avvento del sistema di innesco a percussione e della retrocarica.



Figura 1-1 Polvere da sparo

La prima vera rivoluzione tecnologica nelle armi si ebbe tra il 1000 e il 1200 con la scoperta della polvere da sparo o polvere nera (fig.1-1), un composto a base di carbone di legna, nitrato di potassio e zolfo. Infatti, diversi studiosi e alchimisti, nel corso delle loro ricerche, pervennero alla scoperta

fortuita di miscele più o meno portate ad incendiarsi con facilità [3]. Non sappiamo però con certezza a chi attribuire tale scoperta: i più accreditati sono il frate inglese Roger Bacon e il Monaco tedesco Berthold Schwarz, secondo altre teorie essa sarebbe invece stata importata dal mondo arabo oppure dall'estremo oriente [4]. È certo che inizialmente il suo uso non avvenne per scopi militari, ma per feste e riti religiosi. Gli scoppi e la luce che creava servivano soprattutto per scacciare gli spiriti maligni, spaventandoli con il frastuono provocato dalle esplosioni. Il passaggio all'impiego bellico fu però abbastanza rapido, intorno alla metà del 1200.

Le prime armi da fuoco portatili, di cui un esempio è lo schioppo (fig.1-2, 1-3), sono ad avancarica e sono formate da semplici tubi di ferro (canna) chiuso ad una estremità da un tappo (vitone). Dalla bocca la polvere veniva versata nella canna e pressata con uno stoppaccio entro l'estremità chiusa (la culatta); la polvere veniva accesa accostando una miccia ad un piccolo foro nella parte posteriore (il focone) [1]. Nelle armi portatili le canne vennero inizialmente fissate a manici di legno oppure munite posteriormente di un'appendice metallica saldata a bollitura o ricavata di pezzo con la canna stessa. Successivamente le canne vennero fissate su dei rozzi tenieri di legno mediante fasce metalliche [3]. A volte per favorirne la precisione queste armi erano appoggiate su un cavalletto che gli permetteva una



Figura 1-2 Schioppettiere dà fuoco alla miccia del suo schioppo

maggiore stabilità e precisione.

Dalla descrizione, però, si può evincere come queste armi fossero molto rudimentali e difficili da controllare in quanto nel caso in cui l'arma non fosse appoggiata ad un sostegno il tiratore stringeva l'arma sotto l'ascella e la impugnava con una mano, mentre con l'altra dava fuoco alla carica. Inoltre, dopo una serie di colpi la canna si surriscaldava parecchio e rendeva impossibile maneggiare l'arma senza l'uso di un cavalletto.



Figura 1-3 Schioppettiere a cavallo

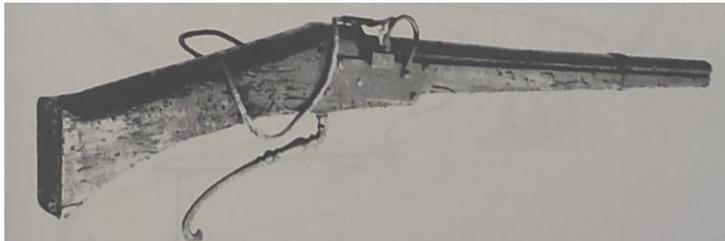


Figura 1-4 Rudimentale meccanismo di accensione a miccia azionato da una leva con richiamo a molla [3]

Dalla prima metà del 1400 cominciarono a comparire i primi tentativi di accensione non manuale.

Il primo meccanismo di accensione fu proprio quello a miccia (fig.1-4). Il fucile a miccia prevedeva un braccio di ferro curvo fissato all'arma, detto serpentina (fig.1-5): questo braccio poteva girare su un perno centrale ed era collegato ad una leva di ferro sotto il supporto di legno dell'arma. Di fatto questa leva costituiva l'antenata del grilletto. La procedura di caricamento era la seguente: il tiratore posizionava il fucile verticalmente, inserendo una quantità determinata di polvere da sparo all'interno della canna, ovvero il tubo metallico. La polvere veniva quindi spinta accuratamente verso il basso e pressata con una bacchetta; successivamente si introduceva il proiettile, che a sua volta veniva calcato all'interno con la bacchetta [5]. A quel punto l'arma era pronta per far fuoco: dando fuoco alla carica nello scodellino si fa bruciare anche la carica di lancio che sparerà



Figura 1-5 Meccanismo di accensione a miccia

il proiettile fuori dalla canna. Come dice il nome stesso la polvere nello scodellino viene accesa da una miccia a lenta combustione accesa in precedenza. La miccia è tenuta ferma dalla serpentina, rivolta in direzione del tiratore. Premendo una seconda leva (o un grilletto nei modelli successivi) la serpentina viene sganciata e cade sullo scodellino colpendolo con la miccia accesa (fig.1-6).

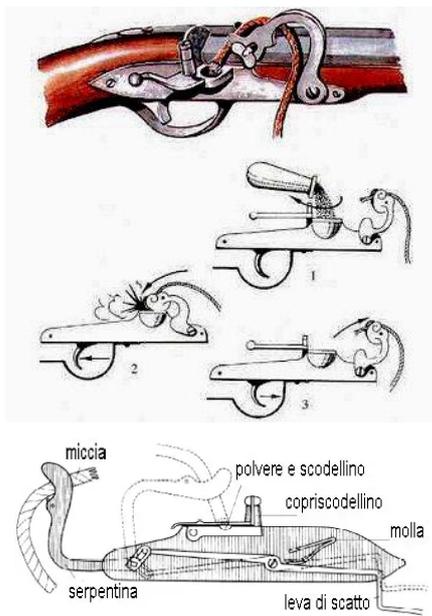


Figura 1-6 Funzionamento meccanismo a miccia

Sebbene l'adozione del meccanismo a miccia avesse semplificato notevolmente le operazioni di accensione e sparo delle armi da fuoco le operazioni preparatorie e di caricamento rimanevano molto complesse. Come si può immaginare questo meccanismo conta di molti aspetti negativi. La miccia deve essere accesa in precedenza, deve essere mantenuta accesa rinvivendo la fiamma col soffio, va regolata a mano a mano che si consuma in modo che non cada dalla serpentina e quando finisce va cambiata con una miccia nuova. Sparare sotto la pioggia risulta molto difficoltoso, tra l'acqua che inzuppa lo scodellino, aperto per sparare, e

la miccia impossibile da accendere. La miccia accesa rende inoltre impossibile mantenere delle sentinelle nascoste ed è pericolosa da tenere vicino alle scorte di polvere da sparo.

Lo sviluppo successivo è rivolto proprio a migliorare il sistema di accensione della polvere. Dal sistema a miccia, che richiedeva agli archibugieri di portare con sé delle micce sempre accese o di procedere alla loro accensione prima di sparare, si passa, nei primi anni del

1500, all'invenzione di un vero e proprio "accendino" automatico mediante il cosiddetto meccanismo a ruota (fig.1-7). Trattasi di un meccanismo abbastanza sofisticato per l'epoca, costituito da una piastra su cui sono montati una ruota



Figura 1-7 Pistola a ruota

zigrinata collegata ad una molla caricabile con un'apposita chiave, una sorta di pinza (il cane) che tratteneva un pezzo di pirite (poi sostituita dalla pietra focaia), ed uno scodellino con un coperchietto a contatto col focone e riempito di polvere da sparo finissima. Azionando il grilletto, il cane si abbassava a contatto con la zigrinatura della ruota, il copriscodellino si apriva, la ruota iniziava a girare sprigionando scintille dalla pietra e la polvere si infiammava provocando lo sparo (fig.1-8) [1].

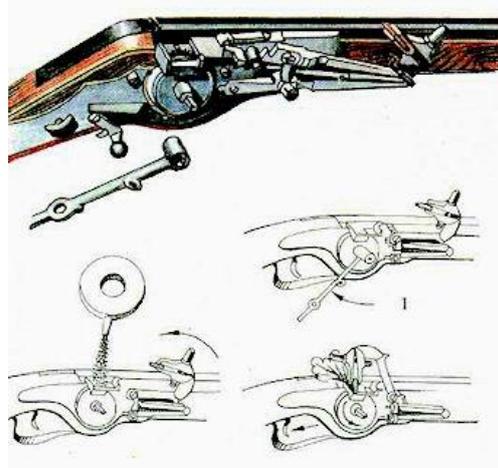


Figura 1-8 Funzionamento meccanismo a ruota

Il meccanismo di accensione a ruota aveva il vantaggio di un'accensione più sicura, la possibilità di far fuoco in tempo brevissimo, e la possibilità di uso notturno senza essere visibile prima dello sparo. Altro vantaggio era quello di poter essere montato agevolmente anche su armi più corte, cosa poco pratica col meccanismo a miccia. Anche il meccanismo a ruota aveva i suoi difetti e ne manteneva alcuni di quelli del meccanismo a miccia, come ad esempio il problema dell'impermeabilità dello scodellino. Altri aspetti negativi non di poco conto era la struttura particolarmente complessa, composta da un gran numero di pezzi e quindi costosa; di conseguenza richiedeva una altrettanto costosa manutenzione dato che era eseguibile solo da specialisti del settore. Tutto questo fece dell'arma un oggetto riservato alle classi più ricche ed elevate, di conseguenza negli eserciti furono adottate solamente in reparti speciali [3].

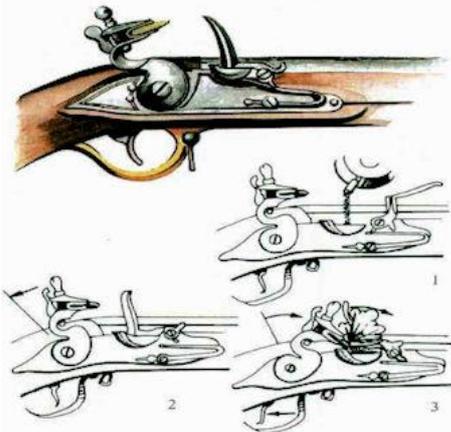


Figura 1-9 Funzionamento meccanismo ad acciarino

La soluzione a questi problemi fu l'introduzione di un nuovo meccanismo: l'acciarino (o focile, fig.1-9). Si diffuse intorno alla metà del 1500 e fu il risultato della riproduzione meccanica di un gesto vecchio di secoli: infatti da sempre l'uomo aveva acceso il fuoco battendo insieme dapprima due pietre e

poi una pietra e un pezzo d'acciaio; e l'acciarino applicava questo principio. Schematicamente possiamo descrivere un acciarino a focile – un acciarino tipo- nel modo seguente: è composto da una cartella sulla quale è imperniato un cane a morsetto recante tra le ganasce, serrate da una vite, la pietra focaia. Il cane si abbatte con movimento dal dietro in avanti, contrariamente a quanto di solito avveniva nelle armi a ruota. Lo scodellino è coperto da un coperchietto scorrevole collegato tramite un'asta allo scatto del cane. Sotto l'urto la martellina viene rovesciata indietro, l'asta spinge il copriscodellino che scopre l'innesco sul quale cadono le scintille originate dall'urto. I grandi pregi dell'acciarino a pietra erano il ridotto numero di pezzi, il conseguente basso costo, una discreta facilità di riparazione, una buona sicurezza di funzionamento. Queste qualità fecero sì che esso soppiantasse il meccanismo a miccia soprattutto nelle grandi masse degli eserciti, anche se, nei primi anni del 1700, manuali militari istruivano ancora la truppa all'uso di questo arcaico modo di sparare. Inizialmente tale acciarino non pare abbia incontrato gran favore nelle alte sfere nobili e principi che rimasero spesso assai a lungo fedeli alle proprie armi a ruota [3], tantoché l'uso dell'acciarino, specialmente nelle truppe a piedi, non sostituì subito il sistema a miccia. Infatti, quest'ultimo era ancora impiegato intorno alla fine del 1600, sia in Italia che all'estero [5]. Dell'acciarino a focile esistono numerose versioni, per lo più caratteristiche di determinati regioni o paesi. Tra i diversi acciarini nei prossimi paragrafi verrà posta l'attenzione sull'acciarino moderno o alla francese (fig.1-10) in quanto è il nostro oggetto d'analisi [6].



Figura 1-10 Pistola a pietra focaia alla moderna del XVIII secolo

1.2. Acciarino moderno o alla francese

1.2.1 Nascita

Ad oggi, i ricercatori di armi da fuoco hanno parecchi dubbi riguardo l'invenzione dell'acciarino. Molti autori manifestano l'opinione che l'acciarino a pietra non sia stato conosciuto anteriormente ai primi anni del XVII secolo, ed alcuni sostengono che soltanto nel 1640 esso sia diventato di uso comune. Però, come accennato nel paragrafo precedente, molto probabilmente è stato sviluppato intorno alla metà del 1500. Alcune testimonianze a favore di questa ipotesi si possono ritrovare nei proclami emanati da diversi regnanti per limitarne o proibirne il possesso e l'uso, similmente a quanto accaduto qualche decina di anni prima per le armi a ruota. Anche se con differenti modalità leggi simili furono emanate in Italia e nelle terre d'Asburgo. Altri autori confutano tale opinione su altri tipi di documenti. Infatti viene ad esempio ricordata un'ordinanza del duca di Firenze in data 2 giugno 1547, dove si parla proprio di acciarini a pietra: è il pagamento fatto a Simone Roberto da Torino, nel 1575, dal Tesoriere Generale Cristoforo Fauzone, per pistole, archibugi e fucili e per armare le guardie del duca di Savoia [7].

Dell'acciarino a focile esistono infatti numerose versioni, che variano di paese in paese. Una prima versione più semplice che rimase nota con il nome di Snaphaunce (fig.1-11) ebbe origine



Figura 1-11 Pistola a Snaphaunce

probabilmente nei paesi bassi e da lì si diffuse in nord Europa, paesi scandinavi, Germania, isole britanniche e grazie alle rotte commerciali marittime anche in gran parte dell'Africa. Una seconda versione, più evoluta, nota come



Figura 1-12 Pistola a Micheletto

Miquelet (Micheletto, fig.1-12), fu sviluppata nei paesi mediterranei, forse in Italia o in Spagna. Sebbene risulti più evoluta del precedente Snaphaunce, il

Miquelet è un suo concorrente non un discendente. Da queste prime varianti se ne svilupparono molte altre a seconda delle aree geografiche ma nessuna di esse riuscì ad imporsi sullo scenario europeo fino all'avvento della versione definita acciarino francese o moderno [8].

Riguardo l'acciarino alla moderna (fig.1-14) c'è consenso generale sul fatto che sia apparso per la prima volta in Francia; infatti, questo sistema di accensione viene spesso chiamato "acciarino alla francese" per distinguerlo da altri meccanismi a pietra focaia. Si attribuisce la realizzazione del primo meccanismo a pietra focaia a Marin le Bourgeois da Lisieux (fig.1-13), in Normandia, tra il 1610 e il 1615. Le Bourgeois proveniva da una famiglia di fabbri, orologiai, balestrieri e armaioli [9]. Probabilmente fu inizialmente formato come pittore. In seguito, raggiunse la fama non solo come artista, ma come



Figura 1-13 Marin le Bourgeois

armaiolo, inventore e liutaio. Nel 1598, il suo talento attrasse il re Enrico IV e fu nominato Valet de Chambre nella corte reale e, nel 1608, gli furono concesse stanze nella Grande Galleria del Louvre. Produsse opere d'arte, armi da fuoco, fucili ad aria compressa, balestre e globi mobili e continuò al servizio reale sotto il regno di re Luigi XIII [10].

Costituito da un numero di pezzi relativamente basso e quindi costo limitato e



Figura 1-14 Acciarino alla moderna [3]

facilmente reperibile, pratico, semplice, sicuro, l'acciarino moderno divenne diffusissimo e fu usato su tutti i campi di battaglia d'Europa, d'America, d'Oriente, e con esso furono combattute le grandi battaglie napoleoniche. Con questo

meccanismo il sistema di accensione a pietra raggiunge la sua forma definitiva, che rimarrà praticamente invariata fino al suo abbandono [3].

1.2.2 Elementi costitutivi

Il componente in questione, che analizzeremo nei capitoli successivi, è un acciarino alla moderna. La figura sottostante (fig.1-15) ne presenta gli elementi costitutivi;

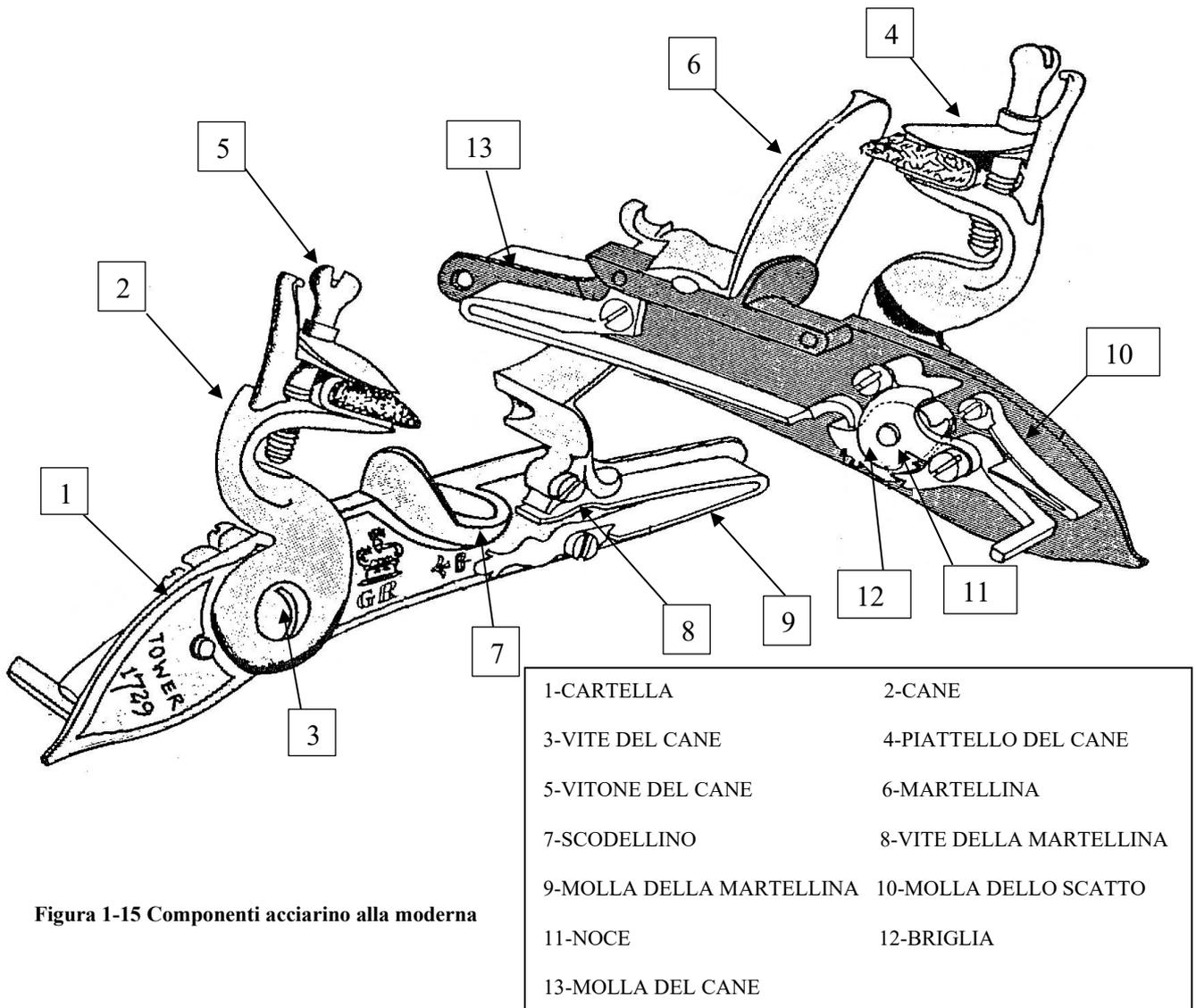


Figura 1-15 Componenti acciarino alla moderna

Nei tipi più comuni le parti principali sono le seguenti:

- Cartella: è una piastra fissata con viti, con il compito di collegare e proteggere le diverse parti dell'acciarino.

- Cane: elemento a forma di S, presenta due versioni, una detta a “collo di cigno”, più elegante e snella ma di conseguenza meno resistente, ed una più tozza (spessa) e resistente con “collo doppio” [3]. È costituita da due fori, uno filettato dove andrà a posizionarsi il vitone del cane e l’altro, all’estremità inferiore, dove verrà inserita la vite del cane. È soggetto a molteplici urti ed inoltre tiene fissa tra i due piattelli la pietra focaia che si abbatte nella martellina producendo scintilla per lo sparo.
- Vite del cane: è una vite di fissaggio che crea un vincolo assiale tra il cane e la cartella.
- Piattello del cane: è una piastrina che svolge pochi compiti meccanici. Insieme all’altro piattello che si trova nella parte superiore del cane, tiene fissa la pietra focaia ed è costituito da un foro non filettato dove andrà a fissarsi il vitone del cane.
- Vitone del cane: è una vite che presenta nell’estremità superiore una grossa testa circolare utile per l’impugnatura durante le operazioni avvvitamento/svitamento. Ha il compito di mantenere in posizione il piattello del cane e la pietra focaia.
- Martellina (batteria): è una piastrina soggetta a continui urti con la pietra focaia e, proprio per questo, è importante che il materiale abbia una durezza elevata. Le scintille causate dallo scontro martellina-pietra focaia consentono l’accensione della carica.
- Scodellino: è una piccola vaschetta fissata al meccanismo di sparo. Le scintille generate dall’impatto pietra focaia-martellina precipitano dentro lo scodellino accendendo la polvere che a sua volta dà fuoco.
- Vite della martellina: è una vite di fissaggio che crea un vincolo assiale tra la martellina, lo scodellino e la cartella.
- Molla della martellina: è una molla soggetta al contatto con la martellina quando quest’ultima si solleva (durante lo sparo).
- Molla dello scatto: è una molla soggetta al contatto con la leva dello scatto.
- Noce: è un pezzo interno dell’acciarino. Non supporta urti ma ha il compito di connettere il cane alla molla del cane e alla leva dello scatto.

- Briglia: elemento sovrapposto alla noce e fissato con due viti che bloccano l'estremità dell'asse della leva dello scatto; ha anche il compito di rafforzare l'asse del cane.
- Molla del cane: è il principale elemento elastico del componente ed ha il compito di far muovere il cane facendo partire il colpo.

1.2.3 Caricamento

Una volta descritte le parti principali del meccanismo è doveroso riassumere le operazioni che coinvolgono il caricamento dell'acciarino (fig.1-16):

- Se l'arma ha appena sparato allora il cane sarà contro lo scodellino e la martellina sarà parzialmente sollevata. L'arma viene tenuta con la sinistra, in modo che la destra sia libera di lavorare. Si solleva il cane a mezza corsa, permettendo di accedere così allo scodellino, e si alza del tutto la batteria.

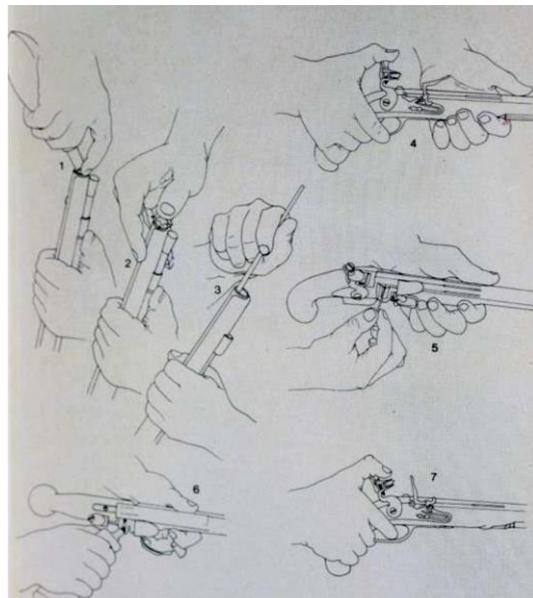


Figura 1-16 Caricamento di un meccanismo ad acciarino francese

- Si afferra una cartuccia dalla cartucciera, la si porta alla bocca tenendola ribaltata con la palla rivolta verso il basso, e si strappa il fondo con i denti.
- Si versa la polvere della cartuccia dentro la canna e poi si spinge la cartuccia stessa (che ormai contiene solo il proiettile).
- Si comprime il contenuto della canna con la bacchetta.
- Si versa un po' di grani di polvere della cartuccia nello scodellino e si chiude la batteria per coprirlo.
- Si arma il cane completamente in modo da essere in condizione di fare fuoco [4].

Il caricamento con la cartuccia impiega circa venti secondi, ma un fante addestrato può farlo in meno di quindici. L'addestramento al caricamento rapido, assieme a quello a marciare e manovrare in formazione, era il segreto che rendeva i fanti britannici (o quelli prussiani di metà Settecento) superiori agli altri soldati europei.

1.2.4 Funzionamento

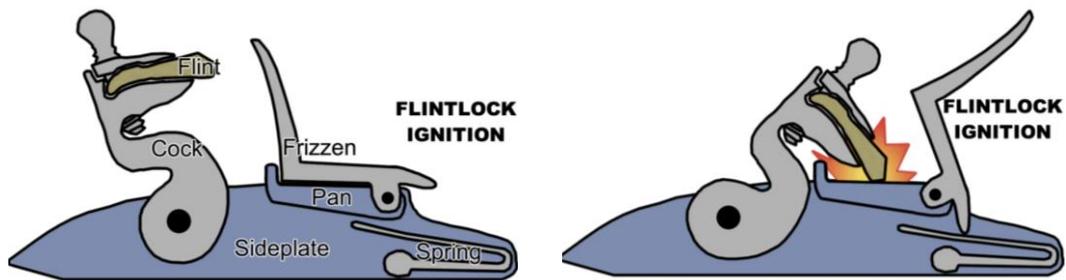


Figura 1-17 Funzionamento meccanismo ad acciarino francese. (Flint=pietra focaia, cock=cane, frizzen=martellina, pan=scodellino, sideplate=piastra, spring=molla della martellina.)

Una volta premuto il grilletto, la molla libera violentemente il cane, strofinando la pietra focaia contro la martellina che si solleva allo sparo. Le scintille prodotte all'impatto precipitano dentro lo scodellino, accendendo la polvere che di conseguenza dà fuoco alla carica principale stipata nella canna (fig.1-17).

I gas sprigionati dalla rapidissima combustione della carica si espandono con violenza e spingono il proiettile fuori dalla canna.

1.3. Contesto storico-geografico

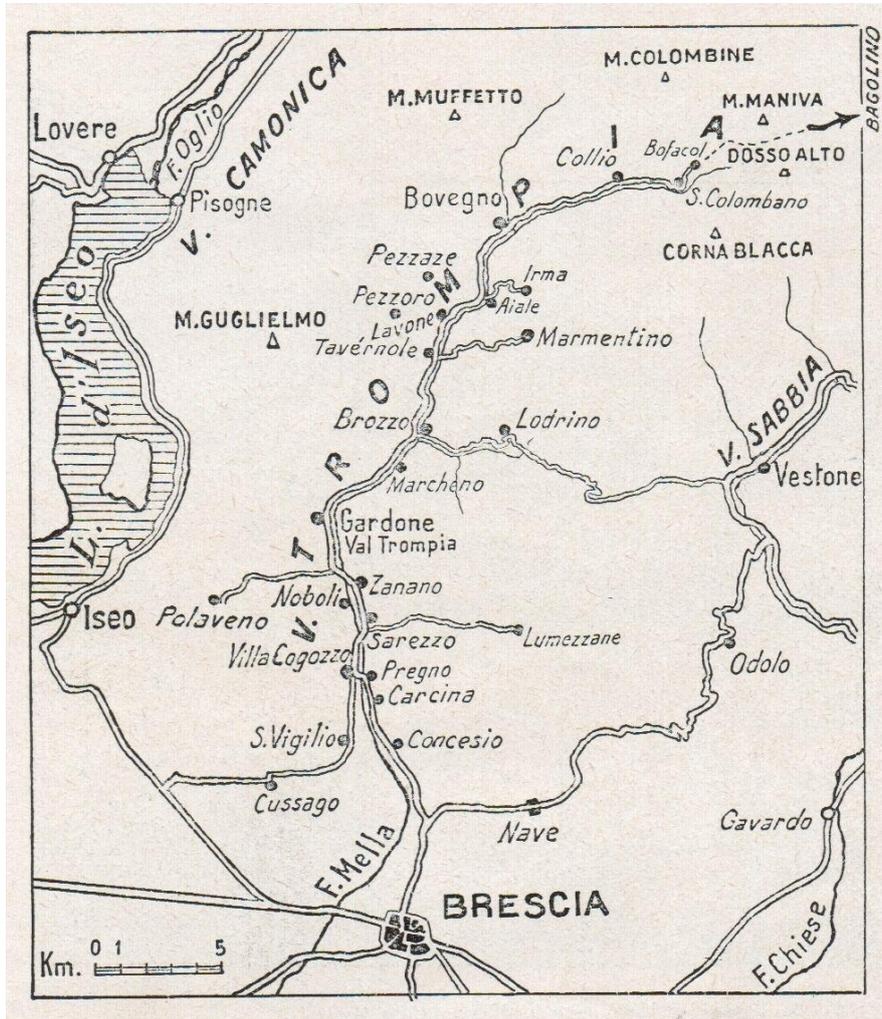


Figura 1-18 Riproduzione d'epoca di una carta fisica della Val Trompia.

È molto difficile dare una data precisa sulla produzione di armi a Brescia, ma lo sfruttamento delle tante miniere di ferro presenti nel bresciano è già documentata in epoca romana. Nelle valli bresciane si svilupparono delle strutture produttive che permisero la nascita di una vera e propria produzione organizzata su vasta scala.

Quelle zone, del resto, non donavano molte alternative: l'approvvigionamento era difficoltoso, l'agricoltura e l'allevamento erano e sono tutt'ora limitati dagli spazi ristretti e dal clima rigido. Tuttavia, la geografia del luogo era particolarmente

ricca di risorse fondamentali nell'economia delle società preindustriali; infatti, giacimenti di minerale, corsi fluviali e molta abbondanza di legname favorirono le attività legate alla produzione e alla trasformazione del ferro. Il ferro bresciano era famoso per la sua altissima qualità che non dipendeva solamente dal materiale di partenza ma anche dalle fasi di lavorazione.

In età medievale vi fu un enorme impulso produttivo che interessò le valli, grazie al nuovo forno fusorio detto anche forno a canecchio o forno alla bresciana, il quale, con termine moderno, è un altoforno. Questo tipo di forno, più alto rispetto alle precedenti a pianta quadrata, garantiva infatti un raggiungimento di temperature più elevate e quindi una fusione più omogenea del materiale ferroso. Il canecchio bresciano produce quindi un blumo di ghisa che, a differenza di quanto avviene all'interno delle fornaci a riduzione diretta, costituisce il prodotto primario del processo, non più uno scarto o un prodotto collaterale [11]. I prodotti di questi forni erano quindi lastre di ghisa con meno scorie ma allo stesso tempo più grandi, cosa che permetteva di velocizzare il processo, il quale era caratterizzato da meno colate e materiale di più qualità e più facile da lavorare.

L'afflusso sempre maggiore di ferro di alta qualità contribuì allo sviluppo di un'intera catena produttiva che iniziava dalle miniere e finiva nelle botteghe cittadine. Una sorta di "moderno distretto industriale". La Val Sabbia si ritagliò un ruolo di rilievo nella lavorazione della ghisa e dell'acciaio, tantoché gli operatori valsabbini (detti Docimastri o Focimastri) erano talmente apprezzati per la loro esperienza e noti per l'indiscussa bravura, da essere richiesti in zone al di fuori del territorio bresciano; le altre due valli Val Trompia (per canne da fuoco) e Val Camonica (semilavorati di armature esportate soprattutto nel milanese, che si riforniva a Brescia non avendo miniere) si specializzarono nella produzione di armi. Altro centro di produzione armi era la Valle del Garza, alle porte della città, dove nella metà del 500 si sviluppò per produzione di lame e armi bianche. I prodotti delle valli giungevano nel centro della città di Brescia in cui finivano in altre maestranze che ne ultimavano la produzione decorandole e poi date ai mercanti per essere vendute. Tutte queste armi e produzioni, portavano nella città di Brescia moltissime armi da fuoco, armature, spade e armi bianche. La produzione di armi bianche e armature cessò intorno a fine 1600. Rimasero quindi

i maestri di armi da fuoco, anche se, nel 1700, iniziò una crisi a causa della concorrenza di altri centri e alla decadenza dell'infrastruttura dovuta a scarsità di risorse di carbone e delle misure della repubblica di Venezia. Nonostante ciò, la produzione di armi da fuoco bresciana sopravvisse giungendo fino ai giorni nostri. A testimoniare la longevità è la Beretta, fondata nel 1526 e da circa un secolo uno dei maggiori leader mondiali nel campo della produzione di armi. La produzione di altri centri è rimasta fedele ai materiali pur cambiando la destinazione d'uso. I centri della Val Trompia si sono invece specializzati nella produzione di posate oltreché di armi [12, 13].

In questo contesto si inserisce il componente che andremo ad analizzare.

Il meccanismo in questione prende il nome di “piastra alla moderna” o in generale “focile alla moderna”. Il termine focile deriva dal nome del meccanismo di accensione, poi diventato il nome dell'arma intera. Il componente risale al XVIII secolo (1750 circa) e proviene dalla collezione Marzoli. Con molta probabilità il luogo d'origine è Brescia.

Si presume sia una terzetta, appartenuta ad un membro di una classe borghese. Era un'arma da duello o comunque utilizzata come difesa personale ma allo stesso tempo come decoro in modo da identificare la sua classe d'appartenenza, borghese per l'appunto.

2. METODI DI PRODUZIONE

Il ferro è un minerale estratto dalla profondità della terra, attraverso la creazione di miniere estrattive, che si trovano in quasi tutti i paesi del mondo.

La metallurgia è la disciplina che studia i metalli, tra cui il ferro e le sue leghe.

Il ferro è un materiale molto diffuso ed ha trovato infiniti utilizzi, sin dai tempi antichi, in svariate forme, come elemento costituente della meccanica, oppure come elemento di supporto e decorazione dell'architettura, ma anche come espressione artistica e decorativa a sé stante.

2.1. Il minerale di ferro

In natura, il ferro è molto diffuso e, con poco più del 5% in peso, è il quarto elemento per diffusione nella crosta terrestre, il secondo metallo, dopo l'alluminio.

Il ferro (simbolo Fe, fig.2-1) a seconda della temperatura presenta tre forme allotropiche:

- ferro α (stabile sotto 910 °C), che cristallizza con cella cubica a corpo centrato;
- ferro γ (stabile tra 910 e 1390 °C), con cella cubica a facce centrate;
- ferro δ (stabile tra 1390 e 1535 °C), con cella cubica a corpo centrato.



Figura 2-1 Ferro

La siderurgia, cioè la produzione industriale

di materiali a base di ferro, realizza leghe ferro-carbonio, che per la percentuale di carbonio (simbolo C) sono riconducibili a:

- ghise (con 2,06 ÷ 6,67% di C);

- acciai (con C < 2,06%).

In passato, nella nomenclatura storica, era uso comune considerare ferro una lega ferro-carbonio con tenori di carbonio minori di 0,07 (C < 0,07%); diversamente dai nostri giorni dove vengono definiti acciai anche leghe di uso industriale con C < 0,07%, come ad esempio gli acciai per imbutitura profonda.

Allo stato puro è quasi introvabile e di nessuna applicazione industriale; è invece abbondante sotto forma di composti quali ossidi, idrossidi, carbonati e solfuri. Il contenuto in ferro dei minerali non è l'unico elemento da considerare quando si parla di siderurgia, specie di quella antica. Quanto e più della ricchezza contano altri fattori, quali la disponibilità in depositi utilizzabili economicamente, il tipo di minerale e il suo stato fisico, il tipo di ganga che lo accompagna e la presenza di particolari elementi che possono essere dannosi, ma anche utili, il tipo di combustibile utilizzato, lo stato delle conoscenze tecniche e le capacità degli operatori.

Il ferro nativo sarebbe l'ideale, ma è rarissimo e disperso. Questo si trova soprattutto nelle meteoriti, costituite da leghe di ferro-nichel, le quali sarebbero servite per la fabbricazione dei primi utensili di ferro qualche millennio fa, in quanto inizialmente non si riusciva a produrlo.

Il minerale più ricco in ferro è, forse, un fosfuro, la barringerite, che quando pura ne può contenere fino all'80%, ma è rarissimo e si trova, soprattutto, in alcune meteoriti: parte del ferro, inoltre, è in genere sostituito dal nichel. Il minerale ha aspetto metallico ed è fragilissimo, caratteristica che si ritrova nel ferro prodotto di siderurgia quando contenga anche soltanto poche tracce di fosforo: quindi, oltre alla mancanza di quantitativi utili osterebbe, al suo utilizzo, la presenza dell'elemento nocivo.

I minerali del ferro utilizzati storicamente sono ben pochi: ematite, limonite, magnetite e siderite: i primi due sono stati utilizzati, pressoché esclusivamente, per il metodo diretto storico, tutti per quello indiretto.

Ematite

L'ematite (fig.2-2), secondo molti autori, è il più diffuso minerale del ferro; è debolmente magnetica, il suo peso specifico varia da 5 a 5,3 g/cm³ e il punto di fusione si aggira attorno a 1.350°C. La formula chimica ideale, del minerale puro,

è Fe_2O_3 , con circa il 70 % di ferro e il 30 % di ossigeno, ma in genere nel minerale naturale parte del ferro può essere sostituito da altri elementi tra cui, in particolare, titanio e magnesio; difficilmente il prodotto commerciale raggiunge contenuti in ferro del 60-65 %.



Figura 2-2 Ematite

Il nome deriva da quello antico di " *aematitis lithos*" (pietra sanguigna), ed è dovuto al colore rosso sangue assunto da alcune parti più pure e massive del minerale e, pressoché sempre, dalla sua polvere. Fin dall'antichità è impiegata anche come gemma semipreziosa perché, lucidata, assume un bel color nero splendente tendente al grigio: le venivano attribuite proprietà medicinali, farmaceutiche, terapeutiche e magiche, credenze che, in parte, ancora sopravvivono nella moderna cristalloterapia.

Il minerale viene utilizzato per la produzione del ferro sin dai tempi protostorici, col sistema del basso fuoco, tramite il metodo diretto; a partire dagli ultimi secoli del Medioevo, con l'introduzione dell'altoforno, ha cominciato ad essere impiegata anche per la produzione del ferro col metodo indiretto.

Magnetite

Quando puro, il minerale (fig.2-3) è molto compatto, presenta elevato peso specifico ($5,15 \text{ g/cm}^3$) e fonde intorno a 1350°C . È il minerale utile col più alto contenuto in ferro. La formula chimica ideale è Fe_3O_4 , con il 72,4% di ferro e il 27,6% di ossigeno: il ferro vi è però contenuto in due diversi stati di ossidazione, per il 69% come ossido ferroso (FeO), il 31% come ossido ferrico (Fe_2O_3). Inoltre, nel minerale naturale parte del ferro viene sostituito da altri elementi tra cui, in particolare, il titanio, pressoché sempre presente e, spesso, in percentuali superiori al 3 %, cosa che rende difficile il trattamento del minerale anche nell'altoforno perché, combinandosi facilmente col carbonio, toglie fluidità alle scorie e rende il ferro molto fragile. Spesso il



Figura 2-3 Magnetite

titanio può diventare tanto abbondante da dare passaggio all'ilmenite (FeTiO_3), sempre presente, seppure in piccole percentuali rispetto alla magnetite. Al contrario di questa, l'ilmenite è poco magnetica e fonde a temperatura notevolmente più alta (1.668°C). Negli ammassi primari di magnetite, anche in quelli più compatti e puri, si trovano, sempre, solfuri metalliferi dispersi, di ferro (pirite e pirrotina o pirite magnetica), di ferro e rame, di ferro e nichel. Il prodotto utilizzato contiene, mediamente, dal 50 al 65% di ferro, ma almeno da noi, dovrà attendere ben bene l'affermarsi dell'altoforno nella seconda metà del Cinquecento per cominciare ad essere apprezzato in siderurgia.

La magnetite è nota sin dall'antichità per le sue qualità magnetiche e per presunte proprietà medicinali. L'antico nome (*magnes, magnetis*) non deriva dalle proprietà magnetiche, come spesso si legge, al contrario sono queste che prendono in nome dal minerale indicato, in antico, col nome della città di Magnesia, in Asia Minore, nei pressi della quale (Monte Ida) se ne conosceva l'abbondanza. Fino ad epoche recenti è stata considerata una "pietra", come l'ematite e, come questa, utilizzata come gemma semipreziosa, lucidata o tagliata. A partire dal Duecento ha cominciato ad essere utilizzata come "pietra nautica" o "bossolo" (bussola).

Limonite e goethite

La limonite (fig.2-4) è un miscuglio di minerali ferrosi, prodotti per alterazione di minerali contenenti ferro, accompagnati da prodotti colloidali e residui quarzosi, argillosi e/o terrosi, il tutto in forma amorfa e idrata. Appare di colore bruno. Il componente principale è la goethite, a cui possono

associarsi altri minerali ferrosi, tra cui l'ematite, in quantità più o meno rilevante. L'abbondanza di quarzo dipende dal deposito originario, mentre l'argilla, nel prodotto utile, è presente in piccole percentuali. La goethite ha formula chimica ideale $\text{FeO}(\text{OH})$ e, quando pura, contiene circa il 63% di ferro, con manganese e/o nichel presenti in proporzioni più o meno elevate. È stato calcolato che, per abbondanza, la goethite (fig.2-5) è il secondo minerale del ferro, dopo l'ematite.



Figura 2-4 Limonite



Figura 2-5 Goethite

Il nome, datogli in onore di Goethe, ci dice che soltanto in epoca recente è stata caratterizzata mineralogicamente.

La limonite ha formula generica $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, dove n indica il numero delle molecole d'acqua, generalmente da 1 a

3: questo comporta un aumento di volume, rispetto al minerale iniziale, che può superare

il 60%. Il contenuto in ferro può raggiungere e superare di poco il 50 %, ma generalmente si mantiene sul 30-40%, e anche meno.

In antico era conosciuta col termine generico di terra o pietra ferrifera e, data la facile trattabilità, era utile anche con piccole percentuali di ferro. Il nome attuale risale alla prima metà dell'Ottocento e deriva dal greco "*leimos*", limo, palude, in relazione ai sedimenti palustri che ne sono ricchi, come la "limnite" (ferro delle paludi).

Siderite

È un carbonato di ferro del gruppo della calcite, con formula teorica FeCO_3 e contenuto in ferro fino a 48,2%, peso specifico 3,8 g/cm³ (fig.2-6). Ma, nel minerale, il ferro è quasi sempre sostituito in parte da magnesio, calcio, manganese, zinco e/o altri elementi. Frequenti sono anche discrete presenze di zolfo e di arsenico.



Figura 2-6 Siderite

I singoli cristalli appaiono di colore giallastro trasparente, quando puri, ma generalmente sono bruni per incipiente limonitizzazione.

A temperature moderate diventa magnetica e si decompone. La presenza del carbonato rende basica la scoria che, di conseguenza, necessita di alta temperatura per essere fusa. Nonostante il modesto e complesso contenuto in ferro, a partire dal basso Medioevo ha costituito un discreto minerale per la siderurgia dell'altoforno, previo preventivi arrostitimenti, anche per eliminare le frequenti presenze di solfo e arsenico. Come minerale specifico è stato riconosciuto soltanto

nella prima metà dell'Ottocento e gli è stato derivato il nome dal greco “*sideros*”, ferro [14, 15].

2.2. Preparazione del minerale

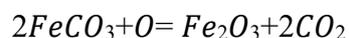
La trasformazione del minerale grezzo in ferro metallico è un processo laborioso in quanto un minerale raramente si presenta allo stato puro; in genere è accompagnato da sabbia e argilla, che prendono il nome di ganga. A seguito dell'estrazione i minerali richiedono processi di lavaggio e frantumazione, per separare la parte utile dalla ganga. Un altro processo termico preliminare alla produzione vera e propria del ferro era quello di arrostitimento del minerale, volta a facilitare la successiva riduzione del minerale.

Il processo di arrostitimento utilizzato per il minerale di Fe deriva dal corrispondente utilizzato per minerali di rame ed era già ben conosciuto fin dall'antichità.

I principi di questa operazione differivano nettamente da quelli per l'ottenimento definitivo del metallo. Non erano infatti necessari né una temperatura molto elevata, tra 400°C e 800°C, né l'isolamento dell'ambiente di arrostitimento dall'aria esterna.

Come combustibile poteva essere usato senza problemi il legno naturale, sistemato in una struttura a graticcio formata da strati alterni di legname e minerale. L'arrostitimento consentiva, oltre che la già menzionata facilitazione del processo di riduzione, anche la rimozione dei diossidi di carbonio dai minerali carbonati e dell'acqua in eccesso grazie alla porosità conferita al minerale; inoltre, grazie all'apporto del calore, l'arrostitimento facilitava la rottura dei minerali più duri aumentandone così la superficie esposta all'azione del monossido di carbonio. Così preparato, il minerale era pronto per essere introdotto nella fornace e sottoposto all'azione del calore [16].

Per quanto riguarda i carbonati come la siderite, si ha la seguente reazione al processo di arrostitimento:



producendo così l'ematite.

Nel caso della limonite per temperature superiori a 550° la reazione è la seguente:



Allo stesso modo per la goethite:



In entrambi i casi si è formata ematite e acqua [4].

2.3. Riduzione del minerale

Secondo i dati archeologici ad oggi disponibili, i primi oggetti in ferro ottenuti attraverso un processo metallurgico provengono dal Vicino Oriente e risalgono alla prima metà del II millennio a.C., per quanto sia soprattutto nel Periodo Tardo Ittita (1500-1200 a.C.) che documenti scritti e ritrovamenti archeologici indicano in modo inequivocabile la produzione su grande scala di oggetti in ferro da parte della popolazione degli Ittiti. Il ferro fu, dunque, uno degli ultimi metalli a comparire nella storia della metallurgia antica (si consideri ad esempio che i più antichi oggetti in rame nativo sono del VII millennio a.C.). Infatti, l'estrazione di questo metallo dai minerali richiede una tecnologia piuttosto avanzata: l'elevato punto di fusione del ferro (1536°C) ne ha reso impossibile l'ottenimento allo stato liquido per un lungo periodo. Il ferro doveva, quindi, essere estratto allo stato solido dal minerale, mediante il cosiddetto "metodo diretto", primo metodo di riduzione ad essere stato utilizzato. In Europa quest'ultimo fu l'unico metodo usato fino alla fine del Medioevo, quando l'introduzione delle tecnologie idrauliche, utilizzate per generare la ventilazione in ingresso all'altoforno, consentì la produzione del ferro allo stato liquido sotto forma di ghisa (metodo indiretto) [17].

2.3.1 Metodo diretto

Il passaggio fondamentale del ciclo produttivo era la fase di riduzione. La riduzione avveniva in appositi forni, detti appunto "di riduzione", aventi diversa struttura e composizione a seconda delle regioni e dell'epoca di utilizzo.

Il combustibile rivestiva una sostanziale importanza nel processo di riduzione del minerale ferroso: il carbone di legna, principale combustibile in uso in Europa nei periodi precedenti al XVIII secolo ed impiegato in quasi tutti gli impianti a basso-forno, era infatti in grado di fornire una temperatura adeguata e le condizioni necessarie alla riduzione degli ossidi.

Il cosiddetto antichissimo metodo diretto, utilizzato fin oltre il Medioevo in Europa e tradizionalmente usato in Africa fino agli anni '60, permetteva di ottenere, senza giungere alla fusione e per riduzione degli ossidi, soltanto una massa spugnosa del metallo, o bluma, che doveva essere sottoposta ad un'ulteriore lavorazione prima che si potesse ottenere il ferro solido.

La massa spugnosa o bluma, così ottenuta era, tuttavia, ancora mista a scorie fluide; per questa ragione, una volta estratta la bluma dal forno (dall'alto nelle fornaci



Figura 2-7 Fucina antica

meno evolute e dal basso in quelle più efficienti),

essa doveva essere ancora a lungo lavorata mediante forgiatura a caldo (fig.2-7), fornendo l'espulsione meccanica della scoria per ottenere del ferro (o acciaio) con buone qualità meccaniche (processo di raffinazione della bluma). Quest'operazione di raffinamento durava, ed era ripetuta, tanto quanto era necessario per ottenere il metallo il più puro possibile. La fusione della ganga o roccia sterile si verificava, al contrario, a basse temperature e senza fondenti. Durante questo processo, le scorie liquide, costituite per la maggior parte da silice e ossidi non ridotti, si accumulavano sul fondo del forno ("scorie di forno") e/o verso l'esterno tramite un'apposita apertura nella parete del forno ("scorie di colata").

Questo processo diretto di riduzione del minerale non consentiva però una elevata produzione di ferro che, oltretutto, aveva uno scarso tenore di carbonio. Il ferro

così prodotto (anche dopo il processo di raffinazione della bluma), infatti, è dolce, resistente ma privo della durezza necessaria per fabbricare armi ed utensili. Inoltre, le qualità di questo metallo sono tutt'altro che omogenee, dal momento che sono legate sia al tipo del minerale di ferro trattato in vista dell'ottenimento del lingotto, sia alle abilità tecniche dei singoli artefici. Infine, la messa in forma dell'oggetto richiede un ulteriore processo, ovvero la forgiatura, utilizzata per fornire al prodotto finito i requisiti funzionali e meccanici richiesti.

Per un radicale mutamento della qualità del ferro bisognerà attendere l'età moderna, quando lo sviluppo degli altiforni, una maggiore ventilazione, e l'utilizzo del carbon fossile renderà possibile la produzione di colate di ferro, grazie al raggiungimento di temperature assai elevate [18].

Esiste, una vasta gamma di fornaci e sono vari i tentativi di classificazione sulla tipologia e struttura di queste. Per avere una migliore visione d'insieme vengono considerate le tipologie più diffuse, a partire dall'antichità fino ad arrivare a quelle più in voga ai tempi dell'acciarino che andremo ad analizzare nei capitoli successivi.

Fornace a tazza (bowl furnace)

La fornace a tazza (fig.2-8) è storicamente il più semplice ed antico tipo di forno. C'è molta incertezza sulla datazione delle prime fornaci, ma si può sicuramente affermare che erano già utilizzate a partire da V-VI secolo a.C. in Europa.

Questa fornace non è altro che una cavità aperta nel terreno, rivestita da argilla refrattaria ed a tiraggio forzato.

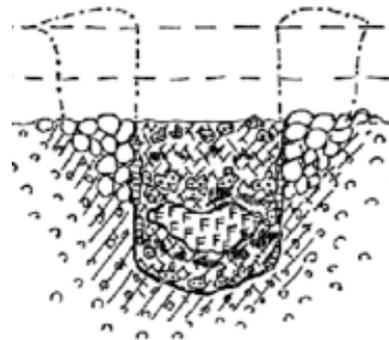


Figura 2-8 Fornace a tazza

Il minerale e il carbone vengono mescolati insieme o disposti a strati su un fuoco di carbone caldo. La massima temperatura deve essere di almeno 1150°C. Questo tipo di forno non ha sbocco per le scorie e le scorie scendono fino al fondo, di conseguenza la separazione della scoria non può avvenire e, dunque, si conglopera insieme al metallo in una sola massa. Si formerà di conseguenza in superficie uno strato di metallo, e, andando in giù ci sarà principalmente scorie e carbone. Una volta completato il processo, si rompe la sovrastruttura in argilla, si

separa il metallo dalle scorie e la fornace viene ripulita. Le dimensioni erano generalmente tra 0.5 e 1 m sia per quanto riguarda il diametro sia per la profondità della fossa e comunque il rapporto altezza/diametro non oltrepassava mai la proporzione di 2:1 [19].

Fornace a fossa per la scoria (slag pit-furnace)

La differenza sostanziale era la maggiore capacità di contenimento. Infatti, l'aggiunta di un muro costruito sul bordo della fossa consentiva di utilizzare maggiori quantità di minerale e combustibile.

Le fornaci a fossa (fig.2-9) potevano avere una dimensione all'incirca di 0,4 m per diametro e profondità della fossa, capaci di ospitare circa 25kg di scoria, e durante il tardo periodo romano, potevano ospitare fino a 450kg di scoria, con un diametro/profondità della fossa di 0.8-0.9m.

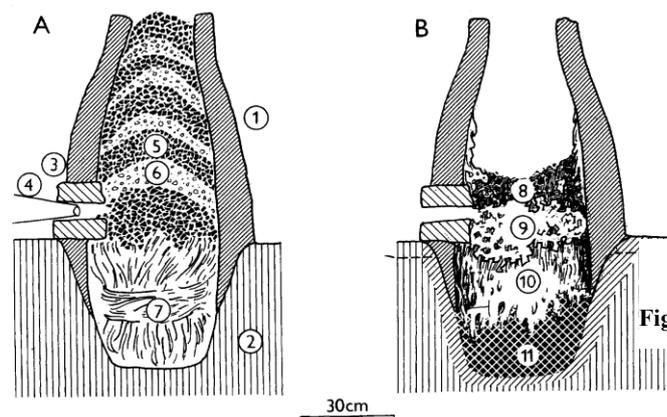


Figura 2-9 Fornace a fossa [20]

1 Camino; 2 Suolo; 3 Condotti dell'aria; 4 Mantice; 5 Carbone di legna; 6 Minerale; 7 Paglia o fascine; 8 Scoria; 9 Spugna metallica; 10 Blocco di scoria; 11 Carbone e ceneri

L'aumento d'altezza di questa fornace ha fatto sì che si creassero delle zone con temperatura differente in cui il gas agisce sul minerale e che aumentasse il tempo necessario alla carica per muoversi lentamente lungo la fornace.

Mantenendo la forma a tazza per la fossa come nella versione precedente e spostando i condotti per l'immissione dell'aria al livello del suolo non si verifica più nessun processo di riduzione nella porzione sotterranea della fornace. La fossa si trasforma così in un contenitore per la scoria, che, dopo aver attraversato la massa metallica spugnosa che si forma al livello dei condotti, si raccoglie e solidifica nella fossa. Questo processo di raccolta della scoria era possibile solo se

la fossa fosse rimasta libera finché le scorie non iniziavano a formarsi e fluire. Per far ciò la fossa doveva essere prima riempita di carbone, legna secca o fasci di paglia che, a contatto con la scoria fusa, iniziavano a bruciare, liberando progressivamente spazio per la stessa. Il tiraggio era forzato nel caso delle fornaci più piccole, mentre, per quelle più grandi, poteva essere naturale [20].

Il limite produttivo per questo tipo di fornace era dato dalla dimensione della fossa, una volta che essa era stata riempita dalla scoria era necessario spegnere la fornace e procedere a rimuoverla [4].

Forni a tino o bassoforno (shaft furnace)

Le condizioni più favorevoli per la riduzione del tempo si hanno con l'aumento di altezza della fornace, in quanto essa allunga il tempo di discesa della carica della fornace stessa. Tali condizioni sono fornite da forni a tino (fig.2-10) con sovrastruttura cilindrica o conica e questo tipo rappresenta la forma tecnologicamente più avanzata della fornace per processo diretto, in quanto può essere ampliato senza perdita di efficienza. Gli altissimi camini dei moderni

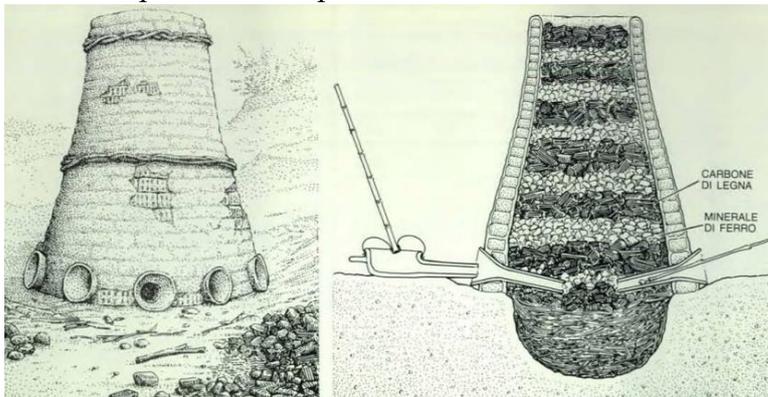


Figura 2-10 Forno a tino

altiforni sono in linea diretta i discendenti dei primi forni a tino che erano alti solo 60-80 cm ed era

proprio il forno a tino a rendere possibile il passaggio dal processo di riduzione diretta a quello indiretto. I forni a fossa di scorie discussi prima erano, in linea di principio, un tipo di forno a tino. La distinzione tra i due sta nel metodo di separazione del ferro dalle scorie. Nella fornace a tino vera e propria, le scorie non si depositavano in un focolare sotterraneo, ma venivano rimosse durante il processo produttivo dal focolare della fornace a livello del suolo.

La famiglia dei forni a tino nota dalla documentazione archeologica è ampia e comprende tipi soffiati sia da soffietto che azionati da tiraggio indotto. In termini di struttura, si possono distinguere diversi sottotipi. In primo luogo, ci sono

piccoli forni indipendenti a pareti sottili che, se danneggiati, potrebbero essere rapidamente sostituiti da nuove unità. Questi erano ugualmente adatti per operazioni su piccola scala e su scala industriale. Poi vengono i modelli a pareti sottili, rinforzati con telai o paletti di legno o con pietre, alcuni dei quali interamente costruiti in pietra. Questo metodo di costruzione ha permesso di aumentare considerevolmente l'altezza delle fornaci, anche se le altezze originali di solito non possono essere stabilite in modo affidabile, poiché le loro pareti raramente sopravvivono completamente. Inoltre, alcune erano autoportanti, altre invece erano sostenute da sponde del terreno. Infine, ci sono costruzioni a pareti spesse, che presentavano lo speciale vantaggio di un buon isolamento termico, che è un fattore importante nella produzione di maggiori rese di ferro. Forni di questo tipo avevano una vita più lunga e, dopo riparazioni o ribasature, potevano essere utilizzati in modo intensivo per molte stagioni di lavorazione del ferro [20].

Forno catalano

È una versione di bassoforno più aggiornato (fig.2-11). Si diffuse soprattutto nelle zone di montagna, le Alpi, il Massiccio Centrale e dei Pirenei. Anche questo tipo di forno è costituito da una serie di processi tecnologici destinati ad ottenere il ferro, come sempre per riduzione diretta del minerale, quindi senza passare per l'intermediazione della ghisa come in un altoforno.

Il forno è una massa quadrangolare di muratura costituita da argilla e pietre grosse, lunga da 2,5 a 3 m e da 0,70 a 0,90 m dall'alto.

Si compone di una fornace a crogiolo aperto. Il crogiolo era diviso in due parti da una lastra di acciaio, nella parte frontale si caricava il carbone e frammenti fini di minerale, nella parte posteriore frammenti grossolani di minerale. Dopo la preparazione della carica la lastra divisoria era rimossa. Alla base della fornace era presente un'apertura per la rimozione della scoria liquida.

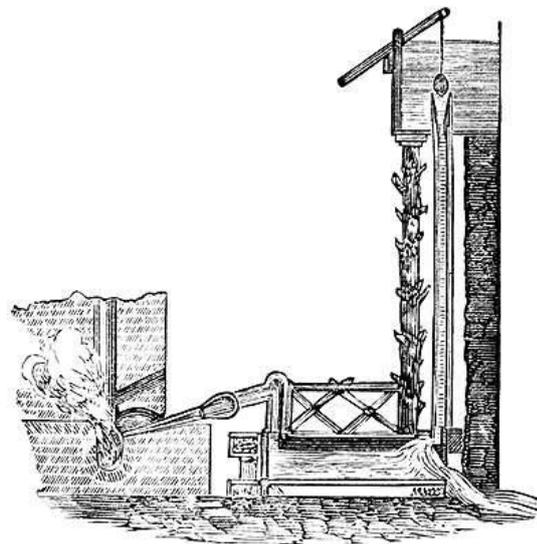


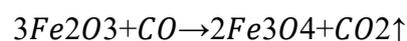
Figura 2-11 Forno catalano con sistema a tronco

L'aria era insufflata non grazie a mantici ma all'utilizzo di un sistema chiamato tronco (o tromba marina), dove l'acqua incanalata in una specie di bacino di legno, viene fatta precipitare in un tubo verticale, l'albero, realizzato con un tronco d'albero segato a metà e scavato. Le due parti vengono poi unite da cerchi di ferro. Mentre cade, l'acqua fa sì che l'aria venga aspirata attraverso i tubi di aspirazione. Il tubo o albero verticale scende dal punto più alto ad una camera di separazione; un tubo, tipicamente più stretto del precedente, uscendo da quella camera, permette all'acqua di uscire ad un livello inferiore, e un altro tubo (tubo dell'aria) proveniente dalla camera permette all'aria pressurizzata di convogliare in un condotto che porta diretti alla fornace. Questo sistema consente quindi una ventilazione forzata e permanente al forno senza intervento manuale, e può essere regolata cambiando l'angolo di incidenza della corrente d'aria in modo molto preciso variando la portata, modificando a piacimento il risultato finale. L'uso di un basso angolo di incidenza proteggeva la massa ferrosa dalla decarburazione permettendo la produzione di acciaio, per contro l'utilizzo di un angolo di incidenza alto permetteva di ottenere ferro malleabile, dalle minori caratteristiche meccaniche, ma più facilmente lavorabile. Al termine della produzione il peso della massa ferrosa era all'incirca di 125 kg, processo che durava tra le 5 e le 6 ore. Anche con questi forni le temperature erano relativamente basse rispetto alla temperatura di fusione, infatti si aggiravano tra i 1000 e i 1300 °C [21, 4, 20].

Processo produttivo

Il forno viene caricato con carbone di legna e preriscaldato per diverse ore sotto un leggero flusso d'aria. L'ossigeno si combina al calore con il carbonio per formare dapprima anidride carbonica ($C+O_2\rightarrow CO_2$) e successivamente monossido di carbonio ($CO_2+C\rightarrow 2CO$) che è il principale agente riducente.

Con l'aggiunta delle prime cariche di minerale e carbone, l'ossido di ferro a contatto con il monossido di carbonio reagisce in modo da produrre regolarmente anidride carbonica:



dopo l'aggiunta di diverse cariche di minerale, l'atmosfera nella parte superiore del forno contiene molta CO che, a basse temperature intorno ai 500°C, agisce come agente riducente.

Il tuyère è un'apertura attraverso la quale l'ossigeno o l'aria vengono forniti all'interno di una fornace, un focolare o una fucina, aiutando ad aumentare la temperatura per ridurre o fondere vari tipi di metallo. Questo dispositivo ha spesso la forma di un tubo o di un ugello che si attacca al forno dall'esterno ed è solitamente realizzato in rame o ghisa.

Nella zona di combustione prossimo al tuyère le temperature potrebbero raggiungere oltre 1400°C, anzi fino a circa 1600°C a pochi centimetri di distanza, per poi via via scendere a circa 1200-1300°C, e, andando più in alto a 1000-700°C, scendendo fino a circa 500-350°C nella cima della fornace.

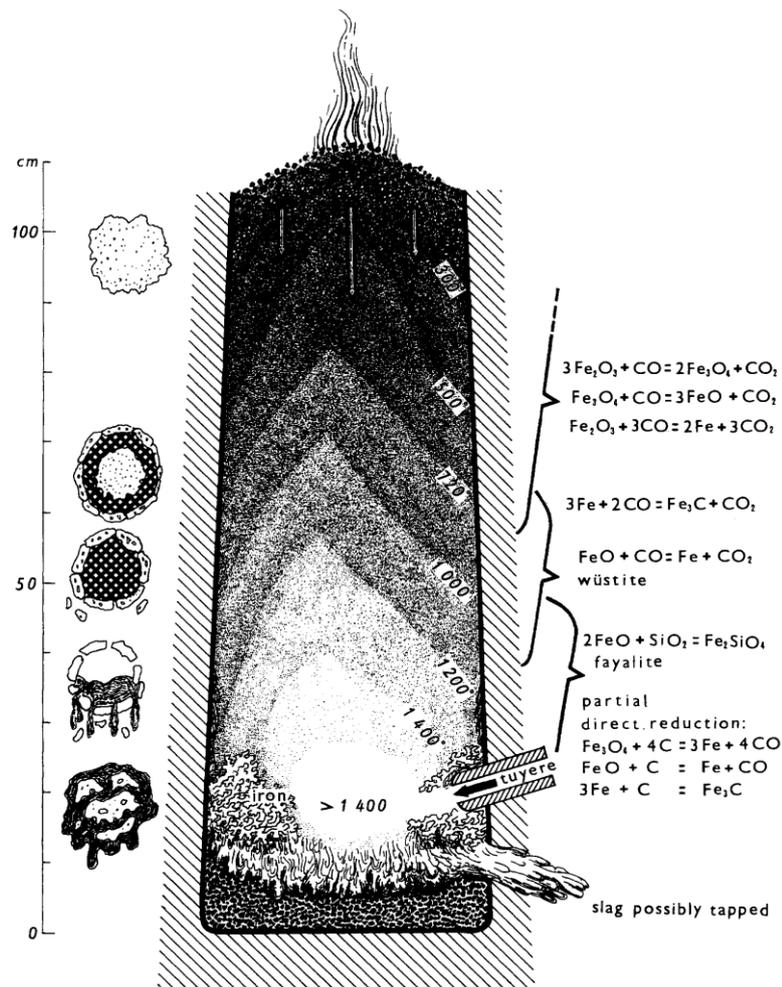
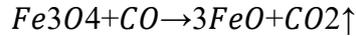
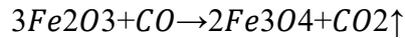


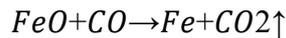
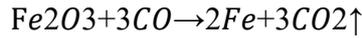
Figura 2-12 Processo di fusione

Si consideri il percorso di un granello di ematite, costituito da minerale e da particelle di ganga silicea, che scende lungo il forno con la carica, contro corrente dei gas riducenti contenenti CO. Nella zona superiore, a 500-550°C, diventa

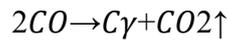
totalmente secco e poroso, soprattutto se calcinato in precedenza. Fino a circa 700-750°C, gran parte del minerale sarà ridotto a magnetite e in parte a wüstite:



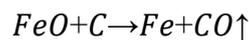
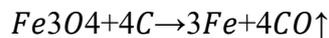
sulla superficie del grano minerale, si forma un sottile strato esterno di ferro metallico:



In condizioni fortemente riducenti, dopo che tutta la wüstite è stata consumata, può iniziare una reazione di carburazione, processo che avviene principalmente nell'intervallo di temperatura superiore a 900°C. L' γ -Fe assorbe il carbonio dal gas:



Nel frattempo, il conglomerato minerale-wüstite-ferro scende a livelli più bassi dove, a temperature di circa 1100-1200°C, ha luogo un'ulteriore reazione. Le particelle di ganga dei grani di minerale si combinano con wüstite per formare la fayalite Fe_2SiO_4 , il principale costituente delle scorie, che si scioglie e fuoriesce dalla massa ferrosa. Il rivestimento dei grani si disperdono e si sfaldano insieme ad altri granelli di ferro, formando una sorta di spugna di ferro aderente alle pareti del focolare, all'incirca all'altezza della tuyere e della sua bocca. La scoria fusa cola attraverso i pori della massa ferrosa e si raccoglie nell'area sottostante da cui tramite un'apposita apertura può poi essere rimossa. Tuttavia, in zone con temperature superiori a 1000 °C, si verifica un'altra reazione, la riduzione diretta da parte del carbonio solido. Il minerale a contatto con il carbone produce ulteriore monossido di carbonio.



Dopo essere stato estratto dal forno, il massello veniva martellato per aggregarlo e per eliminare le scorie residue, operazione che poteva essere ripetuta più volte, previo riscaldamento, fino ad ottenere verghe di ferro pressoché puro, con contenuto medio di carbonio raramente superiore allo 0,05% e poche tracce di altri elementi: il metallo, “dolce” e malleabile, aveva anche l'importante proprietà

di poter essere saldato per “bollitura”, martellando assieme due parti portate ad incandescenza [20].

2.3.2 Metodo indiretto

Per secoli la produzione di ferro si era affidata alla tecnologia del basso fuoco, con la quale non era possibile superare i 1.000°C di temperatura e ciò che si otteneva era, perciò, non la fusione del minerale ferroso, realizzabile a circa 1.550 °C, ma un blumo, una massa che all’aspetto ricordava una spugna. Solo successive martellature di questa massa riuscivano a completare il processo di riduzione, ad ottenere cioè il ferro dai minerali che lo contengono sottraendo loro ossigeno.

Il passaggio al metodo indiretto fu stimolato dal migliore rendimento rispetto al metodo precedente e favorito dalla diffusione generalizzata delle macchine idrauliche applicate alla metallurgia per la ventilazione.

In questo caso occorre aggiungere un secondo passaggio rispetto al metodo diretto; infatti, una volta ottenuta la ghisa si ha un processo di affinamento che porta ad ottenere l’acciaio.

Gli artigiani lavoravano con fornaci sempre più grandi che raggiungevano temperature sempre più elevate grazie anche ad una migliore ventilazione.

Già nel XII secolo appaiono, infatti, i primi altiforni in grado di produrre gettate di ferro fuso, la ghisa. Tuttavia, tale produzione non si diffonde in modo generale fino al XVI secolo quando diviene il procedimento più comune.

Le reazioni chimiche che si sviluppavano nella parte alta dell’altoforno erano del tutto analoghe a quelle già viste nel bassoforno. Anche qui l'ossigeno si combina al calore con il carbonio formando soprattutto il monossido di carbonio che è il principale agente riducente. Nella parte alta dell’altoforno il minerale sarà ridotto a wustite che a sua volta, a livelli più bassi del forno, tramite un processo di carburazione formerà una soluzione solida contenente carbonio. La differenza introdotta dall’altoforno sta nel fatto che, una volta raggiunta la temperatura di fusione, il ferro liquefa e cola verso il fondo della fornace, aumentando la reattività del metallo, che è perciò in grado di assorbire una maggior quantità di carbonio. Il prodotto che ne verrà fuori sarà quindi un blumo ghisa con un tenore di carbonio all’incirca del 3-4%, spesso di composizione poco omogenea e troppo

fragile per essere lavorata per deformazione plastica. Per ottenere un acciaio più malleabile, o un ferro dolce, è necessario sottoporre la ghisa a uno o più trattamenti di decarburazione, noti come raffinazione. Dopo aver riscaldato il metallo fino a provocarne la fusione, lo si fa colare all'interno di un crogiolo; quando la ghisa entra in contatto con l'aria reagisce abbassando la concentrazione di carbonio [4, 11, 22].

Forno alla bresciana

Dal XIV secolo, i maestri bresciani sperimentarono altiforni nei quali un getto d'aria potente e continuo permetteva di raggiungere le temperature necessarie alla fusione (fig.2-13,2-14). Quel che si otteneva non era ferro, ma una sua lega: la ghisa. Il metodo indiretto consentiva di sfruttare più vantaggiosamente il minerale, producendo scorie contenenti una percentuale molto inferiore di ferro e di risparmiare combustibile. Notevole era inoltre la quantità di ghisa prodotta, che era tuttavia fragile, tanto da non poter essere lavorata al maglio. Ciò derivava dalla percentuale fra il 2 e il 4,5 % di carbonio in essa contenuta. Pur non avendo nozione di questa circostanza, i fabbri erano in grado, però, di trasformare la ghisa in ferro malleabile ricorrendo a una successiva fusione, praticata in apposite fucine molto simili ai bassi fuochi, per la quale bastava una temperatura fra i 1100 e i 1300 °C.

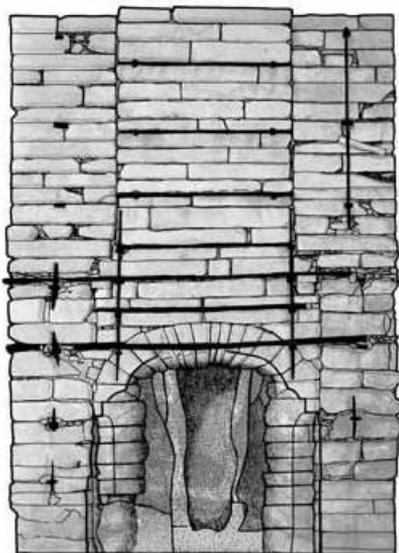


Figura 2-13 Rilievo della facciata, forno alla bresciana [23]

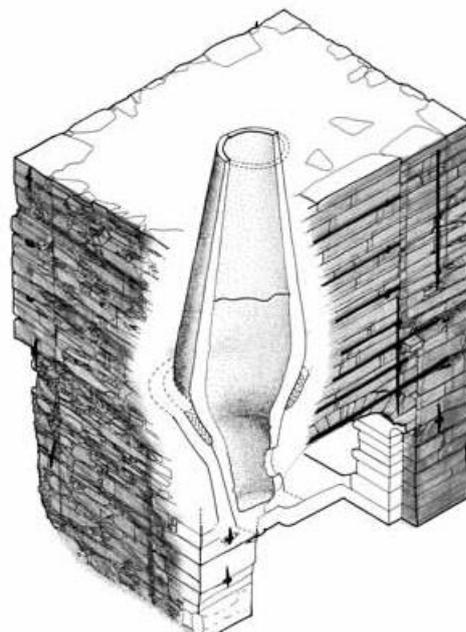


Figura 2-14 Assonometria in cui è visibile, nello spaccato, la struttura e la collocazione del canecchio nel quale veniva fuso il minerale di ferro.

Nonostante la necessità dell'ulteriore passaggio, il metodo indiretto risultò nel complesso più produttivo e capace di rispondere alle esigenze tecniche imposte dalle particolari caratteristiche dei minerali disponibili nelle diverse aree, sicché venne applicato anche, secondo criteri diversi, nel Belgio del '500 e, poi, nell'Europa atlantica e baltica.

È d'altra parte evidente che l'affermazione del metodo indiretto andò di pari passo con l'acquisizione di una piena padronanza nel processo di affinazione della ghisa, dal quale dipendeva anche la produzione dell'acciaio. Questo era prodotto soprattutto in Alta Val Camonica e in Val Sabbia, mediante successive fusioni, riscaldi e battiture che costituivano una sequenza di operazioni lungamente sperimentata dagli artigiani e che si sarebbe mantenuta sostanzialmente inalterata sino all'avvento dei convertitori Bessemer e dei forni Martin-Siemens che avrebbero rivoluzionato la siderurgia nel secondo Ottocento. [22]

L'affermazione dei forni "alla bresciana" fece dunque tutt'uno con l'acquisizione della padronanza del processo di affinazione della ghisa. Canecchio era il termine con il quale si designava il forno alla bresciana, e più specificamente la torre nella quale si svolgeva la fusione, consolidata da grosse chiavi in ferro che ne stringevano i muri perimetrali, costruiti utilizzando prevalentemente una pietra molto diffusa nella Valle, il Verrucano lombardo. Furono le innovazioni introdotte attorno alla metà dell'800 a permettere un innalzamento del canecchio: l'arrotondamento della sua forma interna (sul modello dei forni in uso in altre parti d'Europa), l'aumento della pressione e della regolarità dell'aria insufflata e un sistema che permetteva di riscaldarla. Queste modifiche consentirono di aumentare la produzione della ghisa senza impiegare maggiori quantità di carbone. Di pari passo aumentò la capacità produttiva del forno.

La ghisa fabbricata giornalmente in quel di Tavernole, ad esempio, che a inizio '800 non superava i 13 quintali, attorno al 1860 aveva raggiunto i 35 e sarebbe arrivata a 40 una ventina d'anni più tardi. A diverse altezze della torre, si producevano temperature e si verificavano reazioni e processi chimico-fisici differenti che portavano alla produzione di una lega di ferro e carbonio, la ghisa, e di scorie o loppe.

Nella zona sottostante la bocca, ad una temperatura fra i 300°C e i 600°C, si verificava la fase di riscaldamento ed essiccamento del minerale. Più in basso, nel tino, iniziava la fase di riduzione del minerale (cioè il processo che sottraeva ossigeno alla siderite, FeCO_3) e la temperatura si alzava raggiungendo i 1.000°.

Nella zona della sacca, ad una temperatura superiore ai 1.000°, si verificavano la trasformazione del metallo in ghisa (carburazione) e la formazione delle scorie.

Nella zona della presura, la temperatura superiore ai 1.500° portava allo stato liquido la ghisa e le scorie, che si raccoglievano nel crogiolo sottostante [23].

Stückofen

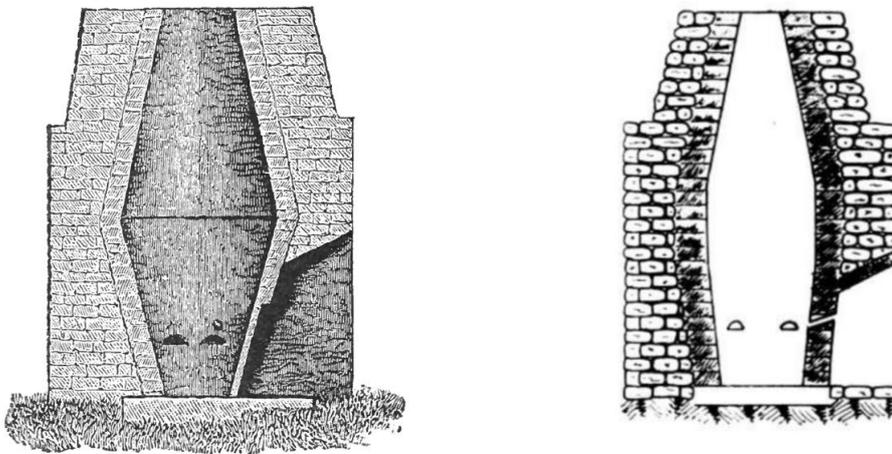


Figura 2-15 Stückofen

Lo stückofen (fig.2-15) si diffuse principalmente in Austria , in Sassonia e lungo il Reno. Capaci di raggiungere temperature dell'ordine di 1600 °C, questi forni possono fondere parzialmente o totalmente le scorie , o anche il metallo. Chiamati in quest'ultimo caso Flussofen (cioè “forni fusori”), sono autentici altiforni che producono ghisa fusa. Questo altoforno è di dimensioni molto maggiori rispetto ad alcuni altiforni dello stesso periodo. Si tratta di una struttura a pareti spesse di altezza considerevole, circa 3-4m, molto simile agli altoforni sui contemporanei. Il diametro del crogiolo era di 0.8-1m restringendosi fino a 0.5m alla sommità. La produzione durava circa 18h raggiungendo temperature di anche 1500° nel crogiolo, questo produceva masse ferrose di diverse centinaia di chilogrammi e tra i prodotti di scarto una modesta quantità di ghisa liquida. La rimozione della massa ferrosa a fine produzione richiedeva complessi sistemi di catene e carrucole [24, 4, 20].

2.4. Lavorazione del ferro

La lavorazione dei metalli è una pratica che è ormai in uso da secoli e secoli, affinatasi sempre più con l'avanzare del progresso.



Figura 2-16 Antica fucina

Le lavorazioni meccaniche hanno l'obiettivo di trasformare il pezzo modificandone la forma o variandone le caratteristiche, mediante l'apporto di energia e di materiali ausiliari.

Una volta ottenuta la materia prima il manufatto, indipendentemente dal fatto che si trattasse di metodo diretto o indiretto, veniva prodotto nella fucina, dove attraverso l'utilizzo delle diverse tecniche di forgiatura il prodotto veniva lavorato: azioni meccaniche, quali martellatura e torsione; trattamenti termochimici particolari come ad esempio tempra, ricottura, rinvenimento, cementazione; decorazioni (quali, cesellatura e doratura); e assemblaggio (rivettatura, saldatura, fig.2-16).

Questa serie di operazioni serviva non solo a dare al prodotto la forma prestabilita ma, soprattutto, a fornirgli le caratteristiche funzionali e meccaniche richieste e necessarie (fig.2-17).

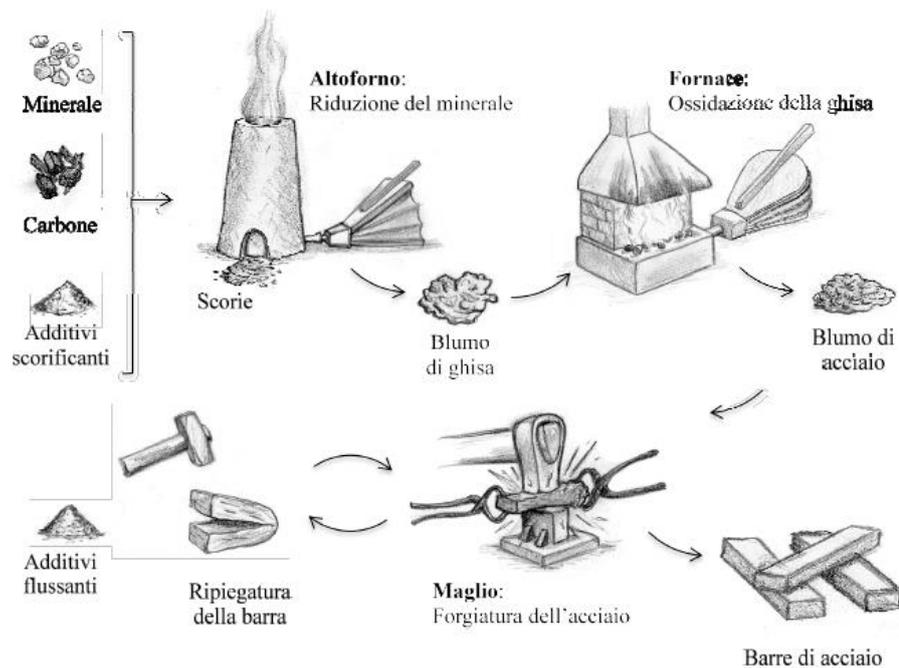


Figura 2-17 Ciclo di produzione (indiretto) acciaio [25]

Questa lega ferro-carbonio, se da un lato si lascia lavorare alla forgia con maggiore difficoltà rispetto al ferro dolce, dall'altro dona al metallo delle caratteristiche meccaniche tali da farne una materia prima perfetta per la fabbricazione di armi e strumenti.

Tutte le operazioni legate alla forgiatura lasciano diversi prodotti di scarto, come di scorie, scarti della battitura al maglio e piccoli frammenti di ferro metallico.

Tutti l'insieme di queste operazioni si svolgeva nella bottega del fabbro nella quale accanto al fuoco di forgia/fucina, punto centrale dell'officina, si trovavano un bacino per la tempra, i mantici, l'incudine e strumenti vari fra cui spiccano le diverse pietre per le lavorazioni [16].

2.4.1 Decorazioni

Oltre alle lavorazioni che permettevano di definire le proprietà meccaniche dei materiali, una certa importanza veniva anche attribuita all'arte delle decorazioni e quindi all'aspetto estetico del componente, che identificava anche la classe di chi apparteneva quell'oggetto.

Gli strumenti principali utilizzati per il decoro del ferro sono il cesello ed il bulino. Sono tecniche di incisione dirette, in quanto l'artista, attraverso l'utilizzo di strumenti a punta, incide la matrice metallica.

Il cesello (fig.2-18) è uno scalpello d'acciaio, con la testa smussata e foggata in vario modo secondo il tipo di incisione da praticare. Battendolo con una mazzetta si eseguono incisioni, risalti e zigrinature.

Il bulino (fig.2-19) è un sottile e affilato scalpello con punta in acciaio infissa in un manico di legno a forma di fungo. Nell'impiego del bulino l'attrezzo viene spinto a segnare l'acciaio utilizzando il palmo della mano, premendo adeguatamente sul manico.

Questa è la differenza principale tra i due strumenti: mentre nel cesello si ha bisogno di un martelletto per incidere il metallo, nel bulino l'avanzamento dello scalpello sulla lastra è un solco netto e continuo perché la pressione non è più intermittente come sotto l'azione del martello. Infatti, tramite l'uso diretto della mano, si ha maggior sensibilità, regolando e modificando come e quanto si vuole la pressione, l'inclinazione dell'utensile, la sua profondità e la rotazione con il risultato di un segno più fluido, sottile e leggero.

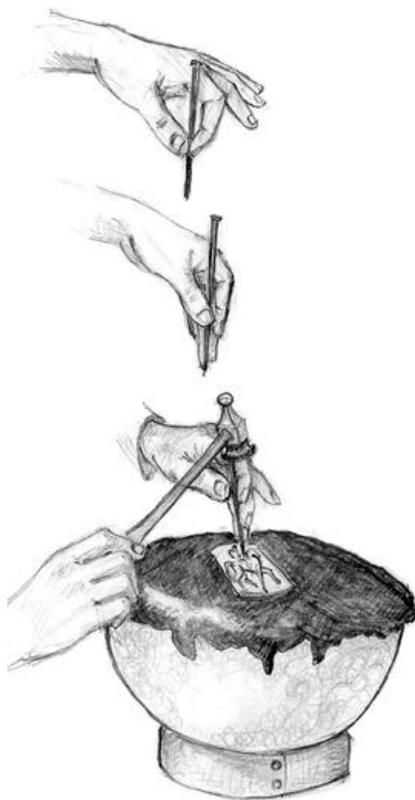


Figura 2-18 Raffigurazione e utilizzo cesello

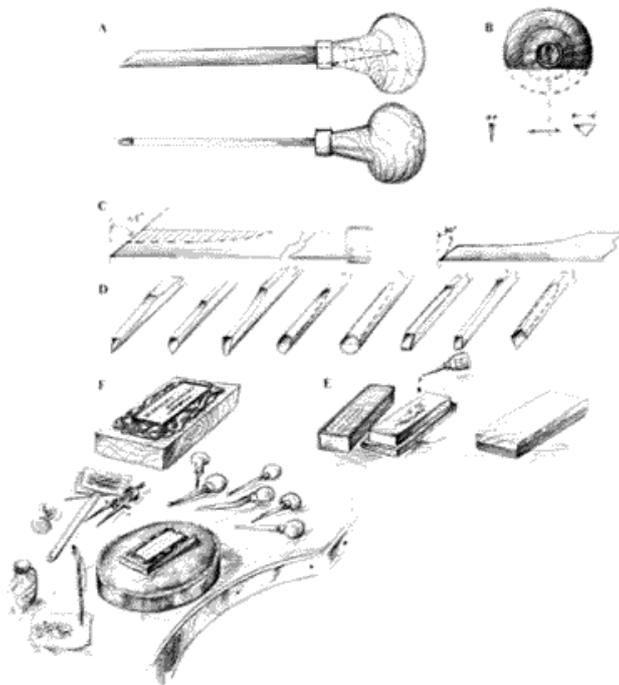


Figura 2-19 Raffigurazione bulino

Nell'ambito della produzione bresciana ci sono pezzi di gran pregio sia per le caratteristiche tecniche, sia per le finiture, sia per le incisioni. Proprio questa lavorazione costituisce una delle grandi tradizioni secolari. Nel corso del Cinquecento i sovrani iniziarono a commissionare alle fonderie bresciane decorazioni raffinate sulle canne di bronzo delle artiglierie e sulle impugnature delle armi che le abbellivano tramite l'uso di ceselli. A queste richieste si aggiunsero quelle della clientela facoltosa che desiderava dotarsi di pezzi degni del proprio rango e prestigio. Infatti, nel passato, la nobiltà era solita acquistare armi e armature raffinatissime, firmate dagli artigiani più in voga, come simbolo tangibile del loro status. Ancora oggi cesello e bulino sono gli strumenti che consentono ad abili maestri incisori, che hanno "strappato" i segreti del mestiere ai loro predecessori, di produrre vere e proprie opere d'arte. L'arte dei Maestri incisori bresciani proseguì ininterrottamente nei secoli e, dopo una crisi che coinvolse l'intera industria armiera nella prima metà del '800, tornò a crescere con l'Unità d'Italia e con lo sviluppo della produzione di armi per civili [26, 27].

3. MATERIALI E METODI

3.1. Descrizione meccanismo alla moderna analizzato

Il meccanismo analizzato è un acciarino alla moderna (o alla francese), risalente al XVIII secolo (1750 circa), e, molto probabilmente, proveniente da Brescia (fig.3-1,3-2). Si presume sia una terzetta, appartenuta ad un membro di una classe borghese.

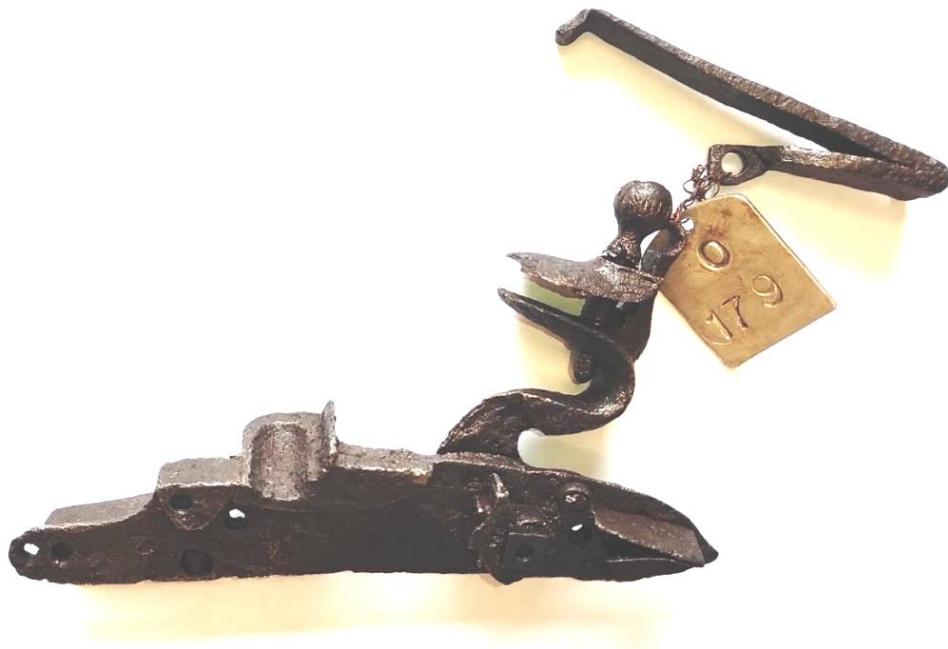


Figura 3-1 Acciarino alla moderna fronte



Figura 3-2 Acciarino alla moderna retro

Come si può notare dalle fotografie soprastanti, le parti mancanti di questo meccanismo sono la leva dello scatto e la martellina, componente fondamentale per l'accensione della carica grazie al contatto e alle scintille generate dall'impatto tra la martellina stessa e la pietra focaia.

Tale componente, essendo stato classificato come acciarino alla moderna, è un diretto discendente dei suoi antenati snaphaunce (fig.3-4) e micheletto (fig.3-3). In realtà questo pezzo non ha particolari caratteristiche della versione a micheletto bensì ne ha diverse della versione snaphaunce.



Figura 3-3 Meccanismo a micheletto



Figura 3-4 Meccanismo snaphaunce

Molto probabilmente questo componente aveva in comune con il design a micheletto il fatto che martellina e copriscodellino erano un unico pezzo ad L, cosa molto comune tra gli acciarini alla moderna.

Del design snaphaunce riprende il meccanismo, che è completamente interno, ad eccezione della molla della martellina (nel micheletto anche la molla del cane è esterna) e quindi permette una maggiore protezione del componente. Altra caratteristica in comune è il cane che in questo caso è snello, anche se in realtà alcune versioni dello snaphaunce riprendono la forma del cane cosiddetta a “doppio collo” (più grossa e robusta), che verrà anche ripresa tra gli acciarini alla moderna. Ultima analogia è la noce, che anche per la versione snaphaunce è collegata al cane internamente, diversamente dalla versione a micheletto.

Le caratteristiche della versione alla moderna (fig.3-5) che si incontrano anche in questo acciarino sono:

- Il vitone che non è a testa di anello, come di solito appare nelle versioni snaphaunce e a micheletto, bensì come è comune riscontrare in questi meccanismi alla moderna ha testa piriforme.



Figura 3-5 Meccanismo alla moderna

- Lo scodellino appartiene alle prime versioni in quanto tra la fine del 1700 e l’inizio del 1800 fu progettato un’ultima versione di scodellino che permetteva al soldato di risolvere il problema dell’inzuppamento dello scodellino in presenza di pioggia chiamato “cucchiaino da tè” in riferimento alla forma stessa di quest’ultimo.
- Come abbiamo detto precedentemente, il cane è nella sua prima versione, più snella ed elegante. Ne esiste una versione più robusta ed aggiornata

chiamata “a doppio collo” che permetteva al cane di essere più robusto, essendo sollecitato a continui urti.

- Come tutti gli acciarini alla francese il meccanismo è interno (solo la molla della martellina è esterna).

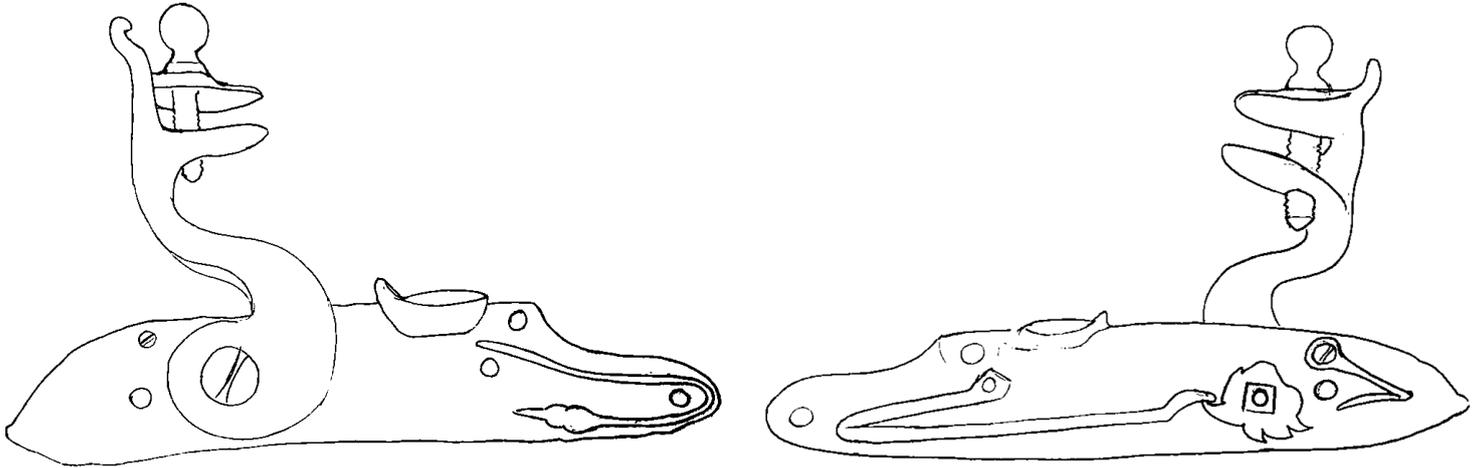


Figura 3-6 Disegno complessivo acciarino

3.2. Metodi di caratterizzazione

In questo paragrafo vengono analizzati i processi di lavorazione che si sono svolti per analizzare il meccanismo in questione. Si precisa che l'analisi chimica non è stata svolta per tutti i pezzi analizzati in quanto per quest'analisi è necessaria una grandezza minima del componente.

Riassumendo, per ogni componente, si sono svolti i seguenti processi:

- Taglio
- Inglobamento
- Lucidatura
- Osservazione al microscopio ottico
- Attacco metallografico
- Osservazione al microscopio ottico
- Microdurezza
- Lucidatura

- Analisi chimica

3.2.1 Taglio



Figura 3-7 Processo di taglio.

Prima operazione da svolgere (fig.3-7), il taglio viene effettuato per inglobare il campione. In queste operazioni di taglio si è pensato di cercare di includere nell'inglobamento quanto più materiale possibile, tenendo però conto di escludere le parti del pezzo

che non fornivano informazioni

aggiuntive o di materiale che veniva perso durante il processo successivo di carta abrasiva. I piccoli pezzi di campione esclusi, infatti, sono stati conservati e saranno utili per eventuali future ricerche. Quindi in base alla forma e alle caratteristiche del campione si sono effettuati dei tagli trasversali e/o longitudinali.

Una volta deciso la direzione di taglio si stringe tra due morse il campione e, abbassando lentamente la leva in modo da non causare un forte shock, la lama circolare rotante esegue il taglio aiutandosi tramite un ugello con un liquido di raffreddamento per evitare danni termici e rimuovere detriti.

La lama viene ripassata sul pezzo più volte onde evitare sbavature di taglio. Una volta tagliato il pezzo si può passare all'inglobamento.

3.2.2 Inglobamento

Una volta ottenute le superfici da analizzare è necessario creare un supporto che renda più semplice ed efficaci le operazioni di lucidatura ed eventuale attacco acido. L'inglobamento, inoltre, è un processo molto utile per avere una maggiore maneggevolezza del campione, ma svolge anche la funzione di protezione e, dalla faccia libera, dove non è visibile il materiale, facilita la marcatura e l'archiviazione del provino.

Il materiale viene “imprigionato” in una resina termoindurente (fig.3-8). Questa macchina, tramite un pistone, comprime la resina e scalda il materiale.



Figura 3-8 Esempi di provini inglobati.

I valori di preset sono 170°C di temperatura, 4000 psi di pressione per un tempo di 10 minuti con un picco massimo di 180 °C durante il processo. Una volta terminati i 10 minuti ci sarà una breve fase di raffreddamento sotto pressione per garantire l’adesione tra resina e campione e in modo da poter maneggiare il campione e passare alla fase successiva.

3.2.3 Lucidatura su carta abrasiva e su panno

In questa fase l’obiettivo è preparare il campione all’osservazione metallografica. La macchina per lucidatura è costituita da un porta dischi, un rubinetto per l’acqua ed un contenitore per lubrificante collocati a fianco del porta dischi, ed infine una manopola che serve per far girare questo disco, permettendo di regolare la velocità della lavorazione (fig.3-9).

Ci sono due passaggi di lucidatura:

- Lucidatura (o spiantura) su carta abrasiva (grinding)
- Lucidatura su panni (polishing)



Figura 3-9 Macchina per lucidatura

La lucidatura su carta abrasiva serve ad eliminare le alterazioni strutturali avvenute durante il processo di taglio, spianare il polimero in eccesso che può ricoprire parte del campione durante l’inglobamento e rendere la superficie piana.

Primo step è quello di smussare leggermente gli angoli della parte superiore del provino (polimero) in modo da avere una presa ancora più maneggevole durante i processi di lucidatura.

Queste carte abrasive sono a base di carburo di silicio; si inizia con la carta più grossolana (P60) per andare via via avanti con quelle sempre più fini (P4000).

In queste operazioni le carte devono essere sempre bagnate, al fine di impedire il riscaldamento del campione e di tenere pulite le carte stesse da eventuali residui del campione e dai granelli di abrasivo (fig.3-10).



Figura 3-10 Lavorazione di lucidatura su carta abrasiva

Il provino, dopo avere aperto il rubinetto d'acqua, viene poggiato fermo sulla carta abrasiva (la quale viene fissata tramite degli anelli metallici su questo gira dischi) che ruota sotto il campione; si usa lucidarlo finché le righe della carta precedente non sono sparite, successivamente si ruota il campione di 90 gradi e si ricomincia con la carta successiva. Anche il campione deve essere pulito quando si passa da una carta all'altra, per togliere eventuali grani abrasivi della carta precedente che fossero rimasti attaccati e che andrebbero a contaminare la carta seguente.

La lucidatura su panni ha lo scopo di realizzare una lucidatura a specchio della superficie da esaminare, senza righe. Questa, a differenza della spianatura, necessita di essere bagnata con del lubrificante (una soluzione). Si utilizzano due tipi di panni: quello da 3 micrometri e quello da 1; per ognuno di questi vanno abbinare le paste rispettivamente da 3 e da 1 micrometro, che vanno adagiate sul

panno e distribuite su tutta la superficie prima di poggiare il provino. Anche in questo passaggio è fondamentale il lavaggio intermedio del campione, al fine di evitare contaminazioni, ed è opportuno, sempre per lo stesso motivo, conservare in modo appropriato il panno.

In questa lavorazione si apre l'ugello del lubrificante e si preme leggermente il campione sul panno che ruota (fig.3-11).



Figura 3-11 Lavorazione di lucidatura su panno

Al termine della lucidatura, il campione va lavato accuratamente con acqua corrente, e sgrassato con alcool etilico, quindi asciugato rapidamente con un getto di aria calda (phon).

3.2.4 Osservazione al microscopio ottico

Adesso il campione ha una perfetta superficie riflettente. Si procede all'osservazione al microscopio ottico.

Il microscopio ottico utilizza un sistema di lenti capaci di raccogliere, indirizzare e focalizzare i raggi di luce emessi da una sorgente così da produrre un'immagine ingrandita di oggetti molto piccoli. La luce utilizzata è dello spettro del visibile e comprende pertanto le lunghezze d'onda percepibili all'occhio umano (dai 390 ai 700 nm circa). Nella nostra analisi sono stati utilizzati diversi ingrandimenti che vanno dai 2x ai 100x, in modo da rendere più accurata la trattazione dell'elaborato.

Essendo la superficie speculare e metallica, si vede una superficie di colore bianco. Nelle zone in cui sono presenti cricche e inclusioni invece non si ha la riflessione della luce e quindi appaiono scure.

Nella maggior parte dei casi un campione anche se ben lucidato, sottoposto ad analisi microscopica, non rivela la sua microstruttura (si notano per lo più inclusioni e cricche); per analizzarla con più accuratezza si procede con l'attacco metallografico.

3.2.5 Attacco metallografico

Prima di operare con l'attacco il provino viene sciacquato in acqua e sgrassato con etanolo, successivamente tamponato con carta ed asciugato con phon.

A questo punto il provino è pronto per iniziare l'attacco; viene immerso su una provetta contenente Nital, soluzione contenente acido nitrico (3,4%) in alcool etilico, usata per attaccare chimicamente i metalli. È un mezzo debolmente aggressivo, infatti se fosse un reagente molto aggressivo il reattivo corroderebbe tutta la superficie; invece, in questo modo, reagiscono prima le zone più energeticamente elevate come ad esempio il bordo grano. Il campione viene immerso per alcuni secondi fin quando la superficie non diventa da riflettente ad opaca (di solito impiega alcuni secondi). Una volta opacizzato si ferma l'operazione sciacquando il pezzo in acqua corrente, tamponando con carta e asciugandolo con phon. Nel corso dell'operazione si utilizza inoltre una cappa in modo da assorbire gli odori nocivi durante la reazione.

A questo punto il campione è pronto per essere analizzato nuovamente al microscopio ottico.

Dopo attacco chimico, la riflessione della luce avverrà secondo angoli diversi quindi l'immagine che si osserva al microscopio sarà caratterizzata da differenti gradi di luminosità e diversa orientazione dei cristalli (fig.3-12).

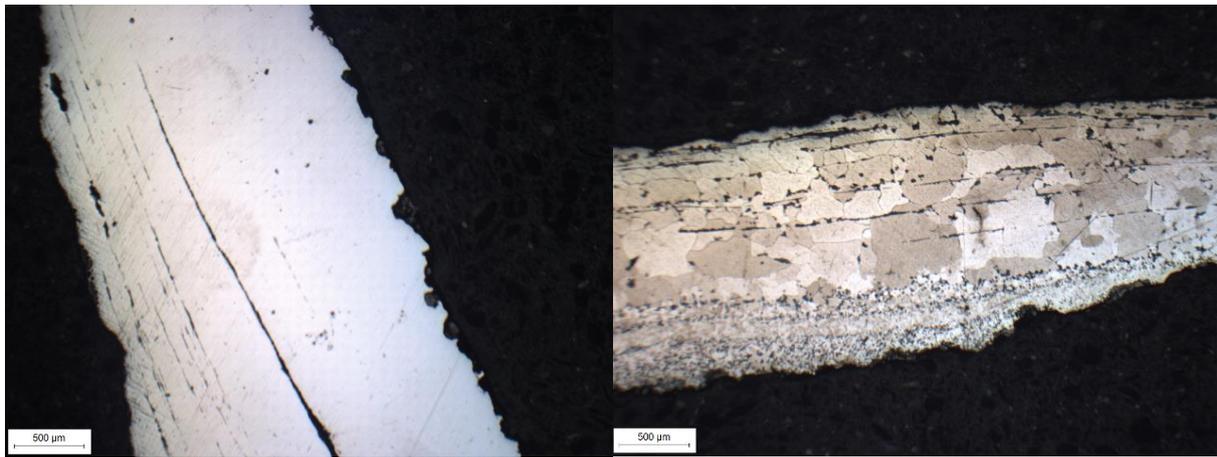


Figura 3-12 Pre attacco e post attacco

3.2.6 Microdurezza

Il prossimo passo consiste nel calcolare durezza del provino in diversi punti, ovvero la resistenza che un materiale oppone alla penetrazione di un materiale più duro secondo una compressione localizzata in modo da valutare la sua omogeneità e il tipo di struttura in tutta la superficie.

Il microdurometro Vickers (fig.3-13) è uno strumento di laboratorio utilizzato per rilevare la durezza Vickers (HV) e le caratteristiche di deformabilità plastica di una vasta gamma di metalli: da quelli più teneri a quelli più duri, inclusi anche quelli sottoposti a trattamento superficiale. Il microdurometro Vickers è sostanzialmente un penetratore, costituito da un diamante tagliato a piramide quadra con un'apertura di 136° , sul quale viene applicato un piccolo carico. La stima della durezza avviene attraverso la misura dell'area dell'impronta lasciata dal penetratore.



Figura 3-13 Microdurometro Vickers

Prima del calcolo della microdurezza si imposta il parametro del carico, che, nel nostro caso è stato settato su 100 gf, corrispondente a un test HV01.

Il dispositivo è dotato, oltre che di un penetratore per l'impronta, di una telecamera e di un software di analisi per misurare la dimensione dell'impronta e calcolare il corrispondente valore di durezza. Una volta stabilita (manualmente) la zona dove effettuare l'impronta grazie anche all'ausilio di un microscopio collegato al PC, il funzionamento è completamente automatico per le fasi di applicazione del carico di lavoro, di temporizzazione e di scarico. Le uniche operazioni manuali sono effettuate dall'operatore, mediante il microscopio digitale, per la misurazione delle diagonali relative all'impronta. Quest'operazione viene ripetuta per ogni singola misurazione; nel nostro caso sono state effettuate dalle 3 alle 25 misurazioni per componente, in base alla grandezza e alla omogeneità della struttura.

3.2.7 Analisi chimica

Successivamente si passa all'analisi chimica. Questa, a causa del tipo di lavorazione non può essere svolta su oggetti di piccola grandezza. Inoltre, poteva essere svolta solo su quei pezzi che non sono stati inglobati e che sono "avanzati" nel processo iniziale di taglio. Proprio per questo motivo sono stati analizzati solamente la molla del cane ed il piattello del cane.

Quest'analisi consiste in una tecnica spettroscopica di emissione che prende il nome di *spettroscopia di emissione atomica*, indicata con la sigla AES (Atomic emission spectroscopy) o OES (Optical emission spectroscopy).

Essa sfrutta la somministrazione di energia relativamente elevata, tanto da provocare la dissociazione in atomi e l'eccitazione di questi ultimi. In base alla lunghezza d'onda emessa è possibile risalire alla specie incognita, mentre misurando l'intensità dell'emissione si può effettuare anche l'analisi quantitativa che, sfruttando gli spettri atomici emessi dal campione, ha lo scopo di determinare in alcuni precisi intervalli di concentrazione la composizione percentuale dei seguenti elementi : C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni, Mo, Al, Cu, Co, V, Pb, As, Nb, N. Quindi ciascun elemento possiede una sua propria serie di lunghezze d'onda

caratteristiche chiamate spettro; gli spettri di tutti gli elementi in un campione costituiscono lo spettro del campione.



Figura 3-14 Quantometro



Figura 3-15 Provini post analisi

Ciascuna lunghezza d'onda osservata in uno spettro emesso da un campione può essere perciò associata ad un elemento chimico specifico. I campioni sono stati dapprima lucidati con le prime carte più grossolane (P60, 120,240); successivamente sono stati esaminati su questa macchina, il quantometro (fig.3-14), che a fine lavorazione rilascia delle piccole impronte circolari (fig.3-15). Una volta finito lo spazio per le impronte si è lucidato nuovamente il campione e si è ripetuta la procedura (sono state effettuate per ogni componente all'incirca dieci misurazioni).

L'analisi chimica viene quindi svolta al fine di classificare più accuratamente il campione, riuscendo ad ottenere le concentrazioni degli elementi di quest'ultimo e confrontando questi dati con le informazioni ottenute dagli step precedenti [28, 29].

4. RISULTATI

In questo capitolo si andranno ad analizzare vari componenti dell'acciarino in questione: dalle loro proprietà e al tipo di microstruttura alle lavorazioni effettuate per creare il componente, tramite l'ausilio di metodi di analisi mostrati approfonditamente nel capitolo precedente.

Sono stati analizzati i seguenti componenti (fig.4-1):



- Molla del cane;
- Vitone del cane;
- Dado;
- Piattello del cane;
- Molla dello scatto;
- Vite molla dello scatto.

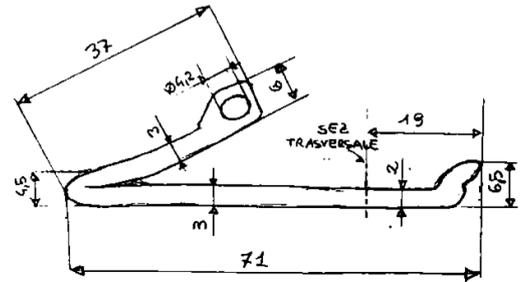
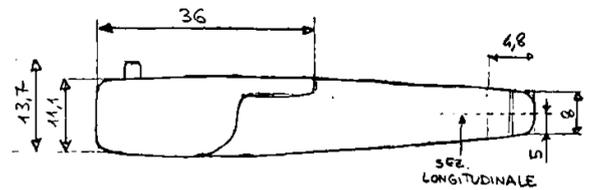
Figura 4-1 Acciarino alla moderna

4.1 Molla del cane

Parte elastica del meccanismo, viene utilizzata per far muovere il cane facendo partire il colpo (fig.4-2).



Figura 4-2 Molla del cane, rappresentazione e quotatura



4.1.1 Taglio

Il pezzo è stato tagliato ricavando due sezioni in modo da ottenere più informazioni possibili dal provino: una longitudinale a forma di J e una trasversale con forma rettangolare (fig.4-3, 4-4). Il pezzo rimanente (quello non inglobato) è stato successivamente sottoposto ad analisi chimica (argomento trattato nei paragrafi successivi).

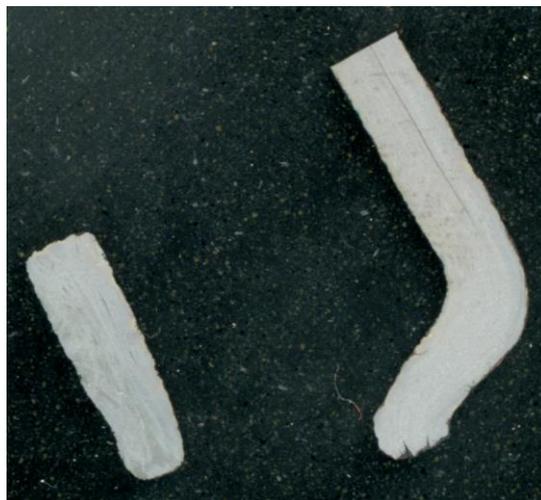


Figura 4-3 Scansione delle sezioni della molla del cane dopo inglobatura. MC-1 (a sinistra) e MC-2 (a destra).

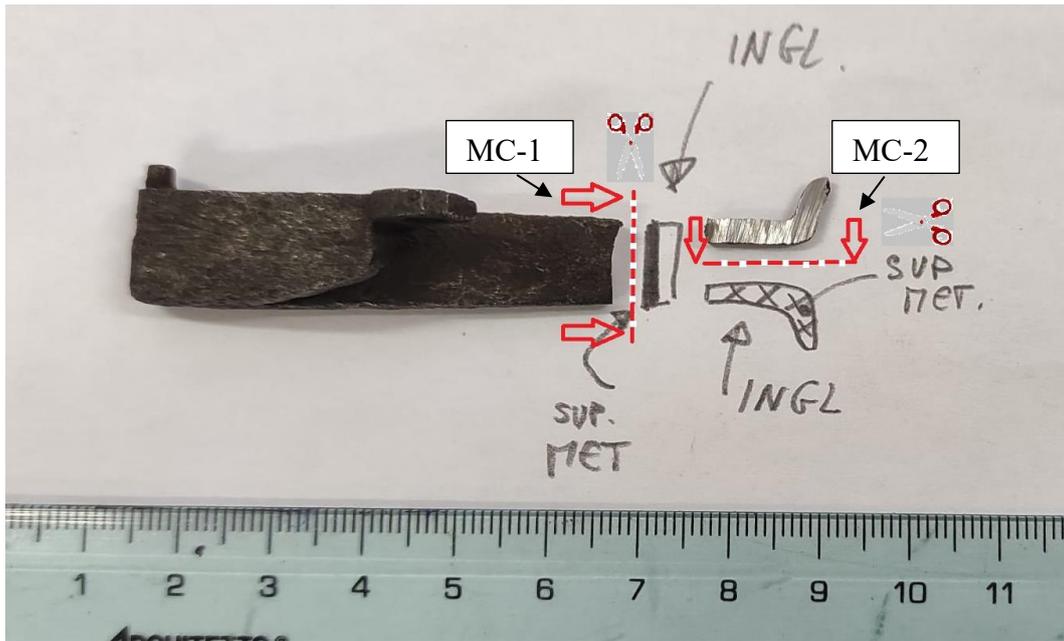


Figura 4-4 Molla del cane sezionata

4.1.2 Analisi microscopio

Dalle prime osservazioni pre-attacco si notano subito le direzioni delle inclusioni che seguono la superficie del pezzo, di conseguenza il componente è stato lavorato tramite deformazione plastica.

Per semplicità si nomina la molla del cane con la seguente nomenclatura (fig.4-5):

- La sezione trasversale, chiamata MC-1, presenta due zone:
 - Zona superiore: A
 - Zona inferiore: B
- La sezione longitudinale, chiamata MC-2, presenta tre zone:
 - Zona inferiore: C
 - Zona centrale: D
 - Zona superiore: E

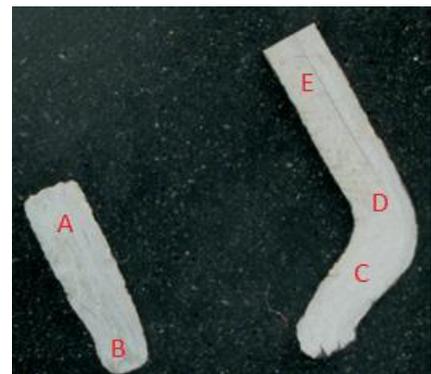


Figura 4-5 Nomenclatura zone molla del cane

Sezione trasversale

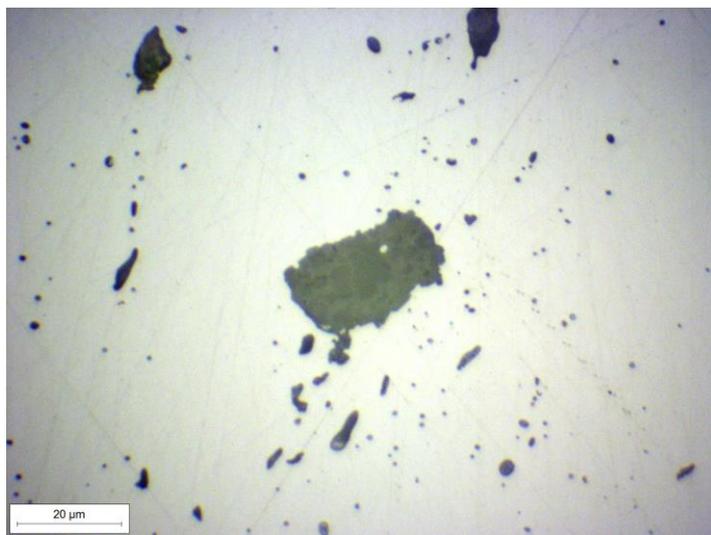
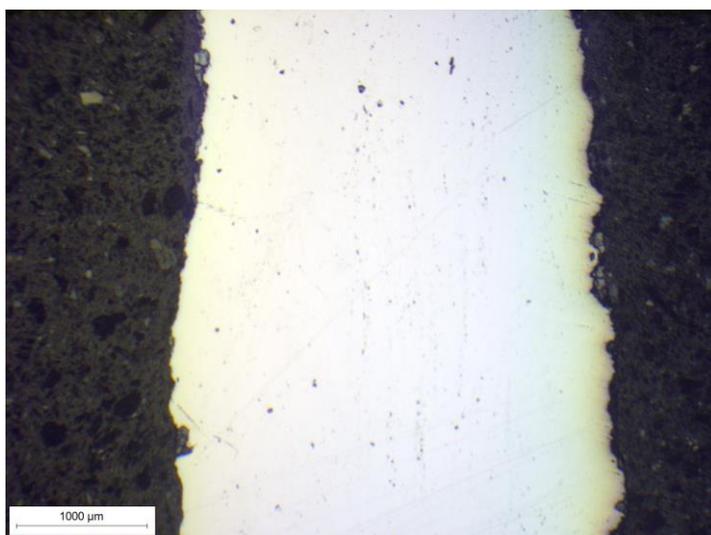
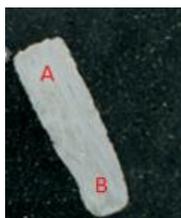


Figura 4-6 Molla del cane, a sinistra dettaglio direzione inclusioni sezione trasversale; a destra dettaglio zona A sezione trasversale

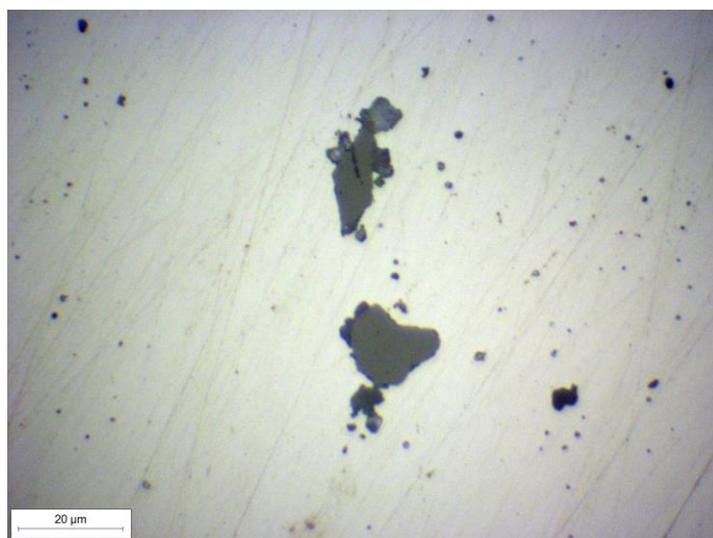


Figura 4-7 Molla del cane, dettaglio zona B sezione trasversale

Sezione longitudinale

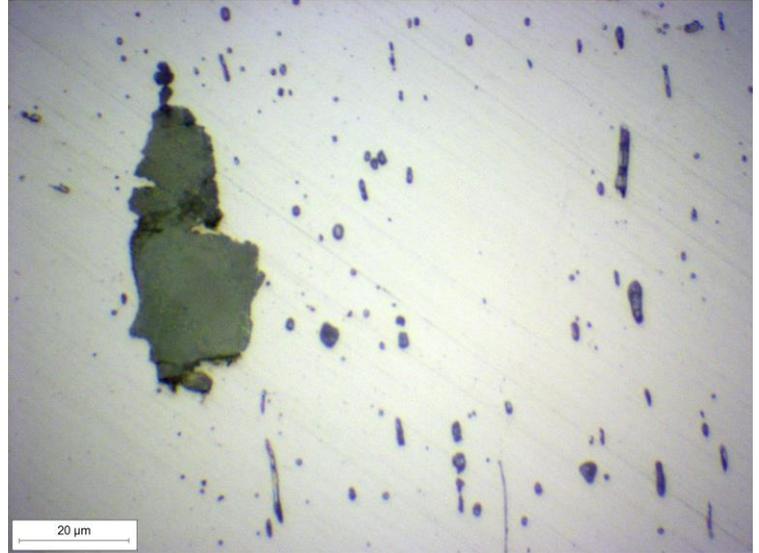
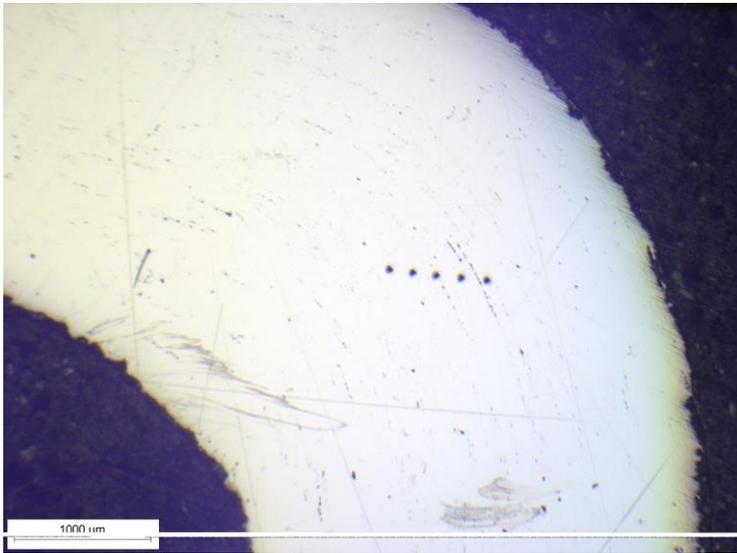
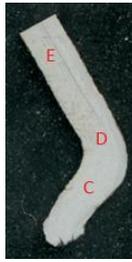


Figura 4-8 Molla del cane, a sinistra dettaglio direzione inclusioni sezione longitudinale; a destra dettaglio zona E sezione longitudinale

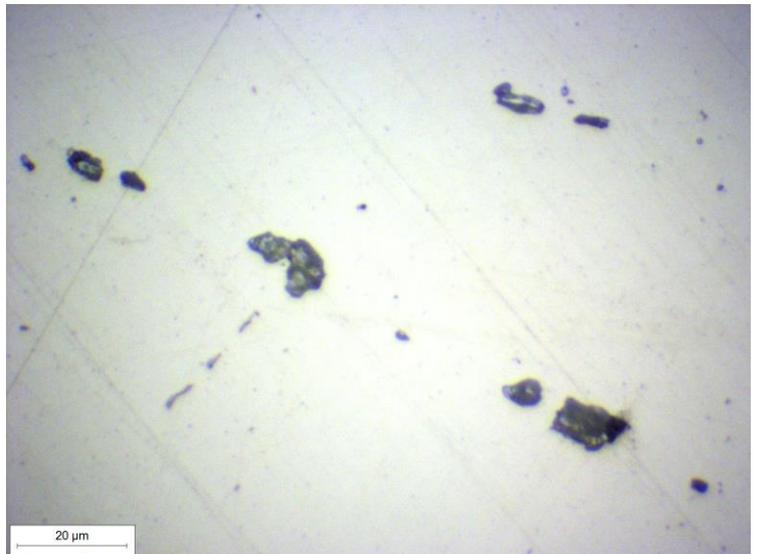
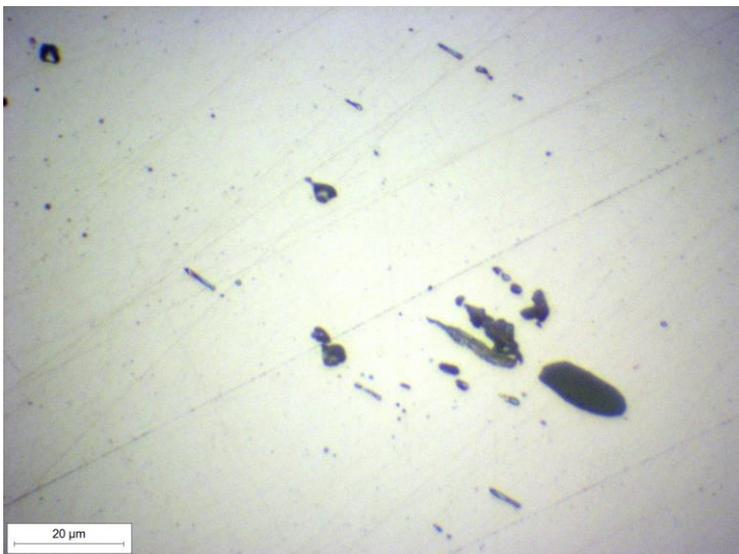


Figura 4-9 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona C sezione longitudinale; a destra dettaglio zona D sezione longitudinale

Come si nota dalle figure soprastanti di entrambe le sezioni, trasversale (fig.4-6, 4-7) e longitudinale (fig.4-8, 4-9), le superfici appaiono abbastanza pulite se non delle zone con qualche piccola inclusione segno che questo pezzo è stato lavorato di più e quindi di maggior qualità.

4.1.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

La struttura è costituita da bainite con rare isole di ferrite. Si ipotizza, data la funzione del componente, che l'acciaio abbia avuto un probabile rinvenimento naturale dovuto al riscaldamento del pezzo durante l'uso.

Sezione trasversale-Zona A e B

Entrambe le zone sono molto simili tra loro.

La molla del cane ha una struttura omogenea per l'epoca e presenta una microstruttura bainitica con rare isole di ferrite (fig.4-10, 4-11, 4-12). Sono inoltre presenti, sia nella zona A che nella zona B, seconde fasi che portano ad avere delle zone più chiare e delle zone più scure.

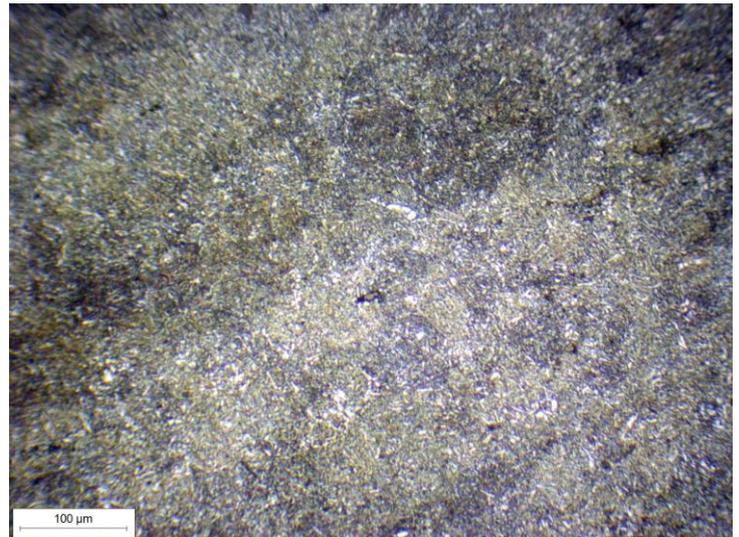
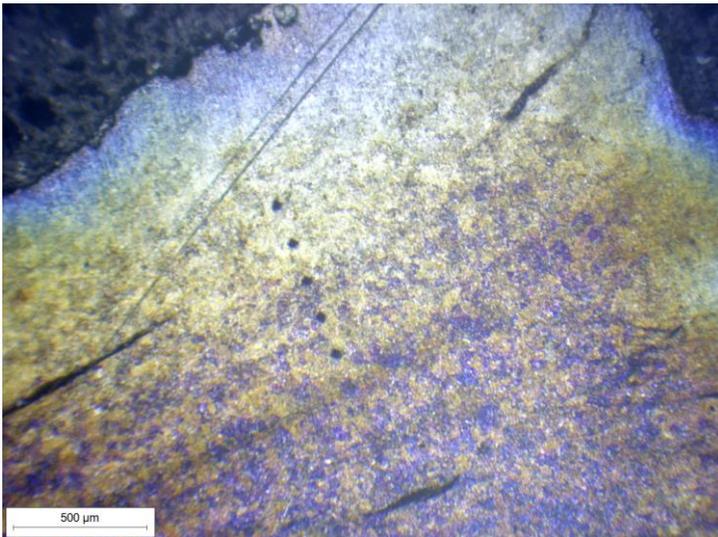
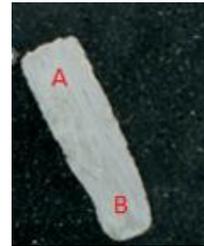


Figura 4-10 Molla del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite

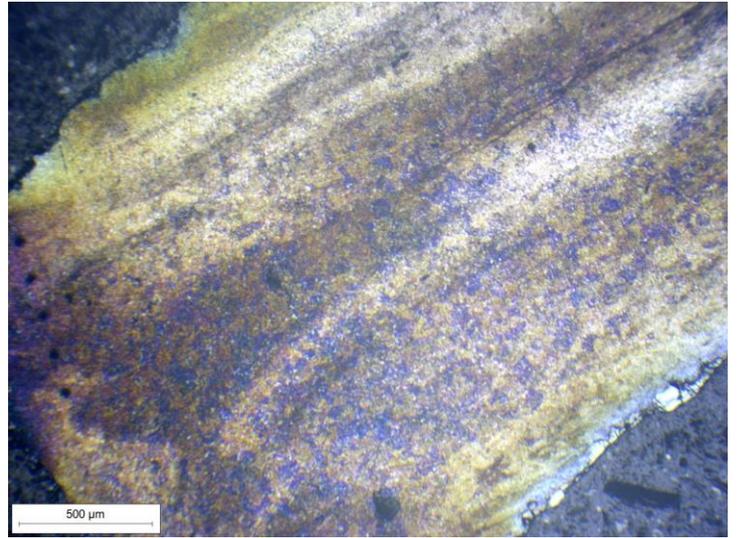
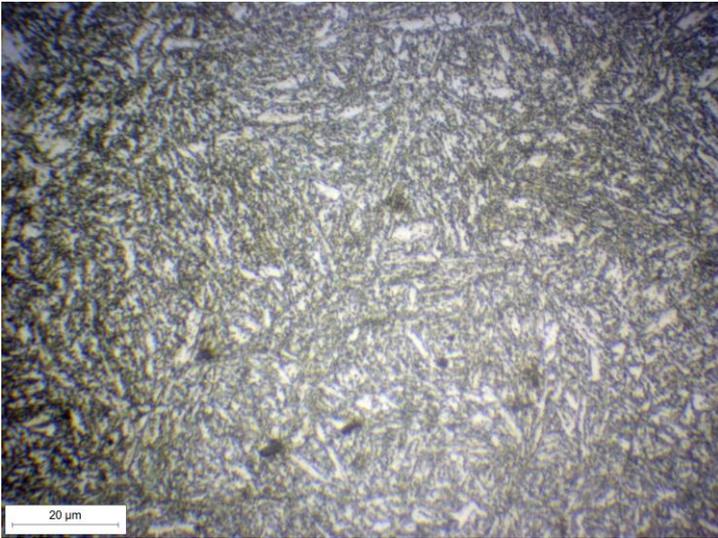


Figura 4-11 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona B

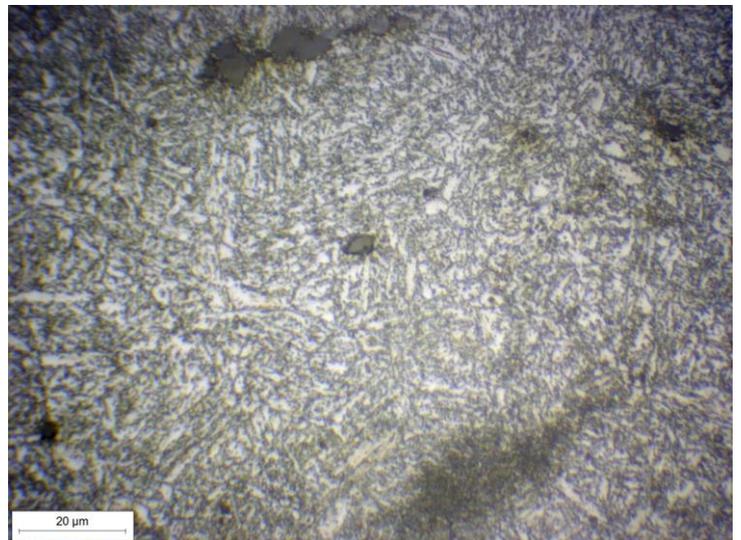
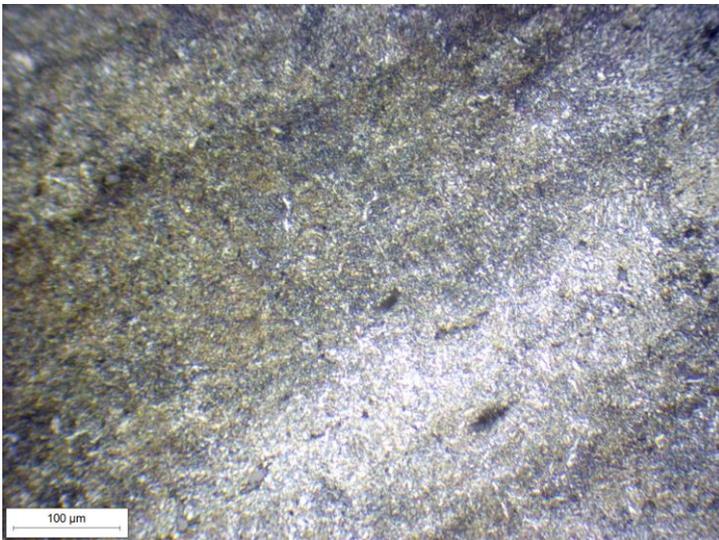


Figura 4-12 Molla del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite

Sezione longitudinale-Zona C

Valgono le stesse considerazioni fatte nella sezione trasversale, confermando l'ipotesi di un materiale abbastanza omogeneo per l'epoca (fig.4-13).

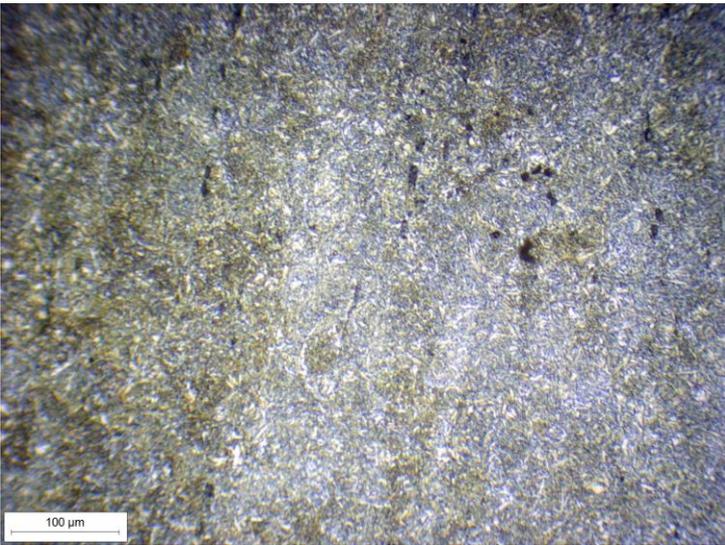
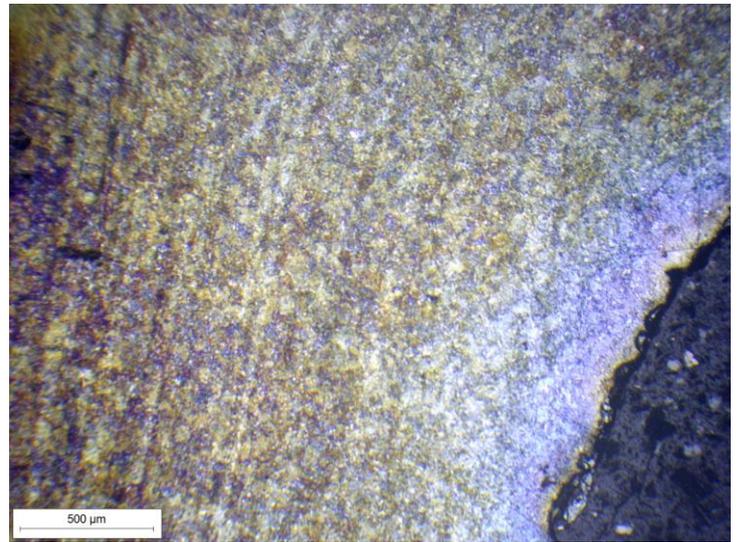
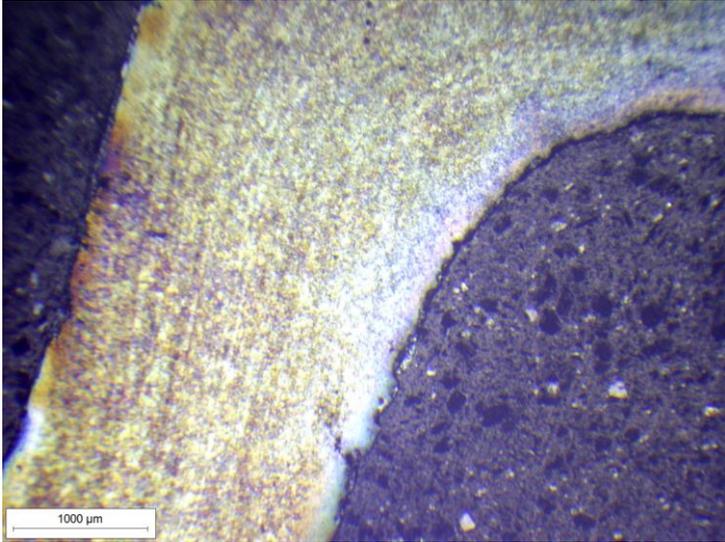
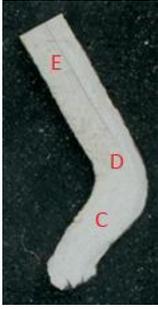


Figura 4-13 Molla del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite

Sezione longitudinale-Zona D E

Anche qui la struttura presenta le stesse caratteristiche ma con più zone con seconde fasi più grandi. L'unica differenza si riscontra nella zona E e in parte della zona D (fig.4-14, 4-15), dove si nota una sottile striscia di materiale (o



banda) più sensibile all'attacco, orientata secondo l'asse di forgiatura, e che si presume che ciò corrisponda ad una segregazione chimica (fig.4-16).

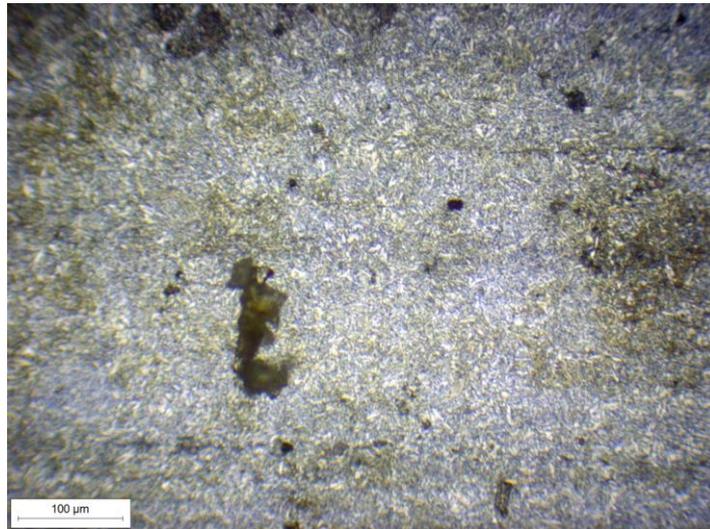
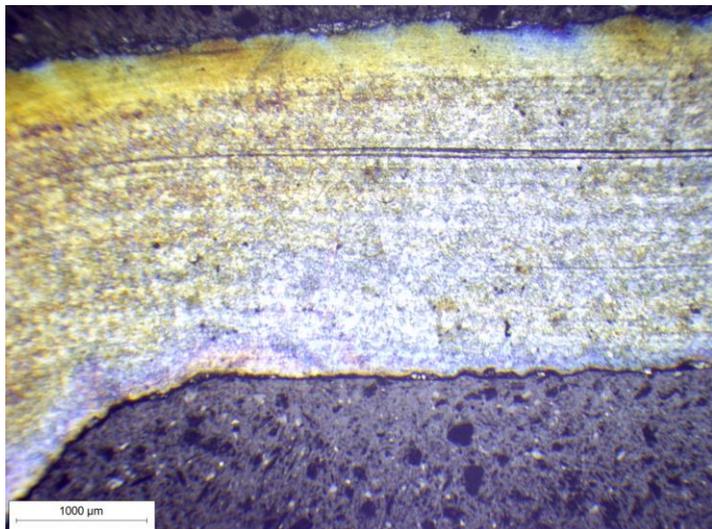


Figura 4-14 Molla del cane, dettaglio zona D dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite

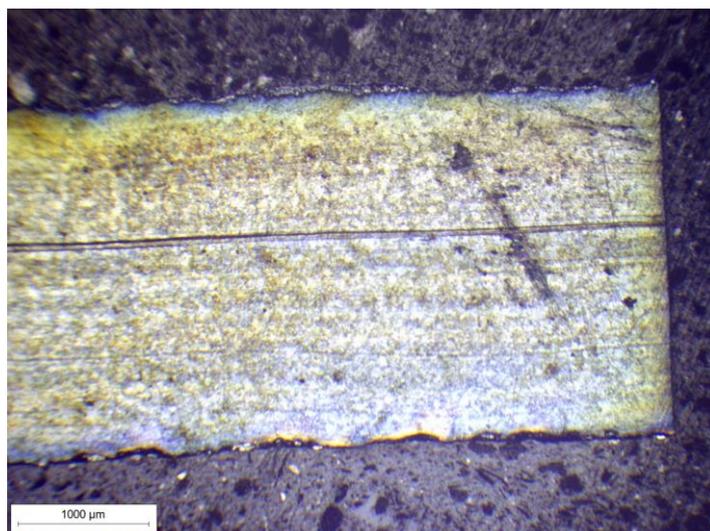


Figura 4-15 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona D dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona E dove si estende in grossa parte la presunta segregazione chimica

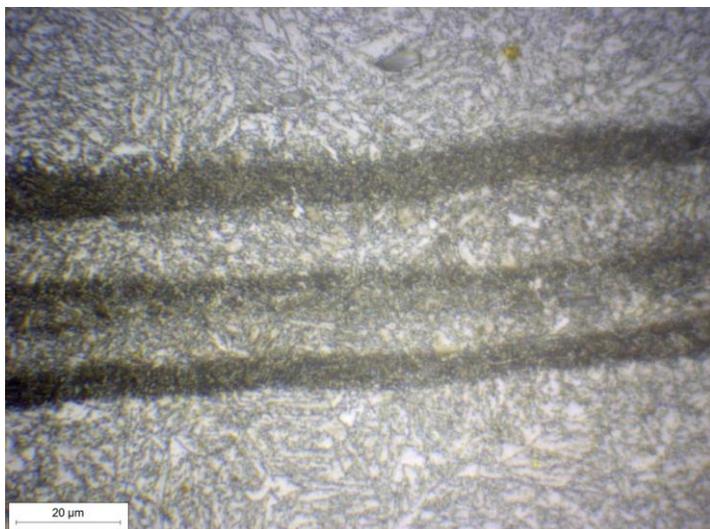
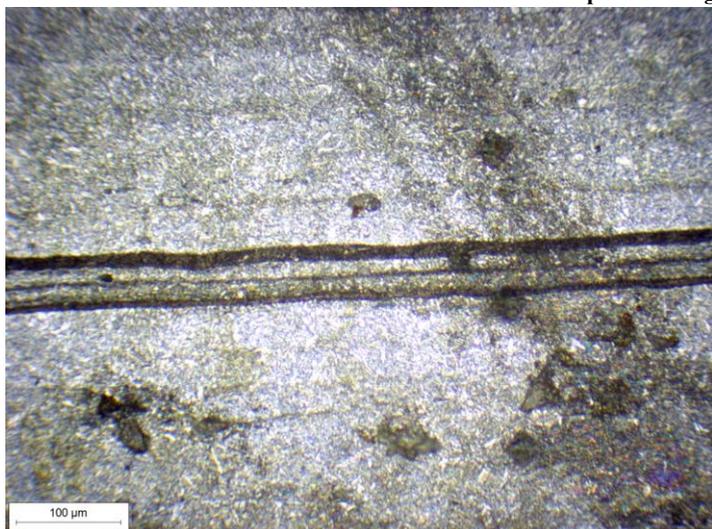


Figura 4-16 Molla del cane, dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite

4.1.4 Analisi microdurezza

Sono state effettuate 25 misurazioni, 5 per ogni zona, con una distanza di misurazione di 0,15 mm (fig.4-17).

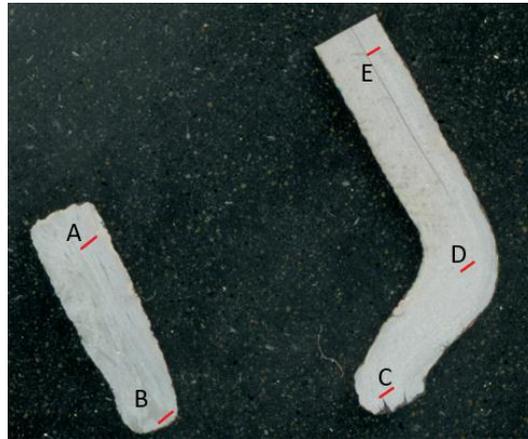


Figura 4-17 Impronte microdurezze molla del cane

Dalla tabella (tab.4-1) e dal grafico (graf.4-1) sottostanti possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

SPOSTAMENTO [mm]	DUREZZA HV02				
	A	B	C	D	E
0	238,7	236,8	236,8	225,9	237,7
0,15	231,3	230,3	243,5	225,9	241,5
0,3	244,5	266,5	239,6	232,2	245,5
0,45	235,8	284,1	211,8	231,3	248,4
0,6	234	252,5	222,5	228,6	252,5

Tabella 4-1 Durezza molla del cane

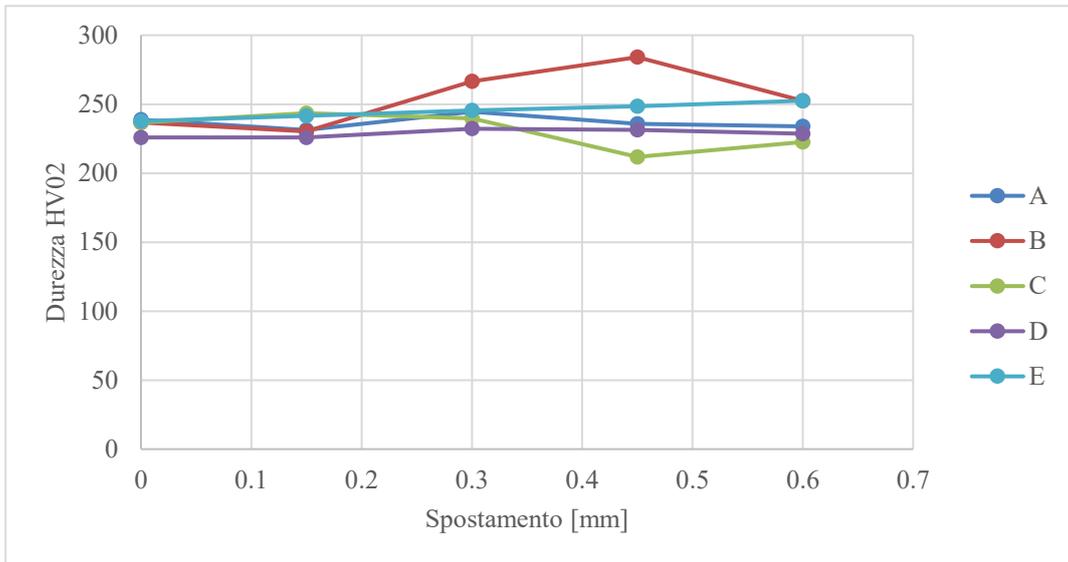


Grafico 4-1 Durezza molla del cane

Essendo la struttura abbastanza omogenea per l'epoca si nota come i valori di durezza siano molto simili, tra i 220 ed i 260 HV, ad eccezione di un massimo che si trova sulla parte inferiore della sezione trasversale, con una durezza di 280 HV (fig.4-18).

I risultati sono quindi in linea con le struttura, infatti la durezza è quella caratteristica di un materiale a medio-alto tenore di carbonio con una durezza uniforme su tutta la superficie.

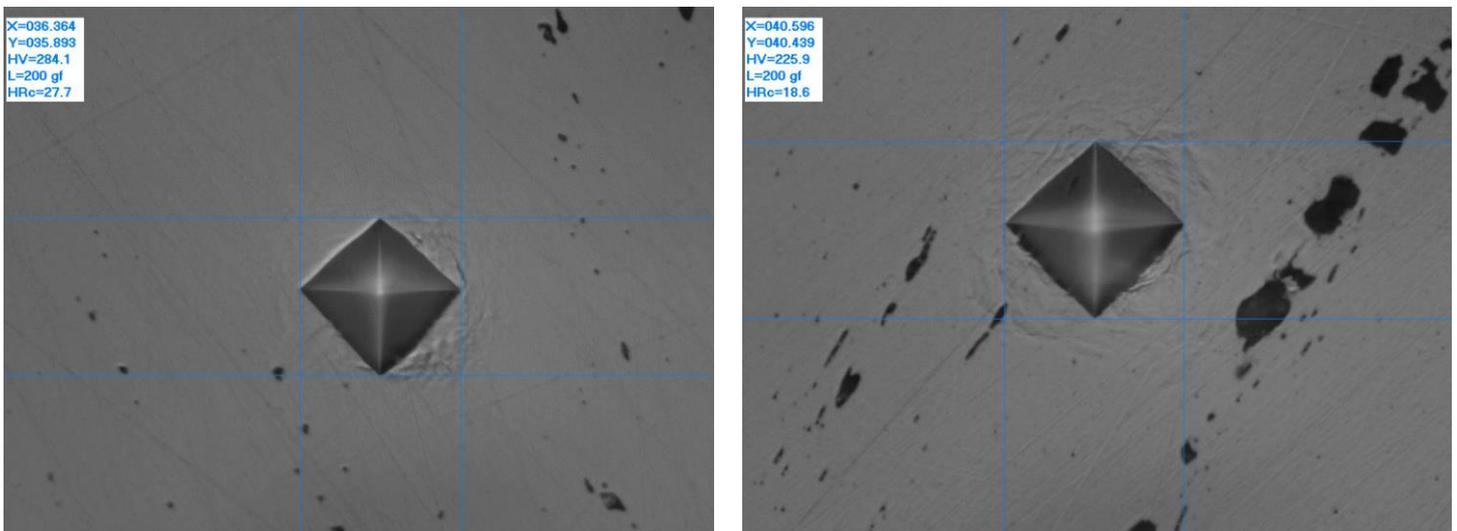


Figura 4-18 Dettaglio impronte microdurezze molla del cane su massimo e minimo valore di misurazione

4.1.5 Analisi chimica

Qui di seguito viene mostrata una tabella (tab.4-2) che raffigura i valori degli elementi chimici in tutte le undici misurazioni effettuate:



Figura 4-19 Molla del cane dopo analisi chimica

Tabella 4-2 Analisi chimica molla del cane

Elementi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C	0,71	0,668	0,775	0,709	0,762	0,765	0,701	0,718	0,743	0,74	0,771
Si	0,063	0,05	0,059	0,071	0,09	0,055	0,051	0,068	0,047	0,047	0,063
Mn	0,178	0,132	0,205	0,209	0,204	0,152	0,158	0,172	0,154	0,153	0,151
P	0,036	0,016	0,032	0,023	0,035	0,015	0,021	0,026	0,014	0,017	0,021
S	0,007	0,028	0,009	0,008	0,011	0,005	0,007	0,118	0,006	0,007	0,006
Cr	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002
Ni	0,006	0,007	0,006	0,007	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,007	0,006
Al	0,01	0,01	0,009	0,01	0,022	0,009	0,007	0,017	0,008	0,009	0,009
Cu	0,039	0,04	0,041	0,036	0,041	0,036	0,043	0,049	0,036	0,037	0,036
Co	0,001	0,002	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Nb	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
As	0,009	0,009	0,004	0,007	0,003	0,006	0,006	0,007	0,009	0,012	0,009
B	0,0008	0,0006	0,0009	0,0008	0,0009	0,0008	0,0009	0,0006	0,0008	0,0008	0,0008
Bi	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ti	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
V	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
W	0,013	0,012	0,012	0,015	0,013	0,018	0,015	0,017	0,014	0,009	0,015
Pb	0,002	0,0055	0,0024	0,002	<0,0010	0,0018	0,0022	0,0103	0,0026	0,0025	0,0024
Ca	>0,0500	>0,0500	0,0432	>0,0500	>0,0500	0,0406	0,0469	>0,0500	0,0423	0,0471	0,0418
Zn	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,007	<0,001	<0,001	<0,001
Zr	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002
N	0,0124	0,0355	0,0104	0,0281	>0,1000	0,0022	0,0501	0,076	0,0068	0,0047	0,0236
Fe	98,850	98,744	98,775	98,769	95,161	98,874	98,868	97,686	98,896	98,893	98,829

È stato inoltre aggiunto nel foglio di lavoro:

- La media.
- La deviazione standard: un indice riassuntivo delle differenze dei valori di ogni osservazione rispetto alla media della variabile. Ogni osservazione ha infatti uno scostamento (detto anche scarto o deviazione) dalla media.

Questo scostamento è pari a 0 se l'osservazione ha esattamente lo stesso valore della media.

- Il coefficiente di variazione CV: il rapporto tra la deviazione standard e la media. È utile per capire quale elemento ha una variazione maggiore rispetto alla media. Maggiore sarà la percentuale, più grande sarà infatti la differenza tra i valori trovati nelle undici misurazioni per ciascun elemento chimico.

Elementi	Media	Deviazione standard	Coefficiente di variazione
C	0,733	0,034	5%
Si	0,060	0,013	21%
Mn	0,170	0,026	15%
P	0,023	0,008	34%
S	0,019	0,033	173%
Cr	<0,001		
Mo	0,002	0,001	34%
Ni	0,007	0,001	10%
Al	0,011	0,004	41%
Cu	0,039	0,004	10%
Co	0,002	0,001	41%
Nb	0,004	0,000	11%
As	0,007	0,003	35%
B	0,001	0,000	13%
Bi	<0,001		
Ti	0,003	0,000	0%
V	0,001	0,000	28%
W	0,014	0,003	18%
Pb	0,003	0,003	79%
Ca	0,044	0,003	6%
Zn	0,007		
Zr	0,003	0,001	21%
N	0,025	0,024	94%
Fe	98,395	1,128	1%

Tabella 4-3 Analisi chimica molla del cane

Dalle analisi chimiche è stata riscontrata una media di carbonio del 0,73% (tab.4-3), rientrando per poco nella categoria degli acciai molto duri (tra 0,7 e 0,8).

Altri elementi di lega presenti in maggioranza sono:

- Manganese, con una quantità del 0,17% (massima percentuale tollerata 0,8%): in alte percentuali aumenta il tasso di incrudimento.
- Fosforo (massima percentuale tollerata 0,05%) e zolfo (massima percentuale tollerata 0,05%), con una quantità rispettivamente del 0,023 e 0,019%: riducono la tenacità dell'acciaio; tuttavia, lo zolfo può essere inserito volontariamente per migliorare la lavorabilità all'utensile, rendendo il truciolo più friabile e di facile asportazione, usato solitamente in combinazione con il manganese che forma solfuri di manganese (MnS) tondeggianti minimizzando la perdita di tenacità.
- Silicio, con una quantità del 0,060% (massima percentuale tollerata 0,4%): aumenta l'elasticità.
- Rame, con una quantità del 0,039%: può provocare cricche a seguito di lavorazioni a caldo; migliora la resistenza alla corrosione.
- Azoto, con una quantità del 0,025%: aumenta le proprietà meccaniche e la resistenza a corrosione.

Nel grafico sottostante (graf.4-2) sono raffigurati infine il riepilogo dei valori degli elementi chimici trovati in quest'analisi.

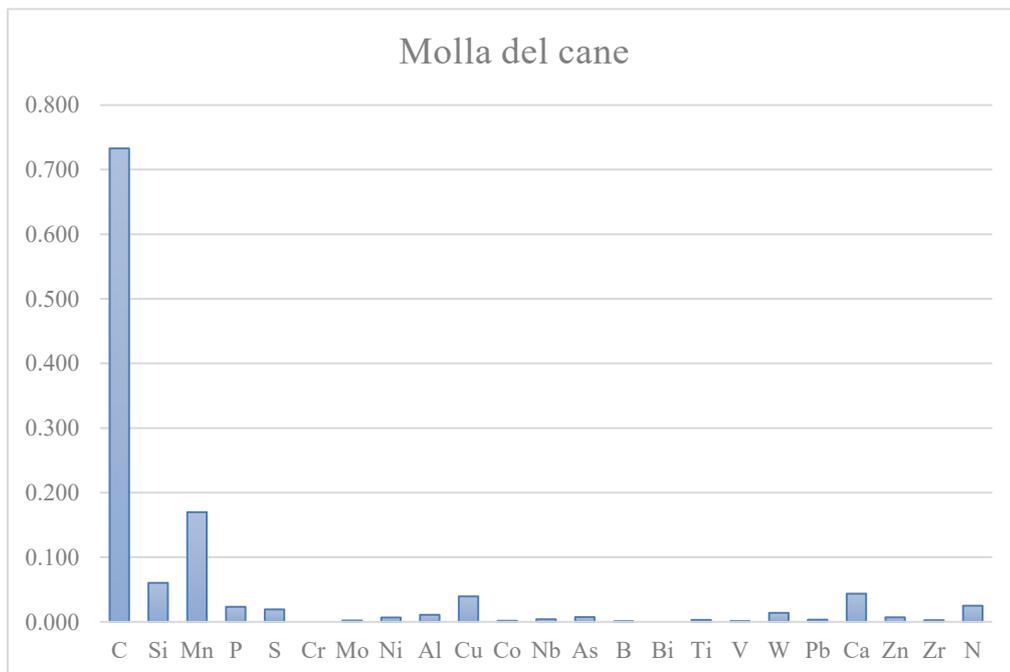


Grafico 4-2 Analisi chimica molla del cane

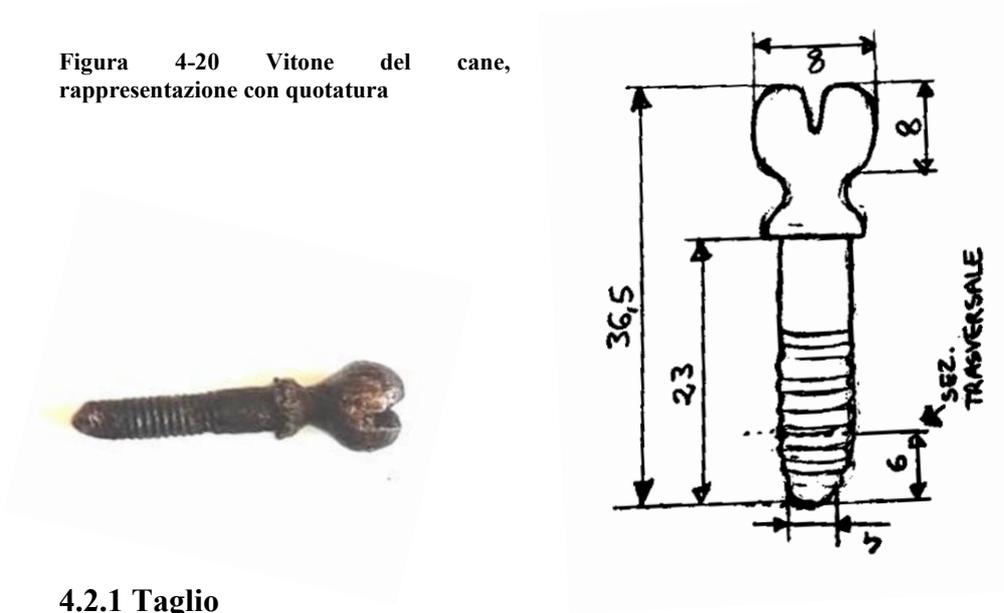
4.1.6 Discussione

Ci troviamo dinnanzi ad un campione abbastanza pulito, con una bassa presenza di inclusioni considerata l'epoca che quindi è figlio di una buona lavorazione e una maggior qualità del componente: aspetto da non trascurare vista l'importante funzione del pezzo, che, essendo una molla, ci si aspetta un componente non deformabile con un alto tenore di carbonio e quindi una buona resistenza. La struttura è costituita da bainite con rare isole di ferrite; sono quindi presenti delle seconde fasi che portano la struttura ad avere zone più chiare e zone più scure. Lungo metà della sezione longitudinale esaminata, si nota una sottile striscia di materiale (o banda) più sensibile all'attacco, orientata secondo l'asse di forgiatura, e si presume che ciò corrisponda ad una segregazione chimica dovuta al processo di lavorazione del componente. La direzione delle inclusioni segue il profilo del componente, di conseguenza si presuppone una lavorazione per deformazione plastica ricavato da un unico pezzo d'acciaio. Il profilo di microdurezza è abbastanza in linea con la microstruttura trovata, riscontrando un valore di durezza medio-alto ed uniforme sull'intera superficie. Dall'analisi chimica emerge un tasso di carbonio elevato classificando l'acciaio in questione a cavallo tra il duro ed il molto duro. Il pezzo, inoltre, presentando una bassa percentuale di manganese (0,17%), ci permette di supporre che il campione non sia stato temprato, in quanto un basso tenore di manganese implica una scarsa temprabilità del pezzo, bensì può aver subito un rinvenimento naturale dovuto al riscaldamento del pezzo durante l'uso.

4.2 Vitone del cane

Parte di fissaggio del meccanismo, utilizzato per mantenere in posizione ben salda la pietra focaia tra il piattello del cane ed il cane (fig.4-20).

Figura 4-20 Vitone del cane, rappresentazione con quotatura



4.2.1 Taglio

Sono stati effettuati tre tagli ricavando due sezioni, una longitudinale e una trasversale di forma circolare (fig.4-21, 4-22). Il terzo taglio è stato fatto sia per considerare una zona più interna della filettatura che per conservare un minimo di materiale che si sarebbe sprecato inglobandolo tutto nella resina.

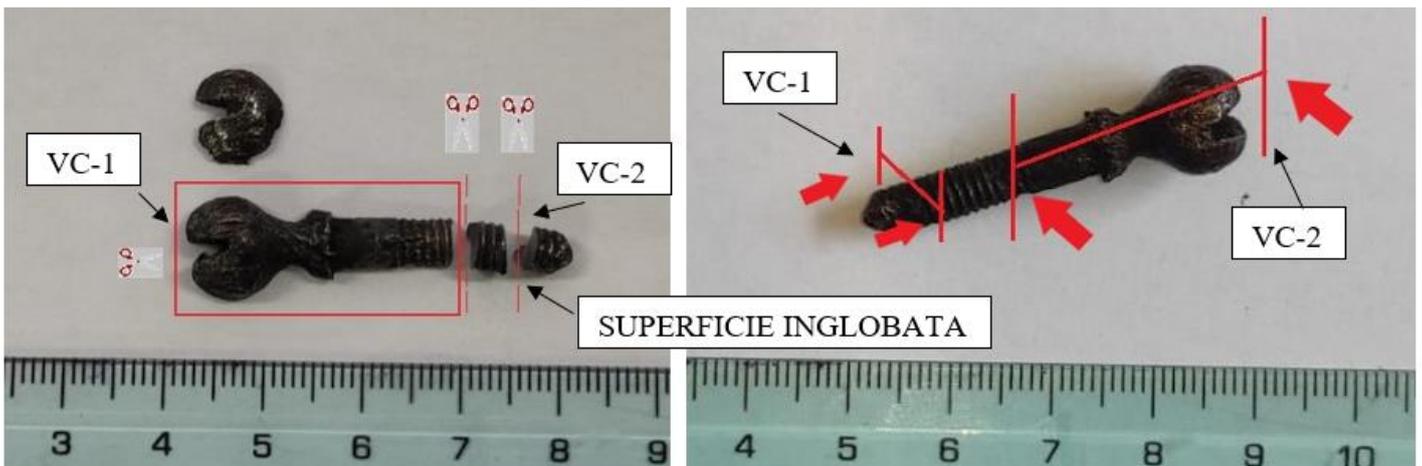


Figura 4-21 Vitone del cane sezionato



Figura 4-22 Scansione delle sezioni del vitone del cane dopo inglobatura. VC-1 (in basso) e VC-2 (in alto).

4.2.2 Analisi microscopio

Dalle prime osservazioni si nota come le inclusioni non seguono la superficie ma seguono un'unica direzione (verticale), si ipotizza quindi una lavorazione di tornitura.

Per semplicità si nomina il vitone del cane con la seguente nomenclatura (fig.4-23):

- La sezione trasversale, chiamata VC-1, presenta un'unica zona.
- La sezione longitudinale, chiamata VC-2, presenta tre zone:
 - Zona A
 - Zona B
 - Zona C



Figura 4-23 Nomenclatura zone vitone del cane

Sezione trasversale

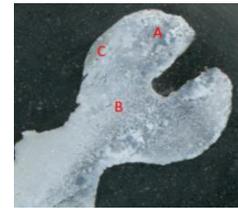
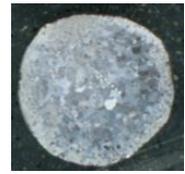
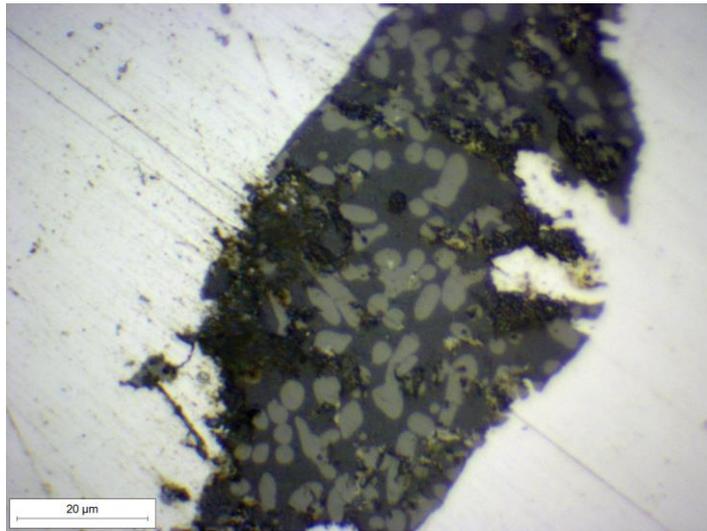


Figura 4-24 Vitone del cane, sezione trasversale

Sezione longitudinale

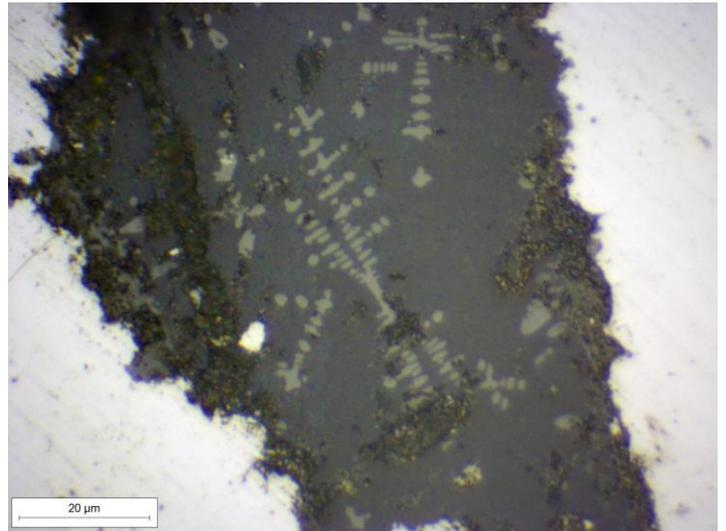
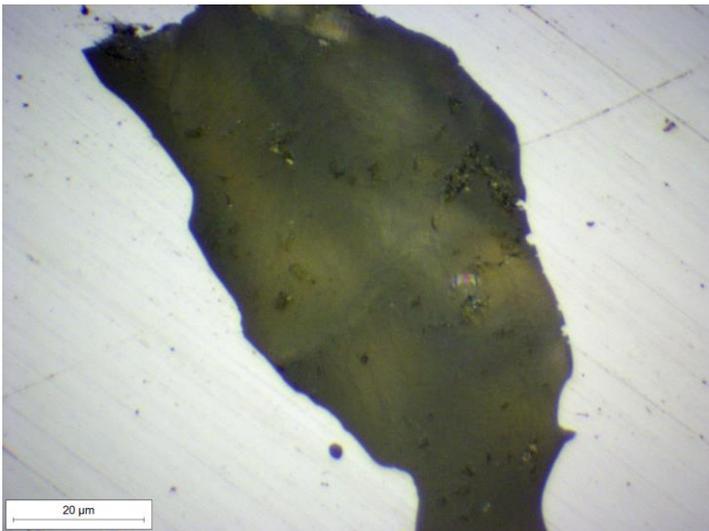


Figura 4-25 Vitone del cane, sezione longitudinale, a sinistra dettaglio zona A; a destra dettaglio parte centrale della sezione longitudinale

Come si nota dalle figure soprastanti di entrambe le sezioni, trasversale (fig.4-24) e longitudinale (fig.4-25), essendo un pezzo meno importante è stato lavorato meno e di conseguenza nella superficie si trovano queste seconde fasi molto evidenti.

4.2.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

Sezione trasversale

In questa zona il vitone presenta una struttura composta da grani grandi di ferrite con frequenti ma piccole isole di bainite presenti sui bordi della sezione circolare (fig.4-26, 4-27). Le isole di bainite derivano probabilmente da isole di austenite trasformate in bainite durante il raffreddamento finale, che verosimilmente partiva da temperatura intercritica; in tal caso, dunque, le isole di austenite hanno bloccato la crescita del grano ferritico ad alta temperatura; successivamente, durante il raffreddamento, le isole di austenite sono diventate isole di bainite. Si nota infatti che, sia nella sezione trasversale che poi a seguire nella sezione longitudinale, in assenza delle isole bainitiche i grani sono più grandi.



Figura 4-26 Vitone del cane, dettaglio sezione trasversale, struttura ferritica con prevalenza di grani grandi

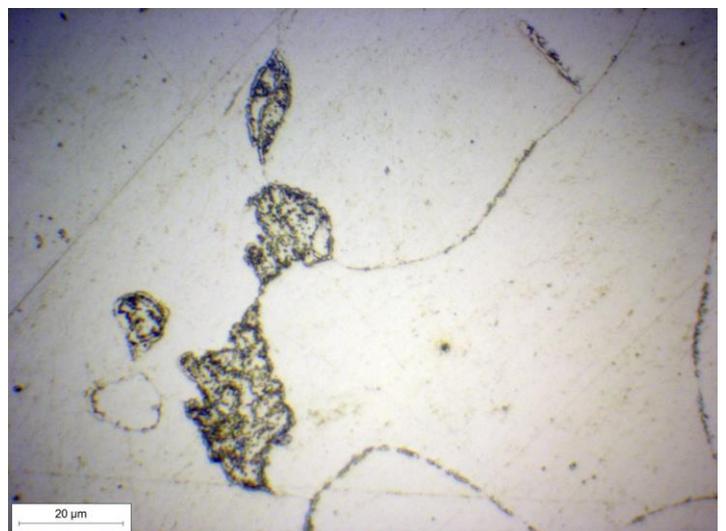
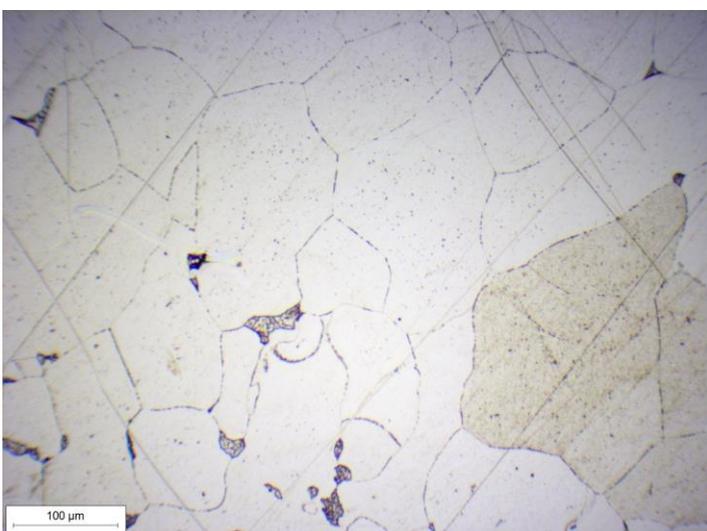
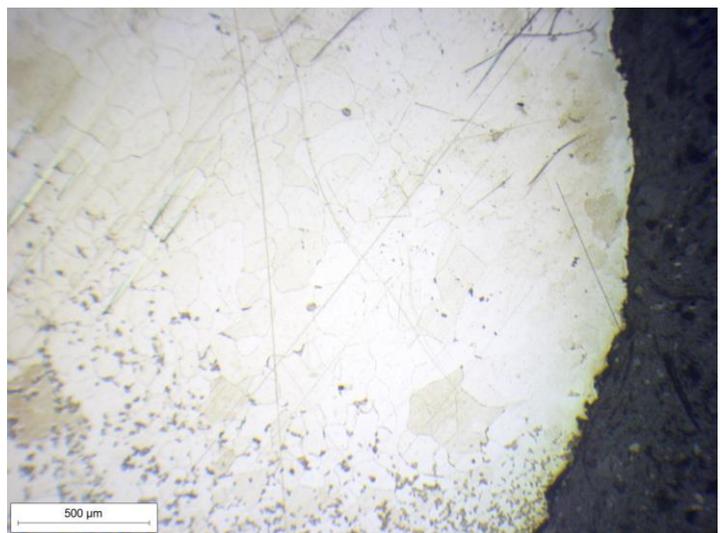


Figura 4-27 Vitone del cane, dettaglio sezione trasversale, struttura ferritica con prevalenza di grani grandi

Sezione longitudinale-Zona A-B

Il componente presenta principalmente 2 strutture, una zona bainitica e una zona ferritica presente in maggioranza nel pezzo.

La zona A è costituita da ferrite con grani grandi e precipitati a bordo grano (fig.4-28, 4-29); differentemente alla zona A, la zona B, è composta da ferrite con grani piccoli e frequenti isole di bainite (fig.4-30). Entrambe le zone presentano precipitati a bordograno (probabili isole di cementite).

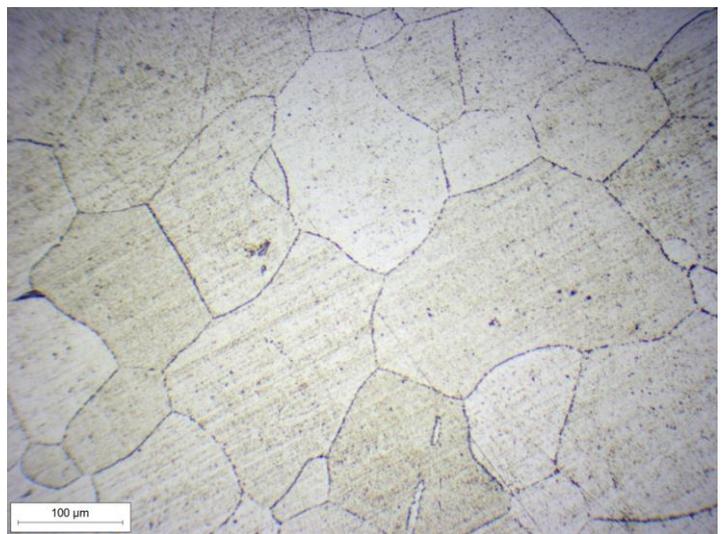
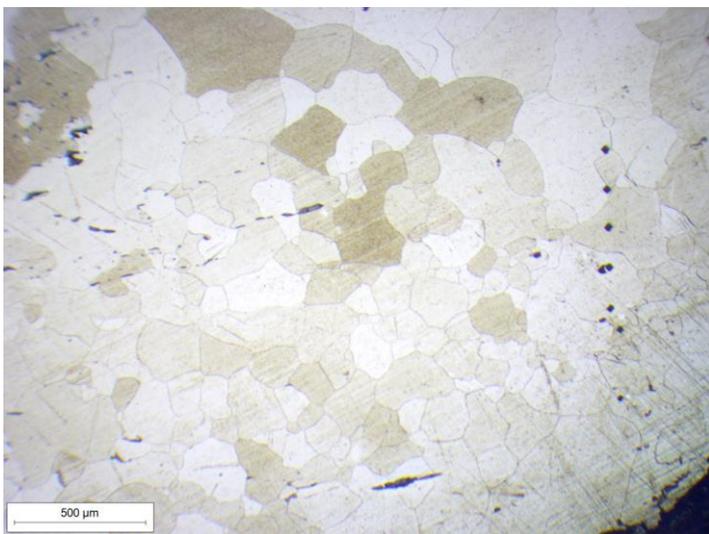
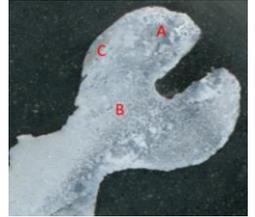


Figura 4-28 Vitone del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi

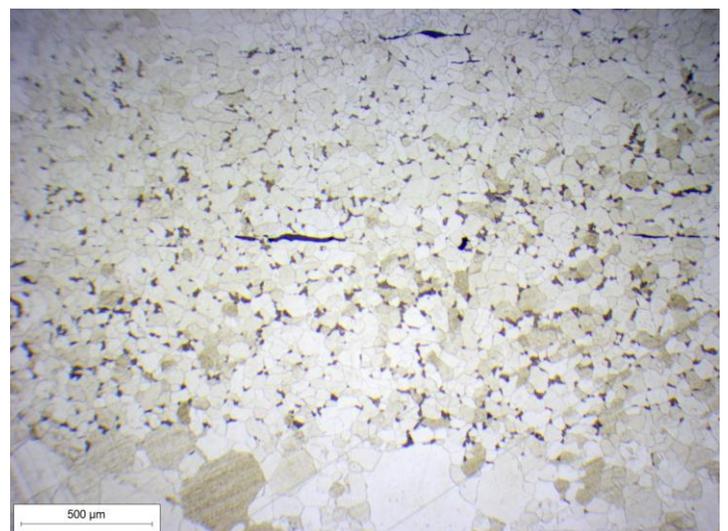
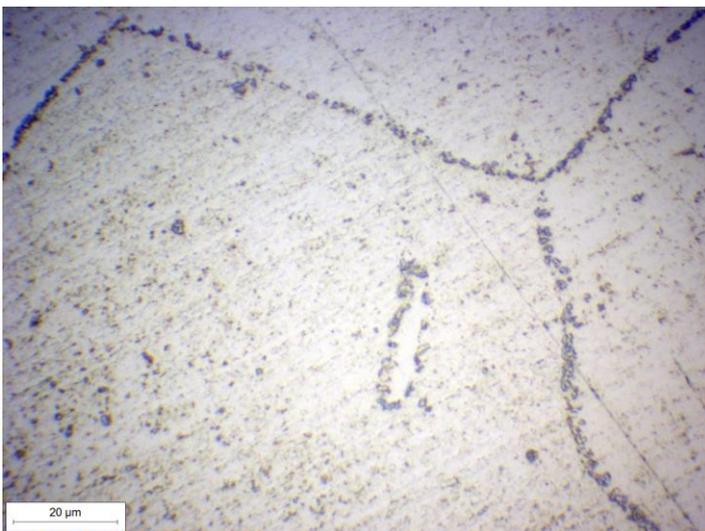


Figura 4-29 Vitone del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi; a destra dettaglio zona B dopo attacco metallografico con struttura ferritica a grani piccoli e isole di bainite

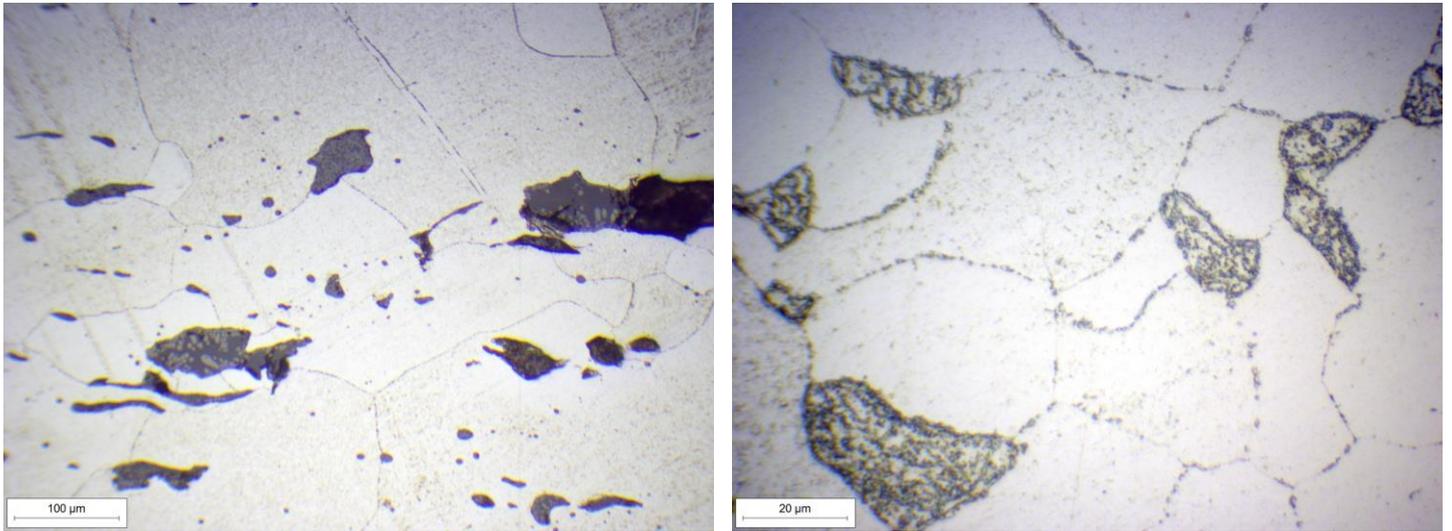


Figura 4-30 Vitone del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico con struttura ferritica a grani piccoli e isole di bainite

Sezione longitudinale-Zona C

La zona C, che comprende unicamente la piccola striscia scura (cerchiata in fig. 4-31), a differenza delle altre zone del vitone, è invece costituita da una zona bainitica con rare zone di ferrite (fig.4-31, 4-32), probabilmente causata da un raffreddamento da temperatura intercritica successivo al processo di forgiatura. In generale si presume quindi una lavorazione di forgiatura sulla testa del vitone e una successiva tornitura nella zona della filettatura.

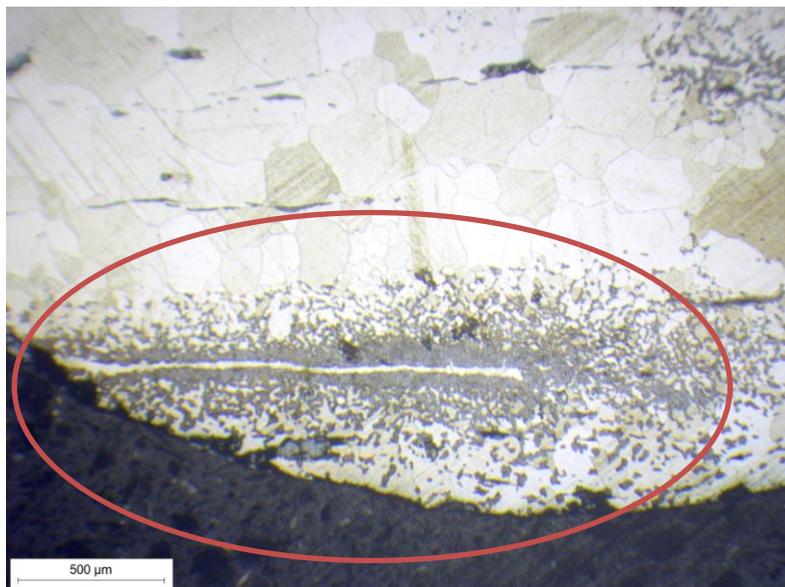
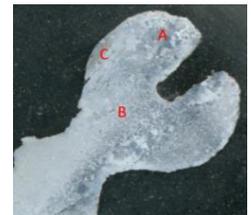


Figura 4-31 Vitone del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico con struttura prevalentemente bainitica e presenza di ferrite all'esterno

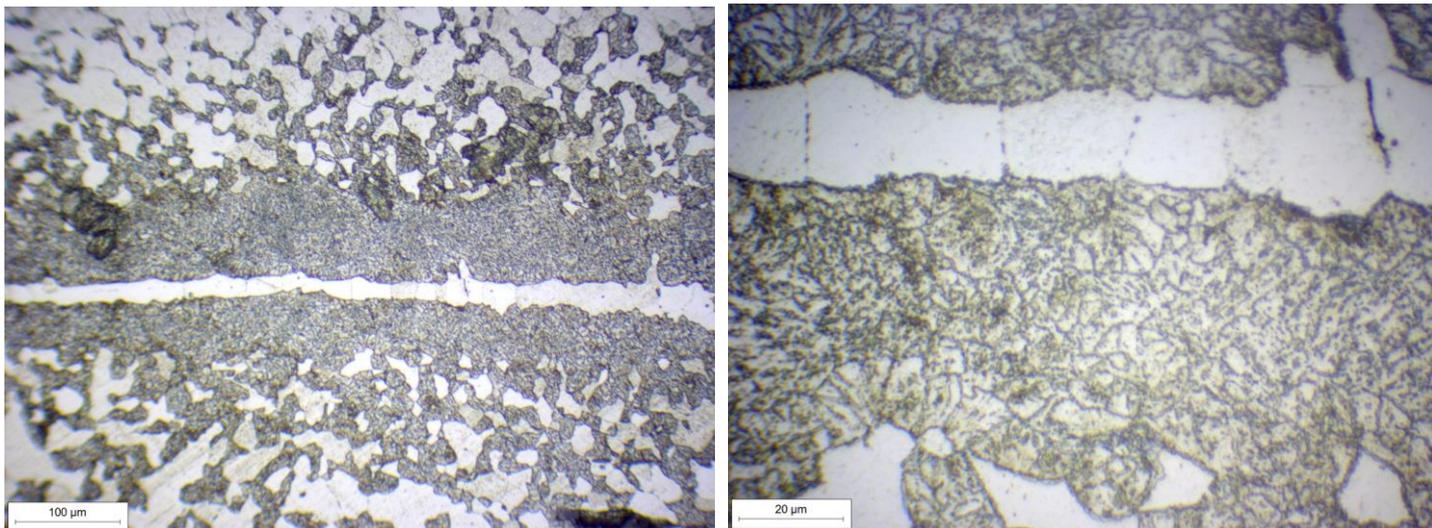


Figura 4-32 Vitone del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico con struttura prevalentemente bainitica

4.2.4 Analisi microdurezze

Sono state scelte le due zone di maggior interesse, ovvero la particolare zona con evidente presenza di bainite (A) e una zona con presenza di ferrite per entrambe le sezioni (B e C). Di conseguenza sono state effettuate 15 misurazioni, 5 per ogni zona, con una distanza di misurazione di 0,15 mm (fig.4-33).



Figura 4-33 Impronte microdurezze vitone del cane

Dalla tabella (tab.4-4) e dal grafico (graf.4-3) sottostanti possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

Tabella 4-4 Durezza vitone del cane

SPOSTAMENTO [mm]	DUREZZA HV01		
	A	B	C
0	217	96,6	119,3
0,15	238,2	100,5	104,3
0,3	234,3	98,4	100,2
0,45	226,6	104,7	102
0,6	197,5	101,6	105,9

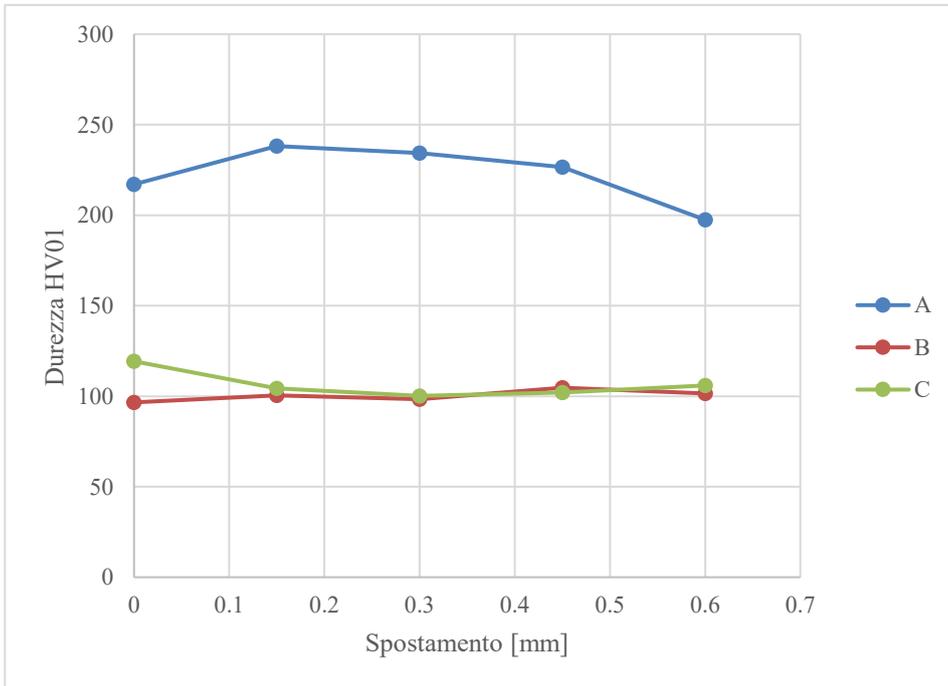


Grafico 4-3 Durezza vitone del cane

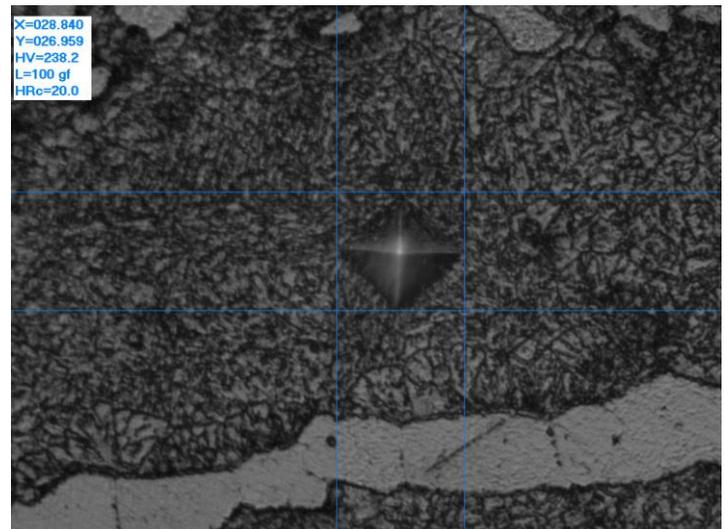
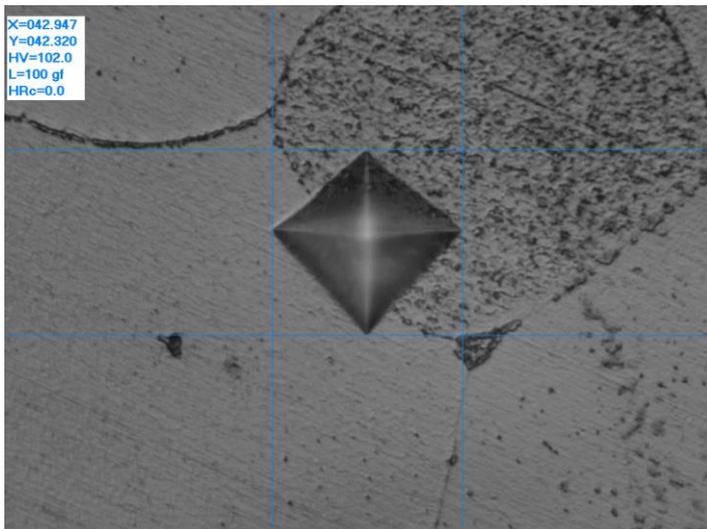


Figura 4-34 Dettaglio impronte microdurezza vitone del cane su massimo e minimo valore di misurazione

I valori di microdurezza sono coerenti con la struttura, infatti si hanno valori di durezza maggiori nella zona bainitica, con valore massimo di 238,2 HV (fig.4-34), mentre le altre due zone presentano una durezza inferiore in quanto sono entrambe zone ferritiche che si mantengono sulla media di 102 HV confermando la scarsa omogeneità della struttura vista al microscopio. La struttura è costituita da basso tenore di carbonio, ad eccezione della zona bainitica, dove il componente ha una elevata durezza.

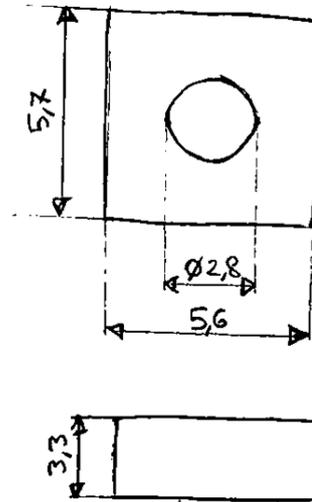
4.2.5 Discussione

I risultati delle analisi concordano il fatto che non erano ricercate alte proprietà meccaniche in questo pezzo bensì l'economicità del prodotto. Infatti, è un componente con basso tenore di carbonio ed una struttura prevalentemente ferritica, poco omogeneo e con presenza di inclusioni e seconde fasi, accentuata molto probabilmente dalla minor lavorazione del pezzo vista la sua semplice funzione di fissaggio. Il vitone dovrebbe essere stato forgiato formando ferrite con grani grossi, e magari casualmente raffreddato da temperatura intercritica in modo naturale formando una zona bainitica con isole di ferrite. Questa supposizione viene rafforzata dal momento che la zona bainitica è localizzata ed inoltre non ha molto senso ricercare in un vitone una durezza così elevata. Nel dettaglio il vitone conta di tre zone ben diverse: una zona ferritica con grani grandi, una zona ferritica con grani piccoli e frequenti isole di bainite (entrambe le zone ferritiche presentano precipitati a bordo grano), ed infine una zona bainitica con rare isole di ferrite. Ne consegue quindi una struttura con bassi valori di durezza, ad eccezione della zona bainitica che ha una durezza molto maggiore rispetto alle altre regioni. L'analisi al microscopio ottico pre-attacco ha riscontrato inoltre che la direzione delle inclusioni non segue il profilo del componente, bensì le inclusioni seguono un'unica direzione verticale lungo la superficie, si ipotizza quindi una lavorazione di tornitura. Più precisamente si ipotizza una forgiatura iniziale di un unico pezzo d'acciaio, lavorando per deformazione plastica la testa e successivamente facendo una tornitura nella zona della filettatura.

4.3 Dado

Elemento di fissaggio, di datazione più recente rispetto al resto dei componenti (fig.4-35).

Figura 4-35 Dado, rappresentazione con quotatura



4.3.1 Taglio

Non è stato eseguito alcun taglio, il componente è stato direttamente inglobato nella resina termoindurente (fig.4-36).

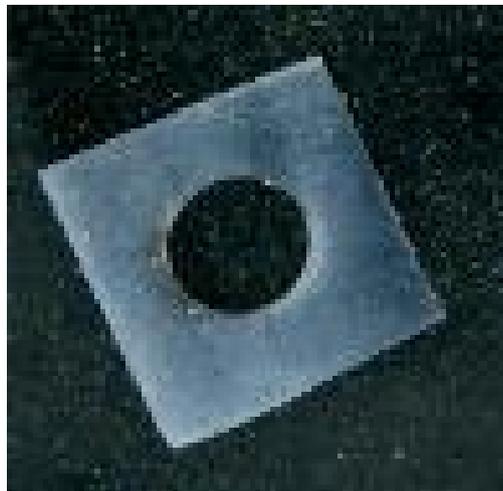


Figura 4-36 Scansione del dado dopo inglobatura.

4.3.2 Analisi microscopio

Dalle prime osservazioni pre-attacco si nota subito che si tratta di un componente recente rispetto al resto degli altri pezzi, si presume del 1900. Lo si evince anche dalla struttura del componente (fig.4-37), che si presenta molto più omogenea e con poche inclusioni rispetto al resto della struttura, tipica di pezzi più recenti. Si ipotizza una lamiera tagliata e successivamente tornita.



Figura 4-37 Dado, dettaglio inclusioni

4.3.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

In questo dado sono state prese in considerazione due zone (fig.4-38):

- Zona A
- Zona B

Entrambe le zone sono molto simili tra loro.

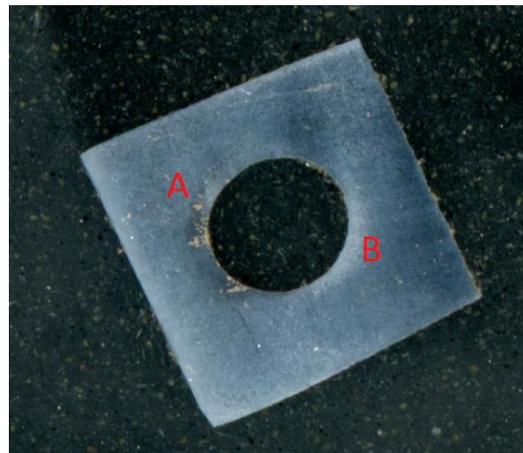


Figura 4-38 Nomenclatura zone dado

La struttura è costituita prevalentemente da ferrite (fig.4-39, 4-40), probabilmente è stata effettuata una ricottura subcritica, in quanto in alcune zone si notano delle seconde fasi che potrebbero essere cementite terziaria (fig.4-41).

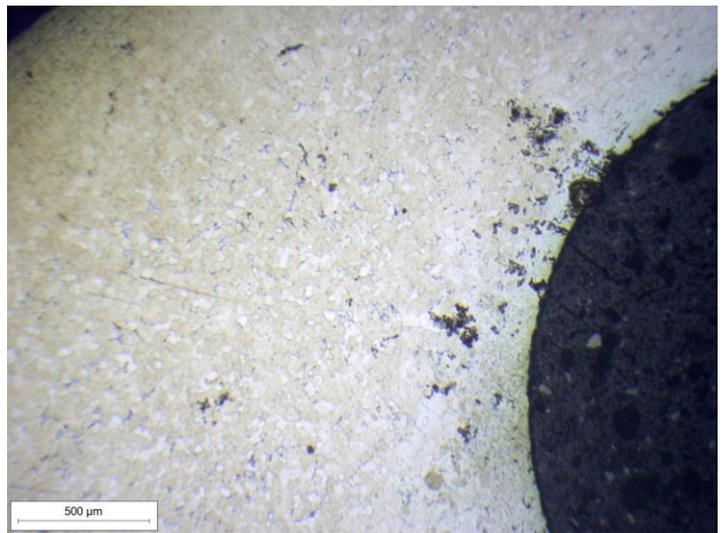
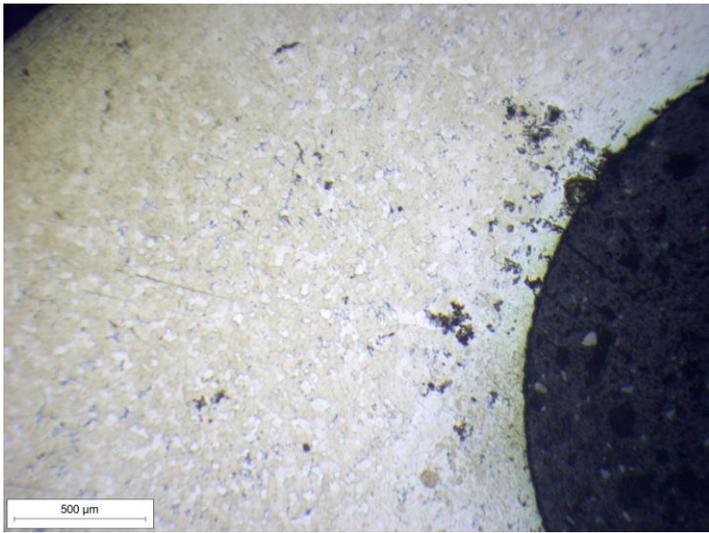


Figura 4-39 Dado, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica

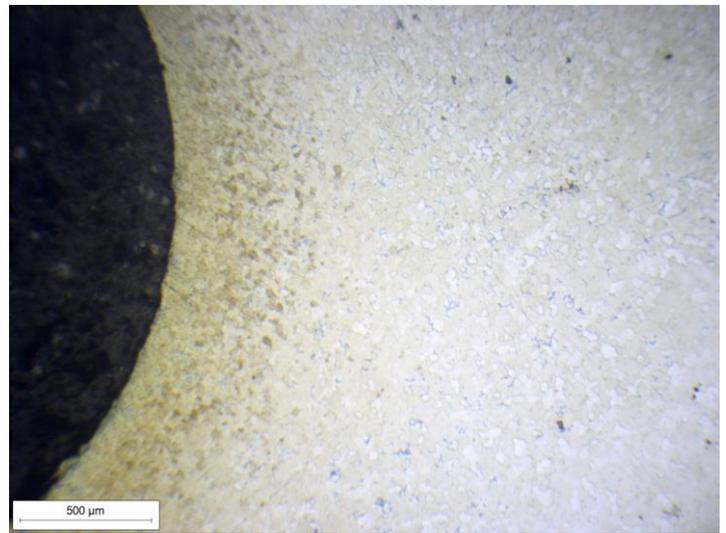
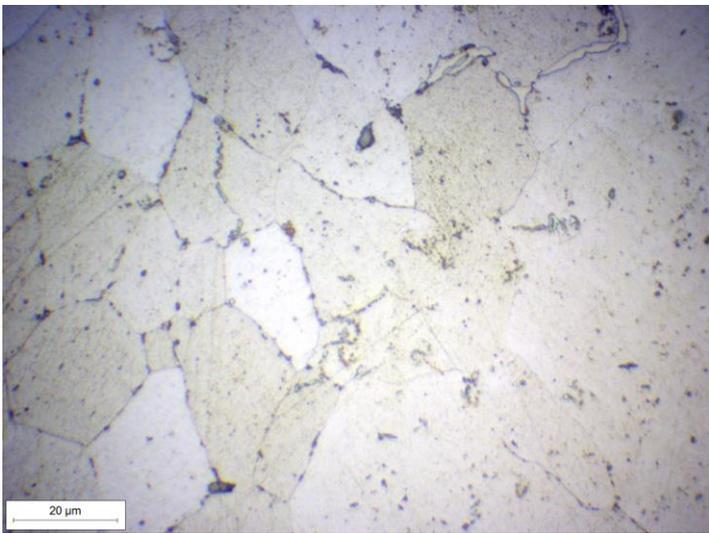


Figura 4-40 Dado, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona B dopo attacco, struttura anche qui ferritica

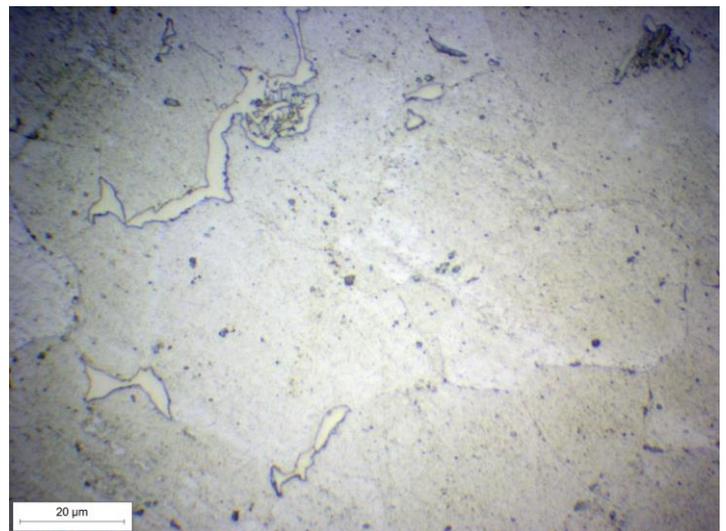
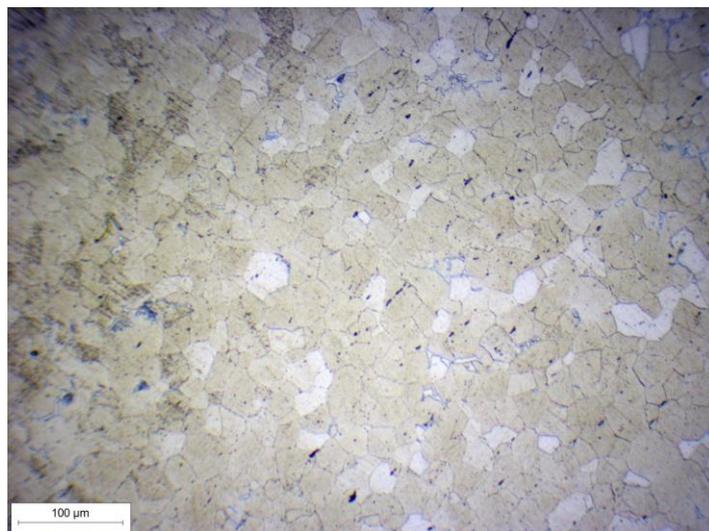


Figura 4-41 Dettaglio zona B dopo attacco, struttura ferritica; a destra isole tendenti al giallo dovute a probabile ricottura

4.3.4 Analisi microdurezze

Essendo un componente molto omogeneo ed unicamente costituito da ferrite sono stati effettuate solamente tre misurazioni in tre punti diversi (fig.4-42).

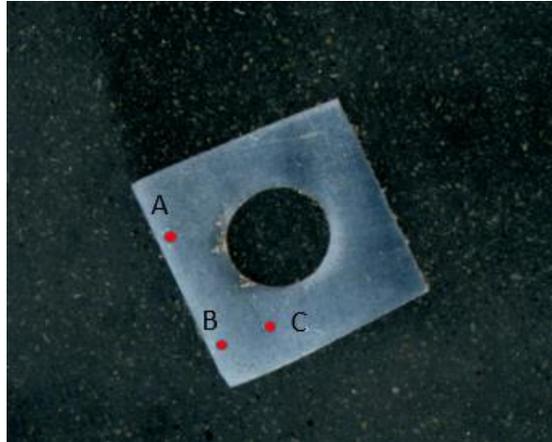


Figura 4-42 Impronte microdurezze dado

Dalla tabella sottostante (tab.4-5) possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

DUREZZA HV02		
A	B	C
165,5	156,1	162,8

Tabella 4-5 Durezza dado

I valori di durezza sono molto simili nei tre differenti punti del campione; i risultati di microdurezza sono in linea con la struttura del componente, caratteristico di un materiale omogeneo ed a basso contenuto di carbonio.

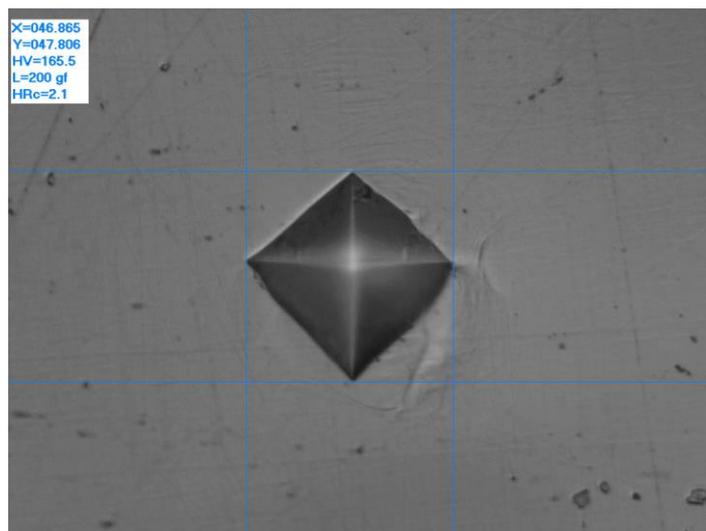


Figura 4-43 Dettaglio impronte microdurezze dado

4.3.5 Discussione

Il dado, già da un primo sguardo ad occhio nudo, presenta una superficie più omogenea e meno rugosa permettendo subito di notare che il pezzo sia più recente rispetto agli altri componenti analizzati. È probabilmente un pezzo di inizio 1900, infatti, seppur non sia di pregevole fattura, presenta una struttura omogenea e con poche inclusioni rispetto agli altri campioni di questo acciarino, dovuto ad una migliore lavorazione del pezzo. È stato quindi utilizzato come successivo elemento di riparazione o aggiunta nel fissaggio della noce. Anche qui, come nel vitone del cane, essendo un elemento di fissaggio non ci si aspetta un'alta resistenza meccanica. Il pezzo, infatti, è costituito prevalentemente da ferrite con basso tenore di carbonio ed una durezza bassa ed omogenea su tutta la superficie. L'analisi al microscopio dopo attacco metallografico ci rivela inoltre che probabilmente è stata effettuata una ricottura subcritica, in quanto in alcune zone si notano delle seconde fasi che potrebbero essere cementite terziaria. Per quanto riguarda la lavorazione si ipotizza una lamiera tagliata e successivamente tornita.

4.4 Piattello del cane

Componente non soggetto ad alti stress meccanici. Ha un foro passante non filettato per l'inserimento del vitone del cane (fig.4-44). Insieme all'altro piattello che si trova nel cane ed al vitone, contribuiscono a fissare la pietra focaia.

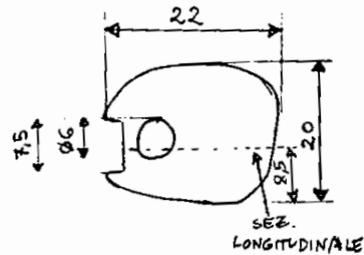


Figura 4-44 Piattello del cane, rappresentazione e quotatura



4.4.1 Taglio

È stato effettuato un unico taglio prossimo alla mezzeria del campione (fig.4-45, 4-46). È stata inglobata la parte con meno materiale, mentre la restante è stata sottoposta ad analisi chimica tramite il quantometro.

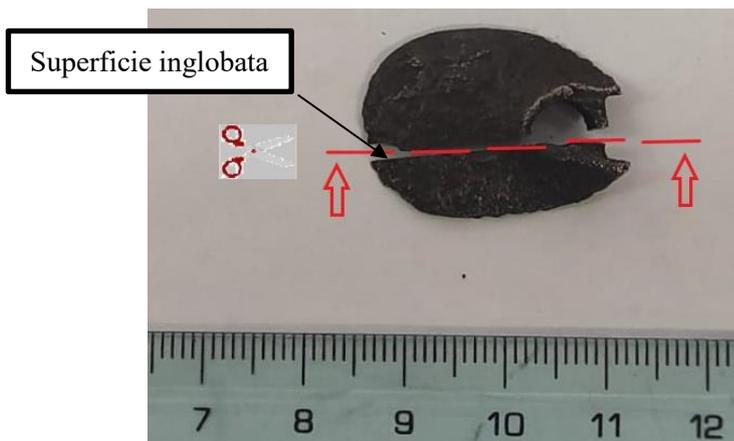


Figura 4-45 Piattello del cane sezionato



Figura 4-46 Scansione della sezione del piattello del cane dopo inglobatura.

4.4.2 Analisi microscopio

Dalle prime osservazioni si nota come le inclusioni seguono la superficie, ma molto spesso spariscono (fig.4-47, 4-48, 4-49). Si ipotizza quindi una lavorazione per deformazione plastica affiancata inoltre a lavorazioni di limatura (o corrosione in opera/usura). Nella zona sinistra/centrale del piattello la grossa riga in mezzeria del campione ci fa pensare a possibili ripiegature del pezzo durante la lavorazione.

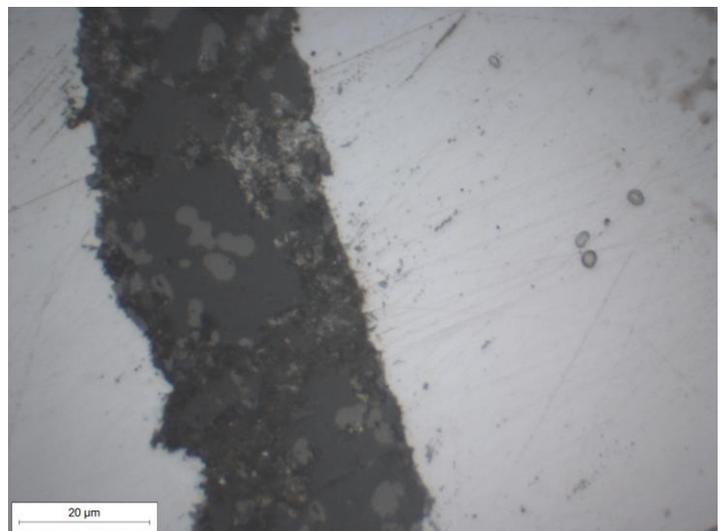
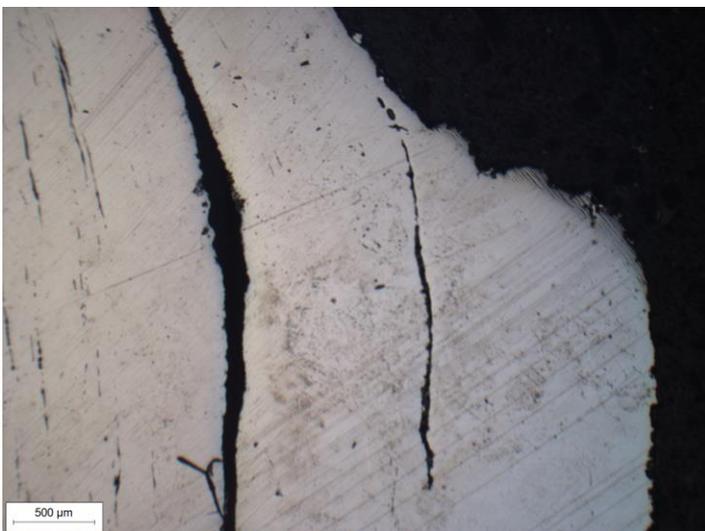


Figura 4-47 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona sinistra

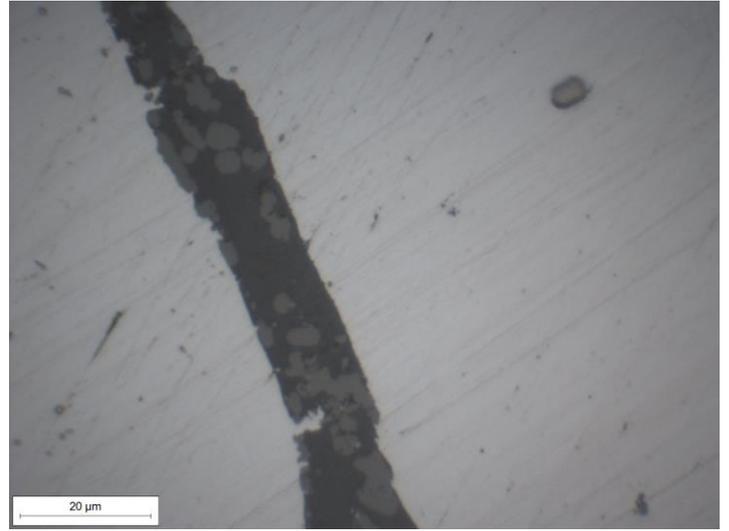
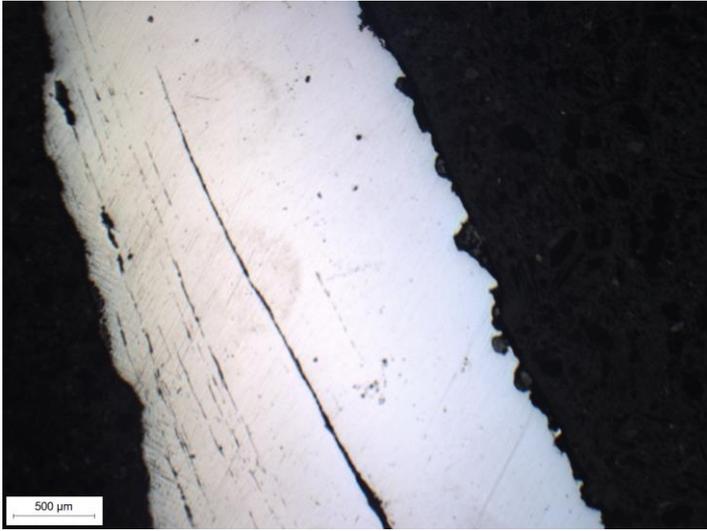


Figura 4-48 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona centrale

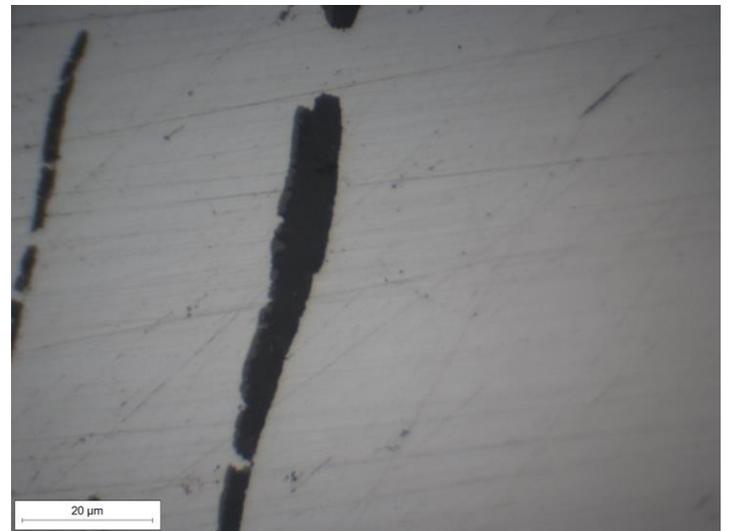
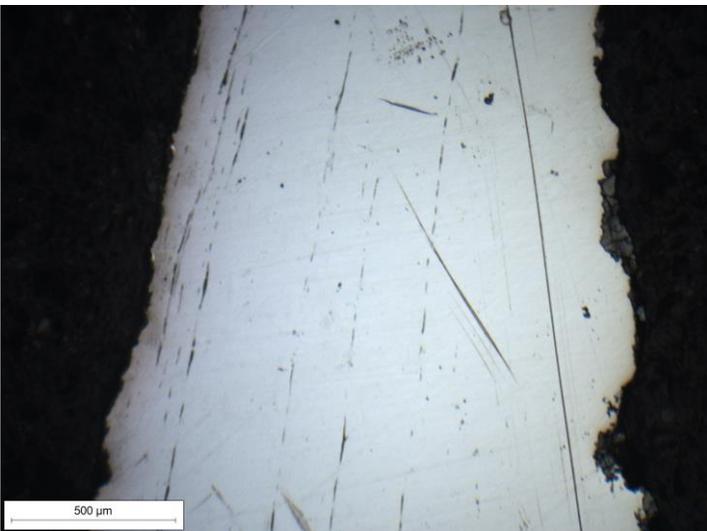


Figura 4-49 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona destra

Come si evince dalle figure soprastanti questo componente, essendo meno sottoposto a stress meccanici o urti, ha avuto una lavorazione minore rispetto, ad esempio, alle molle e di conseguenza su tutta la superficie si trovano inclusioni e seconde fasi molto evidenti.

4.4.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

Per semplicità si nomina il piattello del cane con la seguente nomenclatura (fig.4-50):

- Zona A



Figura 4-50 Nomenclatura zone piattello del cane

- Zona B
- Zona C

Zona A-B

Il componente presenta in entrambe le zone, come in quasi tutta la superficie, una struttura prevalentemente ferritica. Ma, mentre la zona A è costituita da ferrite con grani grandi e precipitazioni a bordograno (fig.4-51,4-52), la zona B è composta da una struttura ferritica con grani piccoli e isole di bainite che, come nel caso del vitone del cane, contribuiscono ad ostacolare la crescita del grano cristallino (fig.4-53).

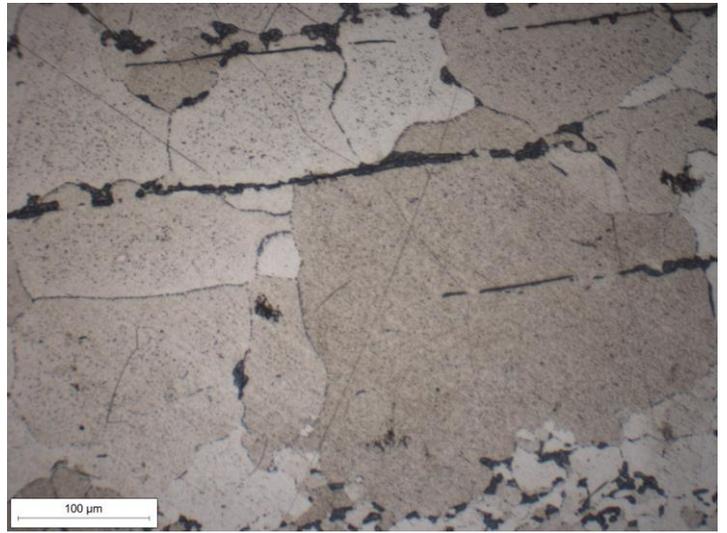
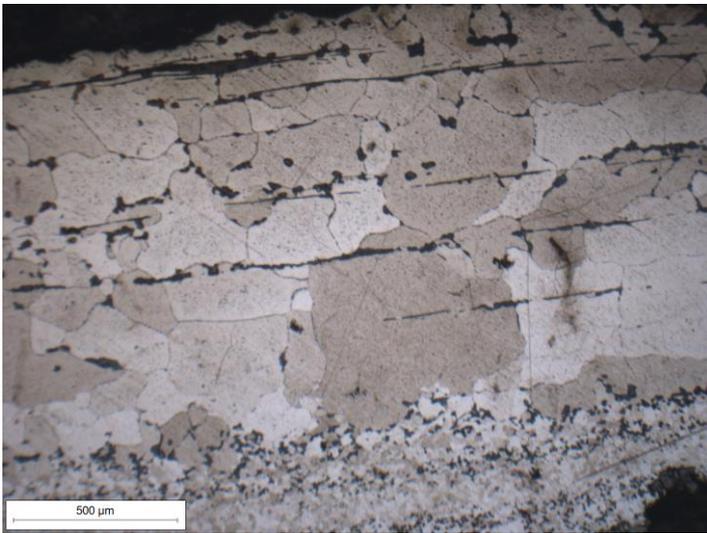


Figura 4-51 Piattello del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi

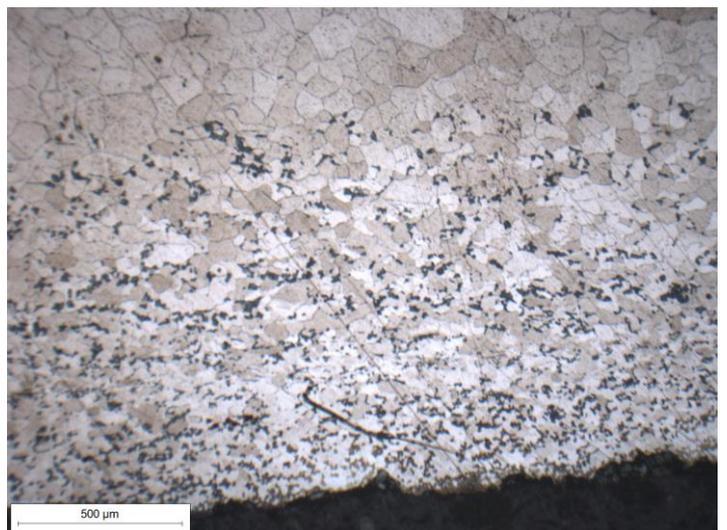
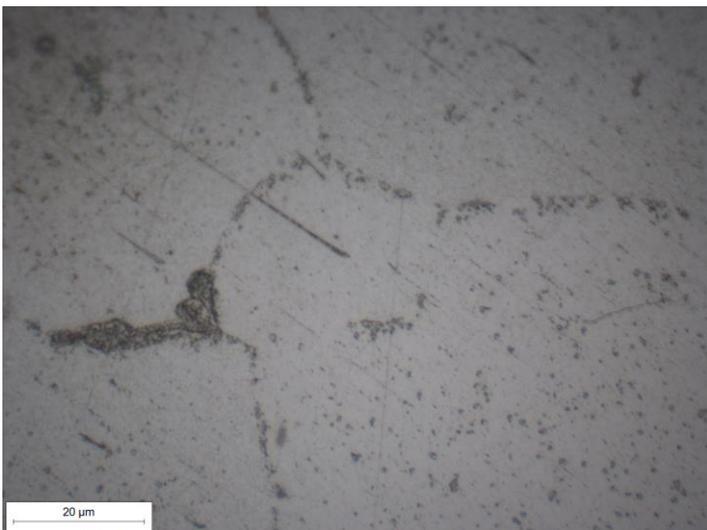


Figura 4-52 Piattello del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi; a destra dettaglio zona B dopo attacco, con struttura ferritica con grani piccoli e isole di bainite

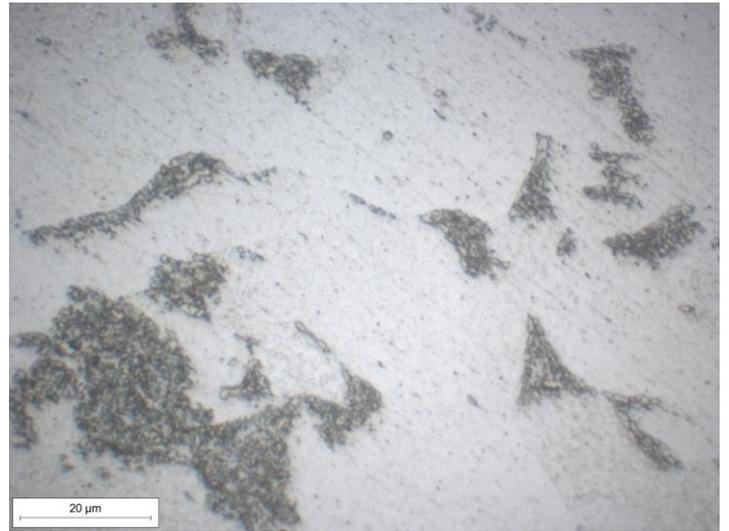
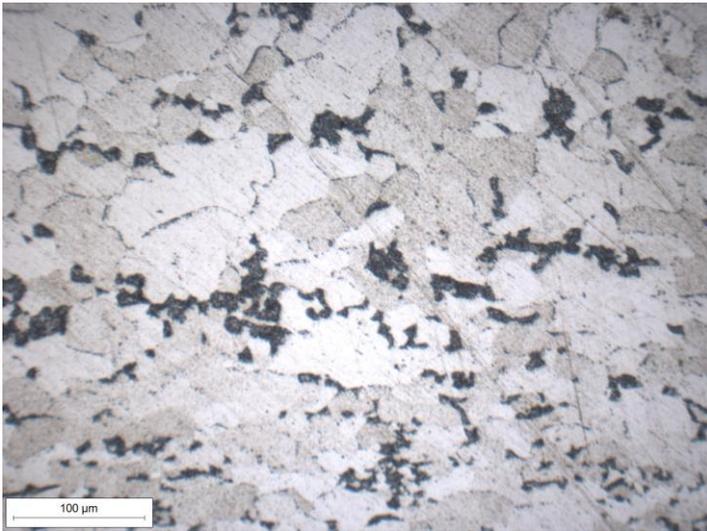
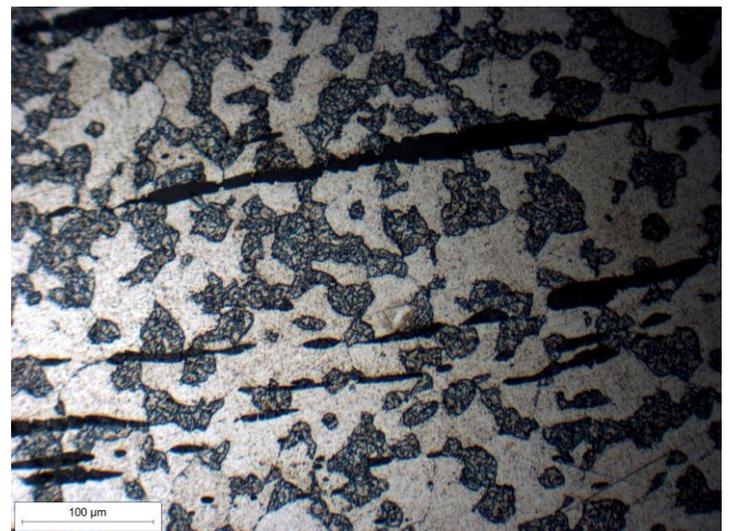


Figura 4-53 Piattello del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani piccoli e isole di bainite

Zona C

Diversamente dal resto della sezione, in questa zona il componente presenta una struttura in maggioranza bainitica (ferrite con grande presenza di isole bainitiche, fig.4-54).



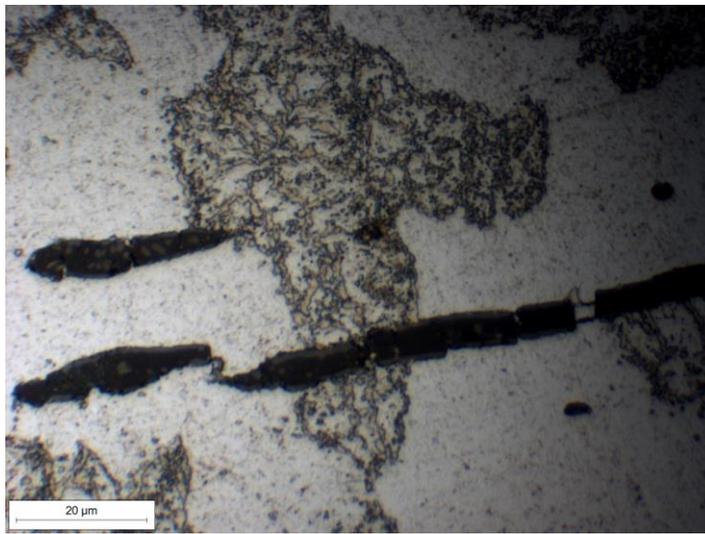


Figura 4-54 Piattello del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura maggiormente bainitica

4.4.4 Analisi microdurezze

Sono state scelte tre zone di interesse, una zona di ferrite con grani grandi (A), una zona di ferrite con grani piccoli e isole di bainite (B) ed una zona maggiormente bainitica (ferrite con grande presenza di isole bainitiche, C). Di conseguenza sono state effettuate 12 misurazioni, 4 per ogni zona, con una distanza di misurazione di 0,15 mm (fig.4-55).



Figura 4-55 Impronte microdurezze piattello del cane

Dalla tabella (tab.4-6) e dal grafico (graf.4-4) sottostanti possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

Tabella 4-6 Durezza piattello del cane

SPOSTAMENTO [mm]	DUREZZA HV01		
	A	B	C
0	108,3	145,8	175,3
0,15	108,3	135	198,5
0,3	111,7	146,5	172
0,45	113,8	142,7	184,1

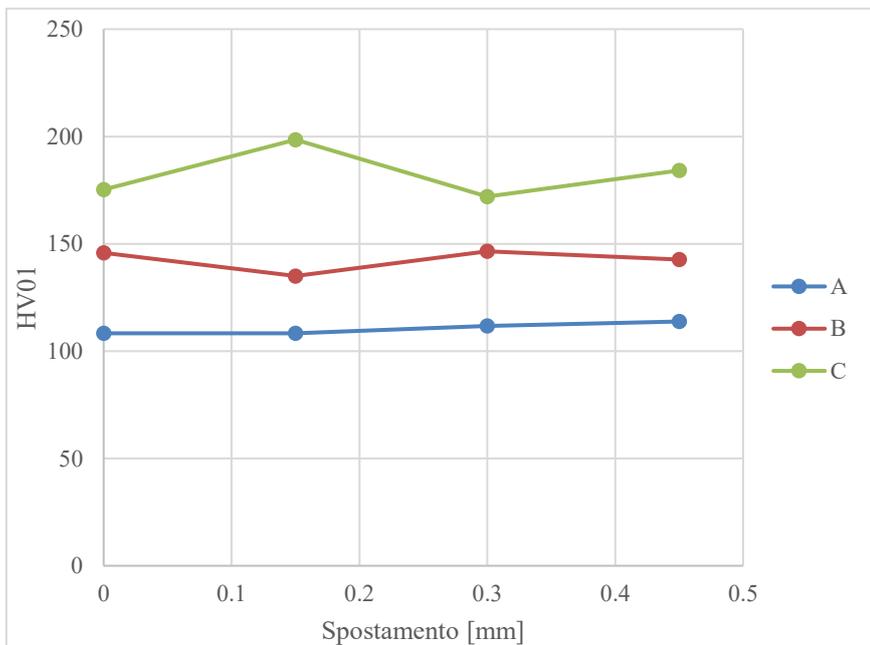


Grafico 4-4 Durezza piattello del cane

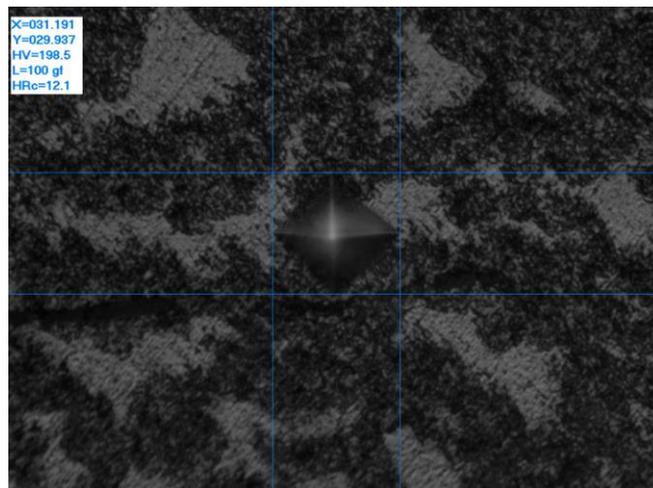
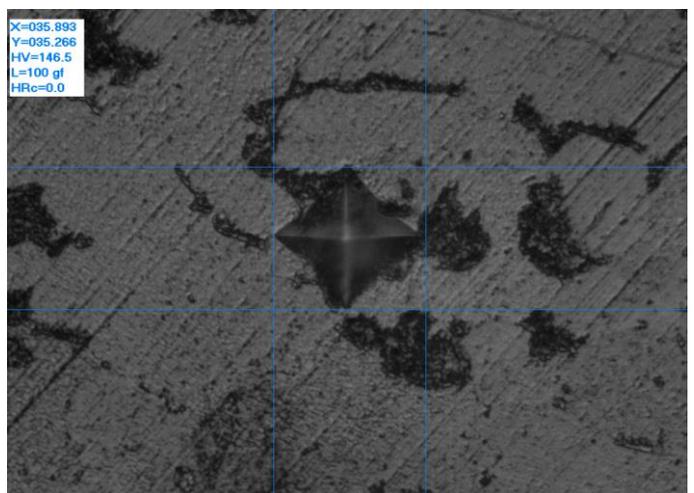
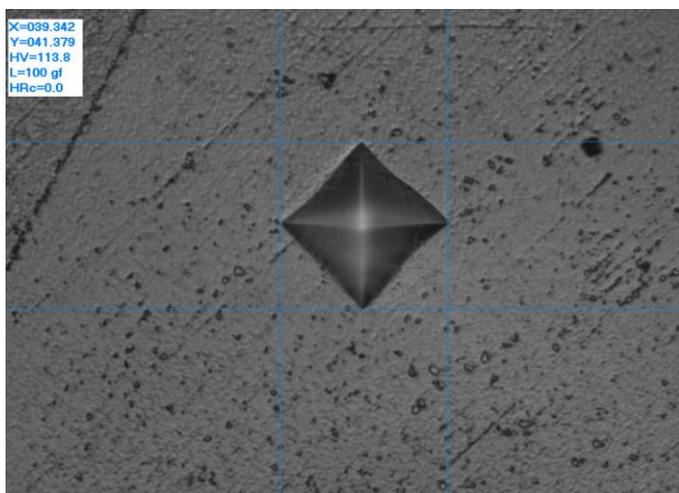


Figura 4-56 Dettaglio impronte microdurezza piattello del cane su massimo valore di misurazione rispettivamente di zona A, B, C

I valori di microdurezza sono coerenti con la struttura, infatti dipendono dalla quantità di isole bainitiche presenti nella microstruttura. Si hanno di conseguenza valori di durezza molto elevati nella zona C, con un valore massimo di 198,5 HV,

mentre le altre due zone presentano una durezza inferiore in quanto sono entrambe zone ferritiche con scarsa presenza di isole di bainite (il massimo della zona A è 113,8 HV, quello della zona B è 146,5 HV, fig.4-56), confermando la disomogeneità della struttura.

4.4.5 Analisi chimica

Qui di seguito viene mostrata una tabella (tab.4-7) che raffigura i valori degli elementi chimici in tutte le undici misurazioni effettuate, oltre che la media, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione di questi ultimi:



Figura 4-57 Piattello del cane dopo analisi chimica

Elementi	Media	Deviazione standard	Coefficiente di variazione	1	2	3	4	5	6
C	0,091	0,033	37%	0,055	0,107	0,043	0,122	0,108	0,113
Si	0,033	0,019	58%	0,021	0,048	0,065	0,028	0,02	0,017
Mn	0,026	0,002	6%	0,025	0,027	0,029	0,026	0,025	0,025
P	0,033	0,004	13%	0,026	0,035	0,038	0,036	0,032	0,03
S	0,009	0,003	30%	0,011	0,006	0,013	0,007	0,008	0,008
Cr	<0,001			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	0,002	0,000	19%	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Ni	0,004	0,001	24%	0,005	0,005	0,003	0,003	0,005	0,005
Al	0,007	0,003	40%	0,005	0,009	0,011	0,005	0,005	0,005
Cu	0,018	0,001	8%	0,02	0,016	0,017	0,017	0,018	0,019
Co	0,001			0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nb	0,005	0,001	17%	0,004	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005
As	0,026	0,003	12%	0,027	0,025	0,02	0,028	0,029	0,025
B	0,001	0,000	14%	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,001	0,0008
Bi	<0,001			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ti	0,003	0,000	0%	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
V	0,001	0,000	0%	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
W	0,012	0,003	23%	0,014	0,013	0,011	0,014	0,014	0,007
Pb	0,003	0,001	24%	0,0019	0,0026	0,0018	0,0031	0,0033	0,0026
Ca	0,013	0,006	50%	0,009	0,0237	>0,0500	0,0117	0,0135	0,007
Zn	<0,001			<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zr	0,002	0,001	22%	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
N	0,027	0,032	118%	0,0097	0,0068	0,0909	0,009	0,0268	0,02
Fe	99,622	0,181	0%	99,756	99,663	99,258	99,673	99,678	99,703

Tabella 4-7 Analisi chimica piattello del cane

Come si nota dalla tabella soprastante (tab.4-7) il piattello del cane ha una media di carbonio di 0,091%. È quindi classificato come un acciaio extra dolce che è categorizzato tra lo 0,05 e lo 0,15% di carbonio; infatti, ha un tenore di ferro molto elevato rispetto alla molla del cane (99,62%).

Altri elementi presenti in maggioranza sono:

- Silicio
- Fosforo
- Manganese
- Azoto

Nel grafico (graf.4-5) sottostante sono raffigurati infine il riepilogo dei valori degli elementi chimici trovati in quest'analisi in comparazione con la molla del cane.

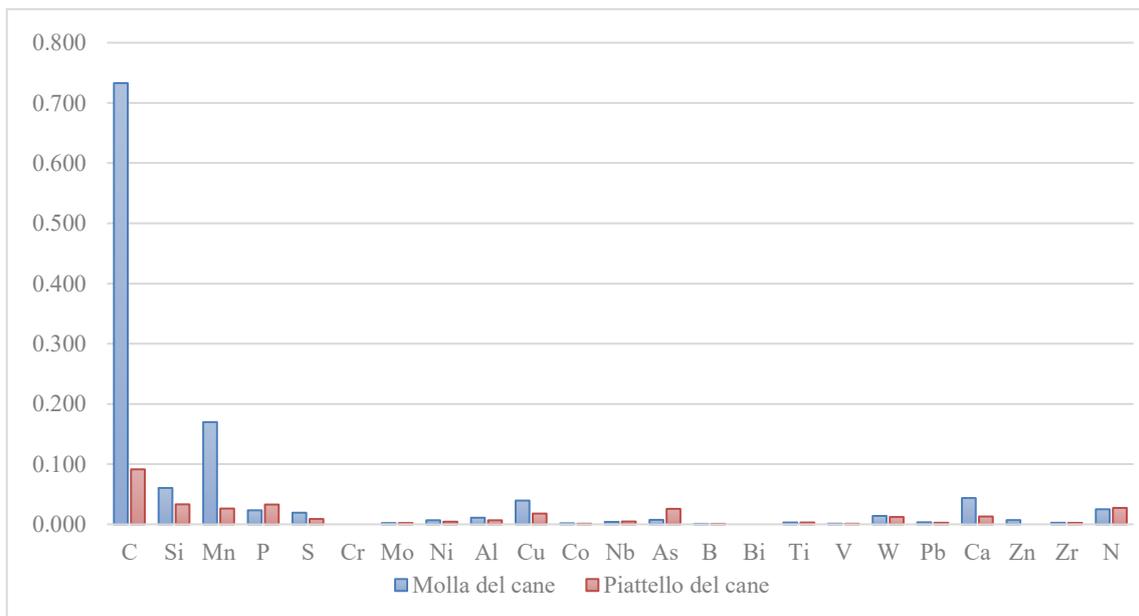


Grafico 4-5 Analisi chimica piattello del cane

4.4.6 Discussione

Il piattello, essendo un componente non soggetto ad alti stress meccanici e molto economico, è un pezzo costituito in maggioranza da ferrite, poco omogeneo e con un'elevata presenza di inclusioni e seconde fasi, accentuata molto probabilmente dalla minor lavorazione del pezzo vista la sua semplice funzione di serraggio della

pietra focaia. A seguito dell'analisi al microscopio si nota come le grosse inclusioni presenti nel pezzo fanno pensare a possibili ripiegature durante la lavorazione. La direzione delle inclusioni segue il profilo del componente, ma a tratti in quanto molto spesso spariscono. Si ipotizza quindi una lavorazione per deformazione plastica affiancata inoltre a lavorazioni di limatura (o usura/corrosione in opera). Nel dettaglio il piattello, come il vitone, conta di tre zone ben diverse: una zona ferritica costituita da grani grandi e precipitati a bordo grano, una zona ferritica con grani piccoli e isole di bainite che contribuiscono ad ostacolare la crescita del grano cristallino, ed infine una zona in maggioranza bainitica (ferrite con grande presenza di isole bainitiche). Queste zone bainitiche sono probabilmente scaturite da un casuale raffreddamento da temperatura intercritica, come avvenuto nel vitone. Dai risultati trovati nell'analisi chimica e nel calcolo di durezza si conferma una struttura con bassa durezza, poco uniforme e dal basso tenore di carbonio (classificato come un acciaio dolce), con valori di durezza più elevati, ma comunque bassi, nelle zone con maggiore presenza di isole bainitiche. Come la molla del cane, il piattello presenta una percentuale di manganese molto bassa (addirittura molto più bassa della molla del cane, 0,026%), pertanto si presume che il pezzo non sia stato temprato anche perché si tratta di un componente economico.

4.5 Molla dello scatto

Elemento elastico, situato nella parte interna del meccanismo (fig.4-58).

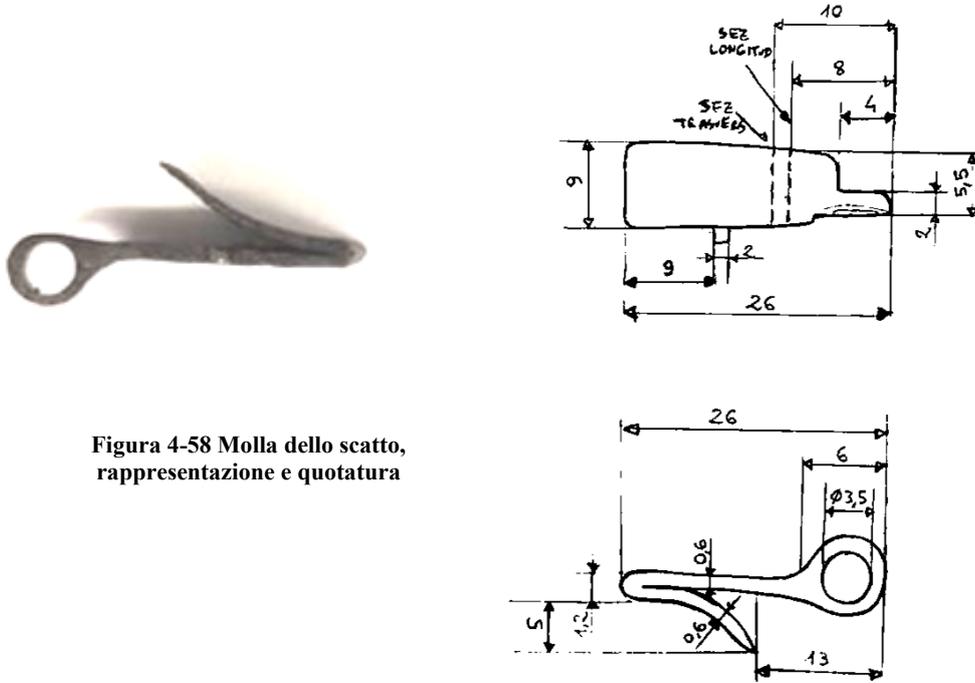


Figura 4-58 Molla dello scatto, rappresentazione e quotatura

4.5.1 Taglio

Il pezzo è stato tagliato ricavando due sezioni (fig.4-59), una longitudinale con forma circolare (fig.4-60) e una trasversale con forma rettangolare (fig.4-61). Il restante campione è stato conservato per eventuali analisi.

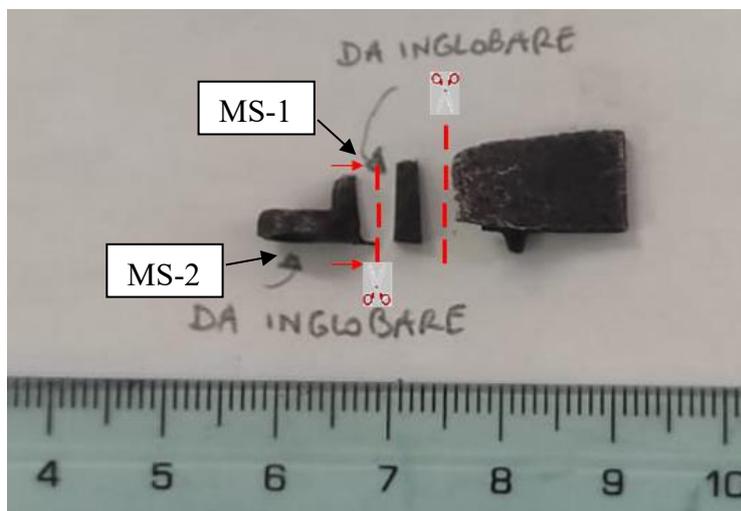


Figura 4-59 Molla dello scatto sezionata



Figura 4-60 Scansione delle sezioni della molla dello scatto dopo inglobatura MS-2.



Figura 4-61 Scansione delle sezioni della molla dello scatto dopo inglobatura MS-1.

4.5.2 Analisi microscopio

Dalle prime osservazioni si nota come in alcune zone le inclusioni seguono la superficie mentre in altre, all'opposto, si ha uno stacco diagonale di inclusioni rispetto alla superficie del campione soprattutto nella sezione longitudinale. Si è quindi inizialmente pensato che questo pezzo fosse stato lavorato per deformazione plastica e le inclusioni perpendicolari fossero dovute ad un processo di saldatura.

Per semplicità si nomina la molla dello scatto con la seguente nomenclatura:

- La sezione trasversale (fig.4-62), chiamata MS-1, presenta due zone:
 - Zona A
 - Zona B
- La sezione longitudinale (fig.4-63), chiamata MS-2, presenta tre zone:
 - Zona C
 - Zona D
 - Zona E



Figura 4-62 Nomenclatura zone molla dello scatto MS-1

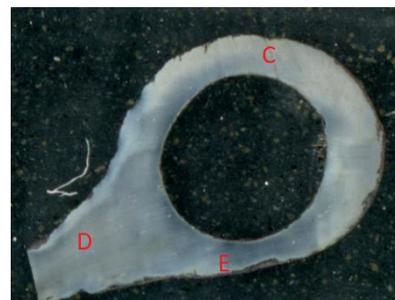


Figura 4-63 Nomenclatura zone molla dello scatto MS-2

Sezione trasversale-Zona A-B

In entrambe le zone, le inclusioni seguono prevalentemente la superficie (fig.4-64, 4-65), di conseguenza il pezzo è stato lavorato per deformazione plastica.

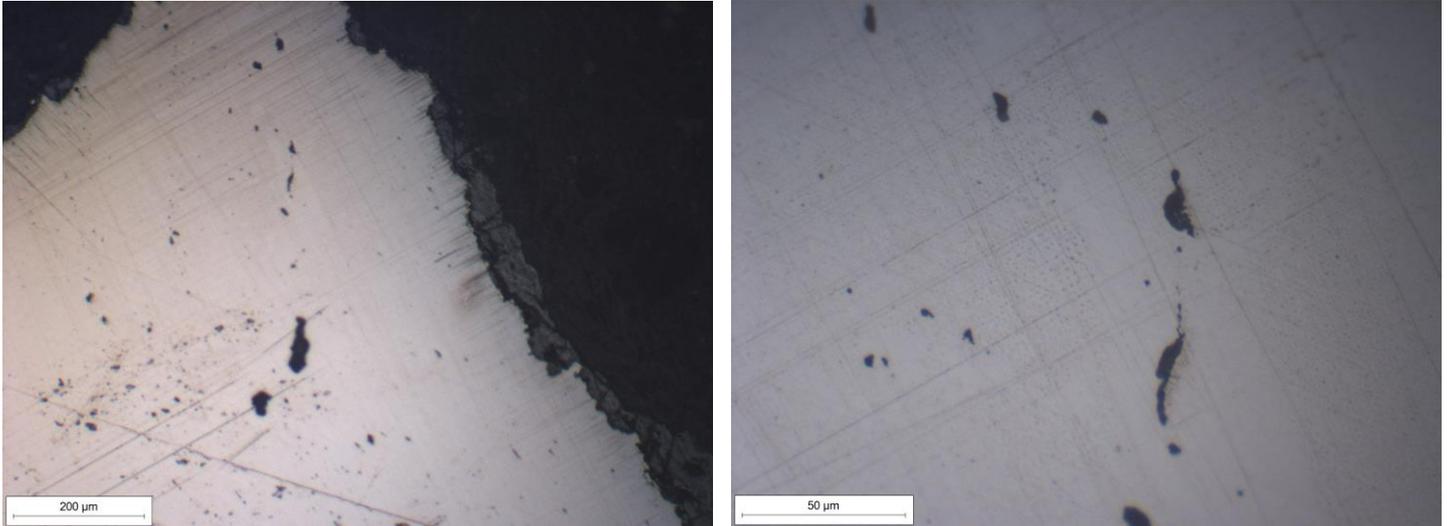


Figura 4-64 Molla dello scatto, sezione trasversale, dettaglio direzione inclusioni zona A

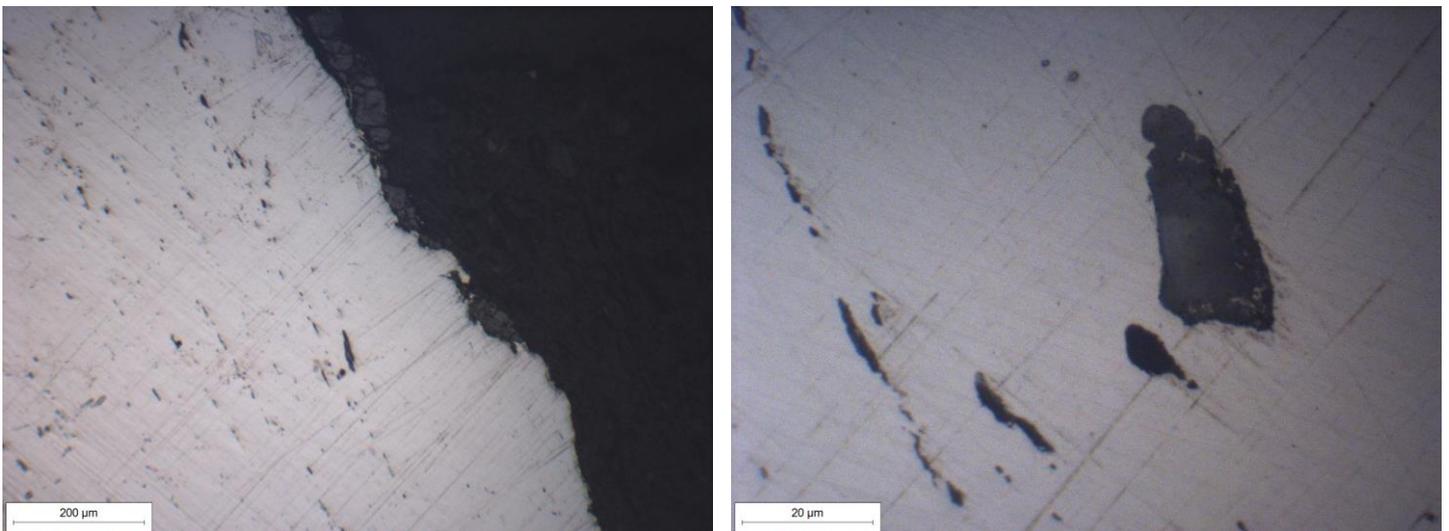


Figura 4-65 Molla dello scatto, sezione trasversale, dettaglio direzione inclusioni zona B

Sezione longitudinale-Zona D

In questa zona, come nella sezione longitudinale, se non di più, si nota come le inclusioni seguono la superficie del campione (fig.4-66).

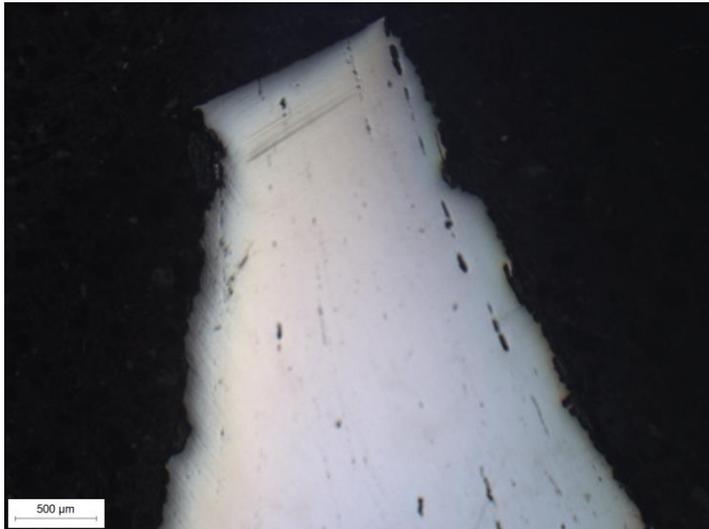


Figura 4-66 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni zona D

Sezione longitudinale-Zona C-E

In queste due zone, diversamente dalle altre, le inclusioni non seguono più la superficie ma bensì sono perpendicolari (fig.4-68, 4-69), facendo pensare ad una probabile saldatura (raffigurata nella zona C, fig.4-67), essendo la zona “ad occhio” della molla.

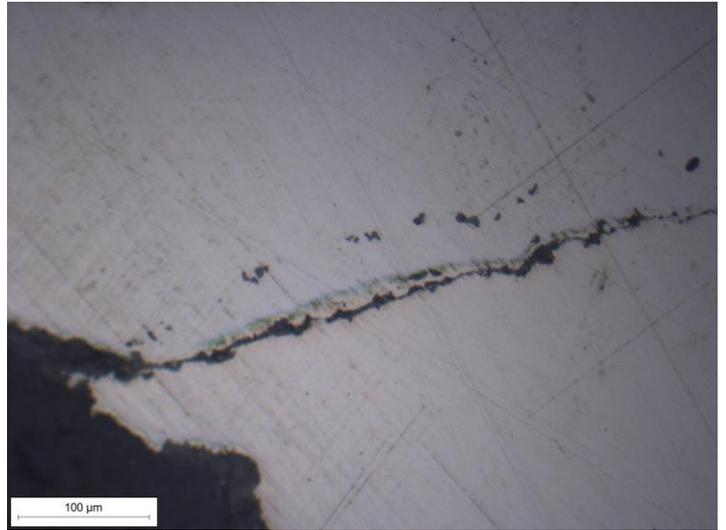
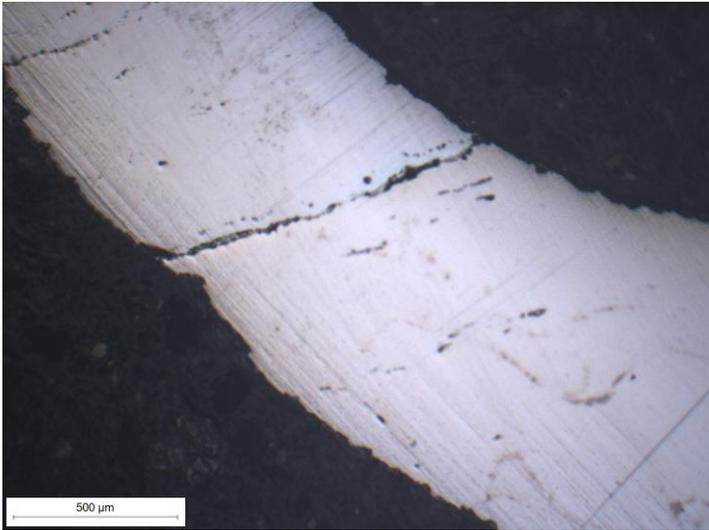


Figura 4-67 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni e probabile zona di saldatura, zona C

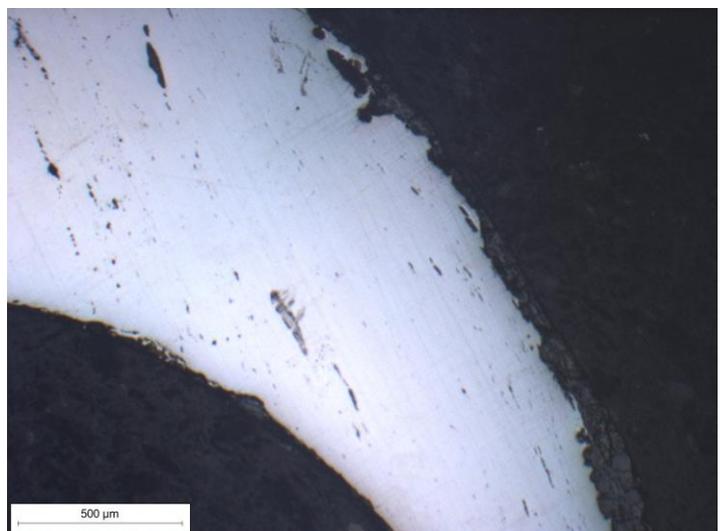
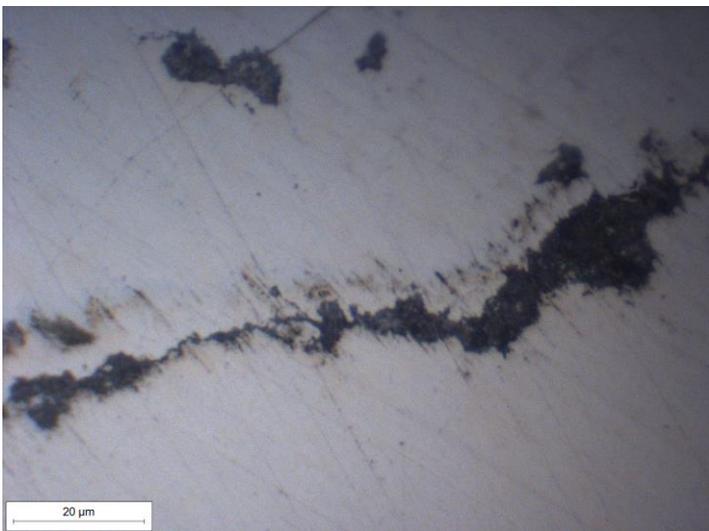


Figura 4-68 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni, a sinistra zona C con probabile zona di saldatura; a destra zona E

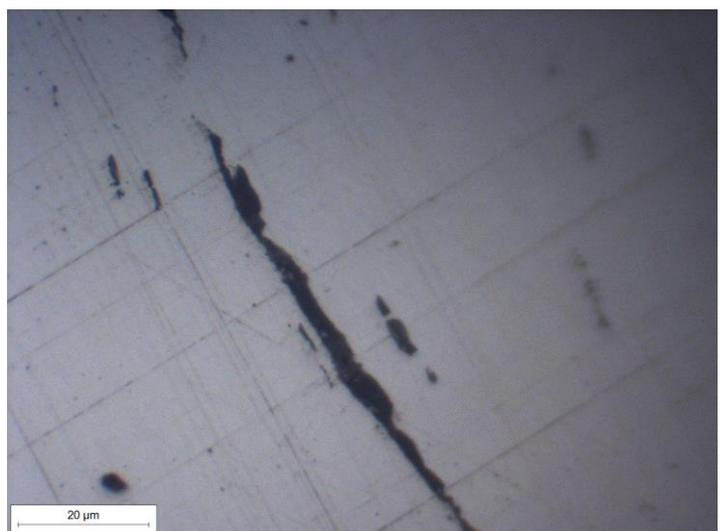
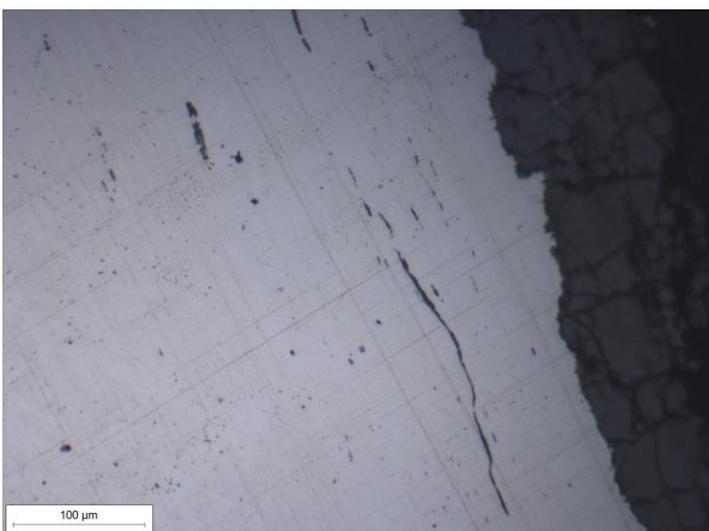


Figura 4-69 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni zona E

Le superfici di entrambe le sezioni, sia longitudinale che trasversale, appaiono

inoltre abbastanza pulite considerata l'epoca, se non per qualche piccola inclusione presente nel campione, segno di una buona lavorazione del pezzo.

4.5.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

Il componente è molto omogeneo, infatti tutta la struttura presenta la stessa composizione. La struttura è costituita da una miscela di ferrite-bainite (fig.4-70, 4-71); sembra inoltre che quella zona descritta come di saldatura non lo sia affatto in quanto la microstruttura prima e dopo quell'inclusione appare identica. Si pensa quindi che questa zona sia una frattura e la parte ad occhio potrebbe essere stata ottenuta per foratura.

Sezione trasversale-Zona A-B

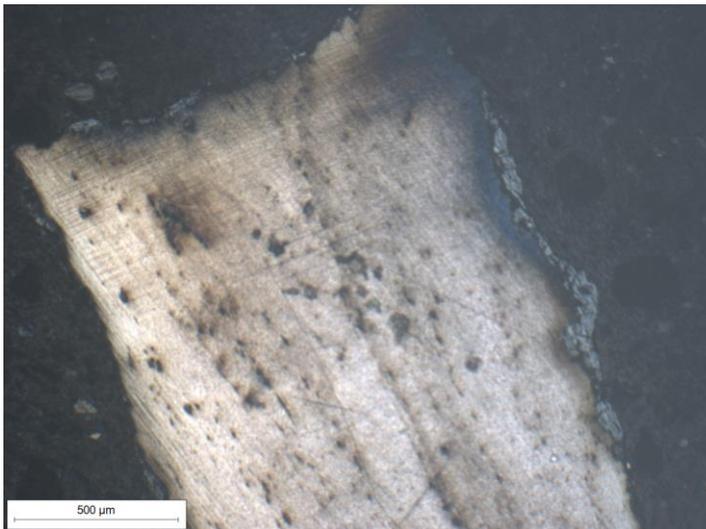
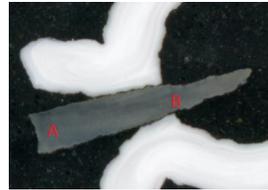


Figura 4-70 Molla dello scatto, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica

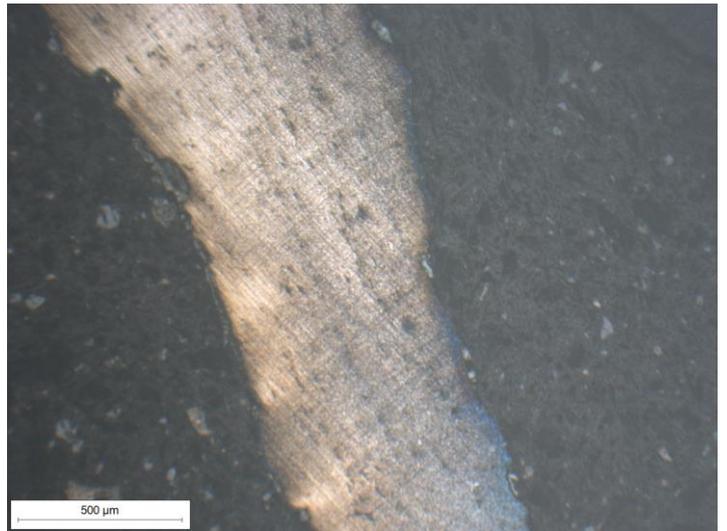
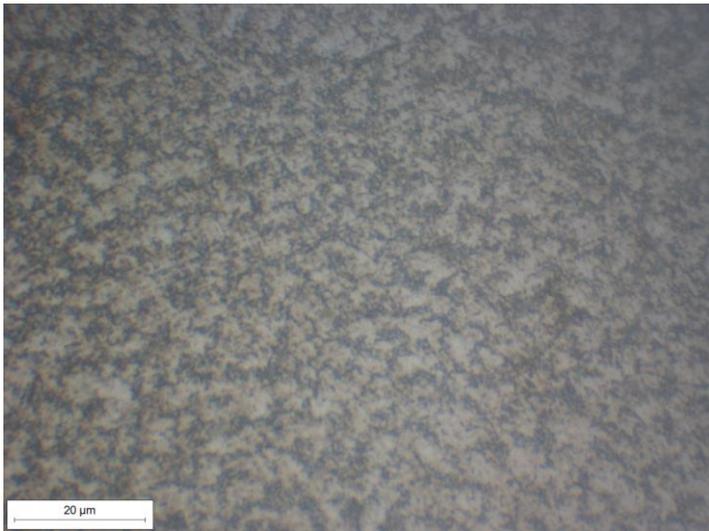


Figura 4-71 Molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica; a destra dettaglio zona B con stessa struttura

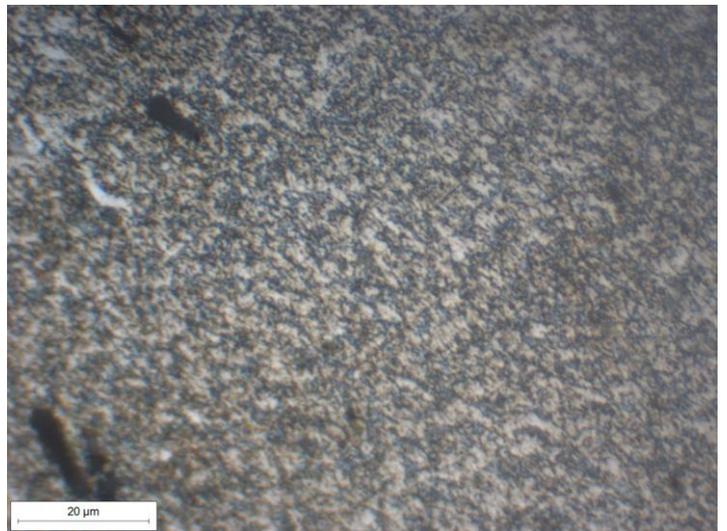
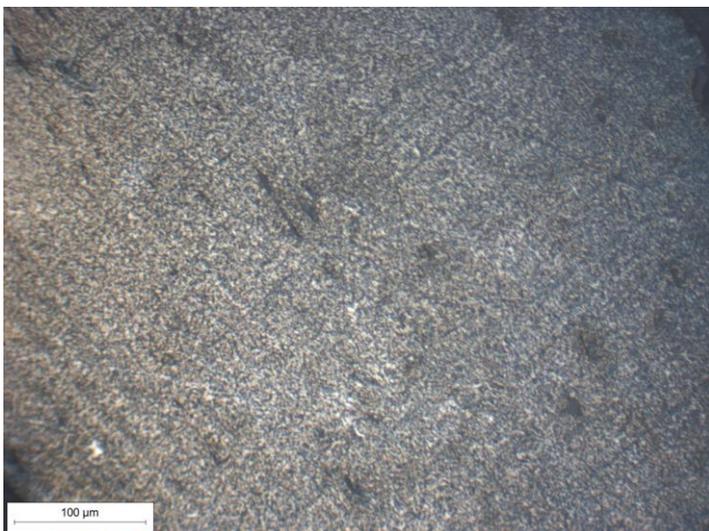
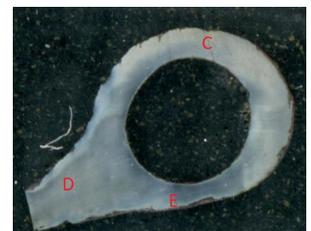


Figura 4-72 Molla dello scatto, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica

Sezione trasversale-Zona C-D-E

Come nella sezione longitudinale, questa sezione ha la stessa struttura (fig.4-75, 4-76). Ci si concentra soprattutto sulla zona C, quella in cui è presente la zona di frattura (fig.4-73, 4-74).



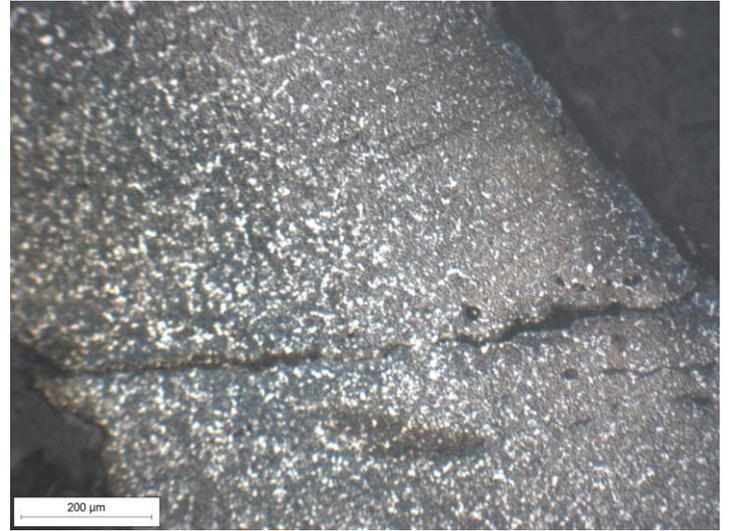
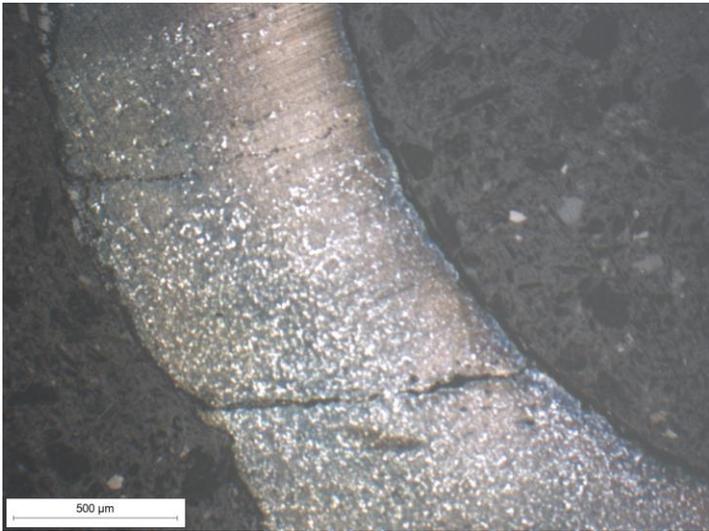


Figura 4-73 Molla dello scatto, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica con dettaglio su frattura

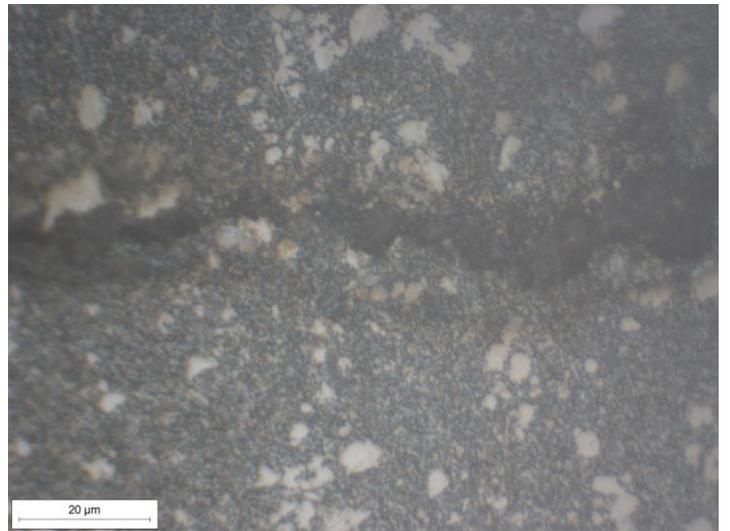
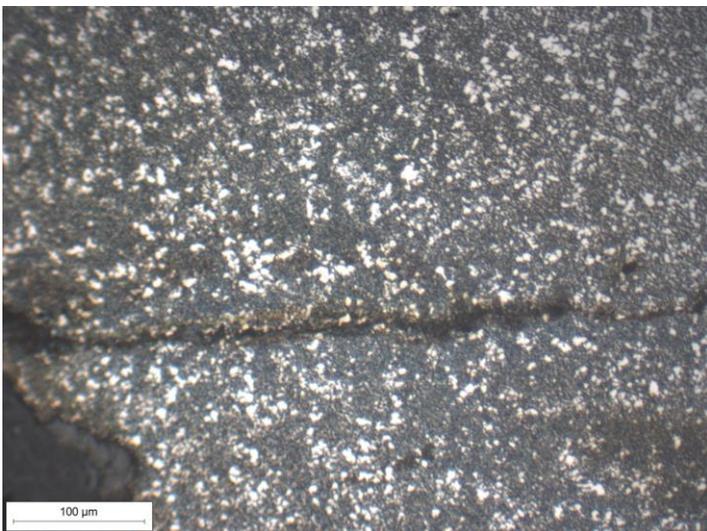


Figura 4-74 Molla dello scatto, dettaglio frattura zona C, struttura bainitica-ferritica

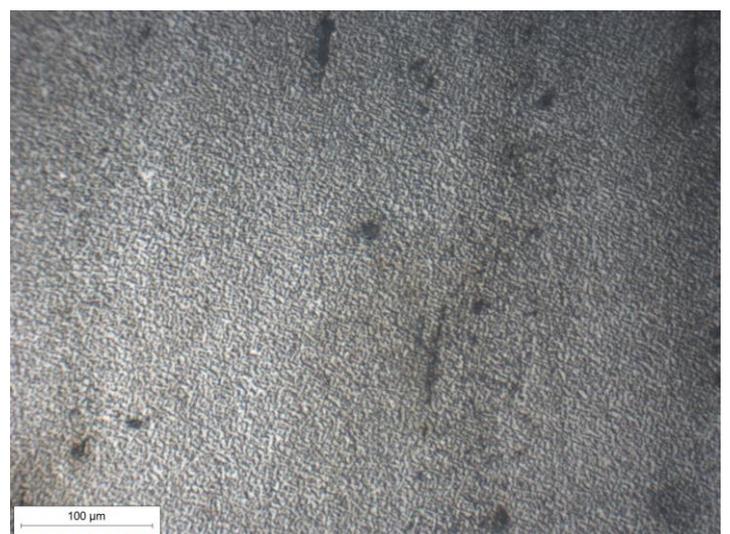


Figura 4-75 Molla dello scatto, dettaglio zona D dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica

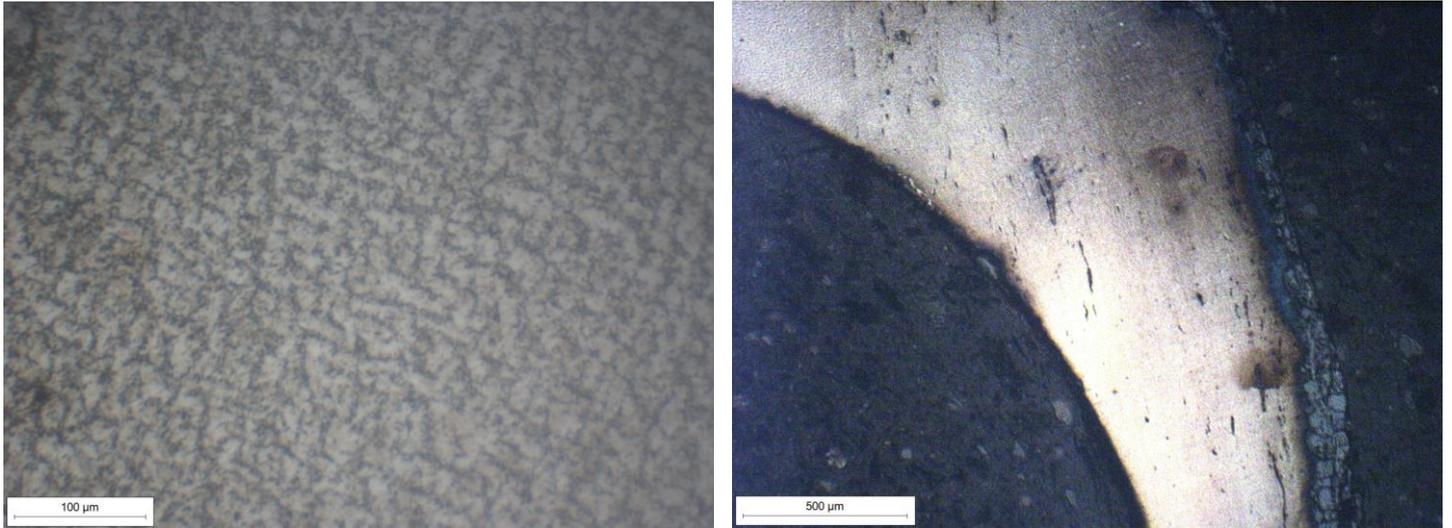


Figura 4-76 Molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona D dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica

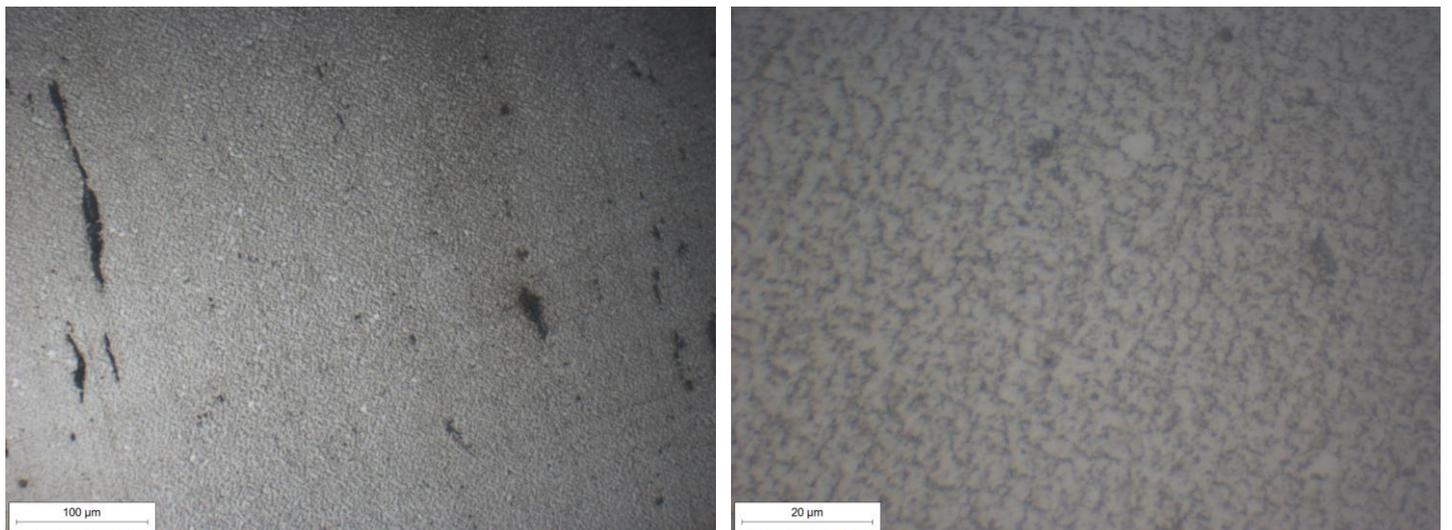


Figura 4-77 Molla dello scatto, dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica

4.5.4 Analisi microdurezze

Avendo struttura omogenea su tutta la superficie si è deciso di non effettuare il calcolo della durezza su particolari zone bensì su punti sparsi del provino.

Di conseguenza sono state effettuate otto misurazioni in vari punti della molla (fig.4-78).

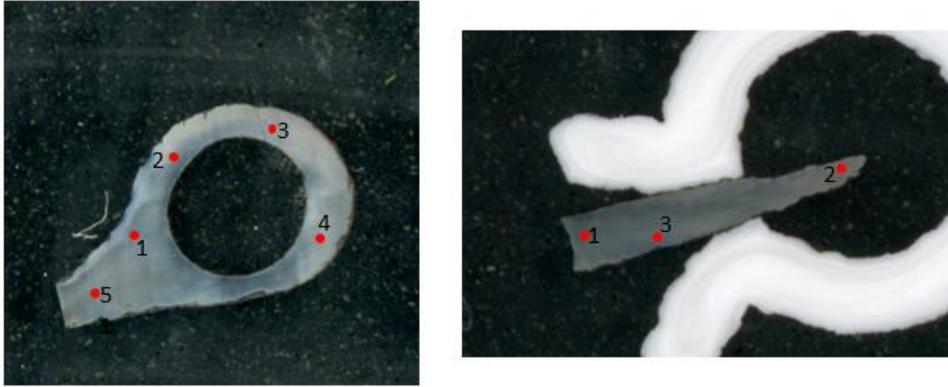


Figura 4-78 Impronte microdurezze molla dello scatto

Dalla tabella (tab.4-8) e dal grafico (graf.4-6) sottostanti possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

Grafico 4-6 Durezza molla dello scatto

Tabella 4-8 Durezza molla dello scatto

DUREZZA HV01	
A	B
275,6	293
293	280,6
289,4	277,2
284,1	
277,2	

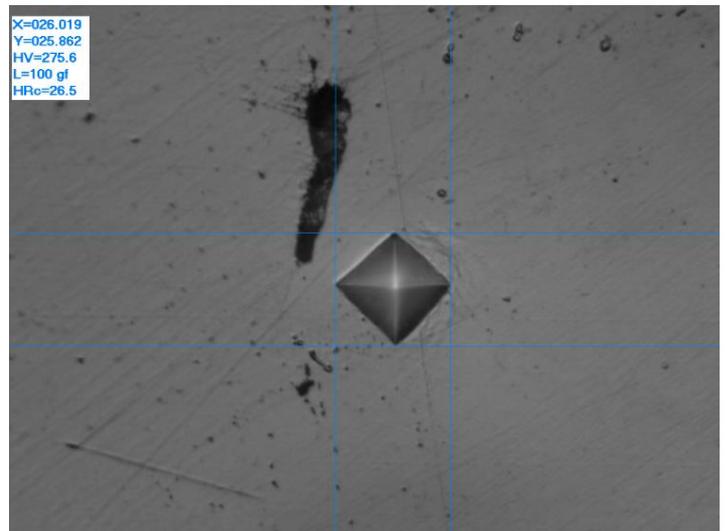
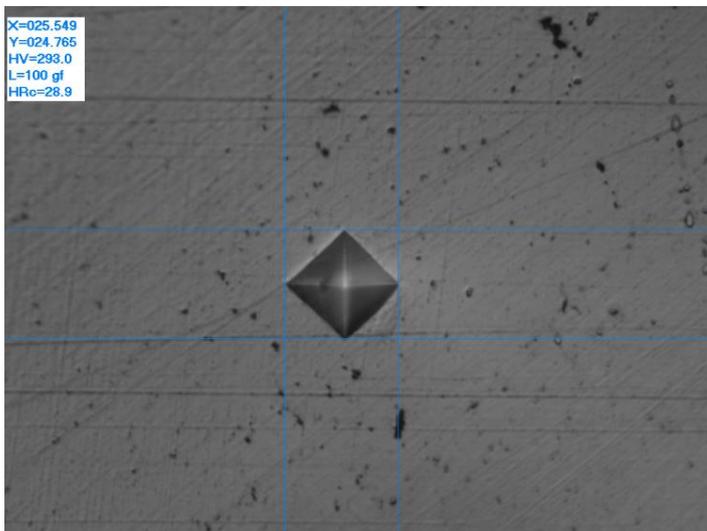
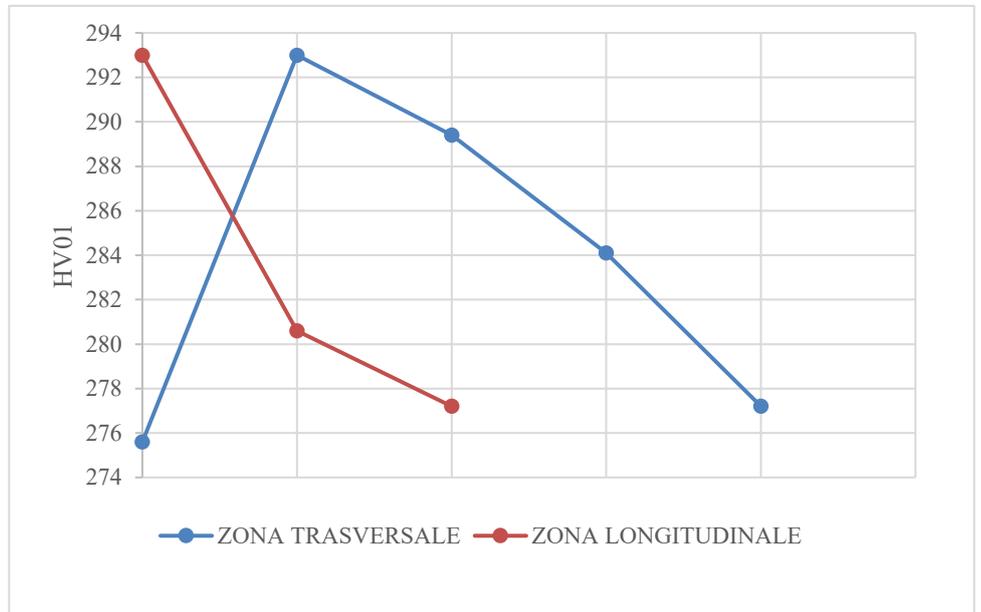


Figura 4-79 Dettaglio impronte microdurezze molla dello scatto su valori di misurazione rispettivamente di zona longitudinale (sinistra) e trasversale (destra)

Essendo la struttura abbastanza omogenea per l'epoca si nota come i valori di durezza siano abbastanza simili, andando tra i 276 ed i 294 HV e quindi coerenti con la struttura (fig.4-79). Inoltre, i valori di durezza sono elevati per i tempi e quindi coerenti ai valori della molla.

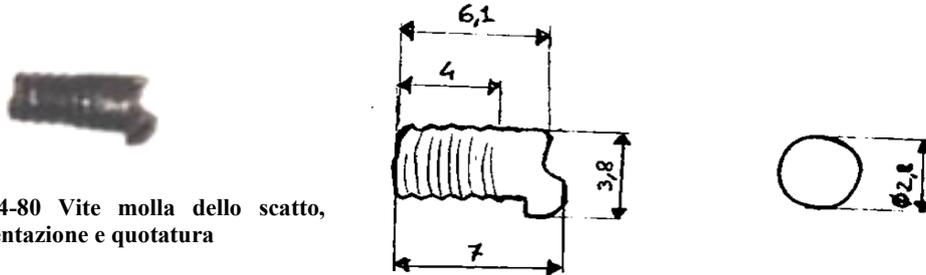
4.5.5 Discussione

Essendo una molla, questa sarà più sollecitata rispetto ad altri componenti. Infatti, la struttura presenta poche inclusioni ed una superficie abbastanza pulita, segno di una buona lavorazione. A seguito dell'analisi al microscopio ottico pre-attacco si nota che nella stragrande maggioranza del campione la direzione delle inclusioni segue il profilo del componente, di conseguenza si presuppone una lavorazione per deformazione plastica; nella zona ad occhiello della molla però (zona C-E), all'opposto, si ha uno stacco diagonale di inclusioni rispetto alla superficie. Si è quindi inizialmente pensato che questo pezzo fosse stato lavorato per deformazione plastica e le inclusioni perpendicolari fossero dovute ad un processo di saldatura. Dopo una dettagliata analisi al microscopio si è notato, dopo attacco metallografico, che la microstruttura della molla non cambiava minimamente, anzi era molto omogenea prima e dopo l'eventuale zona saldata. Si è quindi assunto che questa zona sia probabilmente una zona di frattura. Di conseguenza si assume che il pezzo sia stato lavorato per deformazione plastica e successivamente forato nella zona ad occhiello da un unico blocco d'acciaio. Ha una microstruttura con un tenore di carbonio medio-alto e costituita unicamente da una miscela di ferrite-bainite. Inoltre, a seguito delle analisi di microdurezza, presenta una buona durezza e un'ottima omogeneità della struttura, a conferma delle analisi svolte precedentemente alla durezza.

4.6 Vite molla dello scatto

Elemento utilizzato per fissare la molla dello scatto (fig.4-80).

Figura 4-80 Vite molla dello scatto, rappresentazione e quotatura



4.6.1 Taglio

A causa della sua piccola dimensione non è stato effettuato alcun taglio. Di fatto il pezzo è stato direttamente inglobato, per poi essere lucidato fino ad avvicinarsi alla mezzeria della vite (fig.4-81).



Figura 4-81 Scansione della vite molla dello scatto dopo inglobatura

4.6.2 Analisi microscopio

Il componente presenta poche inclusioni, infatti non è chiarissima la lavorazione, ma si ipotizza una lavorazione di tornitura.

Per semplicità si nomina la vite molla dello scatto con la seguente nomenclatura (fig.4-82):

- Zona A
- Zona B
- Zona C₁
- Zona C₂

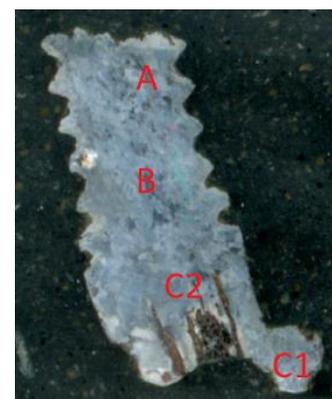


Figura 4-82 Nomenclatura zone vite molla dello scatto

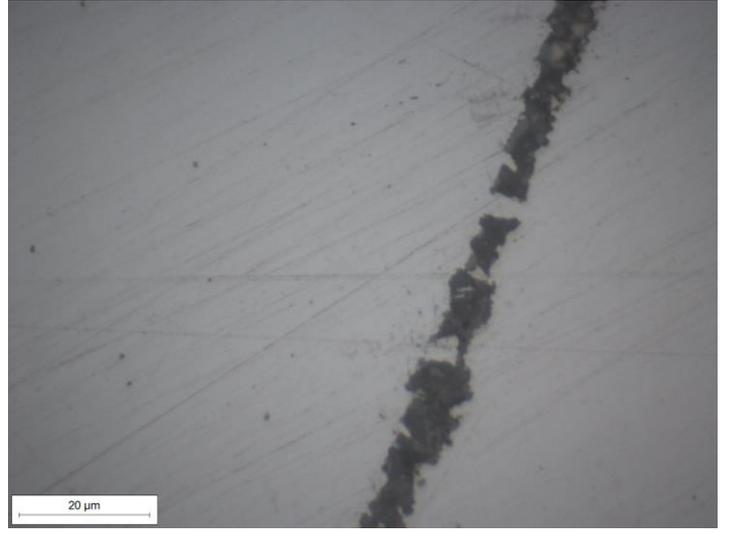
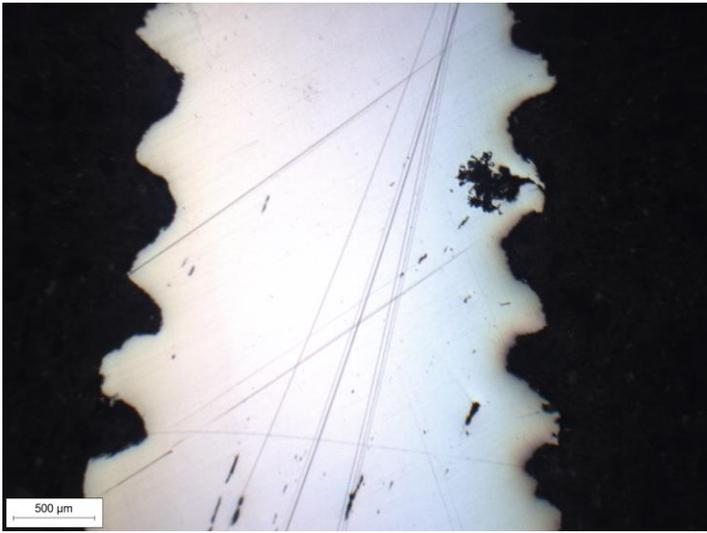


Figura 4-83 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona A-B

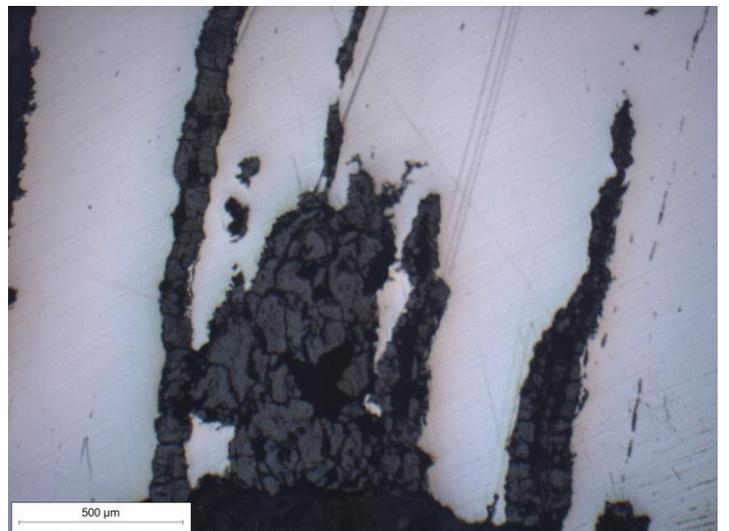
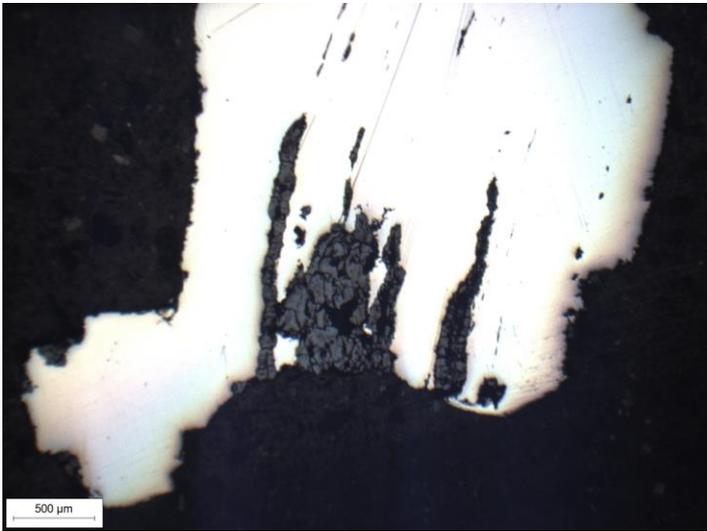


Figura 4-84 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona C

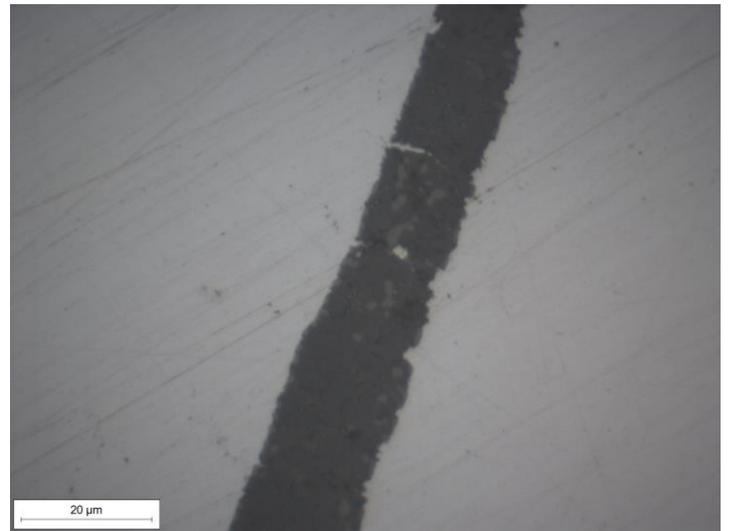
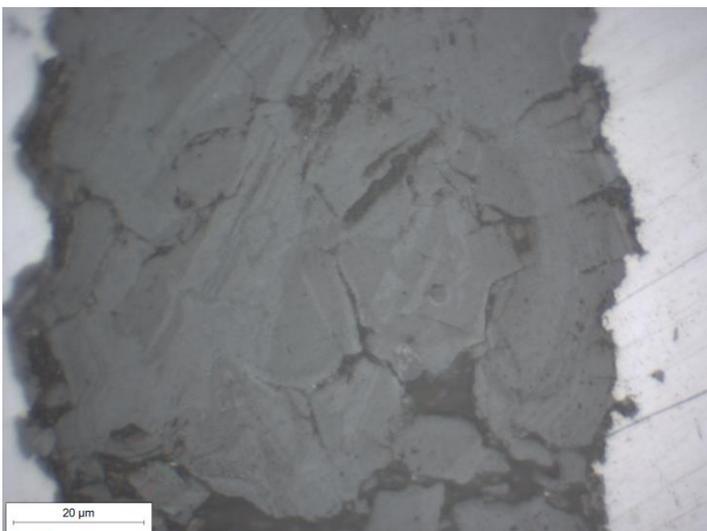


Figura 4-85 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona C

Come si vede quindi dalle immagini soprastanti le inclusioni sono molto rare nella superficie (fig.4-83), fatta eccezione per la parte inferiore (zona C) dove sono concentrate le inclusioni e sono presenti parecchie seconde fasi (fig.4-84, 4-85).

4.6.3 Analisi microscopio dopo attacco metallografico

Il componente è costituito unicamente da ferrite e presenta una struttura molto omogenea (fig.4-86, 87, 88, 89).

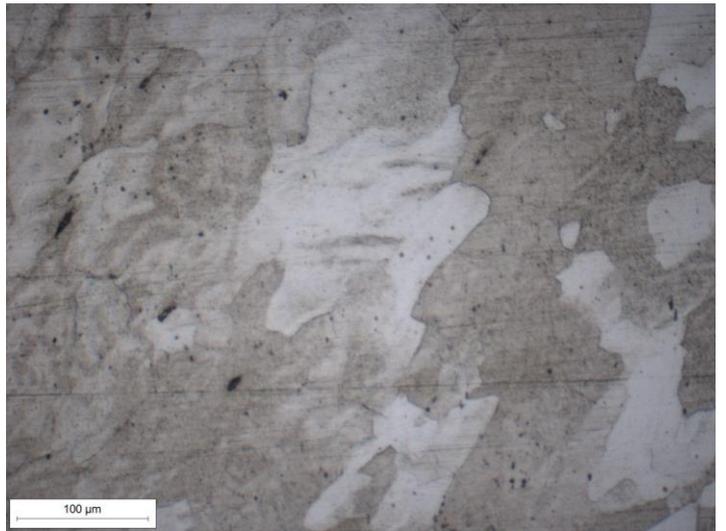
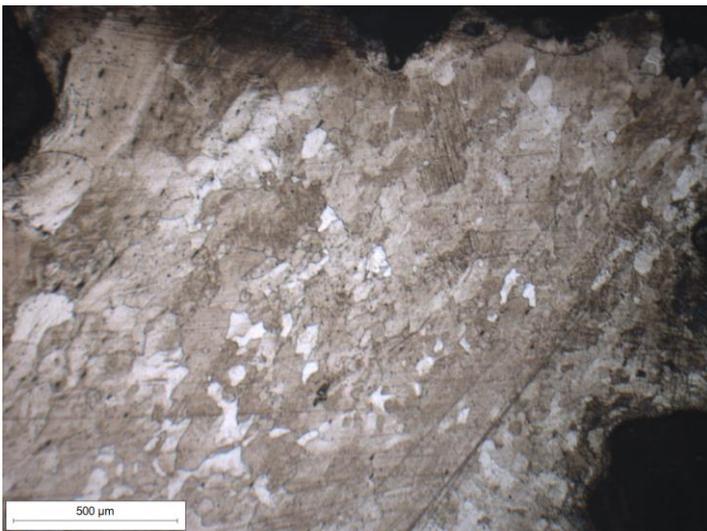


Figura 4-86 Vite molla dello scatto, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica

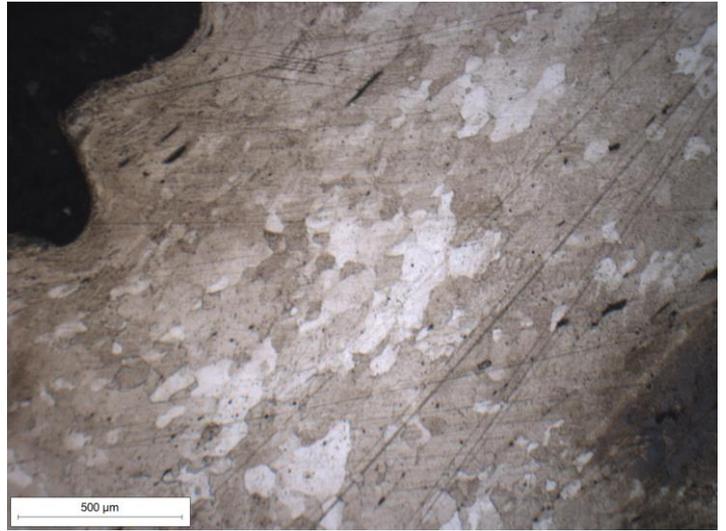
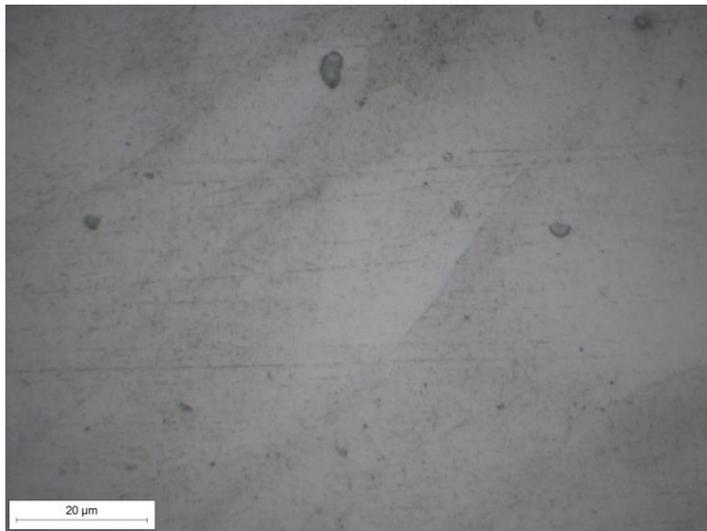


Figura 4-87 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra dettaglio zona B stessa struttura

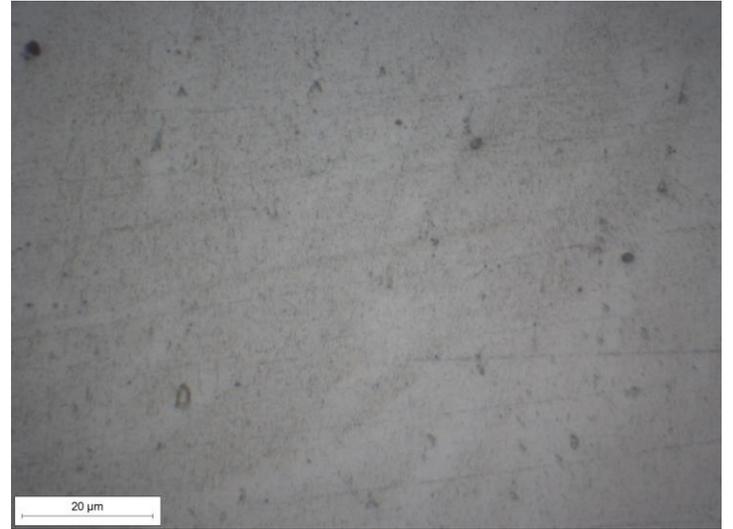
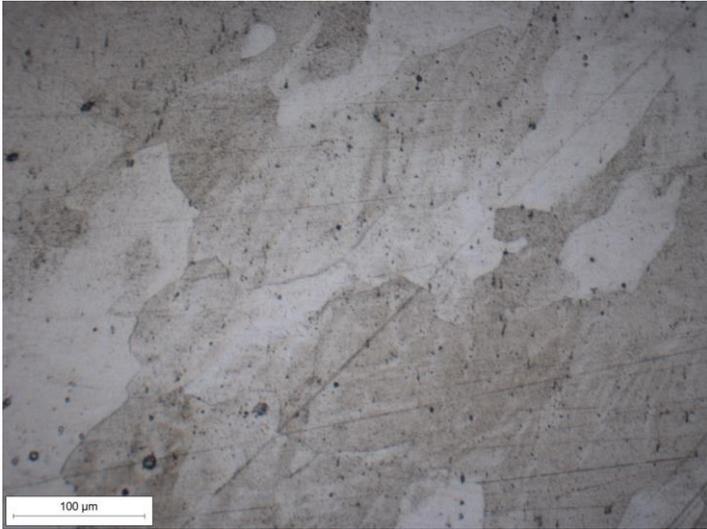


Figura 4-88 Vite molla dello scatto, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura ferritica

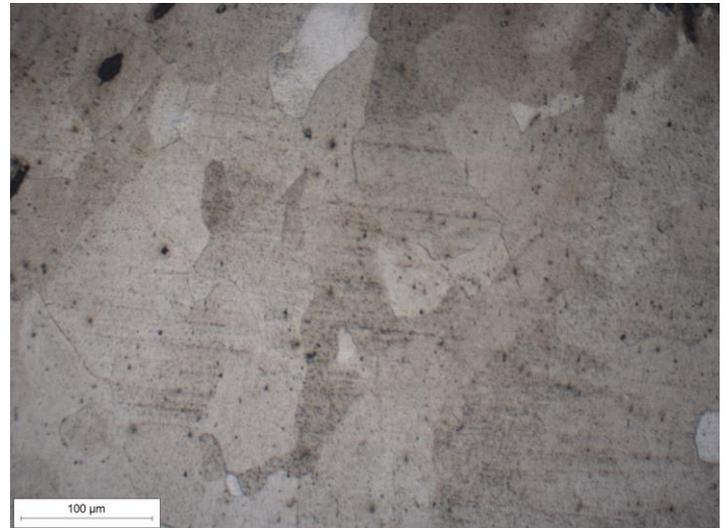


Figura 4-89 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra zona C₁

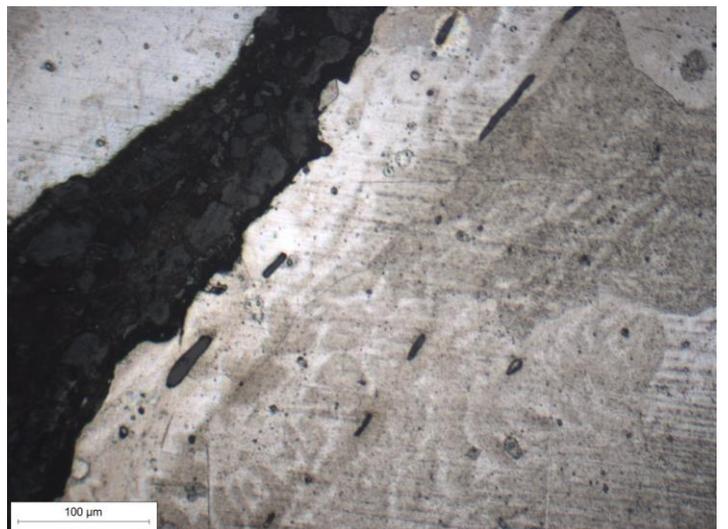
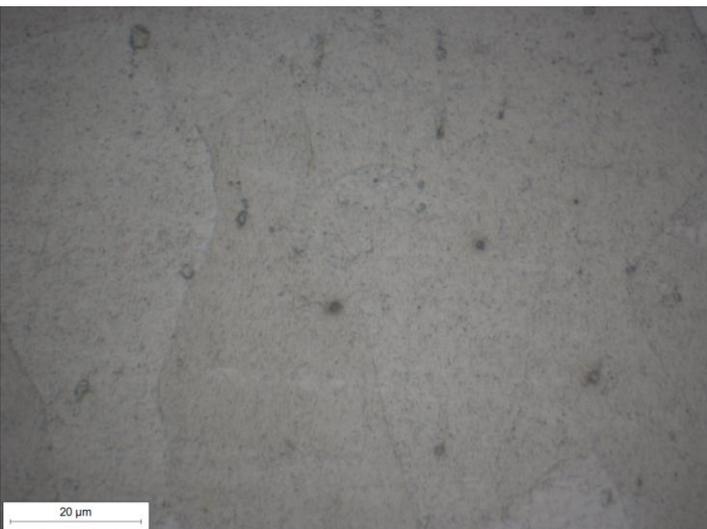


Figura 4-90 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C₁ dopo attacco metallografico; struttura ferritica, a destra zona C₂

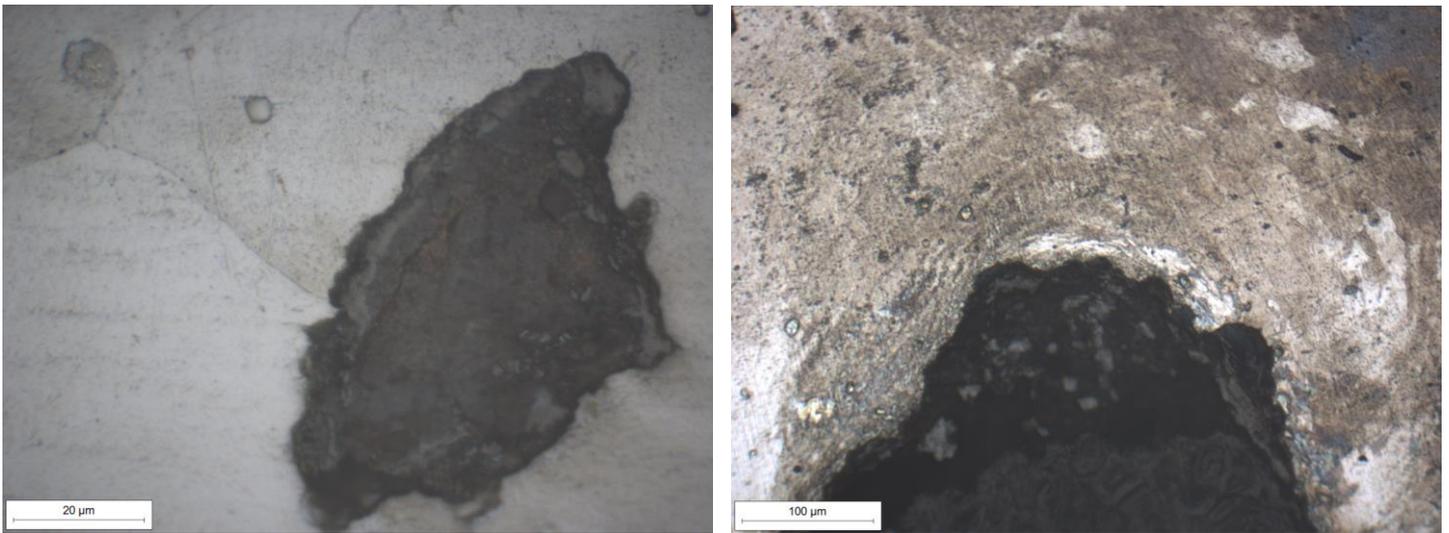


Figura 4-91 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C₁ dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra dettaglio zona filettatura

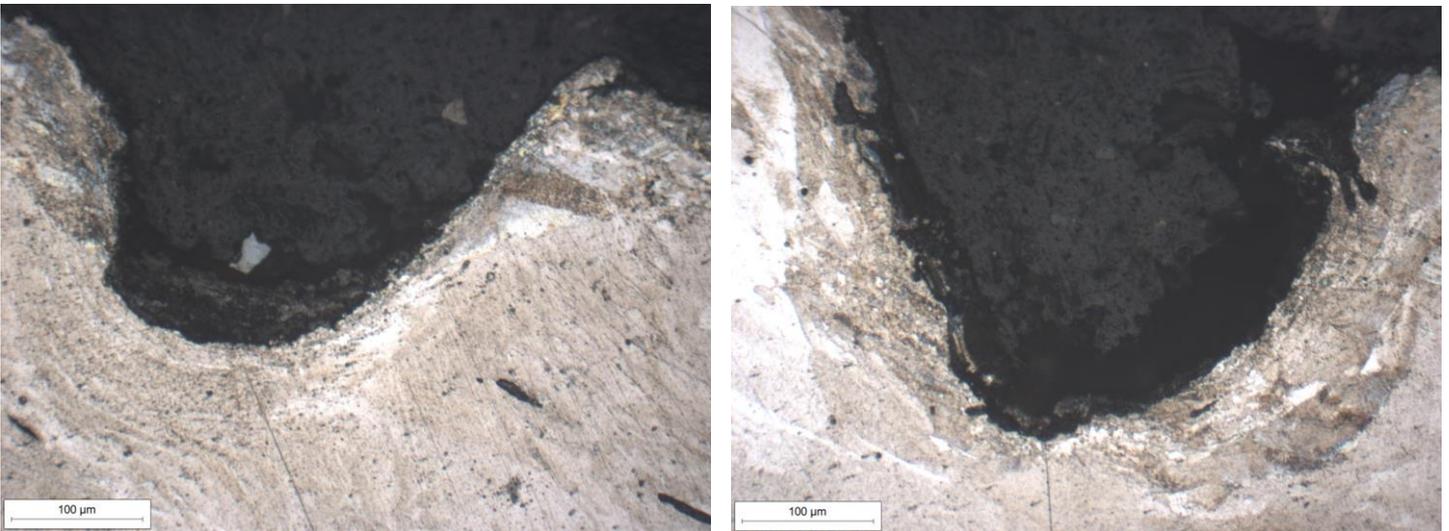


Figura 4-92 Vite molla dello scatto, dettaglio zona filettatura

Come si può vedere dalle figure soprastanti, nella zona filettatura si nota che il componente è stato lavorato per deformazione plastica in quanto la microstruttura segue la superficie del campione; infatti, la struttura si “deforma” al variare della curvatura (fig.4-91, 4-92).

In una zona particolare si notano una sorta di aloni che ci rimandano alle cosiddette zone a fantasma. Queste si formano con la presenza del fosforo, tipico per i componenti antichi. Variando la distanza di messa a fuoco, come si nota dalle immagini sottostanti, si nota che queste zone, anche se meno accentuate, sono presenti nella maggior parte del campione (fig.4-94,95,96,97).

Come il carbonio, il fosforo può modificare il comportamento meccanico del ferro. Anzi, il fosforo può essere dannoso per l'acciaio durante la forgiatura a caldo, causando l'infragilimento del materiale e riducendo la tenacità e la duttilità dell'acciaio. Questo è il motivo per cui, fino ad oggi, quasi tutta la produzione di acciaio riguarda materiali con meno dello 0,02% in massa di fosforo [30]. Al contrario, nel passato molti manufatti contenevano livelli di fosforo molto elevati rispetto ai contemporanei e venivano principalmente prodotti in forni a tino tramite il metodo diretto. La presenza di questi componenti con alto tenore di fosforo può quindi essere involontariamente dettata dalla maggior presenza di minerali ricchi di fosforo e di conseguenza anche dalla mancanza di ferro non fosforico [31].

La formazione di queste zone fantasma è associata al dominio della coesistenza di austenite e ferrite, che appare nel diagramma Fe-P tra lo 0,1-0,7%P e 911-1392°C (fig.4-93). Poiché il fosforo ha una solubilità inferiore nell'austenite rispetto alla ferrite, l'austenite, che si forma lungo i bordi dei grani di ferrite come allotriomorfi e che cresce ulteriormente nei grani di ferrite con una morfologia aghiforme, conterrà meno fosforo rispetto alla ferrite non trasformata. Quando il raffreddamento è sufficientemente rapido, la distribuzione irregolare del fosforo rimarrà invariata a causa della limitata diffusione del fosforo nella ferrite. La struttura fantasma è quindi costituita da ferrite a basso (ex austenite) e ad alto contenuto di fosforo, con un contenuto di fosforo più elevato nei nuclei del grano. Inoltre, se il raffreddamento è sufficientemente lento, i confini tra le zone con alto e basso tenore di fosforo diventano gradualmente anziché nette e possono anche scomparire del tutto in quanto la distribuzione del fosforo è più uniforme e di conseguenza queste zone risultano meno visibili [31, 32].

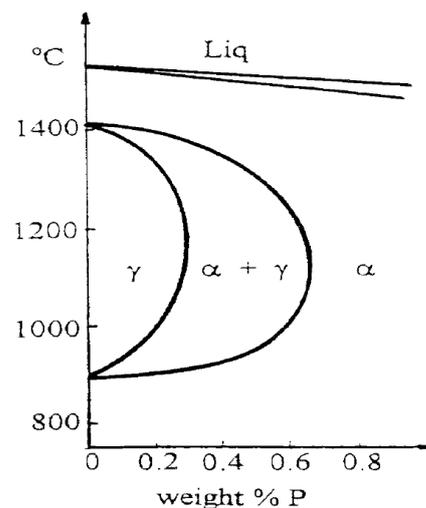


Figura 4-93 Diagramma Fe-P

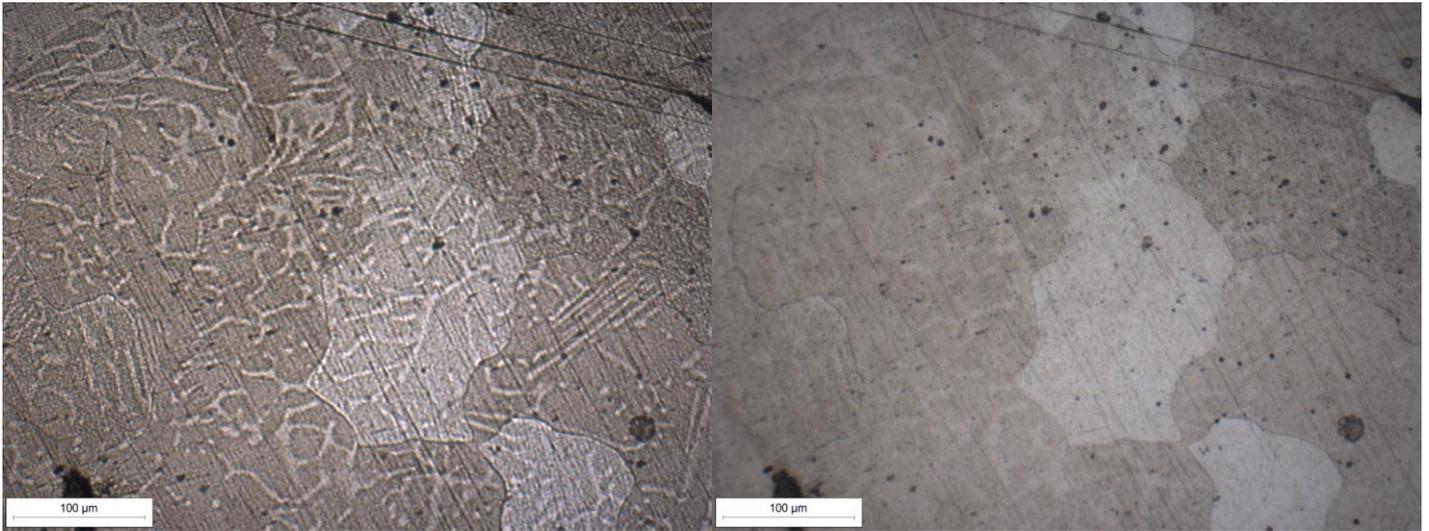


Figura 4-94 Vite molla dello scatto, dettaglio zone fantasma con diversa distanza di messa a fuoco, a sinistra fuori fuoco, a destra a fuoco

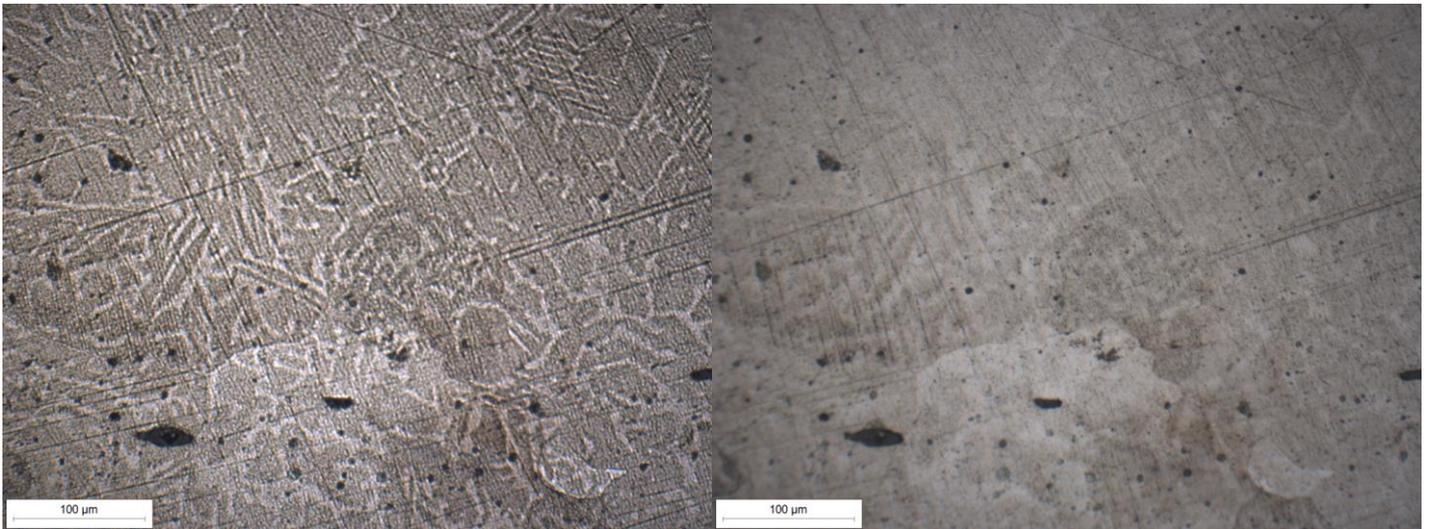


Figura 4-95 Vite molla dello scatto, dettaglio zone fantasma con diversa distanza di messa a fuoco, a sinistra fuori fuoco, a destra a fuoco

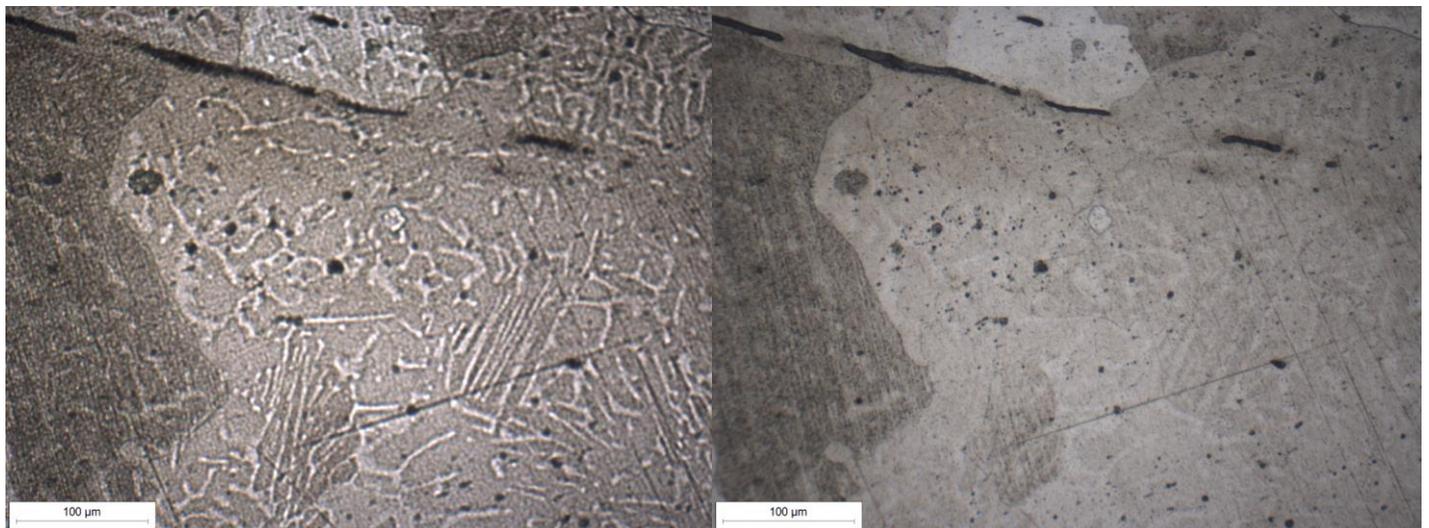


Figura 4-96 Vite molla dello scatto, dettaglio zone fantasma con diversa distanza di messa a fuoco, a sinistra fuori fuoco, a destra a fuoco

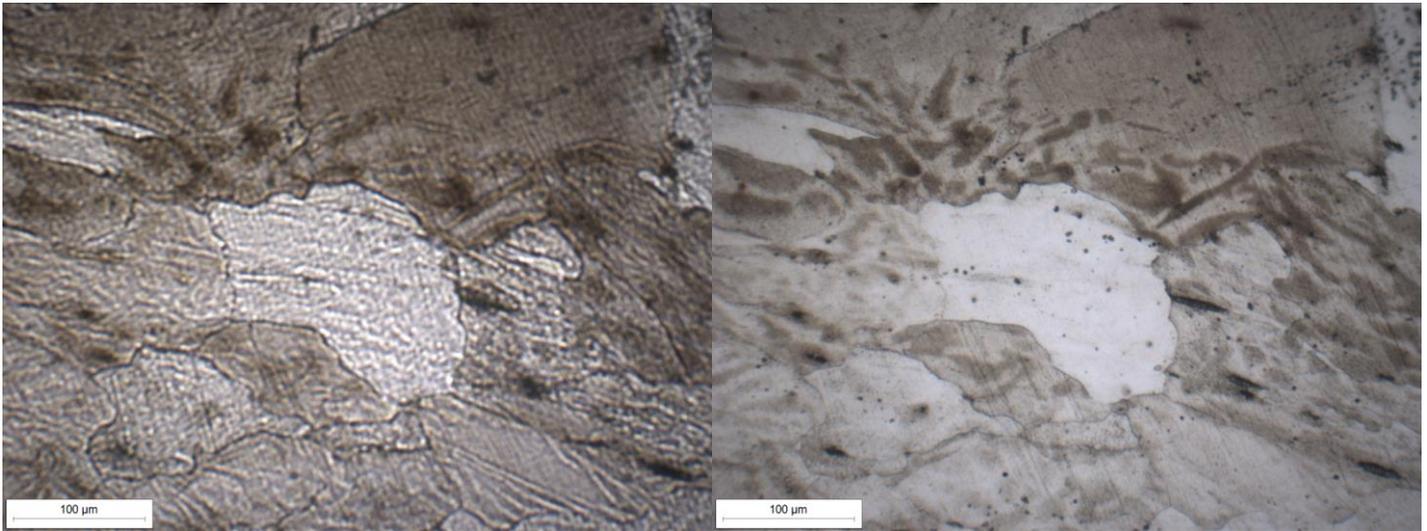


Figura 4-97 Vite molla dello scatto, dettaglio zone fantasma con diversa distanza di messa a fuoco, a sinistra fuori fuoco, a destra a fuoco

4.6.4 Analisi microdurezze

Sono state scelte due zone di interesse, una zona di ferrite con struttura a fantasma, zona A, ed una zona di ferrite con grani grandi, zona B. Di conseguenza sono state effettuate 8 misurazioni, 5 per la zona A e 3 per la zona B, con una distanza di misurazione di 0,15 mm (fig.4-98).



Figura 4-98 Impronte microdurezze vite molla dello scatto

Dalla tabella (tab.4-9) e dal grafico (graf.4-7) sottostanti possiamo conoscere la distribuzione di durezza nella superficie del provino.

SPOSTAMENTO [mm]	DUREZZA HV01	
	A	B
0	169,5	159,6
0,15	167,9	164,8
0,3	180,5	171,2
0,45	174,5	
0,6	183,2	

Tabella 4-9 Durezza vite molla dello scatto

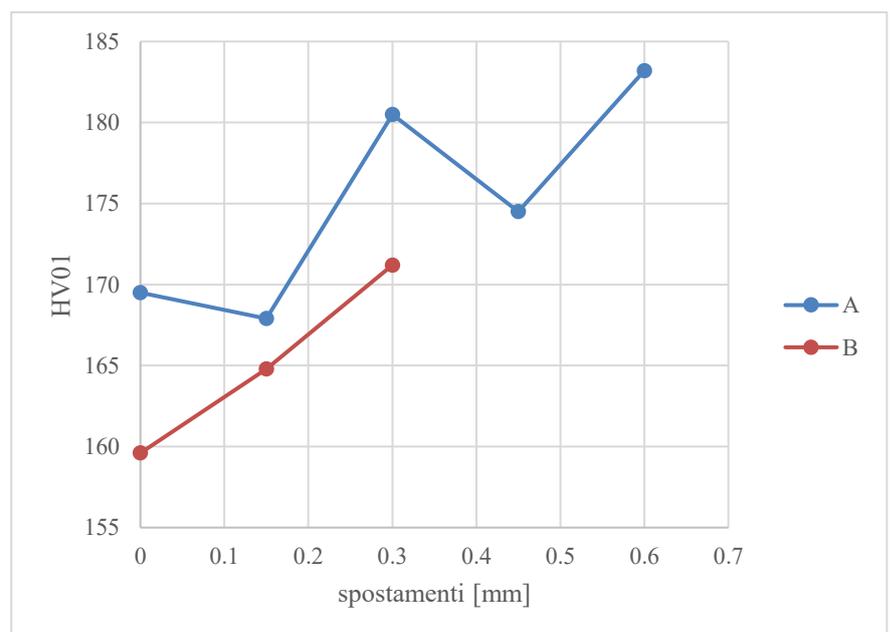


Grafico 4-7 Durezza vite molla dello scatto

Come si può notare dal grafico il pezzo è caratterizzato da una bassa durezza e con una struttura abbastanza omogenea dovuta alla struttura unicamente ferritica (fig.4-99, 4-100), come si è visto dalle inclusioni nel paragrafo di analisi al microscopio.

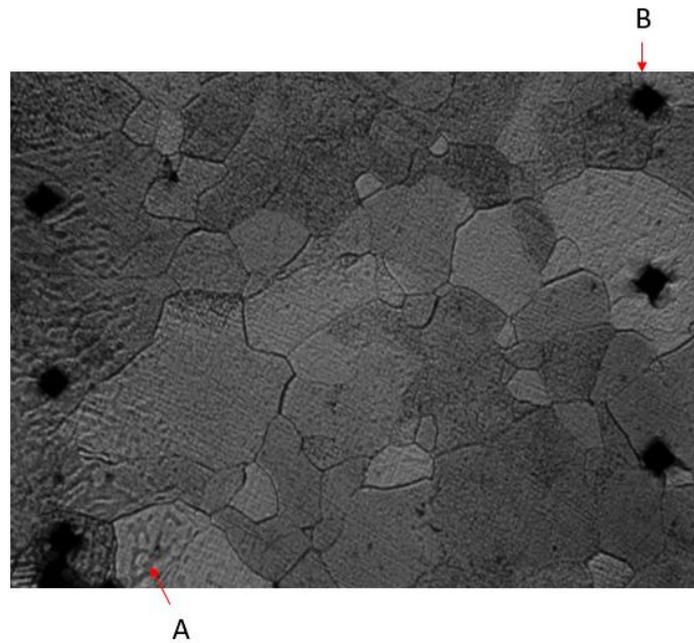


Figura 4-99 Vite molla del cane, zona fantasma a confronto, zona A e B

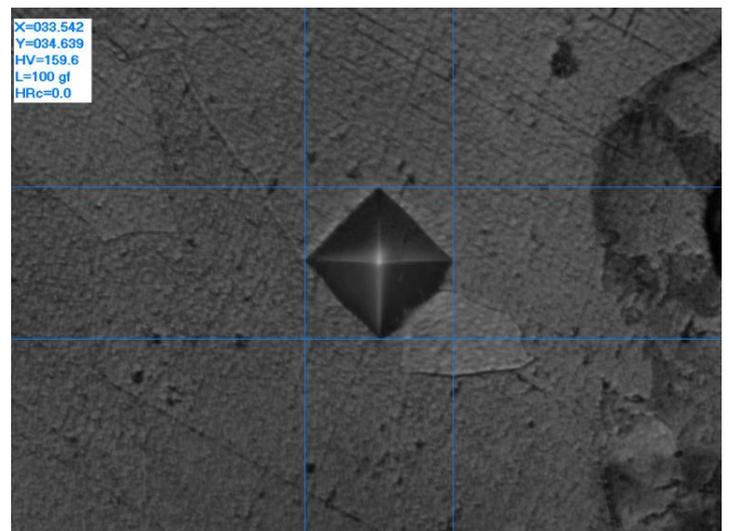
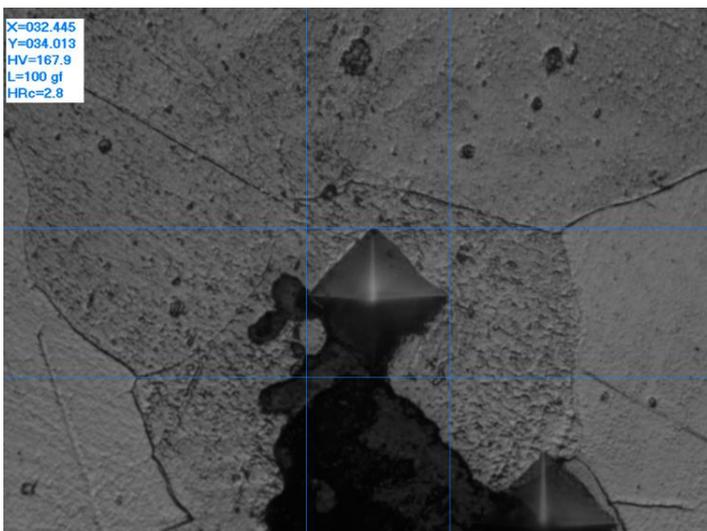


Figura 4-100 Dettaglio impronte microdurezza vite molla dello scatto

4.6.5 Discussione

La vite, essendo un componente non soggetto ad alti stress meccanici e svolgendo un ruolo unicamente di fissaggio, è un pezzo costituito unicamente da ferrite con basso tenore di carbonio ed una bassa durezza ma omogenea su tutta la struttura come confermato dalle analisi al microscopio e dal microdurometro. Sorprendentemente, ad eccezione della piccola zona centrale a fondo filettatura, la superficie appare molto pulita, tantoché risulta difficile capire la lavorazione della vite con una prima analisi al microscopio ottico pre-attacco. Dopo l'attacco si nota però che la zona filettata presenta una disposizione del grano che segue la filettatura e si ipotizza quindi che il pezzo sia stato lavorato per deformazione plastica e probabilmente sia stato successivamente tornito. Importante è sottolineare la presenza di rilievi osservabili variando la distanza di messa a fuoco che si estendono su tutta la superficie che ci rimandano alle cosiddette zone a fantasma (si veda pag.107 per maggiori approfondimenti), delle zone con maggiore presenza fosforo, tipico dei componenti antichi, ma che non si era riscontrata in nessuna osservazione al microscopio fatta finora. Questo ci può far riflettere sul fatto che magari questa vite sia stata utilizzata come oggetto di riparazione e probabilmente provenga da zone al di fuori del territorio bresciano o per lo meno da un altro processo produttivo. Inizialmente si pensava che queste zone fossero localizzate, invece, dopo una dettagliata osservazione, grazie all'uso del contrasto e del fuoco nel microscopio, si è visto come quest'effetto è presente su tutto il campione.

CONCLUSIONI

Lo studio di questo acciarino alla moderna gentilmente concesso dalla Fondazione Brescia musei ci ha permesso di analizzare e studiare un'antica arma del Settecento e di ricostruire un piccolo pezzo di storia dell'epoca delle armi e tutto ciò che lo circonda.

Riguardo l'ambito archeologico-metallurgico delle armi da fuoco, non ci sono molte informazioni reperibili, nonostante siano molto ricercate e riscontrino grande successo nel panorama mondiale. Il problema non è tanto nelle informazioni sull'evoluzione delle armi o sul loro funzionamento nelle varie epoche storiche che ha attraversato l'uomo, bensì di come sono state realizzate e quindi del loro processo produttivo: a partire dalla loro composizione fino al loro processo di lavorazione, tecniche che magari i maestri armaioli tramandavano oralmente ai loro allievi; diversamente dalle armi bianche, le quali attività di studio e ricerca sono di gran lunga maggiori. Sulla base di questo l'obiettivo è proprio il fornire più dati e informazioni utili nell'ambito di questi tipi di acciarini, provando a contribuire alla ricerca su questo importante ambito.

Focalizzandoci sull'acciarino in questione tutti i componenti analizzati rispettano in linea generale le caratteristiche tipiche. Basti pensare al vitone del cane, al dado, al piattello del cane e alla vite molla dello scatto che sono elementi per lo più di fissaggio/serraggio e che quindi vengono realizzati considerandoli come componenti meno rilevanti e quindi con prodotti e lavorazioni magari più economiche, presentando una struttura grossomodo simile, prevalentemente ferrite (con basso tenore di carbonio e senza trattamenti termici volontari), anche se ovviamente ogni pezzo presenta zone localizzate con diversa composizione. Completamente opposti sono la molla del cane e la molla dello scatto che, pur presentando microstrutture diverse, vista la loro funzione elastica ma anche la necessità di avere una buona resistenza meccanica, hanno un alto tenore di

carbonio ed una lavorazione maggiore che li rendono componenti più pregiati. Particolare è stata la presenza nella vite molla dello scatto di vistose zone a fantasma, ovvero delle particolari zone con ricca presenza di fosforo che presentano aloni visibili dall'osservazione al microscopio ottico dopo attacco. Queste zone, sebbene siano state riscontrate solamente su questa vite, sono tipiche di alcuni acciai antichi.

Possibile step successivo per il continuo dell'analisi di questi componenti è l'osservazione al microscopio elettronico (analisi SEM), in modo da analizzare ulteriormente la struttura, accertarsi sulla composizione dei campioni e magari scoprire qualcos'altro sulla lavorazione del componente analizzato. Altro step è quello di procedere all'analisi dei restanti pezzi dell'acciarino.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1 Polvere da sparo.....	2
Figura 1-2 Schioppettiere dà fuoco alla miccia del suo schioppo	2
Figura 1-3 Schioppettiere a cavallo	3
Figura 1-4 Rudimentale meccanismo di accensione a miccia azionato da una leva con richiamo a molla [3]	3
Figura 1-5 Meccanismo di accensione a miccia..	3
Figura 1-6 Funzionamento meccanismo a miccia	4
Figura 1-7 Pistola a ruota.....	4
Figura 1-8 Funzionamento meccanismo a ruota.....	5
Figura 1-9 Funzionamento meccanismo ad acciarino..	5
Figura 1-10 Pistola a pietra focaia alla moderna del XVIII secolo..	6
Figura 1-11 Pistola a Snaphaunce.....	7
Figura 1-12 Pistola a Micheletto.....	7
Figura 1-13 Marin le Bourgeois.....	8
Figura 1-14 Acciarino alla moderna [3]	8
Figura 1-15 Componenti acciarino alla moderna	9
Figura 1-16 Caricamento di un meccanismo ad acciarino francese	11
Figura 1-17 Funzionamento meccanismo ad acciarino francese	12
Figura 1-18 Riproduzione d'epoca di una carta fisica della Val Trompia	13
Figura 2-1 Ferro	16
Figura 2-2 Ematite	18
Figura 2-3 Magnetite	18
Figura 2-4 Limonite	19
Figura 2-5 Goethite.....	20
Figura 2-6 Siderite	20
Figura 2-7 Fucina antica	23
Figura 2-8 Fornace a tazza.....	24

Figura 2-9 Fornace a fossa [20]	25
Figura 2-10 Forno a tino	26
Figura 2-11 Forno catalano con sistema a tronco	27
Figura 2-12 Processo di fusione.....	29
Figura 2-13 Rilievo della facciata, forno alla bresciana [22]	32
Figura 2-14 Assonometria della costruzione in cui è visibile, nello spaccato, la struttura e la collocazione del canecchio nel quale veniva fuso il minerale di ferro.	32
Figura 2-15 Stückofen	34
Figura 2-16 Antica fucina	35
Figura 2-17 Ciclo di produzione (indiretto) acciaio [25]	36
Figura 2-18 Raffigurazione e utilizzo cesello.....	37
Figura 2-19 Raffigurazione bulino	37
Figura 3-1 Acciarino alla moderna fronte.....	39
Figura 3-2 Acciarino alla moderna retro.....	40
Figura 3-3 Meccanismo a micheletto.....	40
Figura 3-4 Meccanismo snaphaunce.....	40
Figura 3-5 Meccanismo alla moderna	41
Figura 3-6 Disegno complessivo acciarino.....	42
Figura 3-7 Processo di taglio	43
Figura 3-8 Esempi di provini inglobati.....	44
Figura 3-9 Macchina per lucidatura.....	44
Figura 3-10 Lavorazione di lucidatura su carta abrasiva.....	45
Figura 3-11 Lavorazione di lucidatura su panno	46
Figura 3-12 Pre attacco e post attacco	48
Figura 3-13 Microdurometro Vickers.....	48
Figura 3-14 Quantometro.....	50
Figura 3-15 Provini post analisi.....	50
Figura 4-1 Acciarino alla moderna	51
Figura 4-2 Molla del cane, rappresentazione e quotatura.....	52
Figura 4-3 Scansione delle sezioni della molla del cane dopo inglobatura. MC-1 (a sinistra) e MC-2 (a destra)	52

Figura 4-4 Molla del cane sezionata	53
Figura 4-5 Nomenclatura zone molla del cane	53
Figura 4-6 Molla del cane, a sinistra dettaglio direzione inclusioni sezione trasversale; a destra dettaglio zona A sezione trasversale	54
Figura 4-7 Molla del cane, dettaglio zona B sezione trasversale.....	54
Figura 4-8 Molla del cane, a sinistra dettaglio direzione inclusioni sezione longitudinale; a destra dettaglio zona E sezione longitudinale.....	55
Figura 4-9 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona C sezione longitudinale; a destra dettaglio zona D sezione longitudinale	55
Figura 4-10 Molla del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite	56
Figura 4-11 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona B	57
Figura 4-12 Molla del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite	57
Figura 4-13 Molla del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite	58
Figura 4-14 Molla del cane, dettaglio zona D dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite	59
Figura 4-15 Molla del cane, a sinistra dettaglio zona D dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona E dove si estende in grossa parte la presunta segregazione chimica.....	59
Figura 4-16 Molla del cane, dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica con rare isole di ferrite	59
Figura 4-17 Impronte microdurezze molla del cane.....	60
Figura 4-18 Dettaglio impronte microdurezze molla del cane su massimo e minimo valore di misurazione	61
Figura 4-19 Molla del cane dopo analisi chimica.....	62
Figura 4-20 Vitone del cane, rappresentazione con quotatura.....	66
Figura 4-21 Vitone del cane sezionato	66
Figura 4-22 Scansione delle sezioni del vitone del cane dopo inglobatura. VC-1 (in basso) e VC-2 (in alto)	67

Figura 4-23 Nomenclatura zone vitone del cane	67
Figura 4-24 Vitone del cane, sezione trasversale	68
Figura 4-25 Vitone del cane, sezione longitudinale, a sinistra dettaglio zona A; a destra dettaglio parte centrale della sezione longitudinale	68
Figura 4-26 Vitone del cane, dettaglio sezione trasversale, struttura ferritica con prevalenza di grani grandi.....	69
Figura 4-27 Vitone del cane, dettaglio sezione trasversale, struttura ferritica con prevalenza di grani grandi.....	69
Figura 4-28 Vitone del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi	70
Figura 4-29 Vitone del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi; a destra dettaglio zona B dopo attacco metallografico con struttura ferritica a grani piccoli e isole di bainite.....	70
Figura 4-30 Vitone del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico con struttura ferritica a grani piccoli e isole di bainite	71
Figura 4-31 Vitone del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico con struttura prevalentemente bainitica e presenza di ferrite all'esterno	71
Figura 4-32 Vitone del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico con struttura prevalentemente bainitica	72
Figura 4-33 Impronte microdurezze vitone del cane	72
Figura 4-34 Dettaglio impronte microdurezze vitone del cane su massimo e minimo valore di misurazione	73
Figura 4-35 Dado, rappresentazione con quotatura	75
Figura 4-36 Scansione del dado dopo inglobatura.	75
Figura 4-37 Dado, dettaglio inclusioni	76
Figura 4-38 Nomenclatura zone dado.....	76
Figura 4-39 Dado, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica	77
Figura 4-40 Dado, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona B dopo attacco, struttura anche qui ferritica	77
Figura 4-41 Dettaglio zona B dopo attacco, struttura ferritica; a destra isole tendenti al giallo dovute a probabile ricottura	77

Figura 4-42 Impronte microdurezze dado	78
Figura 4-43 Dettaglio impronte microdurezze dado.....	79
Figura 4-44 Piattello del cane, rappresentazione e quotatura	80
Figura 4-45 Piattello del cane sezionato	80
Figura 4-46 Scansione della sezione del piattello del cane dopo inglobatura	81
Figura 4-47 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona sinistra	81
Figura 4-48 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona centrale	82
Figura 4-49 Piattello del cane, dettaglio direzione inclusioni zona destra	82
Figura 4-50 Nomenclatura zone piattello del cane	82
Figura 4-51 Piattello del cane, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi	83
Figura 4-52 Piattello del cane, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani grandi; a destra dettaglio zona B dopo attacco, con struttura ferritica con grani piccoli e isole di bainite	83
Figura 4-53 Piattello del cane, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura ferritica con grani piccoli e isole di bainite	84
Figura 4-54 Piattello del cane, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura maggiormente bainitica	85
Figura 4-55 Impronte microdurezze piattello del cane.....	85
Figura 4-56 Dettaglio impronte microdurezze piattello del cane su massimo valore di misurazione rispettivamente di zona A, B, C	86
Figura 4-57 Piattello del cane dopo analisi chimica	87
Figura 4-58 Molla dello scatto, rappresentazione e quotatura.....	90
Figura 4-59 Molla dello scatto sezionata.....	90
Figura 4-60 Scansione delle sezioni della molla dello scatto dopo inglobatura MS-2.	91
Figura 4-61 Scansione delle sezioni della molla dello scatto dopo inglobatura MS-1.	91
Figura 4-62 Nomenclatura zone molla dello scatto MS-1	91
Figura 4-63 Nomenclatura zone molla dello scatto MS-2.....	91
Figura 4-64 Molla dello scatto, sezione trasversale, dettaglio direzione inclusioni zona A.....	92

Figura 4-65 Molla dello scatto, sezione trasversale, dettaglio direzione inclusioni zona B	92
Figura 4-66 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni zona D	93
Figura 4-67 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni e probabile zona di saldatura, zona C	94
Figura 4-68 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni, a sinistra zona C con probabile zona di saldatura; a destra zona E.....	94
Figura 4-69 Molla dello scatto, sezione longitudinale, dettaglio direzione inclusioni zona E.....	94
Figura 4-70 Molla dello scatto, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica	95
Figura 4-71 Molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica; a destra dettaglio zona B con stessa struttura	96
Figura 4-72 Molla dello scatto, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica	96
Figura 4-73 Molla dello scatto, dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica con dettaglio su frattura	97
Figura 4-74 Molla dello scatto, dettaglio frattura zona C, struttura bainitica-ferritica.....	97
Figura 4-75 Molla dello scatto, dettaglio zona D dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica	97
Figura 4-76 Molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona D dopo attacco metallografico; a destra dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica	98
Figura 4-77 Molla dello scatto, dettaglio zona E dopo attacco metallografico, struttura bainitica-ferritica	98
Figura 4-78 Impronte microdurezze molla dello scatto	99
Figura 4-79 Dettaglio impronte microdurezze molla dello scatto su valori di misurazione rispettivamente di zona longitudinale (sinistra) e trasversale (destra)	99

Figura 4-80 Vite molla dello scatto, rappresentazione e quotatura	101
Figura 4-81 Scansione della vite molla dello scatto dopo inglobatura	101
Figura 4-82 Nomenclatura zone vite molla dello scatto	101
Figura 4-83 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona A-B	102
Figura 4-84 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona C	102
Figura 4-85 Vite molla dello scatto, dettaglio direzione inclusioni zona C	102
Figura 4-86 Vite molla dello scatto, dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica	103
Figura 4-87 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona A dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra dettaglio zona B stessa struttura	103
Figura 4-88 Vite molla dello scatto, dettaglio zona B dopo attacco metallografico, struttura ferritica	104
Figura 4-89 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra zona C1	104
Figura 4-90 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C1 dopo attacco metallografico; struttura ferritica, a destra zona C2	104
Figura 4-91 Vite molla dello scatto, a sinistra dettaglio zona C1 dopo attacco metallografico, struttura ferritica; a destra dettaglio zona filettatura	105
Figura 4-92 Vite molla dello scatto, dettaglio zona filettatura	105
Figura 4-93 Diagramma Fe-P	106
Figura 4-94/97 Vite molla dello scatto, dettaglio zone fantasma a maggiore contrasto.....	107-108
Figura 4-98 Impronte microdurezze vite molla dello scatto.....	108
Figura 4-99 Vite molla del cane, zona fantasma a confronto, zona A e B	109
Figura 4-100 Dettaglio impronte microdurezze vite molla dello scatto	109

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 4-1 Durezza molla del cane	61
Grafico 4-2 Analisi chimica molla del cane	64
Grafico 4-3 Durezza vitone del cane	73
Grafico 4-4 Durezza piattello del cane	86
Grafico 4-5 Analisi chimica piattello del cane	88
Grafico 4-6 Durezza molla dello scatto	99
Grafico 4-7 Durezza vite molla dello scatto	108

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4-1 Durezza molla del cane	60
Tabella 4-2 Analisi chimica molla del cane.....	62
Tabella 4-3 Analisi chimica molla del cane.....	63
Tabella 4-4 Durezza vitone del cane.....	73
Tabella 4-5 Durezza dado	78
Tabella 4-6 Durezza piattello del cane	85
Tabella 4-7 Analisi chimica piattello del cane.....	87
Tabella 4-8 Durezza molla dello scatto	99
Tabella 4-9 Durezza vite molla dello scatto	108

RIFERIMENTI

- [1] Mori Edoardo, *Storia delle armi da fuoco*, enciclopedia delle armi, <<https://www.earmi.it/varie/storia.htm>>.
- [2] Jaś van Driel, *A short history of firearms*, Foundation for European Societies of Arms Collectors (FESAC), Rotterdam, September 7, 2000.
- [3] C. Calamandrei, *Meccanismi di accensione - Storia illustrata dell'acciarino dal serpentino alla retrocarica*, Olimpia, 2003.
- [4] Mana Mattia, *Analisi metallurgica del meccanismo di accensione di un fucile del XVIII secolo*, Politecnico di Torino, 2021.
- [5] Vasil Teigens, *Armi da fuoco: Dagli inizi al controllo degli armamenti*, Cambridge Stanford Books, 2021.
- [6] Gelli Jacopo, *guida del raccoglitore e dell'amatore di armi antiche*, Hoepli, Milano, 1968.
- [7] <[https://it.wikipedia.org/wiki/Acciarino_\(arma_da_fuoco\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Acciarino_(arma_da_fuoco))>.
- [8] Cecchini Ezio, *Tecnologia e Arte Militare*, Stato Maggiore dell'Esercito - Ufficio Storico, Roma, 1997.
- [9] Beverly Ann Straube, *Early English Firearms: A Re-examination of the Evidence*, University of William & Mary, 1990.
- [10] Jeff Kinard, *Pistols: An Illustrated History of Their Impact*, ABC-CLIO, 2004.
- [11] Riccardo Silva, *Analisi metallurgica di canne di archibugio del XVII secolo*, Politecnico di Torino, 2021.

- [12] Paolo De Montis, Matteo Roncaglio, *Brescia e la storia delle armi bresciane*, <https://www.youtube.com/watch?v=D4HhRDIY_G4&t=301s>.
- [13] Giancarlo Marchesi, Luca Mura, *Il forno fusorio di Livemmo (BS)*, *Archeologia Medievale* XXXIII, pp. 517-524, 2006.
- [14] Pipino Giuseppe, *Minerali del ferro e siderurgia antica: alcune precisazioni*, pubblicazione interna del Museo Storico dell'Oro Italiano, Ovada, Marzo 2016.
- [15] Sammarone Sergio, *Proprietà dei materiali*, Zanichelli Editore, 2014.
- [16] *Archeologia ed archeometria della produzione ceramica e metallurgica dall'antichità al Medioevo in Italia*, Università di Siena, <<http://archeologiamedievale.unisi.it/SitoCNR/Metalli/ferro/02.html>>.
- [17] Rosarosa Manca, Laura Chiarantini, Alessandro Corretti, Marco Benvenuti, *La prosperità. Tra risorse minerarie e tecnologie del ferro*, *Rassegna di Archeologia* vol.26, Tagete edizioni, 2018.
- [18] Justine Bayley, David Dungworth, Sarah Paynter, *Archaeometallurgy: Guidelines for Best Practice*, Historic England, 2015.
- [19] R.F. Tylecote, *History of metallurgy: second edition*, Maney for the Institute of Materials, 2002.
- [20] R. Pleiner, *Iron in archaeology the European bloomery smelters*, Archeologický ústav AVČR Praha, 2000.
- [21] Estanislau Tomàs, *The catalan process for the direct production of malleable iron and its spread to Europe and the Americas*, *Contributions to Science*, Vol. 1, N° 2, 225-232, 1999.
- [22] Camillo Facchini Carlo Simoni Roberto Predali, *L'industria del ferro e dell'acciaio nel Bresciano: Il caso della Valcamonica*, FdP editore, 2011.
- [23] Simoni Carlo, *Fuoco, forni e fucine in Val Trompia*, articolo, 281-293, 2012.
- [24] Douglas Alan Fisher, *The Epic of Steel*, Harper and Row, New York, 1963.
- [25] Pallaro Roberto, *Armi ed armature in acciaio di epoca rinascimentale: caratteristiche metallurgiche e processi di produzione e decorazione*, Politecnico di Torino, 2020.

- [26] Renzo Bresciani, *L'industria delle armi nel territorio bresciano*, Apollonio, 1959.
- [27] Rotasso Gianrodolfo, *L'armamento dell'uomo d'arme dal XV al XVI secolo*, in: Studi storico-militari, Stato Maggiore Esercito - Ufficio Storico, Roma, 1986, p. 711.
- [28] G. Amandola, V. Terreni, *Analisi Chimica Strumentale e Tecnica*, Zanichelli, 1995.
- [29] Gambin Giovanni Maria, *Analisi chimica degli acciai con spettrometria OES: calibrazioni, interpretazione dei dati e aspetti normativi*, Universita' degli Studi di Padova, 2011.
- [30] Vega, E., Dillmann, P., Lheritier, M., Fluzin, P., Crew, P., Benoit, *Forging of Phosphoric Iron. An Analytical and Experimental Approach*, Archaeometallurgy in Europe, Vol. II, Milan, 337-346, 2003.
- [31] Piccardo P., Ienco M. G., Balasubraman R., Dillmann P., *Detecting Non-Uniform Phosphorus Distribution in Ancient Indian Iron by Colour Metallography*. Current Science 87, 650-653, 2004.
- [32] Thiele Adam, Hošek, Jiří, *Estimation of Phosphorus Content in Archaeological Iron Objects by Means of Optical Metallography and Hardness Measurements*, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 12, No. 4, 113-117, 2015.