

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Ottimizzazione del processo produttivo di una ruota
componente il cingolato di un compact track loader**



Relatore

prof. Maurizio Schenone

Candidato

Matteo Bergami

Anno Accademico 2019/2020

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	4
2	L'AZIENDA BERCO SPA	7
2.1	Storia dell'azienda	7
2.2	Stabilimento di Copparo.....	9
2.3	I prodotti.....	10
2.4	Area rulli	12
3	CINGOLATO: FUNZIONAMENTO E COMPONENTI	14
3.1	La ruota BC2555	22
3.1.1	<i>Descrizione e funzionamento della ruota BC2555</i>	<i>24</i>
3.1.2	<i>Descrizione del montaggio della ruota completa</i>	<i>27</i>
4	MODIFICHE DI PROCESSO.....	35
4.1	Descrizione del flusso produttivo attuale	35
4.2	Layout del ciclo attuale	36
4.3	Value Stream Mapping del ciclo attuale	39
4.4	Modifiche sulla linea produttiva effettuate	41
4.5	Layout del ciclo futuro.....	43
4.6	Value Stream Map del ciclo futuro.....	47
5	MODIFICHE PROGETTUALI E FUNZIONALI	48
6	REALIZZAZIONE DELLE RUOTE CON LE MODIFICHE DESCRITTE SU UN LOTTO DI PROVA.....	51
6.1	Lavorazioni meccaniche	51
6.1.1	<i>Controllo numerico computerizzato.....</i>	<i>51</i>
6.1.2	<i>Tornio Mazak Integrex 400</i>	<i>53</i>
6.1.3	<i>Linguaggio di programmazione APT.....</i>	<i>55</i>
6.1.4	<i>Software di programmazione</i>	<i>56</i>
6.1.5	<i>Programmazione delle lavorazioni meccaniche.....</i>	<i>57</i>
6.2	Rilievi di misure dopo lavorazioni meccaniche	61

6.2.1	<i>Macchine di misura a coordinate</i>	61
6.2.2	<i>Macchina di misura Catrim</i>	64
6.2.3	<i>Misure effettuate dopo la lavorazione meccanica</i>	68
6.3	Trattamento termico	72
6.3.1	<i>Tempra</i>	72
6.3.2	<i>Tempra ad induzione</i>	75
6.3.3	<i>Isola di tempra ruote</i>	76
6.3.4	<i>Processo di benessere della tempra</i>	78
6.3.5	<i>Misure effettuate dopo tempra</i>	85
6.4	Pressatura.....	85
6.5	Saldatura MIG.....	87
6.5.1	<i>Isola di saldatura: funzionamento e parametri</i>	90
7	ANALISI DELLE MISURE OTTENUTE	95
8	ANALISI DEI COSTI	98
9	CONSIDERAZIONI FINALI	102
10	BIBLIOGRAFIA	103

1 INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi svolto è frutto dell'esperienza di tirocinio svolta presso Berco S.p.a. in ambito Lean Production e miglioramento continuo. L'obiettivo generale dell'esperienza in Berco è stato quello di riorganizzare ed effettuare modifiche su linee produttive e sul prodotto con il fine di ottenere un miglioramento delle prestazioni del processo completo e una conseguente riduzione di costi. In particolare, ci si è focalizzati sull'ottimizzazione del processo produttivo di un prodotto specifico e su alcune modifiche progettuali del prodotto finalizzate alla riduzione degli scarti.

Da molti anni, ormai, la produzione snella e il miglioramento continuo dei processi sono principi consolidati per le aziende industriali che desiderano lavorare in modo redditizio ed efficiente in termini di costi. In un periodo come quello attuale in cui anche il settore metalmeccanico risente delle flessioni del mercato, diventa sempre più importante per le imprese riuscire a ridurre il maggior numero di sprechi, togliere tutto ciò che non serve, preservare ciò che è necessario ed implementare ciò di cui si ha bisogno. Riuscire ad eliminare gli sprechi ed ottimizzare i processi permette di ottenere un risultato qualitativo migliore nel breve periodo ma, al tempo stesso, la possibilità di mantenere maggiori standard qualitativi nel lungo periodo. Il concetto di Lean Production si presenta opposto a quello della produzione di massa tipica dell'industria occidentale. Non si guarda più alla realizzazione di prodotti standardizzati in grandi quantità perseguendo una logica push di distribuzione.

Seguendo la logica dei concetti di Lean Production si è deciso di analizzare i processi produttivi di più prodotti realizzati internamente all'azienda Berco e si è individuato un prodotto particolare per il quale si riteneva poter eseguire delle modifiche processuali in grado di garantire un ritorno economico in termini di riduzione di tempi di lavorazione e di un conseguente risparmio di costi.

“Muda” è la parola giapponese che significa spreco, in particolare qualsiasi attività umana che assorbe risorse ma che non crea valore: errori che richiedono una rettifica, produzione di qualcosa che nessuno vuole così che i magazzini e i resi crescono, passi procedurali di cui non c'è bisogno, spostamenti di personale e trasporto di merci da un posto all'altro senza motivo e beni e servizi che non incontrano i bisogni dei clienti.

Indipendentemente da quanti tipi di sprechi ci possano essere è difficile mettere in discussione che lo spreco sia ovunque. La migliore risoluzione al “muda” è il pensiero snello. Esso fornisce un modo per specificare il valore, per allineare nella sequenza migliore le attività che creano valore, per metterle in atto senza interruzione quando qualcuno le richiede e per eseguirle in modo sempre più efficace. In altri termini, il pensiero snello è così definito poiché indica come fare sempre di più con sempre meno (minor lavoro umano, minori attrezzature, meno tempo e meno spazio). Il pensiero snello rappresenta anche un metodo per rendere più soddisfacente il lavoro poiché dà ritorni immediati agli sforzi di conversione del “muda” in valore.

Il punto di partenza critico per il pensiero snello è il concetto di valore. Questo può essere definito esclusivamente dal cliente finale e assume un significato solo nel momento in cui lo si esprime in termini di uno specifico prodotto (bene o servizio o, spesso, entrambi) in grado di soddisfare le esigenze del cliente a un dato prezzo e in un dato momento. Il valore viene creato dal produttore.

Il flusso di valore è costituito dall’insieme delle azioni richieste per condurre un dato prodotto attraverso i tre compiti critici del management di qualsiasi business: la risoluzione di problemi dall’ideazione al lancio in produzione attraverso la progettazione di dettaglio e l’ingegnerizzazione; la gestione delle informazioni dal ricevimento dell’ordine alla consegna attraverso una programmazione di dettaglio; e la trasformazione fisica della materia prima in un prodotto finito in mano al cliente. L’identificazione dell’intero flusso di valore per ciascun prodotto rappresenta il passo successivo al pensiero snello. In particolare l’analisi del flusso di valore mostra quasi sempre che in esso si possono identificare tre tipi di attività:

1. Attività che creano valore;
2. Attività che non creano lavoro ma sono inevitabili;
3. Attività che non creano valore e possono essere eliminate da subito.

Il pensiero snello deve andare oltre l’azienda, cioè l’unità standard di rilevazione in tutto il mondo, per guardare al complesso: l’intero insieme di attività implicato nella creazione e produzione di uno specifico prodotto, dalla sua ideazione all’effettiva disponibilità attraverso la progettazione di dettaglio, dal momento della vendita alla consegna attraverso l’inserimento dell’ordine e la programmazione della produzione e delle materie prime prodotte molto lontano e fuori dal controllo fino alle mani del cliente.

Il meccanismo organizzativo per far questo è quello che viene chiamato impresa snella, ovvero un incontro continuativo di tutte le parti coinvolte per creare un canale all'interno del quale far scorrere l'intero flusso di valore. In un'epoca in cui le singole aziende stanno portando all'esterno sempre più attività e tendono a fare sempre meno in prima persona, c'è piuttosto bisogno di un'alleanza volontaria di tutte le parti interessate che esaminino ciascun passaggio creatore di valore e che duri quanto i prodotti. (1)

2 L'AZIENDA BERCO SPA



Il quartier generale di Berco, sede amministrativa e legale del gruppo, si trova a Copparo, in provincia di Ferrara, dove è situato anche il più grande dei due stabilimenti italiani, oltre a quello di Castelfranco Veneto (TV). Dal 1998 rappresenta un marchio molto importante del gruppo Thyssenkrupp, multinazionale tedesca. Berco è un'industria operante nel settore metalmeccanico specializzata nella fabbricazione di componenti e sistemi sottocarro per macchine di movimento terra cingolate e attrezzature per la revisione e manutenzione del sottocarro.

2.1 Storia dell'azienda

L'azienda nasce nel 1918 per opera di Vezio Bertoni quando apre un'officina meccanica che ripara biciclette, lavoro ereditato dal padre. Ben presto inizia a riparare anche automezzi e macchine agricole abbandonati dall'esercito americano nella campagna ferrarese.

Vezio Bertoni punta sui suoi compaesani e in poco tempo la piccola bottega si trasforma in un'officina di 30 dipendenti che produce anche macchine utensili e pezzi di ricambio per trattori. Con l'arrivo dell'imprenditore Roberto Cotti nasce la "Bertoni & Cotti" e la produzione si allarga a diverse macchine utensili: rettificatrici, alesatrici, presse, torni, barenatrici, levigatrici, attrezzature per autofficine.

I prodotti Berco iniziano ad affermarsi su scala nazionale. L'azienda diventa l'industria più grande ed importante della zona (5000 mq di superficie coperta) con oltre 100 dipendenti.

I prodotti Berco cominciano ad essere esportati in Europa e l'azienda diviene così importante da acquisirne due più piccole tra il 1938 e il 1939. Negli anni '40 si registrano 624 dipendenti, ma la crescita impetuosa dell'azienda viene compromessa dallo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Dopo 2 anni di quasi totale inattività, Berco riesce a rimettersi in piedi nel 1946 e si rinnova iniziando a produrre anche componenti per carri cingolati, attrezzature per la revisione di macchine movimento terra e presse per il montaggio delle catene.

Berco raggiunge 90 milioni di capitale sociale e diviene una società per azioni. Nel 1957 si dimette il socio Cotti a cui subentra Gianni Bertoni, figlio di Vezio. Lo stabilimento raddoppia le dimensioni e viene ristrutturato e ammodernato. Berco è tra le più importanti aziende del settore in Italia e tra le più conosciute nei mercati esteri di tutto il mondo: il 60% dei sottocarri prodotti sono assorbiti dal mercato statunitense e canadese e sono circa 120 i rivenditori autorizzati Berco.

Viene costruita la prima officina della regione per lo stampaggio a caldo con una superficie di 3000 m² e 27 macchine tra le più potenti e moderne esistenti in commercio. Gianni Bertoni diviene ufficialmente Amministratore Delegato dell'azienda, avviandola alla globalizzazione con oltre 2500 dipendenti e portando il fatturato a 60 miliardi di lire contro i soli 4 miliardi del decennio prima.

Nel 1976 Bertoni cede il 50% delle quote alla multinazionale tedesca dell'acciaio Hoesch. Il 50% dei prodotti esportati sono diretti negli Usa, così, per risollevare l'azienda dalla crisi del mercato americano, Bertoni cede il restante 50% alla Hoesch nel 1986. Con il nuovo CEO Giovanni Bertoni l'azienda si affaccia al mercato degli OEM e vengono messi in atto programmi di ristrutturazione, investimenti ed innovazione tecnologica. Berco vanta tra i suoi clienti Komatsu, John Deere, Liebherr, Volvo, ma anche importanti rappresentanti del mercato mediorientale come United Motors e Middle East.

Nel 1992 la multinazionale tedesca Krupp incorpora il gruppo Hoesch dando vita alla compagine Krupp AG Hoesch-Krupp. Nel 1998 Krupp AG si fonde con Thyssen AG dando vita a ThyssenKrupp. Negli anni duemila la quota di prodotti esportati raggiunge il 90% e Berco raggiunge il traguardo delle 250.000 tonnellate di prodotto finito in un anno fiscale.

L'azienda continua a crescere, si raggiungono i 3000 dipendenti e le filiali estere diventano tre: Berco of America a Waukesha (WI), Berco South America a Campo Limpo (SP) e Berco Bulgaria ad Apriltsi. Parte la produzione nella quarta filiale estera, in India. Berco automatizza molte delle sue linee e il mercato OEM continua ad essere la maggiore fonte di profitto. Nell'ottobre 2017 ha luogo una joint-venture tra le Operations Unit Undercarriages, Forging e Machining della Business Area Components Technologies e viene creata la nuova BU Forged Technologies.



Figura 2-1. Filiali Berco nel mondo

2.2 Stabilimento di Copparo

Lo stabilimento di Copparo si estende su 550000 m² ed impiega la maggior parte dei dipendenti su tre turni di lavoro. Berco rappresenta uno dei più grandi stabilimenti presenti nel territorio ferrarese.

Negli ultimi anni lo stabilimento è stato suddiviso in mini company, rappresentate dalle varie aree presenti all'interno di Berco S.p.a., aventi ciascuna una propria struttura organizzativa. Le aree si suddividono in stampaggio, area rulli, area catene, area soles, warehouse, lavorazione stampi, controlling e miglioramento continuo.



Figura 2-2. Stabilimento Berco Copparo

2.3 I prodotti

L'azienda si inserisce all'interno di un mercato molto vasto: dai costruttori di macchine movimento terra (OEM) all'aftermarket, dai mini escavatori ai dozer da miniera.

La produzione dei prodotti Berco è essere suddivisa in cinque famiglie:

- BMP: la divisione Berco Mining Products offre una gamma di soluzioni efficienti, affidabili e convenienti per le esigenze di componenti sottocarro, per macchine operanti in miniere a cielo aperto, in cave o utilizzate per la movimentazione di grandi quantità di materiale, per macchine cingolate di classe compresa tra 50 e 400 tonnellate e passo 215,9-395 mm.



Figura 2-3. Caterpillar D11T

- BMR: la divisione Berco Medium Range dispone di una gamma di prodotti legati ad applicazioni industriali ed agricole che variano tra le 7 e le 50 tonnellate, con un passo tra 14 e 228,6 mm. Un tipico esempio applicativo è il Caterpillar D6R.



Figura 2-4. Caterpillar D6R

- BMU: la divisione Berco Mini Undercarriage and Utilities offre una gamma completa di componenti sottocarro per macchine di classe da 1,5 a 6 tonnellate come compact track loaders, mini escavatori, perforatrici direzionali, piccoli dozer o pavimentatrici. Fanno parte di questa categoria componenti intercambiabili per fasce gommate e per catene metalliche tradizionali, si trovano inoltre sistemi completi cingolati di trazione delle asfaltatrici e di tutte quelle macchine multicingolate utilizzate negli ambienti stradali.



Figura 2-5. Compact track loader

- BTS: la divisione Berco complete Track System sviluppa la progettazione e l'assemblaggio di sistemi di sottocarri completi e realizzati internamente sfruttando il know-how aziendale. Il cliente può ricevere l'intera struttura completa pronta per l'inserimento in catena di montaggio. (2)

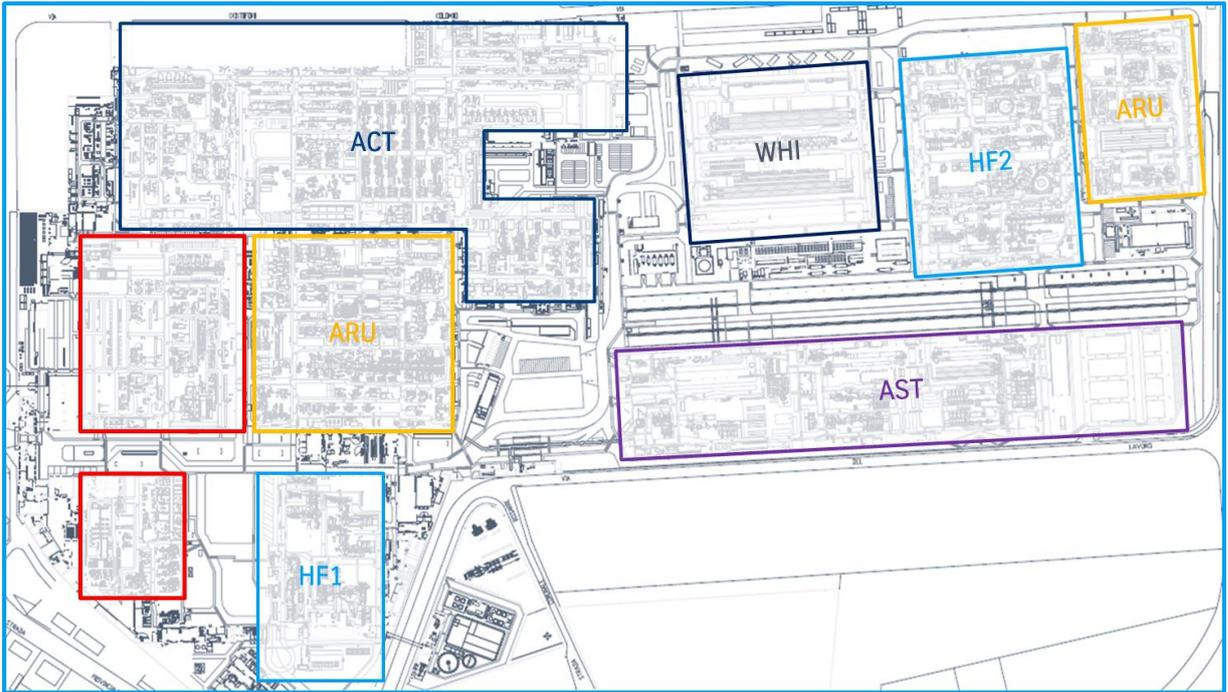


Figura 2-6. Sottocarri completo

2.4 Area rulli

Il progetto di tesi è stato svolto all'interno dell'area rulli. Da qualche anno in Berco si è affermata la politica di divisione dell'azienda in mini company, ovvero di vere e proprie sotto aziende quasi completamente autonome. Questa strategia di gestione aziendale è stata applicata con l'intento di eliminare i tempi di comunicazione tra le varie strutture aziendali per quel che riguarda modifiche di modesto livello tecnico e correzioni in tempo reale, svolte per intero grazie al personale di area.

All'interno dell'area rulli sono presenti il reparto di produzione e processo, il reparto lavorazioni meccaniche, il reparto dedicato ai trattamenti termici, il reparto manutenzione e quello qualità. All'interno di questa area vengono effettuate molteplici lavorazioni, in particolar modo vengono lavorati materiali quali ruote, che possono essere motrici o folli, ci si occupa delle lavorazioni su rulli, ovvero gli altri organi facenti parte del carro con lo scopo di tenere in tensione il cingolo. Infine vengono lavorati gli alberi o perni che andranno a comporre in seguito la ruota completa.



HF1: Stampaggio 1

ARU: Area Rulli

ACT: Area Catene

AST: Area Suole

HF2: Stampaggio 2

WHI: Magazzino Centrale

Figura 2-7. Layout di Berco Copparo diviso in mini-company

3 CINGOLATO: FUNZIONAMENTO E COMPONENTI

Il progetto in esame riguarda lo studio di una ruota folle che compone il cingolato completo. La ruota BC2555 viene montata sul carro completo CC0797A. Questo carro è fornito ad Eurocomach e viene a sua volta montato sulla pala compatta cingolata ETL 160.5.



Figura 3-1. Compact track loader Eurocomach ETL 160.5

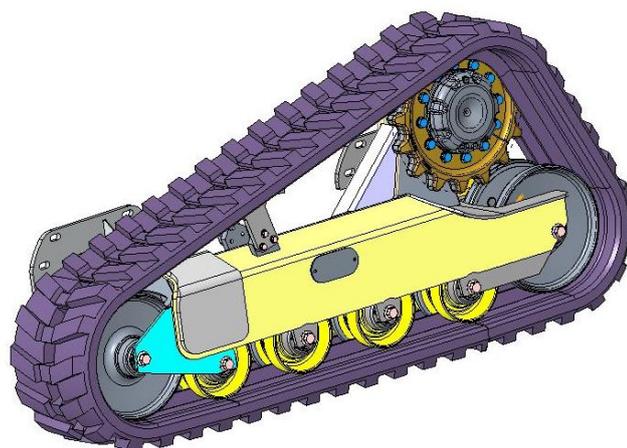


Figura 3-2. Modello 3D del sottocarro ETL 160.5

Nel modello CAD è presente un rullo inferiore in più rispetto al modello fisico reale riportato in figura perché il carro può essere dotato sia di fascia gommata che di fascia in acciaio. Nella configurazione con fascia gommata si hanno tre rulli inferiori, se la fascia montata è in acciaio viene aggiunto un rullo in più. Il carro di conseguenza è dimensionato per poter montare quattro rulli inferiori.

Il cingolo è uno strumento di locomozione per i veicoli terrestri che viene utilizzato soprattutto su veicoli semoventi per la trasmissione al suolo della forza prodotta dal motore. Il cingolo presenta caratteristiche diverse da quelle della ruota: permette una minore pressione sul terreno e, su particolari suoli deformabili e poco coerenti, comporta anche un aumento dell'aderenza pur a parità di peso aderente del veicolo e di materiali e forma delle superfici.

Per i cingoli si sono storicamente adottate tipologie di superfici e materiali diversi da quelli impiegati per le ruote, quali ad esempio l'acciaio, con superfici tipicamente munite di rilievi rigidi piuttosto appuntiti. Per questo motivo l'aderenza di questi cingoli risulta notevolmente superiore, anche a parità di peso del veicolo, a quella degli pneumatici; inoltre la resistenza all'avanzamento risulta notevolmente ridotta, in particolare su suoli accidentati, per via dell'effetto "binario" che dimostrano le ruote nel rotolare sulla porzione di cingolo metallico steso al suolo.

Il meccanismo di aderenza dei cingoli al suolo è distinto nel caso in cui ci sia infissione della loro scolpitura nel suolo o meno.

Nel primo caso il meccanismo di aderenza si basa sulla resistenza dei tasselli di terreno interposti tra una scolpitura e l'altra, e la perdita di aderenza avviene per rottura degli stessi tasselli e loro distacco dal resto del suolo: il limite di aderenza dipende quindi dalla coesione e dall'attrito interni del terreno, e questi dipendono solo in parte dalla pressione esercitata dal veicolo, poiché anche a pressione nulla si osserva una certa resistenza e quindi una certa capacità di trasmettere aderenza al cingolo; in questo caso il limite di aderenza del cingolo aumenta con la superficie del cingolo stesso ed in particolare col numero ed il distanziamento delle scolpiture. Quindi a parità di forma delle scolpiture, di materiale e di peso dei veicoli, il veicolo con cingoli infissi nel suolo dimostra un'aderenza massima maggiore del corrispondente veicolo con ruote infisse nel suolo.

Nel secondo caso invece il meccanismo dell'aderenza è identico a quello delle ruote aventi uguale tipo di superficie, ed in particolare l'aderenza massima (al limite dello slittamento) è identica a quella di un uguale veicolo dello stesso peso e con ruote con tipo di superficie identico, perché benché la superficie di appoggio al suolo in grado di scambiare forze di trazione sia maggiore, per lo stesso motivo la pressione al suolo risulta inferiore e di conseguenza anche l'aderenza per unità di superficie, e le due variazioni di grandezza rispetto al veicolo con ruote si compensano perfettamente. Pertanto, a parità di forma delle scolpiture, di materiale e di peso dei veicoli, il veicolo con cingoli non infissi nel suolo dimostra un'aderenza massima identica a quella del veicolo con ruote non infisse nel suolo.

Spesso tuttavia i cingoli non vengono adottati per esigenze legate ad una maggiore trazione, bensì per ottenere un miglior "galleggiamento", ossia un minor rischio di affondamento su terreni poco portanti, e contemporaneamente diminuire la compressione e la costipazione del terreno grazie alla minore forza peso per unità di superficie. Questa è l'esigenza per cui il cingolato viene adottato talvolta anche su veicoli trainati.

Il vantaggio del cingolo nei confronti della ruota è dato dalla maggiore impronta al suolo, che permette quindi di operare su terreni con scarsa capacità portante, sui quali un veicolo a ruote non sarebbe capace di muovere (sabbia, fango, neve), anche in totale assenza di strade ove il cingolo consente inoltre un migliore e più stabile assetto complessivo del veicolo, facilitando il superamento di dossi e cunette particolarmente impegnativi. In genere i veicoli cingolati hanno una mobilità superiore a quella dei veicoli forniti di pneumatici su terreno accidentato, infatti riducono i sobbalzi scivolando sugli ostacoli di dimensioni ridotte. Inoltre, i cingoli sono più resistenti degli pneumatici, in quanto non possono esplodere o essere bucati. Infine, i veicoli cingolati hanno la possibilità di ruotare con raggi di curvatura minori, in quanto bloccando un cingolo si può ruotare con un raggio di sterzata uguale alla larghezza del veicolo e, utilizzando un cingolo in retromarcia, è possibile addirittura ruotare rimanendo sostanzialmente sul posto.

Tuttavia, questi vantaggi possono essere limitati dagli svantaggi del cingolo nei confronti della ruota, che possono essere riassunti qui di seguito:

- il cingolo è più pesante della ruota, quindi per accelerare il movimento richiede dal motore una coppia maggiore di quella richiesta da una ruota (a parità di accelerazione)

- il cingolo con scolpiture appuntite, benché adatto ai suoli incoerenti, può danneggiare la pavimentazione delle strade, quindi spesso il movimento di mezzi provvisti di cingoli è proibito su strade pubbliche. Un compromesso per permettere il passaggio di veicoli cingolati su strade civili è l'utilizzo di sovra pattini/tacchi di gomma o metallo per coprire i risalti del cingolo, in modo tale da ridurre notevolmente il danno sull'asfalto
- il cingolo è molto più sollecitato della ruota, quindi un uso prolungato può portare ad una rottura dei perni (più raramente delle maglie), quindi è richiesto un controllo programmato ed un programma di sostituzioni sui cingoli (in alcuni casi la vita media dei cingoli era ridotta fino a 200 h), inoltre è sufficiente il collasso di un solo elemento per bloccare tutto il veicolo.

Il primo cingolo per usi civili fu brevettato nel 1901 da Alvin Lombard per i suoi trattori a vapore. I trattori Lombard erano destinati a trascinare i tronchi nelle aree da disboscare, ma fu chiaro che potevano essere usati vantaggiosamente anche per trattori agricoli, infatti tali veicoli erano destinati ad operare su terreni in cui la sofficià del terreno (generalmente appena lavorato) richiedeva una pressione sensibilmente più bassa di quella che si poteva ottenere con ruote, considerando anche il peso elevato dei veicoli (fine XIX, inizio XX secolo) dell'epoca.

Da questa prima utilizzazione si è passati all'uso di mezzi cingolati per lavori stradali in terreni difficilmente raggiungibili, quindi sono stati realizzati bulldozer, ruspe, scavatrici e veicoli simili su cingoli.

L'uso dei cingoli in campo militare ha comportato problemi sensibilmente più gravosi di quelli per i veicoli civili, infatti le richieste nei due casi sono sensibilmente differenti. I veicoli cingolati per uso civile generalmente vengono trasportati fino ad una distanza relativamente breve (generalmente inferiore a 1 km) dal loro luogo di impiego da carrelli ruotati, quindi non è richiesto che abbiano una velocità elevata o che permettano un buon comfort al personale a bordo, invece i problemi legati all'uso militare di veicoli cingolati sono sensibilmente diversi. In particolare, i veicoli cingolati militari devono essere in grado di tenere una velocità di alcune decine di chilometri all'ora per un periodo di diverse ore, quindi i cingoli devono essere progettati in modo tale da permettere velocità simili senza rotture e permettendo all'equipaggio di non subire uno stress eccessivo. Questi requisiti hanno imposto uno studio

non solo dei cingoli isolatamente, ma di tutto il sistema di sospensioni e ammortizzatori del veicolo. (3)

I cingoli moderni sono costituiti da catene modulari chiuse costituite da maglie collegate fra loro da perni, queste catene generalmente sono costituite da acciai speciali e caratterizzate da una larghezza tale da rendere la catena stessa sufficientemente flessibile e di arrotolarsi attorno ad una serie di ruote per formare il circuito senza fine.

Dall'immagine seguente si può notare come la fascia cingolata in acciaio sia costituita: la catena è costituita da due file di maglie parallele tra loro, i perni hanno il compito di collegare due maglie consecutive della stessa fila e in più collegano anche le due file parallele. La singola maglia, oltre ad essere dotata di fori per l'alloggiamento del perno è caratterizzata dalla presenza di altri fori per l'assemblaggio della suola alla catena. L'assemblaggio tra la suola e la catena avviene attraverso l'utilizzo di viti.

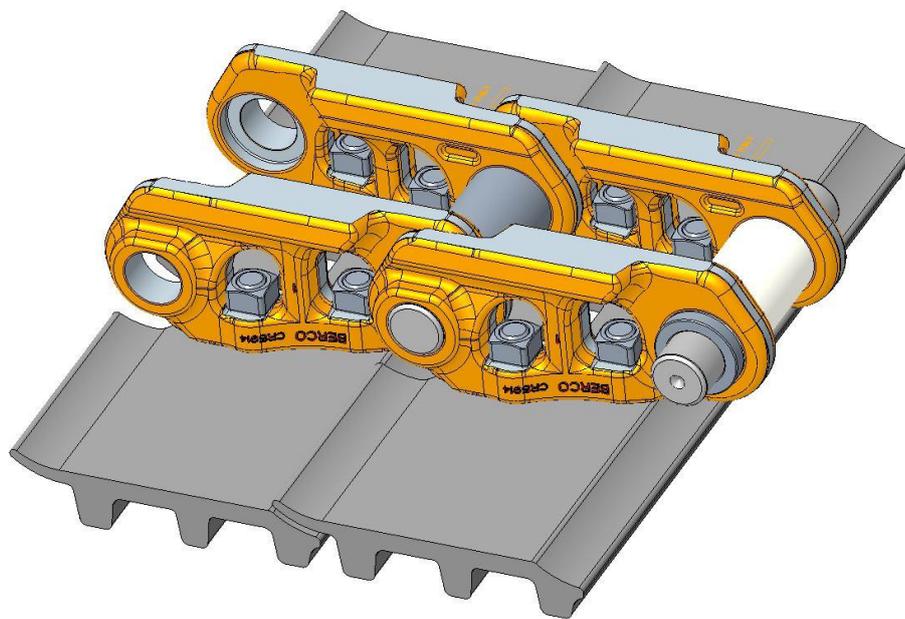


Figura 3-3. Modello 3D dell'assemblaggio tra catena e suola.

Si può notare anche la composizione delle soles, queste sono formate da più componenti, uguali tra di loro, che vengono fissati ognuno alla rispettiva coppia di maglie. Nell'immagine l'elemento componente la suola è dotato di tre scolpiture, ma ne esistono tipologie con due e con una scolpitura.

Il peso del veicolo viene trasferito sulla parte più bassa del cingolo con un certo numero di ruote singole o da gruppi collegati di ruote chiamati carrelli.

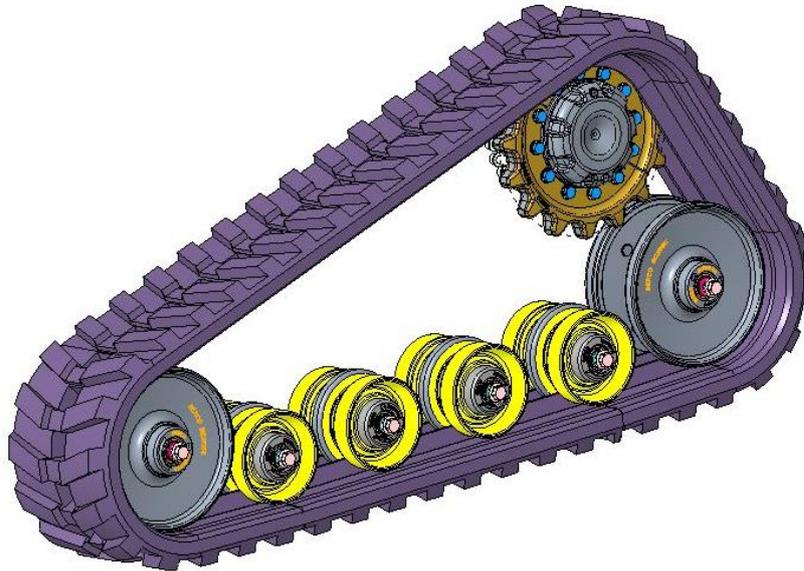


Figura 3-4. Componenti del sottocarro

In genere le ruote sono montate su sospensioni per ammorbidire il movimento su terreno vario. Uno dei maggiori problemi per la progettazione di un sistema di trazione su cingoli risiede proprio nella progettazione del sistema di sospensioni. I primi progetti di sistemi di cingoli (per esempio i carri armati della Prima guerra mondiale) erano totalmente privi di sospensioni, successivamente si passò a molle che permettevano pochi centimetri di spostamento, per arrivare a sistemi idropneumatici (M1 Abrams) in cui è possibile uno spostamento di diverse decine di centimetri, includendo quindi anche ammortizzatori.

I cingoli sono mossi da una ruota dentata (ruota motrice), mossa direttamente dagli organi di moto del veicolo, che impegna fori nelle maglie dei cingoli o pioli sporgenti da essi per muovere il cingolo stesso. La ruota motrice è generalmente montata molto sopra al livello a cui il cingolo viene a contatto con il suolo, quindi viene tenuta in posizione fissa rispetto al telaio del veicolo, dato che un sistema di sospensioni sulla ruota motrice, pur essendo realizzabile, presenterebbe problemi dal punto di vista meccanico.

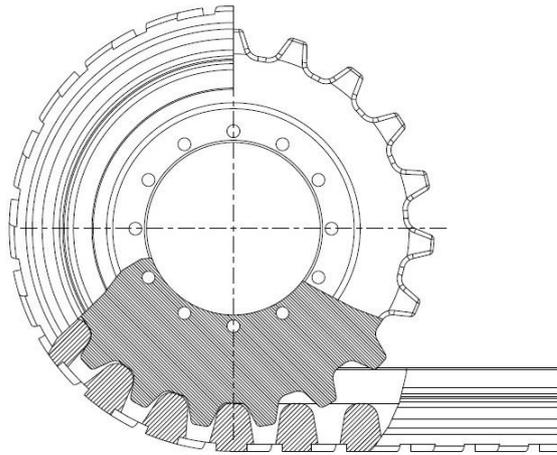


Figura 3-5. Ruota motrice

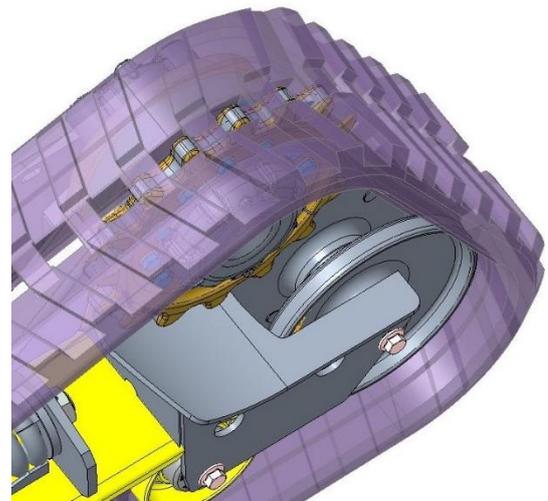


Figura 3-6. Ingranamento tra ruota motrice e fascia gommata

All'estremità opposta del cingolo è posta una ruota su cui non agisce il motore (ruota di rinvio), principalmente per fare in modo che il cingolo arrivi a terra con un certo angolo (angolo di attacco) che permette al veicolo di superare gli ostacoli. Generalmente la ruota di rinvio è collegata al meccanismo tendicingolo, che permette di dare ai cingoli la tensione corretta, una tensione eccessiva tende a caricare indebitamente i perni del cingolo, mentre una tensione troppo bassa tende a far "scingolare" il veicolo, cioè a far uscire il cingolo dalla guida delle ruote di appoggio. Per ridurre i rischi dello "scingolamento" sono previsti risalti sulla parte interna del cingolo, che scivolano entro intagli tra le ruote di appoggio (generalmente doppie) e le sulle ruote motrici e di rinvio.

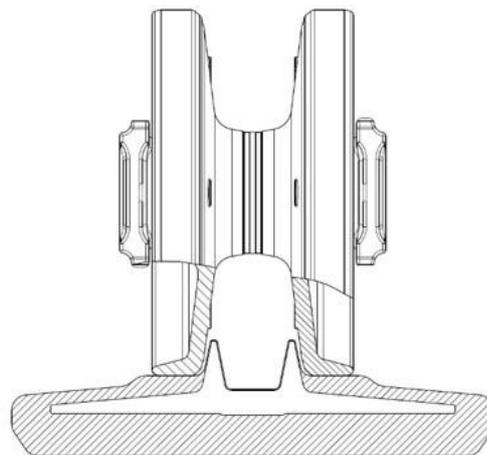


Figura 3-7. Denti della fascia gommata a contatto con la ruota

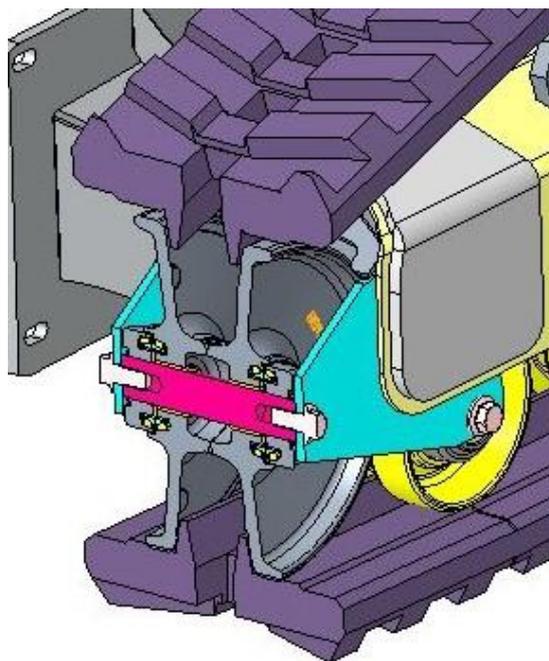


Figura 3-8. Sezione della ruota in funzionamento

Nella parte superiore (quella che non tocca terra) del treno di rotolamento possono essere previsti rullini di ritorno, per sostenere il cingolo nella parte che non tocca terra, o può essere previsto il cingolo libero, che si muove sulla parte superiore delle ruote di appoggio. In via generale, i rullini di ritorno sono necessari quando la ruota motrice è posta posteriormente rispetto alla direzione di marcia primaria del veicolo. Questo perché la marcia in avanti in questa configurazione presenta il cingolo teso nella parte inferiore e lasco in quella superiore, che scorre sui rullini. I sistemi di trazione con ruota motrice anteriore invece tendono direttamente la parte superiore del cingolo: in questa configurazione eventuali rullini di ritorno supportano il cingolo durante l'inversione del moto.

Da punto di vista della portanza, cioè del poter transitare e quindi lavorare (anche con carichi importanti) quando le condizioni del terreno agrario sono critiche, i cingoli non hanno mai avuto rivali, vincendo il confronto con gli pneumatici. D'altro canto, i tradizionali cingoli in acciaio hanno notevoli svantaggi rispetto agli pneumatici, riconducibili essenzialmente ad una mobilità delle macchine e ad un livello di comfort nettamente inferiori. I cingoli in gomma rappresentano la possibilità che riassume in sé i vantaggi dei cingoli in acciaio e degli pneumatici. Il cingolo in acciaio restituisce una sensazione di estrema robustezza, ma anche di rigidità; lo pneumatico si distingue invece per la sua elasticità.

Nel cingolo in gomma si sommano idealmente diverse caratteristiche positive di entrambi gli organi di propulsione; in ogni caso, è comunque presente un'anima in acciaio, costituita da due fasce senza fine di cavi, annegate nella parte strutturale del cingolo, che gli conferisce un'opportuna robustezza, ma anche la necessaria elasticità. Nella parte più interna è inserita un'anima, sempre in acciaio, che provvede a guidare adeguatamente lo scorrimento del cingolo sui denti della ruota motrice.

A loro volta, questi ultimi ingranano in una serie di aperture rettangolari ricavate nella parte centrale del battistrada. La parte a contatto con il terreno è dotata di opportuni rilievi di aggrappamento, spesso molto simili alle costole ricavate sugli pneumatici che equipaggiano le ruote motrici. (4)

3.1 La ruota BC2555

Il progetto sviluppato è iniziato con l'obiettivo di individuare un prodotto lavorato internamente all'area e procedere con delle modifiche al fine di ottimizzare e apportare migliorie al ciclo produttivo e al prodotto in sé, cercando così di ottenere un risparmio in termini di costi.

La scelta è optata per la ruota BC2555, poiché si tratta di un prodotto venduto in quantità piuttosto elevate per il quale erano presenti alcune problematiche in termini di numero di scarti e per il quale si è individuata una possibilità di modifica del ciclo produttivo in ottica di risparmio di costi. La tabella seguente riporta gli ordini ricevuti nell'anno fiscale passato, ovvero dal 01/10/2018 al 30/09/2019.

Nell'anno fiscale passato risulta quindi un totale di ordini pari a 26548 ruote.

Il prezzo medio di vendita di questa tipologia di ruota nuda è pari a 68,50 €. Moltiplicando questi due valori possiamo valutare il ricavo totale legato alla vendita di questo prodotto che risulta ammontare a 1.818.538,00 €.

Tabella 3-1. Ordini ricevuti

Ordine	Materiale	Fine card.	Quantità ordine (pezzi)
1343177	BC2555	22/10/2018	1.079
1345924	BC2555	03/11/2018	1.034
1339455	BC2555	09/11/2018	1.662
1351165	BC2555	14/12/2018	940
1352310	BC2555	08/01/2019	1.130
1364251	BC2555	01/02/2019	473
1360750	BC2555	27/02/2019	1.743
1364735	BC2555	29/03/2019	2.238
1378018	BC2555	03/04/2019	362
1378687	BC2555	08/04/2019	151
1373508	BC2555	18/04/2019	2.299
1382089	BC2555	30/04/2019	356
1383110	BC2555	07/05/2019	1.087
1379431	BC2555	21/05/2019	665
1384478	BC2555	27/05/2019	588
1387439	BC2555	27/05/2019	978
1388048	BC2555	10/06/2019	569
1388462	BC2555	25/06/2019	499
1389372	BC2555	09/07/2019	528
1396107	BC2555	11/07/2019	361
1400318	BC2555	23/07/2019	331
1393289	BC2555	26/07/2019	685
1401041	BC2555	30/07/2019	180
1397393	BC2555	30/07/2019	368
1398300	BC2555	02/08/2019	582
1394234	BC2555	07/08/2019	1.685
1399331	BC2555	22/08/2019	910
1402362	BC2555	05/09/2019	350
1407448	BC2555	05/09/2019	248
1402985	BC2555	09/09/2019	756
1407273	BC2555	10/09/2019	209
1408439	BC2555	23/09/2019	1.036
1408862	BC2555	25/09/2019	36
1410228	BC2555	26/09/2019	430
TOTALE			26.548

3.1.1 *Descrizione e funzionamento della ruota BC2555*

La ruota scelta è una ruota folle, o ruota di rinvio, è situata all'inizio e alla fine del carrello di tensionamento posto nella parte bassa del cingolato. Le due ruote folli hanno il compito fondamentale di garantire il tensionamento necessario al cingolato e di facilitare il superamento degli ostacoli: un maggiore angolo di avvolgimento facilita e semplifica questa funzione. È importante garantire il tensionamento previsto in quanto la variazione del livello di tensione sul cingolo può portare a due conseguenze diverse ma entrambe da evitare.

Una tensione eccessiva causa infatti un elevato carico sui perni del cingolo mentre un livello di tensione troppo basso può portare alla fuoriuscita delle sedi del cingolo dalla guida delle ruote e dei rulli successivamente.

La ruota ha un diametro di 350 mm ed è alta complessivamente 155 mm. È composta da due diversi dischi o flange che vengono successivamente uniti a formare la ruota completa.

I due dischi hanno una superficie esterna piana che appoggia sulla fascia gommata e per attrito con quest'ultima viene messa in rotazione. In più i due dischi hanno il compito di fare da guida alla fascia gommata che è dotata, nella sua parte interna, di denti che vanno in battuta sulla parte interna delle flange, impedendone lo "scingolamento".

Nella tabella seguente è riportato il materiale con cui è realizzata la ruota. Si tratta dell'acciaio denominato internamente all'azienda come 41TNR con le composizioni degli elementi in lega riportati sotto. Come materiale alternativo viene utilizzato il C40. Solitamente si preferisce il 41TNR in quanto più economico e più facilmente temprabile.

	CAPITOLATI TECNICI DI FORNITURA	Sezione : DQA001
		Pagina 22 di 36 Revisione : 02*
Titolo Procedura :	Tabelle con composizioni chimiche, temprabilità Jerning, durezza, grana austenitica./ Tables with percent chemical composition, Jerning hardenability, hardness austenitic grain size.	

TABELLA 15

TABLE 15

PROCESSO DI FABBRICAZIONE DELL'ACCIAIO: DA CARICA SOLIDA
STEEL MANUFACTURING PROCESS: FROM ELECTRIC ARC FURNACE CHARGE

MARCA ACCIAIO/ STEEL GRADE	41TNR
DIMENSIONI/ DIMENSIONS: billetta/ billet[.]	60 - 140 mm
C	.34 - .39
Mn	1.00 - 1.20
Si	.20 - .40
Cr	.15 - .25
S	.020 - .035
P	.035 max.
Ti	.015 max.
Al + Ti	.020 min.
COLORE TESTATA/ HEAD COLOUR	ARANCIO/ ORANGE
DIMENSIONE DEL GRANO AUSTENITICO/ AUSTENITIC GRAIN SIZE	5 ASTM o più fine/ 5 ASTM or finer
DUREZZA DEL NATURALE DI LAMINAZIONE/ HARDNESS AS ROLLED	HB 230 max

PROCESSO DI FABBRICAZIONE DELL'ACCIAIO: DA CARICA LIQUIDA
STEEL MANUFACTURING PROCESS: FROM BASIC OXGEN FURNACE CHARGE

MARCA ACCIAIO/ STEEL GRADE	41TNR
DIMENSIONI/ DIMENSIONS: billetta/ billet[.]	60 - 140 mm
C	.34 - .39
Mn	1.10 - 1.30
Si	.20 - .40
Cr	.15 - .25
S	.020 - .035
P	.035 max.
Ti	.015 max.
Al + Ti	.020 min.
COLORE TESTATA/ HEAD COLOUR	ARANCIO/ ORANGE
DIMENSIONE DEL GRANO AUSTENITICO/ AUSTENITIC GRAIN SIZE	5 ASTM o più fine/ 5 ASTM or finer
DUREZZA DEL NATURALE DI LAMINAZIONE/ HARDNESS AS ROLLED	HB 230 max

Data Emisione: 04/03/1994	Data Ultima Revisione: 27/08/2000
---------------------------	-----------------------------------

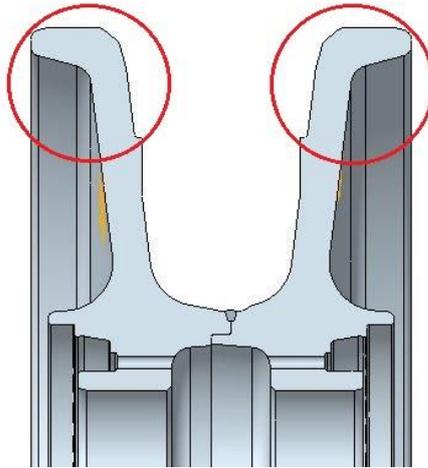


Figura 3-9. Sezione della ruota: zona di contatto con la fascia gommata

La parte esterna della ruota è caratterizzata dalla sede del gruppo di tenuta. In appoggio nella sede va inserito l'anello elastico insieme all'anello di tenuta ed al secondo anello elastico. Il gruppo di tenuta ha il compito di non far fuoriuscire l'olio lubrificante e al tempo stesso ha il ruolo di consentire la rotazione relativa tra parte mobile (ruota) e parte fissa (albero).

La sede è dotata inoltre di un "dentino" necessario ad evitare un'eventuale fuoriuscita del gruppo.

Nel fondo della sede è presente un foro che collega il gruppo di tenuta al serbatoio dell'olio lubrificante.

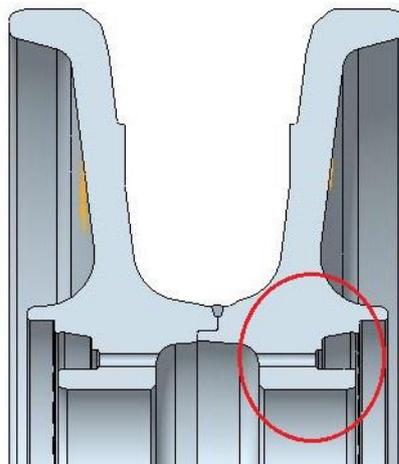


Figura 3-10. Sezione della ruota: sede del gruppo di tenuta



Figura 3-12. Ruota completa

La fase di montaggio consiste nell'assemblare questi componenti alla ruota nuda BC2555 ottenuta con accoppiamento per interferenza e successiva saldatura delle due semiruote.

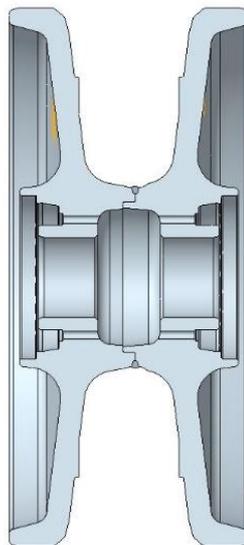


Figura 3-13. sezione della ruota "nuda"

La prima operazione del montaggio avviene con l'inserimento delle boccole nel mozzo per interferenza mandando in battuta il piano della boccia con il piano del mozzo in modo da renderla solidale alla ruota.

Il foro della ruota ha dimensione 52 mm con tolleranza dimensionale H8: ciò significa che il diametro minimo del foro della ruota può essere 52 mm ed il diametro massimo può valere 52,046 mm.

Il diametro esterno della boccia è invece di 52 mm con tolleranza dimensionale u7 (+0,117 +0,087). Il diametro massimo del foro è quindi 52,046 mm ed il diametro esterno minimo della boccia risulta 52,087 mm. Si ha quindi un accoppiamento con interferenza in cui l'interferenza minima vale 0,041 mm, la massima è di 0,117 mm.

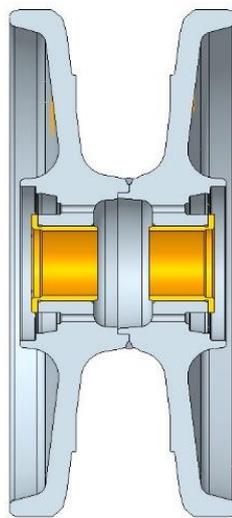


Figura 3-14. Sezione della ruota con le boccole

L'operazione successiva consiste nell'inserimento dell'albero. L'albero è accoppiato con gioco con la boccia per consentirne la rotazione al suo interno. L'albero dispone di due fori per viti necessari per il montaggio della ruota al telaio.

Il diametro dell'albero è 44,45 mm con tolleranza dimensionale h8 (0 -0,039). Il diametro interno della boccia è 44,45 mm A8 (+0,359 +0,320). Si ha quindi un accoppiamento con gioco in cui il gioco minimo risulta essere pari a 0,32 mm.

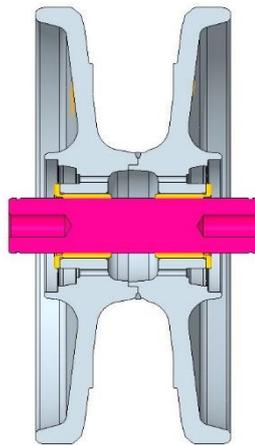


Figura 3-15. Sezione della ruota con l'aggiunta dell'albero

Successivamente viene montato il gruppo di tenuta ed il coperchio.

Il gruppo di tenuta è composto da anelli di tenuta e anelli elastici. La tenuta meccanica serve ad evitare la fuoriuscita di un fluido tra un albero rotante ed il contenitore del fluido stesso. Questa è costituita da due anelli striscianti mantenuti in contatto assiale. Uno degli anelli è definito “rotante” e ruota solidale con la parte rotante; l’altro “stazionario” è vincolato alla parte fissa della macchina. Per realizzare tenuta tra anello rotante e parte rotante e tra anello stazionario e cassa tenuta, sono previste tenute secondarie; queste sono costituite generalmente da o-rings.

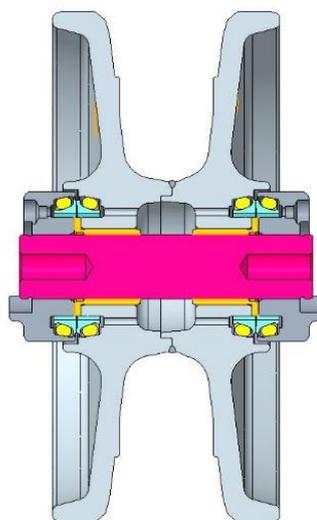


Figura 3-16. Sezione della ruota con l'aggiunta del gruppo di tenuta

Per ridurre l'attrito esistente tra gli anelli che strisciano è indispensabile prevedere una lubrificazione. Le facce di strisciamento di una tenuta meccanica sono generalmente lubrificate dallo stesso fluido di processo o, nel caso di tenute doppie, da un liquido ausiliario. La stabilità del film liquido determina la maggiore o minore usura degli anelli e quindi la durata della tenuta. In fase di selezione del tipo di tenuta meccanica, è necessario prevedere sia la corretta lubrificazione sia l'appropriato raffreddamento delle facce; ciò avviene controllando la temperatura del fluido di processo, la tensione di vapore dello stesso alla temperatura d'esercizio, la natura del liquido di processo e la velocità dell'albero.

La necessità di utilizzare una pellicola fluida tra le facce presenta alcune complessità progettuali, in quanto richiede il passaggio di una quantità di lubrificante sufficiente tra le facce di tenuta, senza però causare la fuoriuscita di quantità significative di fluido di processo, e senza consentire l'ingresso di sostanze contaminanti nel punto di interfaccia presente tra le due facce, in quanto ciò può causare il danneggiamento della tenuta.

Tale risultato viene ottenuto mantenendo una distanza precisa tra le facce, con uno spazio sufficiente a consentire il passaggio di una quantità sufficiente di lubrificante pulito, ma anche sufficientemente contenuta da impedire alle sostanze contaminanti di penetrare all'interno del punto di contatto tra le facce. Normalmente, tale distanza tra le facce su una tenuta tipica è pari a 1 micrometro. Data la distanza così ridotta, le particelle potenzialmente dannose per le facce di tenuta non possono penetrare all'interno del sistema.

Al contempo, la quantità di fluido lubrificante che riesce a fuoriuscire da tale spazio è trascurabile. Senza la pressione di separazione esercitata dal film fluido, le due facce sarebbero a contatto tra loro. In tal caso si verificherebbe un fenomeno noto come "scorrimento a secco", che causa un rapido deterioramento e quindi il danneggiamento della tenuta. D'altro canto, in assenza di pressione di processo, le facce tenderebbero a separarsi, generando un'eccessiva distanza tra loro e quindi consentendo al fluido di fuoriuscire. (5)

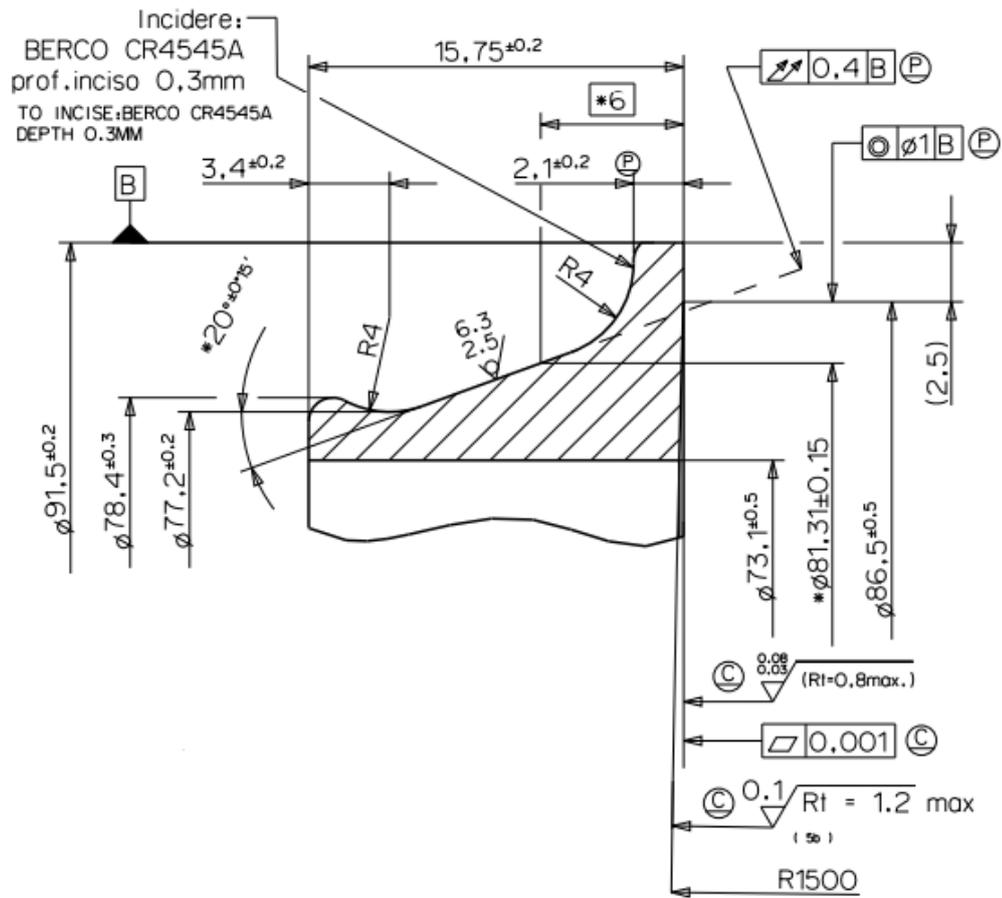


Figura 3-17. Disegno dell'anello di tenuta

Il disegno rappresenta la sezione di uno dei due anelli di tenuta. Si nota che ai fini di ottimizzazione del funzionamento la superficie di destra è piana solo nel tratto più esterno mentre è caratterizzata da un raggio di curvatura di 1500 mm nella zona restante. Successivamente viene montato il coperchio con la funzione di non far fuoriuscire l'olio lubrificante.

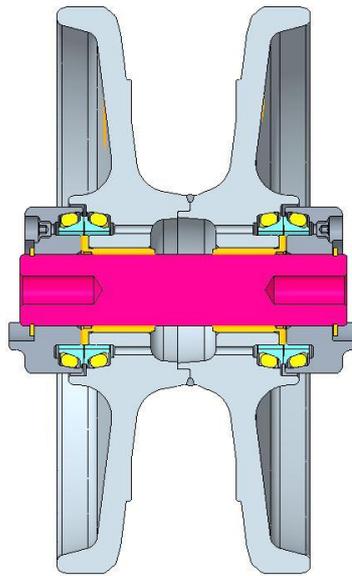


Figura 3-18. Sezione della ruota completa

Questa configurazione consente all'olio lubrificante di passare tra la boccola e l'albero, questo accoppiamento è infatti con gioco e quindi è sempre garantita una luce tra albero e boccola appunto. L'olio riesce così a lubrificare i due componenti aventi tra loro un moto relativo.

Al tempo stesso l'olio passa attraverso i fori ricavati sul fondo della sede del gruppo di tenuta ed è così in grado di lubrificare la superficie di contatto tra boccola e coperchio. Il coperchio è dotato di un ulteriore foro che consente l'inserimento dell'olio e la successiva chiusura del coperchio attraverso l'utilizzo di un tappo. Il coperchio va in battuta sulla boccola e viene bloccato per accoppiamento con interferenza all'albero. Vengono successivamente aggiunti gli anelli seeger di fermo che bloccano il coperchio. Gli anelli seeger hanno soprattutto una funzione di sicurezza infatti il coperchio è fissato con interferenza all'albero e l'albero è fissato al telaio ed è dunque solidale a questo.

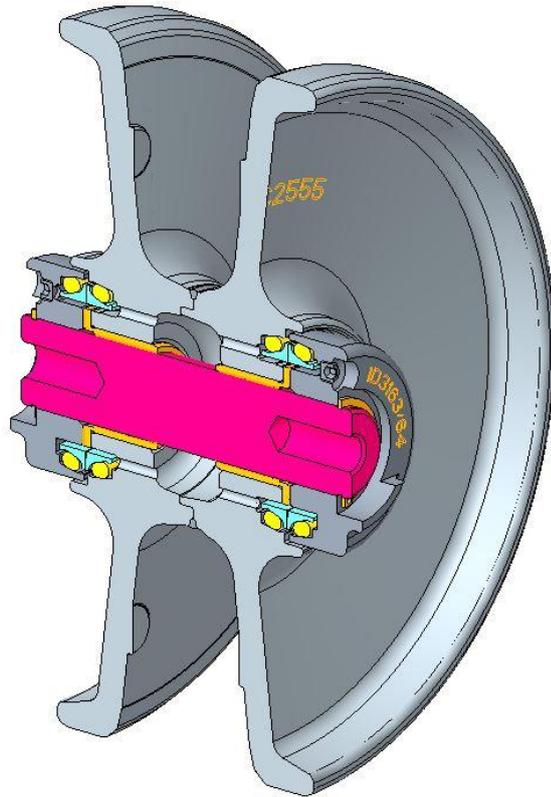


Figura 3-19. Sezione della ruota completa

4 MODIFICHE DI PROCESSO

Il progetto si è sviluppato con l'intento di snellire il flusso produttivo e quindi il processo. Si è pensato di operare sul processo produttivo per cercare di trovare un'alternativa al flusso attuale che potesse snellire in termini di costi la situazione presente oggi.

4.1 Descrizione del flusso produttivo attuale

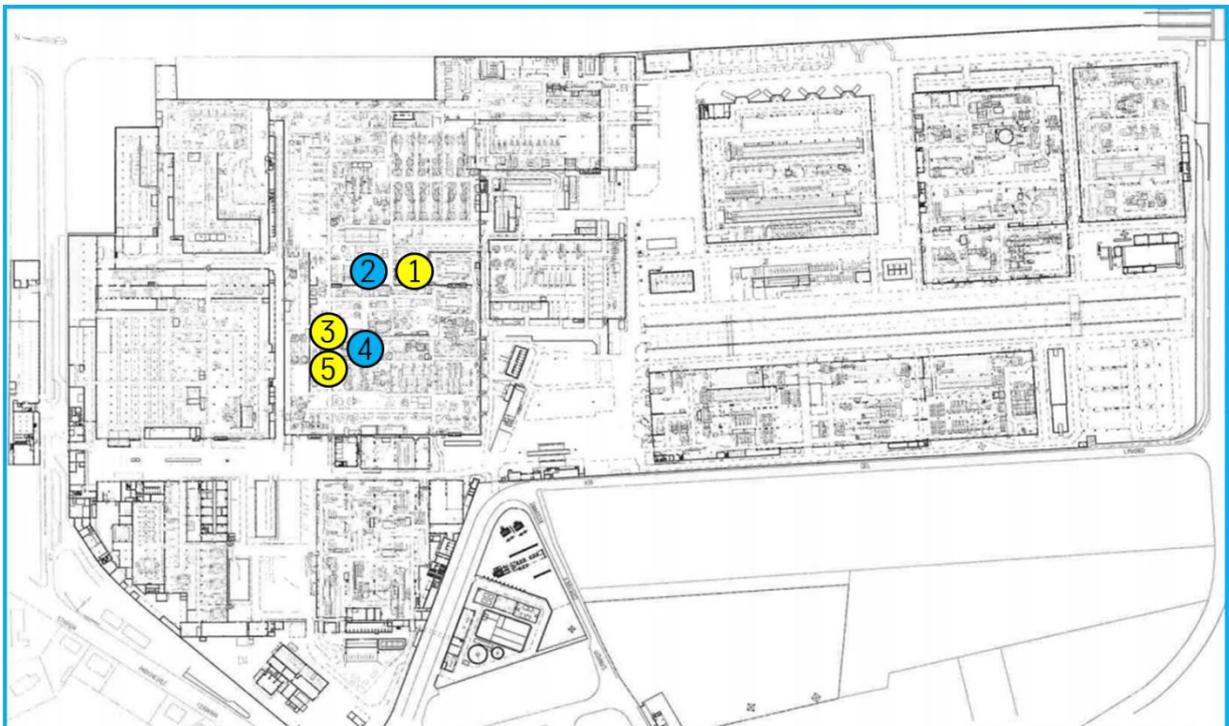
Il processo produttivo standard per la ruota BC2555 prevede il suo ingresso in azienda dopo essere già stampata e lavorata meccanicamente in termini di sgrossatura del foro, della sede del gruppo di tenuta e di lavorazione del cianfrino di saldatura oltre che subire anche la lavorazione della parte esterna della flangia su cui andrà in appoggio la fascia gommata. Internamente all'azienda, vengono effettuate nell'area rulli le successive lavorazioni di trattamento termico di tempra ad induzione, l'operazione di saldatura delle due semiruote con l'ottenimento della ruota assemblata ed infine la lavorazione meccanica di finitura del foro interno.

Nel ciclo attuale viene effettuata come ultima operazione la finitura del foro del pezzo, quest'ultima lavorazione è eseguita per ottenere le tolleranze richieste nel foro poiché durante la fase di saldatura non si riesce ad avere un controllo su questa quota. Eseguire infatti la saldatura senza un primo accoppiamento comporta un non controllo ottimale in termini di oscillazioni e coassialità.

Una volta terminate le lavorazioni, la ruota deve essere montata e assemblata ai componenti visti precedentemente. La fase di montaggio può essere eseguita nel reparto di montaggio rulli presente in Berco Copparo, che dà così origine alla ruota completa BC2536, oppure il montaggio può avvenire nello stabilimento Berco 2 di Castelfranco Veneto, in questo caso la ruota completa prenderà il nome ID2076.

4.2 Layout del ciclo attuale

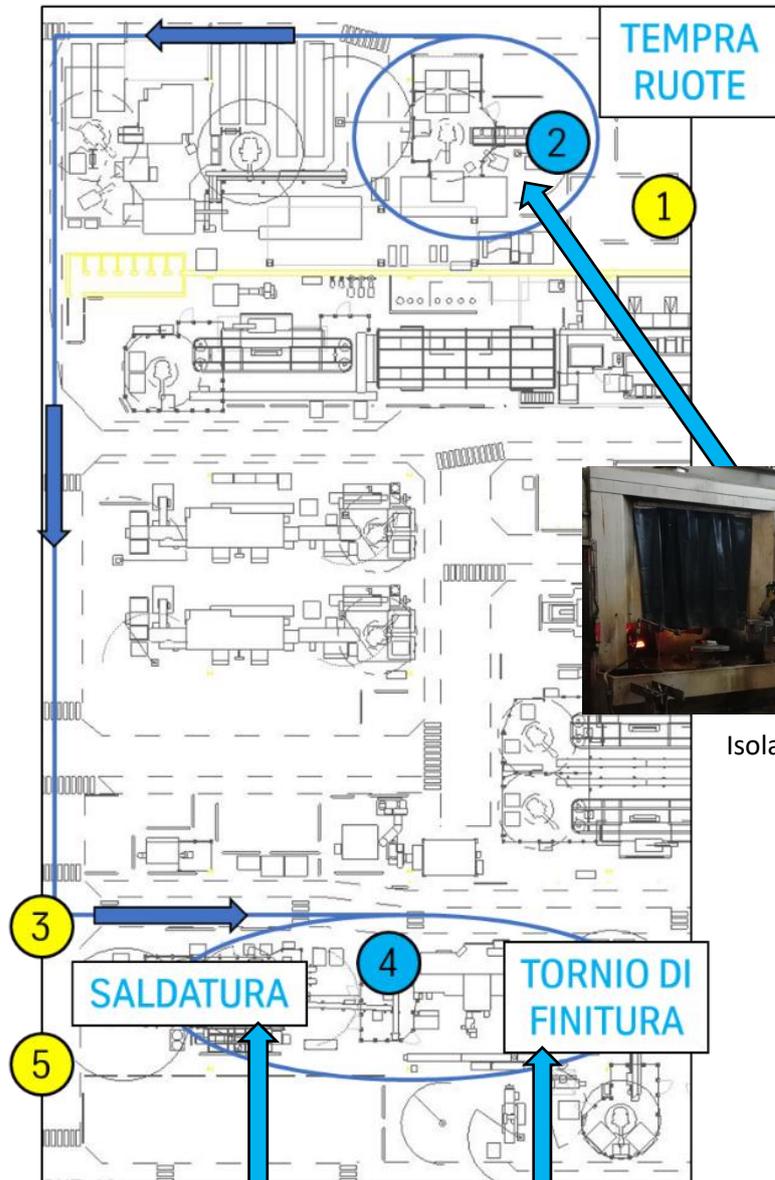
Il layout attuale interno all'area rulli è quello rappresentato. In giallo sono segnate le postazioni di stock mentre in azzurro quelle di lavoro. Quando entrano in area le ruote vengono stoccate al fianco dell'sola di tempratura. Una volta temprate vengono trasportate tramite carrello elevatore nella postazione di stock precedente la saldatura. La saldatrice si trova in linea con il tornio di finitura. Nella configurazione standard il tempo ciclo della seconda lavorazione è dato dal tempo del tornio di finitura che risulta essere di 2,4 minuti. Una volta lavorate, vengono riposizionate nella postazione di fronte alla linea per essere poi trasferite al reparto di montaggio.



● Questo simbolo definisce un'operazione

● Questo simbolo definisce uno stock

Figura 4-1. Layout del ciclo standard



Isola di tempratura ruote



Isola di saldatura



Tornio di finitura

Figura 4-2. Layout del ciclo attuale con lavorazioni in evidenza

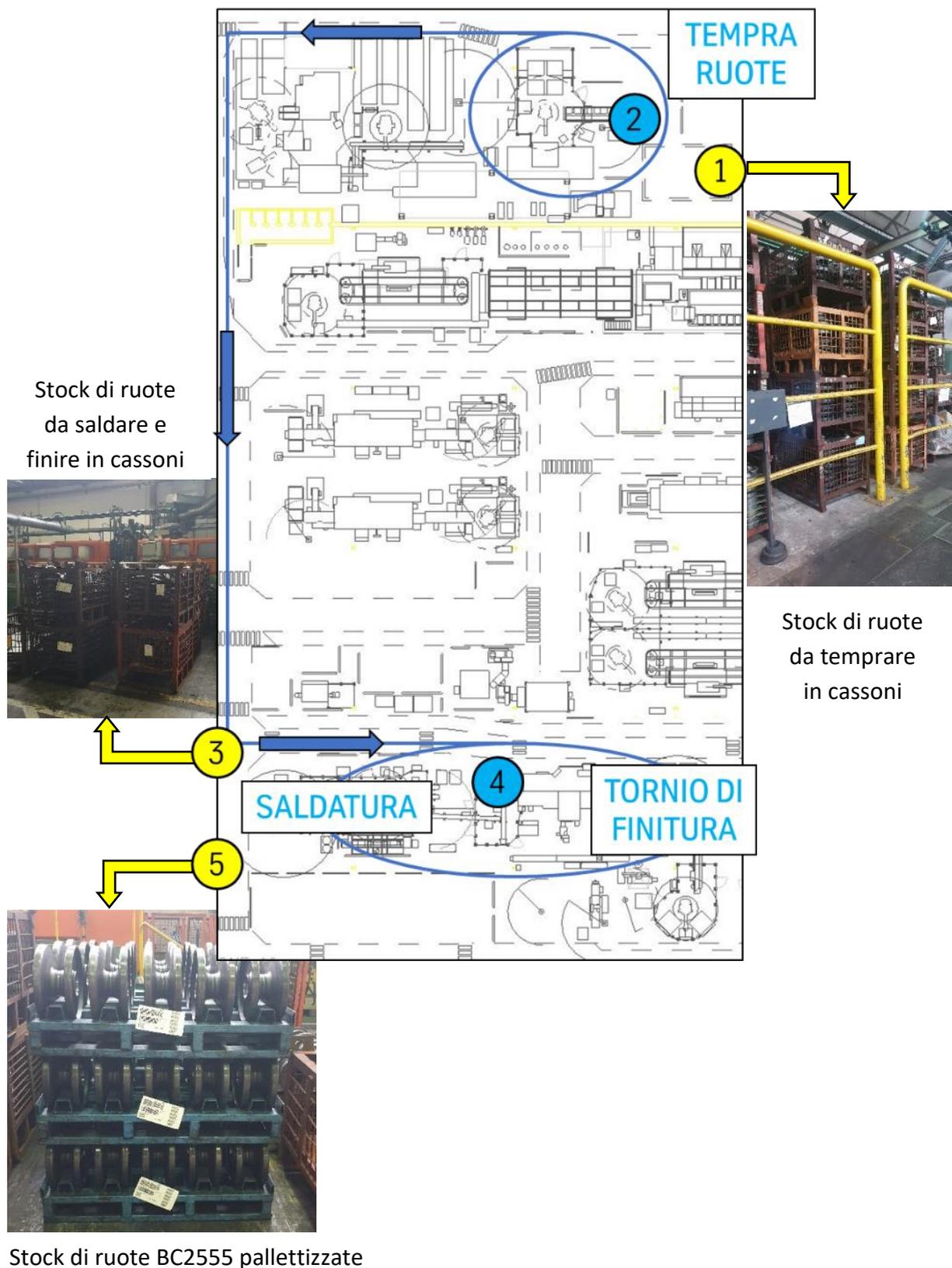


Figura 4-3. Layout del ciclo di lavorazione attuale con stock in evidenza

4.3 Value Stream Mapping del ciclo attuale

Value Stream Mapping è un metodo di visualizzazione grafica che fonda le proprie radici nella filosofia produttiva di Toyota. Negli anni '80 ai vertici della casa automobilistica giapponese si decise ad attuare una politica di abbattimento degli sprechi nei processi produttivi.

Nacque la VSM la cui traduzione letterale è Mappatura della Catena del Valore. Questo strumento permise di prevenire ogni tipo di spreco, con la conseguenza di non togliere valore al prodotto finito aumentando in modo esponenziale l'efficienza. È un punto chiave del processo di Lean Manufacturing inserito e perfettamente integrato.

La Value Stream Mapping o Value Stream Map è la mappatura grafica di tutto quell'insieme di processi ed attività che concorrono alla realizzazione di un prodotto, partendo dal fornitore fino alla consegna del prodotto finito al cliente, passando per tutta la catena di produzione; il metodo mira ad eliminare gli sprechi e ad incrementare l'efficienza dei processi che realizzano il valore del prodotto.

Il presupposto sul quale basare l'analisi della catena del valore non è il miglioramento del singolo processo, ma l'ottimizzazione globale dell'intero processo:

Le peculiarità della mappatura del processo sono due:

- Current State Map (as is): descrive la situazione del prodotto nel flusso del valore.
- Future State Map (to be): indica il modo in cui si vuole vedere il prodotto all'interno del flusso di valore

Gli obiettivi della attività di Value Stream Mapping sono:

- non focalizzarsi sul singolo processo, ma sull'intero flusso dei materiali e delle attività;
- trovare le cause dello spreco ed eliminare gli sprechi alla radice;
- fornire uno strumento grafico comune per leggere ed interpretare il flusso di materiali ed informazioni;
- implementare contromisure per eliminare gli sprechi e migliorare il flusso di materiali ed informazioni;
- coinvolgere le risorse.

L'MPS, ovvero Master Production Schedule significa piano principale di produzione. È un documento nel quale vengono elencate le quantità di prodotto finito da produrre suddivise nei vari periodi di tempo. È diverso dal piano di produzione poiché non riguarda le sequenze di lavoro da svolgere nei reparti di produzione. Spesso viene corredato da una stima delle ore di lavoro necessarie generando così una percentuale d'uso dei reparti.

La sigla MRP significa invece Material Requirements Planning ovvero pianificazione dei fabbisogni di materiali. È una tecnica che consente di calcolare i fabbisogni di materiali e pianifica gli ordini di produzione e di acquisto.

Ciò viene fatto tenendo conto della domanda del mercato, della giacenza nel magazzino, della distinta base e dei lead time di produzione e di acquisto. La pianificazione del sistema MRP avviene con un intervallo temporale del giorno o della settimana. L'orizzonte di pianificazione è invece solitamente compreso tra i 2 e 4 mesi. L'MRP, in sostanza, pianifica gli ordini di produzione, di conto lavorazione e di acquisto. (6)

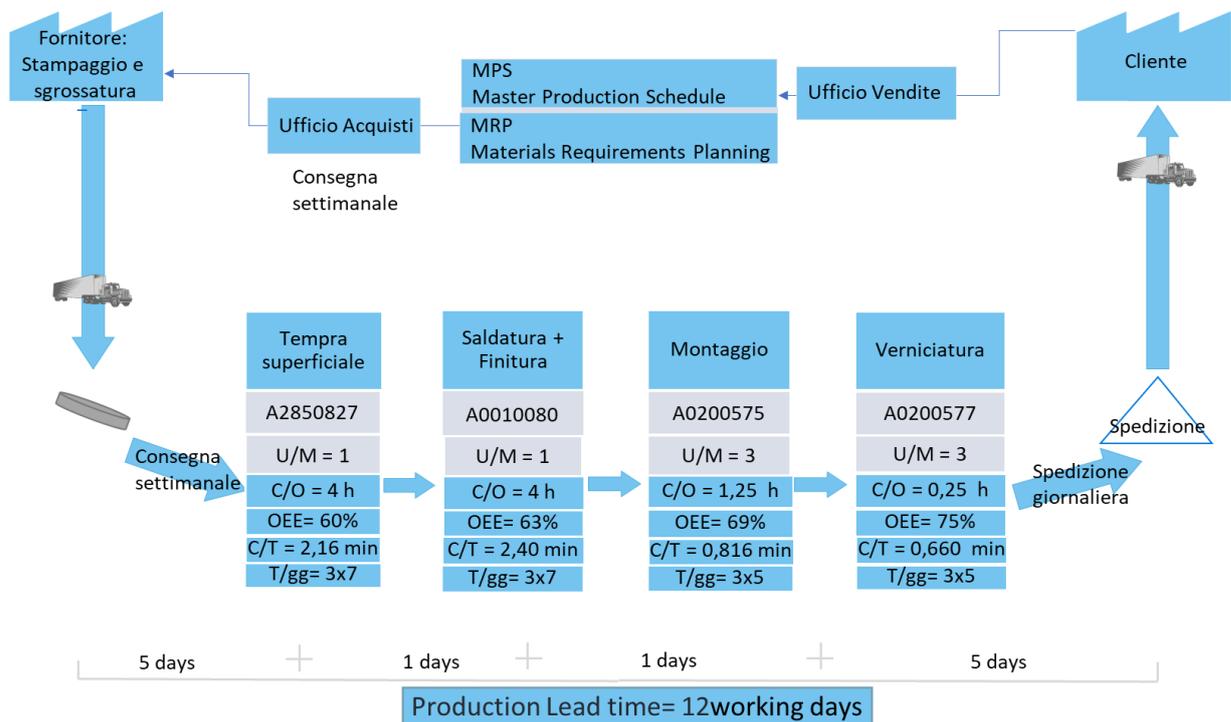


Figura 4-4. VSM del ciclo standard

Per ogni lavorazione sono riportati in ordine dall'alto verso il basso il centro di costo, il rapporto uomo/macchina il tempo di set-up, l'OEE, il tempo ciclo, i turni per giorno e i giorni settimanali di lavorazione. L'OEE è un indice che sta per Overall Equipment Effectiveness.

La macchina ideale dovrebbe lavorare tutto il tempo alla velocità standard senza generare alcun tipo di problema. Le macchine però non possono lavorare in maniera continuata o a velocità massima, in quanto subiscono vari arresti e producono pezzi difettosi.

Questi problemi sono la causa della riduzione dell'efficienza delle macchine, come misurato dall'OEE. Questo indice è composto da fattori quali disponibilità, qualità e prestazioni. Nella disponibilità rientrano le perdite per inattività come i guasti e il tempo di set-up. Per qualità si intendono perdite per difetti quali scarti e rilavorazioni e tempo di start-up. Nelle prestazioni rientrano le perdite di velocità e quindi arresti dovuti a piccoli inconvenienti e ridotta velocità di lavorazione.

Il lead time è invece un parametro che significa tempo di attraversamento cioè l'intervallo di tempo necessario per soddisfare una richiesta del cliente. In questo caso il lead time è dato dal tempo di permanenza del prodotto all'interno dell'azienda. Si può notare come dei 12 giorni di lead time, 10 giorni sono dovuti all'attesa nel lavorare il pezzo e all'attesa ad essere spediti una volta che sono terminati. Mediamente si ha circa un giorno di attesa tra la lavorazione di tempra e quella di saldatura e tornitura così come si ha un giorno di attesa da quando la ruota è stata finita nell'area di lavorazioni e attende la fase di montaggio e verniciatura. (7)

4.4 Modifiche sulla linea produttiva effettuate

Per ottenere un risparmio di costi sul processo produttivo si è valutata l'ipotesi di effettuare la seguente modifica al flusso delle fasi di lavorazione: poiché il fornitore, oltre ad effettuare una prima operazione di stampaggio, realizza anche una consistente fase di lavorazioni meccaniche di tornitura di sgrossatura e foratura, l'idea è stata quella di snellire il processo interno facendo effettuare al fornitore anche la lavorazione meccanica di tornitura di finitura del foro interno della ruota.

In questo modo, in via teorica, si dovrebbe ottenere un risparmio poiché il fornitore avrebbe già in linea il pezzo per poter effettuare la seconda lavorazione meccanica e verrebbe risparmiato all'interno di Berco il tempo di attrezzaggio di una macchina dedicata alla lavorazione di tornitura del foro.

La decisione di modificare il processo e far eseguire tutte le lavorazioni meccaniche al fornitore, compresa la finitura del foro appunto, comporta la necessità di avere un preaccoppiamento prima di effettuare la saldatura per riuscire a garantire le tolleranze sul foro e sulla coassialità. Di conseguenza si dovranno realizzare due semiruote diverse, una semiruota femmina, che da qui in avanti sarà indicata con il numero 1, ed una semiruota maschio, indicata da qui in poi con il numero 2. Avendo ora due semiruote differenziate, da accoppiare, è necessario inserire nel flusso produttivo una pressa che effettui questo preassemblaggio della ruota.

Il nuovo ciclo interno sarà dunque composto dalla tempratura ad induzione come fase iniziale (esattamente uguale a come veniva realizzata in precedenza), e una seconda fase di pressatura e saldatura. La fase di pressatura, pur essendo una lavorazione aggiuntiva rispetto al flusso precedente può essere inserita in linea alla saldatrice (ovviamente a monte della macchina di saldatura) ed avendo un tempo ciclo inferiore a quello della saldatrice non comporta alcun aspetto peggiorativo in termini di tempi di lavorazione.

Verrà valutata a termine trattazione l'analisi dei costi che metterà a confronto le due differenti configurazioni di processo produttivo e che verificherà la convenienza o meno di tale modifica processuale.

4.5 Layout del ciclo futuro

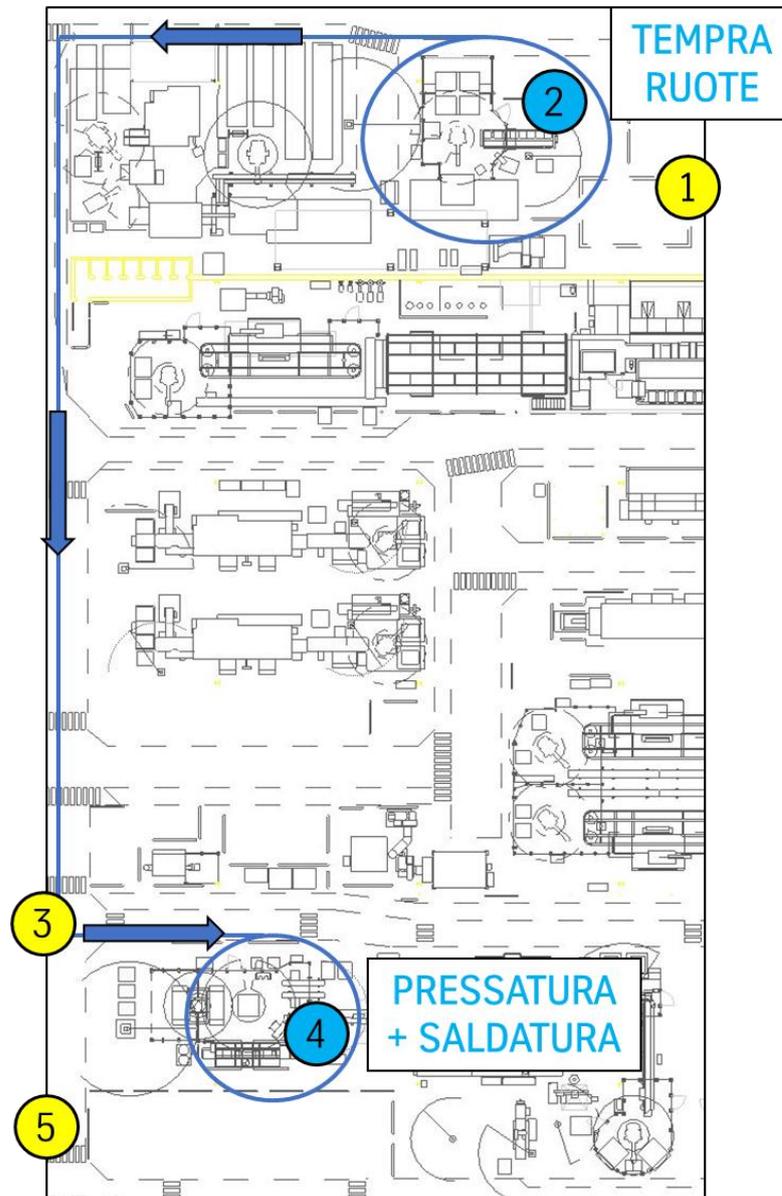


Figura 4-5. Layout del ciclo futuro

Con questa configurazione, così come per quella standard, si ha la seconda lavorazione composta da due macchine in linea, in questo caso si tratta di pressa e saldatrice.

A differenza del ciclo standard però, si avrebbe il tempo ciclo della seconda lavorazione dettato dalla cadenza della saldatrice che risulta essere inferiore rispetto a quello del tornio di finitura. Infatti, l'aggiunta di una pressa verticale a monte della saldatrice non comporta alcun aumento del tempo di lavorazione.

Il centro di lavoro di saldatura è composto da una rulliera di carico alimentata dall'operatore attraverso l'utilizzo di un paranco, un robot che preleva il pezzo da rulliera per posizionarlo in macchina di saldatura ed infine la saldatrice.

La saldatrice ha due stazioni di saldatura che però non funzionano contemporaneamente, infatti, la torcia di saldatura è una sola e trasla da una stazione all'altra. Questa configurazione consente al robot di poter caricare le due semiruote sulla seconda stazione mentre la prima è in lavorazione.

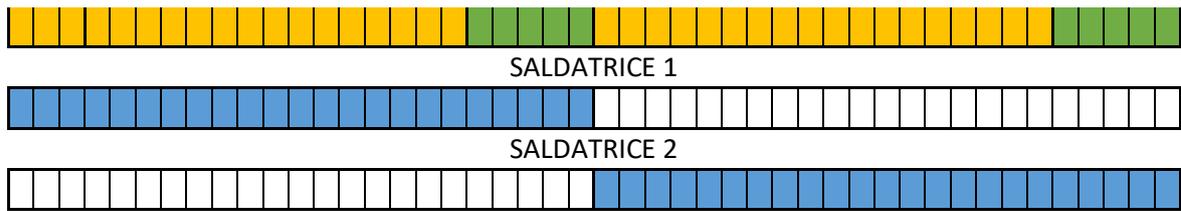
Terminata la saldatura il robot effettua l'operazione di scarico della ruota saldata sulla rulliera di scarico. Il tempo ciclo di quest'isola è dettato dal tempo di saldatura che risulta essere pari a 1,92 min., pari a circa 115 s in seguito è riportato il ciclogramma attuale della lavorazione di saldatura.

Questo diagramma è utile perché mostra visivamente eventuali interferenze tra le operazioni. In questo caso lo si utilizza per spiegare la sequenza delle operazioni e per mostrare come la fase di saldatura sia la lavorazione più lunga che detta la cadenza dell'isola. Nel ciclogramma riportato, il singolo rettangolo rappresenta il tempo di 5 secondi, si sono approssimati i tempi delle lavorazioni a multipli di 5 secondi per semplificare la rappresentazione. Il carico in saldatrice da parte del robot è un'operazione onerosa in termini di tempo in quanto si hanno due semiruote da infilare nel perno della macchina di saldatura.

CARICO ROBOT	75	s
SCARICO ROBOT	15	s
RIPOSO ROBOT		
SALDATURA	115	s

La sequenza è da considerare una volta che si è a regime e si inizia con la saldatura nella saldatrice 1, in contemporanea, il robot scarica il pezzo appena saldato dalla saldatrice 2 e carica sulla stessa saldatrice il nuovo pezzo da saldare. Finite queste due operazioni si posizione davanti alla saldatrice 1 in attesa della fine della lavorazione. Una volta finita la saldatura il robot può prelevare il pezzo saldato e scaricarlo e la torcia di saldatura passa alla saldatrice 2 per consentire la lavorazione.

ROBOT



- ■ Robot in funzione
- ■ Robot in attesa
- ■ Saldatrice in funzione
- Saldatrice a riposo

Si nota che il tempo della lavorazione è dettato dal tempo di saldatura e durante questo periodo il robot ha a disposizione il tempo di effettuare le operazioni di scarico e carico in tempo mascherato.

Nel processo futuro è presente una pressa verticale automatica a monte della saldatrice.

Il flusso quindi sarà sempre alimentato dal robot che però posizionerà le due semiruote sulla pressa verticale e poi caricherà la ruota pressata sulla saldatrice. La pressa verticale sarà posizionata circa a metà tra la rulliera e la saldatrice in modo da minimizzare il tragitto del robot. Analizzando operazioni simili già presenti in azienda si sono stimati i tempi di carico delle semiruote su pressa verticale. Lo stesso si è fatto per il tempo di pressatura che sarà leggermente inferiore ai 10 secondi. Il tempo di carico della ruota pressata sulla saldatura è stimabile, in modo peggiorativo, a 25 secondi. Questo tempo risulta nettamente inferiore a prima in quanto ora viene caricato in saldatrice una ruota già pressata e quindi un unico componente, mentre precedentemente il carico era di due semiruote. Il tempo di carico delle due semiruote sulla pressa risulta essere circa pari a 50 secondi.

CARICO ROBOT PRESSA	50	s
CARICO ROBOT SALD.	25	s
SCARICO ROBOT	15	s
RIPOSO ROBOT		
SALDATURA	115	s
PRESSATURA	10	s

La sequenza delle lavorazioni per il processo futuro una volta a regime è rappresentata dal ciclogramma seguente:

5 MODIFICHE PROGETTUALI E FUNZIONALI

La modifica di processo ideata riguardante lo snellimento del processo produttivo comporta la necessità di effettuare la modifica nella modalità di accoppiamento. Infatti, la sola saldatura come tipologia di accoppiamento può non garantire la coassialità. In generale la coassialità è un fenomeno non facilmente controllabile e può dipendere da numerosi fattori.

Si è scelto di procedere realizzando un preaccoppiamento tra le due semiruote per interferenza. In questo modo, nel momento in cui si applica la saldatura le due semiruote risultano già accoppiate e viene già garantita una tolleranza di coassialità.

All'interno dello stabilimento venivano già prodotte altre tipologie di ruote o rulli per i quali l'accoppiamento totale avvenisse attraverso un primo preaccoppiamento per interferenza ed una successiva saldatura. Si è dunque preso spunto da altri materiali già prodotti con questa tecnica per realizzare l'accoppiamento per interferenza per la ruota in esame.

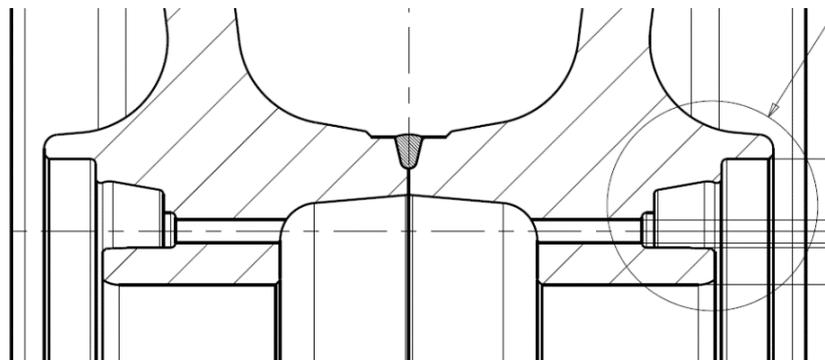


Figura 5-1. Sezione della ruota con accoppiamento standard

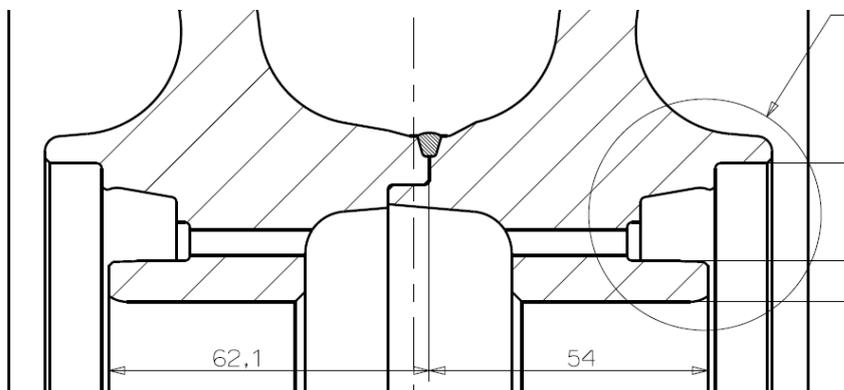


Figura 5-2. Sezione della ruota con accoppiamento per interferenza

I due disegni riportati mostrano la differenza tra la ruota standard e la ruota con le modifiche apportate. Oltre alla differenza legata all'accoppiamento tramite maschio e femmina si può notare una modifica nel cianfrino di saldatura. Infatti, il cianfrino passa da un angolo di 26° ad un angolo di 32° , in più è stata variata anche la profondità del cianfrino di saldatura che passa da 6,75 mm a 4 mm.

Queste variazioni sono state realizzate a seguito del cambio di tipologia di saldatura avvenuta per numerosi prodotti interni a Berco. Fino a qualche mese fa la maggior parte delle saldature veniva eseguita con saldatrice laser, soprattutto per il volere di uno dei maggiori clienti per importanza, ovvero Bobcat. Recentemente la macchina laser è stata valutata obsoleta. Si è dunque valutata l'opportunità di eseguire le saldature fatte precedentemente a laser con saldatura mig.

Una volta avuto il benestare del cliente è stata apportata questa modifica. La modifica del tipo di saldatura ha portato ad una modifica del cianfrino di saldatura che per saldatura mig risulta essere più largo. Quindi la variazione della forma del cianfrino di saldatura è dovuto al passaggio da saldatura laser a saldatura mig. Inoltre, precedentemente, per la saldatura laser veniva realizzato un cianfrino particolare per far fronte a problemi di cricche che si verificavano con un cianfrino standard a seconda del materiale che si sottoponeva a saldatura.

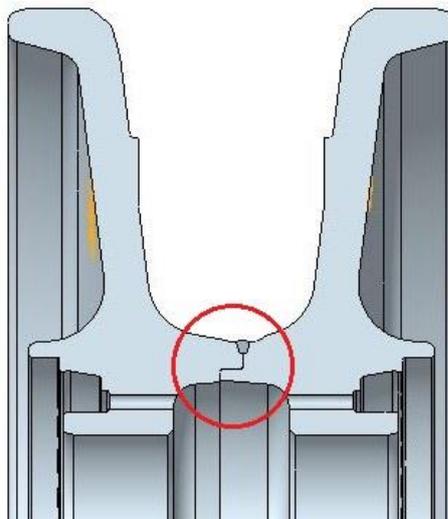


Figura 5-3. Sezione della ruota: accoppiamento per interferenza

6 REALIZZAZIONE DELLE RUOTE CON LE MODIFICHE DESCRITTE SU UN LOTTO DI PROVA

Per analizzare la fattibilità delle modifiche pensate si è deciso di effettuare una prova interna su un lotto di dieci semiruote che una volta assemblate daranno vita a 5 ruote prototipo.

Si è quindi stabilito di farsi fornire, dal fornitore esterno, le semiruote di prova solo stampate, senza alcuna lavorazione meccanica di sgrossatura. Per la realizzazione della prova verranno effettuate internamente le lavorazioni meccaniche per verificare in maniera diretta la realizzabilità del processo.

6.1 Lavorazioni meccaniche

La prova è iniziata con la realizzazione delle lavorazioni meccaniche al fine di ricavare dalla semiruota grezza la semiruota 1 e 2 ed effettuare la sgrossatura e finitura della parte esterna della ruota, ovvero il piano mozzo, la sede per il gruppo di tenuta, i fori per il passaggio dell'olio e la finitura della parte più esterna della flangia dove andrà in contatto con la fascia gommata. Le lavorazioni meccaniche sono state svolte con un tornio a controllo numerico Mazak Integrex 400.

6.1.1 *Controllo numerico computerizzato*

Il controllo numerico è un modo di controllare i movimenti di una macchina inserendo nel sistema istruzioni codificate in forma di numeri e lettere. Il sistema interpreta i dati e li trasforma in azioni. Numeri, lettere e simboli costituiscono il programma per realizzare un determinato particolare (part program). Con i sistemi di produzione tradizionali con macchine utensili, il disegno del pezzo rappresenta una memoria con tutte le necessarie informazioni. Dal momento che la macchina non può comprendere il disegno occorre l'uomo che lo legga e lo interpreti e lo comunichi alla macchina effettuando tutte le necessarie manovre. Viene pertanto a crearsi un connubio indivisibile tra uomo e macchina.

La necessità di macchine flessibili e versatili atte alla fabbricazione di piccoli lotti di pezzi diversi tra loro, di macchine ad alta precisione che svincolassero l'uomo dalle macchine stesse lasciando all'uomo solo la sorveglianza ha determinato lo sviluppo delle macchine a controllo numerico. La genesi della denominazione sta nel fatto che le informazioni date alla macchina vengono ricavate dal disegno e dal ciclo di lavorazione del pezzo e memorizzate in forma numerica su di un supporto magnetico o direttamente nella memoria dell'unità di governo della macchina stessa.

Il controllo numerico opera secondo uno schema ad anello chiuso con retroazione di posizione, di velocità e di accelerazione del tutto simile a quello impiegato da un uomo nell'esecuzione della stessa funzione. Sulle macchine utensili a controllo numerico si verificano spostamenti lineari ed angolari. Si hanno infatti traslazioni rettilinee delle tavole e della testa operatrice nonché rotazioni di tavole girevoli secondo un asse verticale ed orizzontale della testa. Ciascuno degli spostamenti indicati è controllato da un trasduttore di posizione che è un misuratore di quote (lineari ed angolari) che rispetto ad un centro di coordinate prestabilite rileva una quota con determinata precisione.

Dal disegno tramite la programmazione si fornisce all'unità di governo un certo numero di informazioni geometriche e tecnologiche. L'unità di governo le interpreta e lancia opportuni segnali ai servomeccanismi della macchina che si occupano della movimentazione delle tavole e della testa operatrice. Posizionato il pezzo sul mandrino portapezzo interviene il mandrino portautensile con il suo avanzamento e rotazione.

Nel passato le unità di governo delle macchine utensili erano a logica cablata che permetteva l'esecuzione di poche funzioni e una ridotta flessibilità. Un forte limite era la necessità di caricare a blocchi il part-program ogni volta che si doveva eseguire il pezzo, a causa della mancanza di memoria nell'unità di governo (era possibile mantenere in memoria unicamente l'operazione da svolgere e quella successiva).

Le moderne unità di governo sono del tipo soft-wired o meglio denominate CNC dove il controllo è eseguito da più processori. Il limite è stato superato con l'impiego del calcolatore a bordo dell'unità di governo, che ha garantito la possibilità di immagazzinare un numero illimitato di programmi. Risulta inoltre possibile conoscere in anticipo più istruzioni del part-program per predisporre, ad esempio, il cambio utensile.

Le risorse hardware e software dei calcolatori permettono la gestione diretta di un numero elevato di assi contemporaneamente. Le principali funzioni del CNC sono il controllo della macchina utensile, la compensazione in linea, la gestione dei programmi e la diagnostica.

Il controllo numerico computerizzato comporta numerosi vantaggi quali la possibilità di gestire ed archiviare programmi; selezionare le unità di misura; avere un'elevata flessibilità con la possibilità di introdurre nuove funzioni; la possibilità di generare programmi personalizzati per la gestione della macchina; possibilità di essere compatibili ed interfacciabili con le varie funzioni aziendali nell'ottica della produzione assistita da calcolatore. (8)

6.1.2 Tornio Mazak Integrex 400

Le lavorazioni meccaniche delle semiruote sono state svolte su un tornio a controllo numerico Mazak Integrex 400.



Figura 6-1. Tornio Mazaak Integrex 400

Sul mandrino viene fissato un autocentrante che ha il ruolo di fissare e tenere fermo il pezzo da lavorare. Esistono autocentranti con 3, 4 o 6 griffe o ganasce. Per la lavorazione effettuata si sono usate tre ganasce. Il portautensile è l'elemento intermedio tra mandrino ed utensile. Il portautensile viene configurato attraverso il diametro della base del cono e la filettatura di attacco del codolo. Il mandrino è costruito con un solo tipo di cono e può ricevere solo un tipo di portautensile.



Figura 6-2. Mandrino autocentrante



Figura 6-3. Utensile e mandrino portautensile

Dal lato opposto all'autocentrante è presente una contropunta che non è stata utilizzata nella lavorazione della ruota. Le contropunte vengono usate per lavorazioni di pezzi di forma allungata. Le contropunte possono essere fisse o rotanti.



Figura 6-24. Contropunta

Tabella 6-1. Caratteristiche tornio Mazak Integrex 400

MASSIMO DIAMETRO ROTANTE	610 mm
MASSIMA LUNGHEZZA TORNIBILE	1524 mm
MASSIMO DIAMETRO TORNIBILE	610 mm
MANDRINO	35-3000 rpm; 22-30 kW; 1195 Nm; 304 mm
TESTA	15-6000 rpm; 15 kW; 116 Nm
CORSA ASSE X	580 mm
CORSA ASSE Y	± 105 mm
CORSA ASSE Z	1605 mm
AVANZAMENTI RAPIDI X, Y, Z	30 - 15 - 30 m/min
MAGAZZINO UTENSILI	80 posizioni
CONTROLLO	Mazatrol fusion 640 mt
PESO	9650 kg

6.1.3 Linguaggio di programmazione APT

Il linguaggio di programmazione APT (Automatic Programming Tool), nasce nel 1955 per consentire la programmazione di superfici complesse, non programmabili manualmente su vecchi NC hard wired. La struttura di tale linguaggio è ancora valida e su di essa si basano i “motori” dei moderni linguaggi CAM.

Ancora oggi un programma CAM produce un APT CL (Cutting Location) file. Un post-processor lo trasforma poi nel linguaggio ISO del CNC a cui è destinato. La struttura di questo linguaggio è composta da informazioni geometriche che definiscono la geometria del pezzo; informazioni di moto che spostano l’utensile su una coordinata o lungo superfici specificate. I comandi per il post-processor che definiscono il post processore da impiegare e permettono di aggiungere comandi ausiliari e la definizione dell’utensile e delle tolleranze che determinano la geometria dell’utensile e i relativi dati tecnologici.

Comandi per il post-processor:

- Machin/nome macchina: assegna la macchina con il controllo;
- Coolnt/on (off): avvia o chiude la lubrorefrigerazione;
- Feedrat/numero: assegna la velocità di avanzamento;
- Spindl/numero: assegna la velocità di rotazione al mandrino e il verso di rotazione;
- Toolno/numero: definisce l’utensile;
- End: fine del programma. (9)

6.1.4 *Software di programmazione*

Mazatrol è il nome del controllo numerico conversazionale di Mazak. Mazatrol è un linguaggio differente dalla normale programmazione ISO infatti in ISO le istruzioni servono per far eseguire alla macchina delle operazioni passo passo, facendo pensare all'operatore come fare la lavorazione. Mazak invece ribalta questo modo di pensare, chiedendo a chi gli sta davanti cosa si vuole fare.

Un programma Mazatrol si distingue in fasi e non in blocchi. La fase non è altro che una maschera che contiene tutte le informazioni necessarie per eseguire l'operazione specifica. Esistono fasi pezzo per gestire gli zeri, fasi di lavorazione, fasi offset ecc. Una volta compilati tutti i campi necessari della fase, sarà il controllo numerico a gestire i movimenti, i giri e gli avanzamenti per eseguire la lavorazione voluta.

Questo sistema di programmazione non è libero come il linguaggio ISO ma permette al controllo di decidere spostamenti, avvicinamenti e allontanamenti. Un'altra particolarità di questo linguaggio di programmazione è la gestione degli utensili. Questi infatti non vengono chiamati per numero ma per nome.

Ogni utensile ha una serie di informazioni (come per esempio l'altezza della cuspidi di una punta o la profondità massima asportabile di una fresa) che servono al controllo a proporre i valori ottimali per la compilazione delle fasi. Tutto questo ha come obiettivo la riduzione di errori, la semplificazione del magazzino utensili e l'agevolazione alla stesura del programma. La rigidità di pensiero di Mazatrol fornisce maggiori funzionalità. È infatti possibile variare la sequenza di lavorazione degli utensili in modo semplice e veloce tramite le priorità. Il programma può essere stilato anche senza seguire la reale sequenza di lavorazione degli utensili e, assegnando le priorità alle fasi, si può decidere quale lavorazione eseguire prima e quale dopo. Così facendo si possono limitare i richiami degli utensili, raggruppando le lavorazioni per utensile anche su più programmi, diminuendo così i tempi ciclo. Anche i parametri di taglio possono essere suggeriti da Mazatrol, grazie ad una tabella che racchiude i dati di taglio catalogati per materiale e utensile.

Questo linguaggio di programmazione consente di ridurre i tempi di stesura del programma e di correzione del primo pezzo. Inoltre, il metodo delle fasi ermetiche dà la possibilità al controllo di interagire con il programma, per esempio tramite il tasto VFC. Questo tasto è

molto utile per eseguire le ottimizzazioni del programma. Serve infatti a variare i parametri di taglio semplicemente agendo sui potenziometri mentre la macchina è in lavorazione.

6.1.5 Programmazione delle lavorazioni meccaniche

I programmi delle lavorazioni meccaniche sono stati eseguiti con il software cad cam di programmazione Mazak chiamato Mazatrol e descritto a grandi linee precedentemente. Il software di programmazione risulta molto comodo ed intuitivo.

La schermata iniziale è composta da un sistema di riferimento, il programmatore che dispone del disegno del pezzo grezzo e del pezzo finito, inizia la fase di programmazione andando a sovrapporre i due disegni del grezzo e del finito nello stesso sistema di riferimento.

Questa fase è chiaramente da effettuare con molta attenzione per assicurare che i due disegni risultino perfettamente sovrapposti. Una volta eseguita questa operazione, il software ha la capacità di elaborare le informazioni date dalla sovrapposizione dei due disegni e fornisce automaticamente una prima possibile sequenza di lavorazioni da effettuare.

Questo procedimento è possibile grazie all'inserimento nel database del programma delle varie tipologie di utensili disponibili e le relative caratteristiche. Il programmatore interviene successivamente per apportare eventuali modifiche alla sequenza di lavorazioni proposta, cambia eventuali parametri della lavorazione e l'utensile da utilizzare.

La schermata iniziale dopo aver sovrapposto i due disegni è quella riportata in seguito. Dalla figura si nota il profilo della ruota grezza e quello della ruota finita. Nell'immagine è riportata la semiruota 2 (maschio). (10)

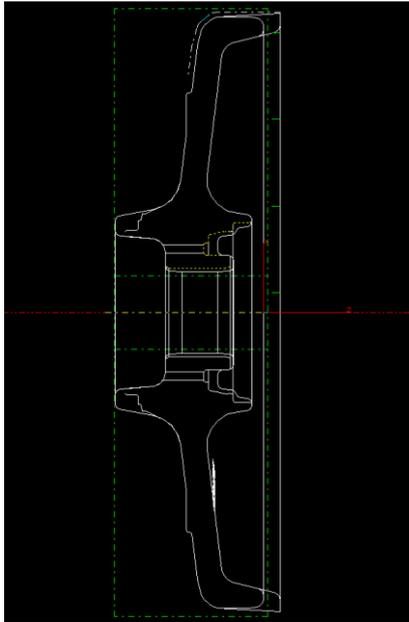


Figura 6-5. Sovrapposizione del disegno del finito sul grizzo nel software di programmazione

La lavorazione della semiruota in questo caso specifico è stata divisa in tre fasi, la lavorazione della parte esterna della sede It, la lavorazione della parte interna della semiruota 1 e della semiruota 2. Le lavorazioni vengono raggruppate a seconda dell'utensile da utilizzare e vengono svolte seguendo una logica di ottimizzazione del tempo di lavorazione. Di seguito verrà descritta la sequenza delle operazioni della lavorazione nelle tre diverse fasi.



Figura 6-6. Presa della ruota sul tornio attraverso l'autocentrante

La prima lavorazione eseguita è quella della parte esterna dove viene realizzata la sede del gruppo di tenuta. La sequenza delle lavorazioni è la seguente: la ruota va in presa sulla campana esterna, si eseguono in successione la sfacciatura della campana e la tornitura esterna della campana, queste lavorazioni vengono fatte con un tornitore esterno.

In seguito, si hanno le lavorazioni di ripristino dello smusso interno della campana, sfacciatura del mozzo, sgrossatura del diametro da 106 mm e sgrossatura del diametro interno da 52,8 mm realizzate con un utensile di sgrossatura da interno. Successivamente si esegue la lavorazione dello scarico della sede It e la sua sgrossatura.

Viene poi utilizzato un utensile di finitura per effettuare la lavorazione del mozzo, del diametro da 106 mm e dello smusso del foro. Utilizzando poi un utensile particolare dotato di dentino apposito viene eseguita la finitura della sede It. Infine viene realizzata la foratura dei due fori con una punta di diametro di 5 mm.



Figura 6-7. Sede del gruppo di tenuta

La seconda fase di lavorazione consiste nella lavorazione meccanica per ottenere la semiruota 2 (maschio). La presa viene effettuata sulla campana esterna tornita precedentemente.

Chiaramente questa lavorazione è eseguita dal lato opposto della semiruota rispetto alla prima fase, quindi la presa sarà effettuata sul lato opposto. Con un utensile da tornitura per esterni viene realizzata la sgrossatura del cianfrino di saldatura e del diametro di accoppiamento, la sgrossatura del diametro esterno della flangia (o campana) e la spalla interna della flangia, dove va in appoggio la fascia gommata. Successivamente si utilizza un utensile finitore con il quale si esegue la finitura del diametro di accoppiamento. L'ultima lavorazione è con un utensile finitore per interno con il quale si realizza la finitura del foro.

La finitura del foro viene seguita in questa seconda fase in quanto deve essere effettuata insieme alla finitura del diametro di accoppiamento per garantire il più possibile la coassialità.



Figura 6-8. Presa per la seconda lavorazione

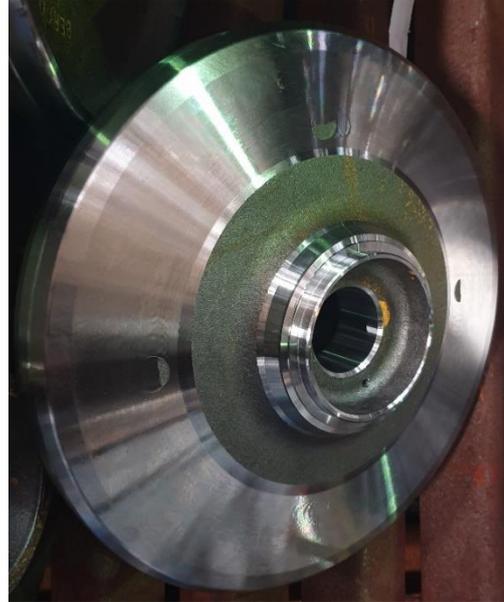


Figura 6-9. Seconda lavorazione: semiruota 2

L'ultima fase è quella di realizzare la semiruota 1. La lavorazione in questo caso è quasi uguale a quella per realizzare la semiruota 1 se non per il fatto che la sgrossatura e finitura del diametro di accoppiamento deve essere effettuata con un utensile di sgrossatura e finitura per interni.

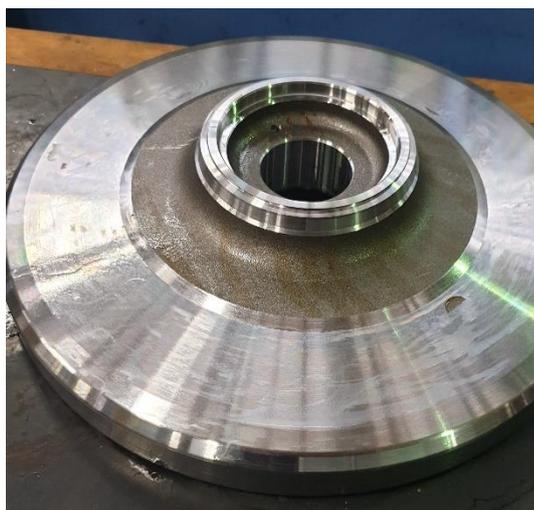


Figura 6-10. Seconda lavorazione: semiruota 1

6.2 Rilievi di misure dopo lavorazioni meccaniche

Dopo le lavorazioni di tornitura si è proceduto con il rilievo di alcune misure della semiruota che risultano particolarmente importanti. Le misure sono state effettuate su tutte e dieci le semiruote: le cinque semiruote 1 e le cinque semiruote 2.

Le stesse misure saranno poi effettuate alla fine di ogni lavorazione per verificare che rientrino in tolleranza e per capire se c'è una lavorazione particolare che genera dei problemi e nel caso analizzare quali correzioni effettuare. Le misure sono state effettuate con calibri interni, esterni e di profondità per quanto riguarda misure di diametri di alberi, fori o distanze tra piani paralleli. Per quanto riguarda misure più complesse come l'altezza o il diametro di coni in un punto specifico del cono si è utilizzata una macchina di misura a coordinate tridimensionale.

6.2.1 *Macchine di misura a coordinate*

Si tratta di una macchina a controllo numerico espressamente progettata per la misurazione delle tolleranze dimensionali, geometriche e di forma dei particolari meccanici. Hanno solitamente una struttura a portale che scorre su di un piano in granito rettificato che funge anche da sistema di appoggio dei particolari da misurare. L'utensile classico è sostituito da un tastatore meccanico che permette il rilievo della postazione raggiunta. Si tratta di macchine a struttura cartesiana dal momento che l'obiettivo primario è la precisione di posizionamento assicurata dalla struttura a portale.

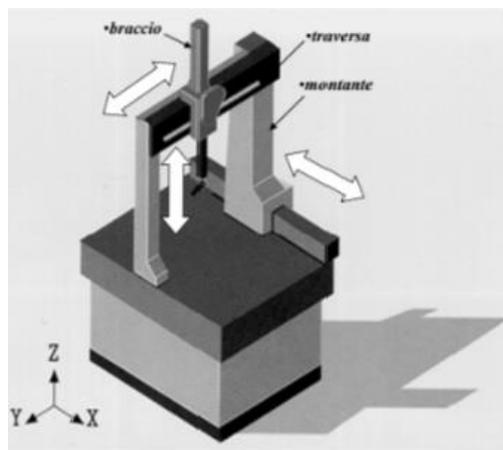


Figura 6-11. Macchina di misura a coordinate

Le precisioni dimensionali variano da $\pm 0,1 \mu\text{m}$ a $\pm 0,05 \text{ mm}$ a seconda delle applicazioni.

Con la macchina di misura a coordinate si rilevano una serie di punti sul pezzo, la successiva elaborazione permette la valutazione e la stampa dei risultati. Il sistema di riferimento è cartesiano e l'origine è collocato in una determinata posizione. È costituito da tre assi ortogonali, l'origine e tre piani di riferimento.

Il tastatore (figura...) è l'elemento attivo della macchina ed è caratterizzato da un diametro e da una lunghezza. Possono essere attivi sullo stesso stelo più tastatori per effettuare misure complesse più velocemente. Il principio di funzionamento prevede il rilievo di un certo numero di punti sul pezzo e la successiva elaborazione per ottenere i risultati della misura.



Figura 6-12. Tastatore di misura

Tramite un cubo o una sfera calibrata è possibile calibrare il primo tastatore e qualificare gli altri rispetto al primo. Le procedure permettono di verificare il diametro del tastatore e di calcolare gli off-set rispetto all'origine del sistema di riferimento della macchina.

Per rispettare le specifiche dichiarate dal costruttore la macchina di misura a coordinate deve essere installata in una sala metrologica con:

- Temperatura costante di $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
- Gradiente termico di $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ogni 12 ore;
- Umidità relativa ($50\% \pm 5\%$);
- Vibrazioni al di sotto di un determinato livello.

Il materiale strutturale deve soddisfare caratteristiche di elevata durezza superficiale e rigidità, stabilità strutturale e basso coefficiente di dilatazione termica. Il materiale solitamente utilizzato è il granito. Le parti mobili invece devono avere una bassa massa specifica e stabilità strutturale. Materiali utilizzati per questi componenti sono leghe leggere, fibra di carbonio e acciaio saldato.

La struttura a portale definisce il movimento lungo l'asse x, il carro centrale definisce il movimento lungo y, la colonna esegue il movimento verticale lungo l'asse z. La colonna verticale viene bilanciata da un cilindro pneumatico per evitare la caduta per peso proprio, all'estremità viene installata la testa di misura.

I movimenti tra i vari elementi avvengono su pattini pneumostatici. Si impiega il sostentamento pneumatico con aria in pressione tra i 4 e 6 bar per ridurre il coefficiente di attrito a 10^{-6} rispetto al 10^{-3} delle viti a ricircolo di sfere. Le spinte per muovere la struttura sono estremamente ridotte e le deformazioni della struttura risultano di entità trascurabile e si ha inoltre assenza di gioco. I servomotori per la movimentazione degli assi sono a corrente continua e hanno una potenza limitata, sono montati su opportuni riduttori. Come trasduttori di posizione vengono impiegate delle righe ottiche montate direttamente sulle guide. L'unità di governo della macchina permette la gestione in automatico e manuale, la gestione dei programmi, dei tastatori e della diagnostica.

Rispetto alle macchine utensili è necessaria una parte di software specifico per l'elaborazione dei punti misurati sulla base di equazioni matematiche implementate. Le macchine di misura a coordinate possono quindi essere equipaggiate con i seguenti tipi di software: di misura per il collaudo in manuale o automatico; per la copiatura degli elementi mediante scansione a contatto e successiva matematizzazione delle superfici in ambiente cad 3d; collaudo sulla matematica 3d. Il collaudo sulla matematica cad 3d permette l'integrazione delle macchine di misura con le potenzialità delle tecnologie cad 3d offrendo la possibilità di eseguire la certificazione dimensionale sul modello matematico. Rende quindi possibile il confronto immediato tra il modello matematico e il modello fisico che può avere forme comunque complesse non definibili con elementi geometrici di base, bensì tramite algoritmi matematici appositamente sviluppati. Per ogni punto rilevato si ottiene in tempo reale la visualizzazione delle coordinate misurate, di quelle teoriche e dei relativi scostamenti.

6.2.2 *Macchina di misura Catrim*

La macchina di misura con cui sono stati effettuati i rilievi è una MDM Catrim 4.



Figura 6-13. Macchina di misura Catrim

La struttura meccanica di base della macchina di misura Catrim è costituita da un bancale in acciaio elettrosaldato e stabilizzato su cui giace il piano di riscontro in "Diabase". Il piano costituisce l'elemento di guida e sostegno del portale, organo atto agli spostamenti del gruppo di rilevamento, la cui mobilità è garantita da una serie di meati autostabilizzanti sostenuti pneumaticamente, che gli consentono di compiere qualsiasi traiettoria nell'ambito del volume di un solido i cui lati corrispondono alle corse x, y e z del portale stesso.

I vari punti ottenuti dal gruppo di rilevamento vengono elaborati e trasformati in dati utili all'operatore per mezzo del gruppo di controllo ed elaborazione dati scelto in maniera opportuna per poter dialogare con la vasta gamma dei programmi Metrosoft che servono il sistema.

La struttura di sostegno di una macchina di misura a coordinate è determinante ai fini della stabilità di tutto il sistema e quindi anche agli effetti del rilievo. È stato creato un telaio in acciaio, opportunamente trattato termicamente, in modo da eliminare quelle tensioni che si creano al momento della saldatura della composizione che possono modificare la geometria della macchina. Creato il basamento, bisogna renderlo adattabile alle varie tipologie di pavimenti che si possono incontrare nei vari ambienti in cui può essere installata la macchina, a questo scopo il telaio non deve essere totalmente rigido ma deve avere possibilità di assestarsi a seconda dell'ambiente circostante. Per completare la simbiosi della macchina con l'ambiente si può agire sui supporti girevoli posti sotto le gambe del basamento mettendo in

bolla la macchina in modo da ottenere una condizione di staticità del portale anche con il sostentamento pneumatico inserito.

Il piano di appoggio è parte integrante della macchina ed elemento indispensabile per il suo funzionamento. Oltre che per appoggio dei pezzi ha la funzione di guida del portale ed è per questa ragione principale che è costruito con le precisioni elevate che lo caratterizzano.

Ai fini del posizionamento pezzo è utile in quei casi dove si vuole rendere coincidente la faccia di appoggio del pezzo con l'appoggio stesso, potendolo considerare praticamente esente da errori (almeno paragonato alla maggior parte dei pezzi meccanici). Il materiale che compone il piano in oggetto è il granito nero "diabase" che vanta le seguenti caratteristiche strutturali e di lavorazione:

- Precisione: planarità = $\pm 2.8 \mu\text{m}$, parallelismo = $\pm 18 \mu\text{m}$;
- Durezza: 60 HRC;
- Resistenza a flessione: 223 kg/cm^2
- Carico di rottura a compressione: 2270 kg/cm^2 ;
- Modulo di elasticità normale a compressione: $1,097 \cdot 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$;
- Peso specifico: $2,95 \text{ kg/dm}^3$;
- Coefficiente di dilatazione lineare termica: $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$;
- Porosità: 1,3%;

Il gruppo di rilevamento è una delle parti fondamentali della macchina di misura, da esso deriva in buona percentuale, la precisione e la ripetibilità della misura. Nella configurazione standard detto gruppo consta in un attacco a cinque vie su cui è possibile applicare da 1 a 5 testine digitali di rilevamento a secondo delle varie esigenze di misura.

Ogni testina, conformemente, al pezzo da misurare, può essere dotata di un palpatore di dimensione opportuna, di prolunga adeguata o di un palpatore stellare. Nei casi in cui non si rendano necessarie più testine, si può montare, il gruppo di rilevamento con una testina sola che sostituisce interamente il gruppo precedentemente descritto, senza però avere la stessa flessibilità di misura.

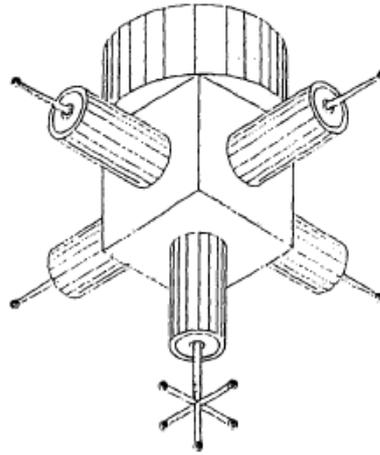


Figura 6-14. Testina di misura

Il sistema si avvale di un attacco polivalente di tipo magnetico, garantendo basso costo ed elevata ripetitività di riposizionamento.

La parte della macchina adibita a segnalare, quantificare ed elaborare i segnali del sistema di rilevamento è il gruppo di controllo ed elaborazione dati: le righe ottiche leggono in tempo reale gli spostamenti delle testine nello spazio macchina e ne inviano continuamente i dati alle schede della macchina di misura poste all'interno del calcolatore. Ogni volta che la testina attivata entra in azione, il calcolatore comanda alle schede, il congelamento istantaneo dei valori provenienti dalle tre righe (x, y, z). In questo modo otterremo le coordinate di un punto nello spazio che, grazie a un software opportuno, può venire compensato del raggio tastatore e combinato geometricamente con altri punti fornendo gli enti geometrici desiderati. (5)

Con la macchina di misura a coordinate tridimensionale si sono effettuate le misure dell'altezza della campana conica a diametro 300 mm che deve risultare $41,63 \pm 0,3$ mm (misura F). Questa misura risulta significativa per rispettare il posizionamento della fascia gommata. La seconda misura effettuata esclusivamente sulla macchina di misura è stata la verifica del diametro del cono della sede It ad altezza di 3,55 mm dal piano mozzo che deve risultare di $95,85 \pm 0,1$ mm (misura B). Questa misura invece viene controllata per verificare che l'anello di tenuta sia in sede nella posizione di progetto. (11)

Viene effettuato questo controllo in quanto una posizione errata dell'anello porterebbe ad un aumento di carico sull'anello stesso. Un carico troppo elevato causerebbe un'usura per attrito

dell'anello, un carico troppo basso invece non garantirebbe la tenuta e causerebbe un passaggio di olio indesiderato.

Per rilevare queste misure si è utilizzata la funzione disponibile sul software di misura della macchina tridimensionale che consente di ottenere l'altezza di un dato punto di un cono dato il diametro e viceversa. Per la prima misura descritta precedentemente è noto il diametro del cono e si vuole verificare l'altezza in quel punto. Una volta selezionata la funzione desiderata il software richiede il rilievo di otto punti diversi sulla superficie conica in modo da generare il cono. Il secondo passaggio è quello di identificare il piano, determinato da quattro punti, dal quale misurare la distanza punto piano. Una volta determinato il cono, il piano di riferimento e il diametro del cono, il software fornisce come risultato il valore dell'altezza desiderata. Utilizzando la funzione inversa invece, dato come input un'altezza e determinando cono e piano di riferimento, viene fornito il valore del diametro.

Le misure dei diametri (misure A, C, G) sono state ottenute con l'utilizzo di calibri esterni ed interni, le misure di altezze con calibri di profondità (misure D, E, Z).

La misura A è la misura del foro interno della ruota all'interno del quale passa l'albero in un accoppiamento con gioco, tale foro deve essere di 52 mm con tolleranza da 0 a 0,046 mm. La misura indicata con la lettera C è il diametro esterno della ruota di 350 mm con tolleranza di $\pm 0,5$ mm. La misura D indica, per la semiruota 2, la distanza tra il piano mediano del cianfrino di saldatura e la parte esterna della flangia. Tale valore deve essere di $81,55 \pm 0,5$ mm.

La quota E è importante invece per il rasamento tra albero e mozzo. G indica la misura del diametro in corrispondenza del dentino necessario per evitare l'uscita dell'anello di tenuta una volta che la ruota è messa in rotazione.

La misura Z invece indica la profondità della sede di accoppiamento per la femmina, per il maschio invece la quota Z corrisponde alla lunghezza del perno di accoppiamento.

La profondità della sede e la lunghezza del perno devono essere tali da assicurare che non si vada in battuta. Deve infatti essere garantita una luce minima di 0,1 mm. Per questo motivo la quota Z per la semiruota 2 è di 8 mm con scostamento superiore di 0,3 mm e scostamento inferiore di 0,1 mm. Per la semiruota 1 invece la quota è di 8 mm (limite superiore) e scostamento inferiore di -0,2 mm. In questo modo la condizione peggiorativa porta comunque

BC2555-2 dopo tornitura

Le stesse misure sono state effettuate anche sulla semiruota 2 con qualche valore numerico differente dovuto all'asimmetria della ruota.

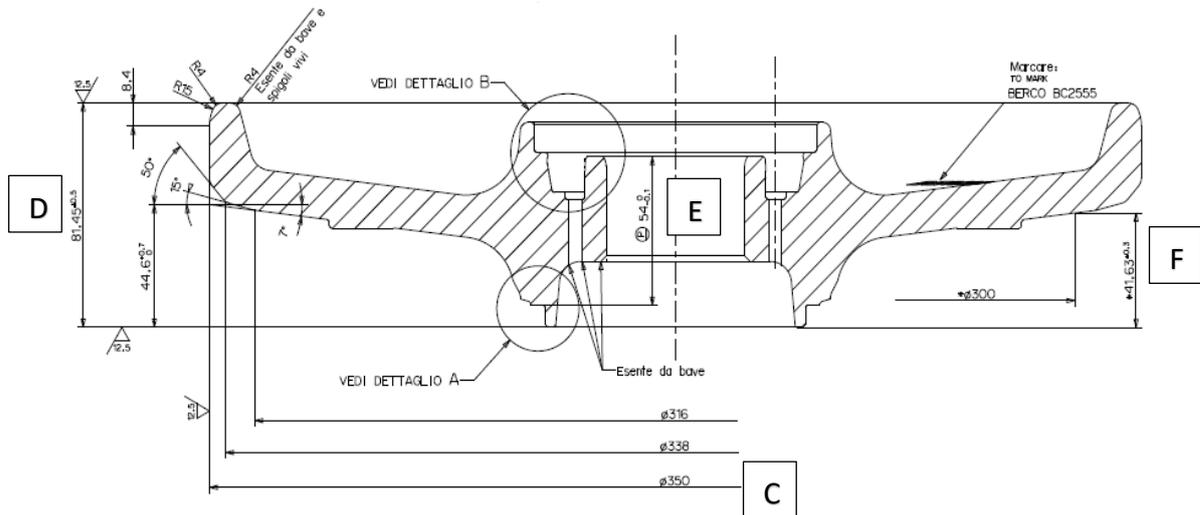


Figura 6-18. Disegno della semiruota 2 con riferimenti ai valori di misura rilevati

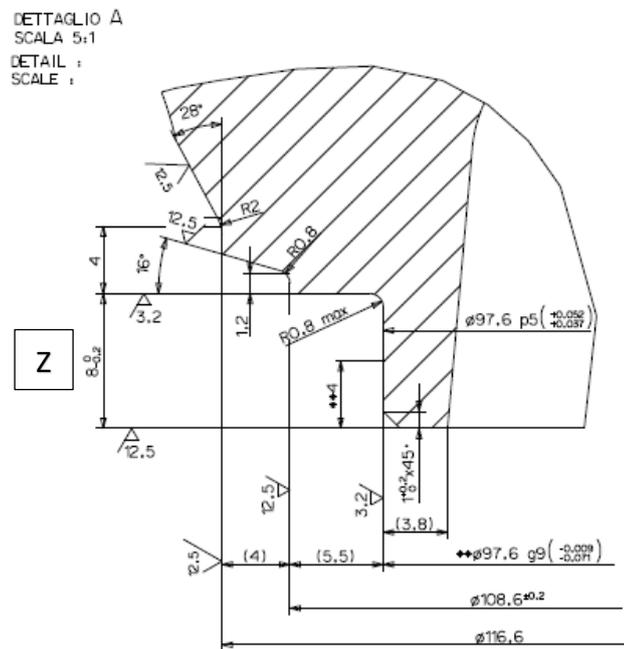


Figura 6-19. Particolare dell'accoppiamento con riferimenti ai valori di misura rilevati

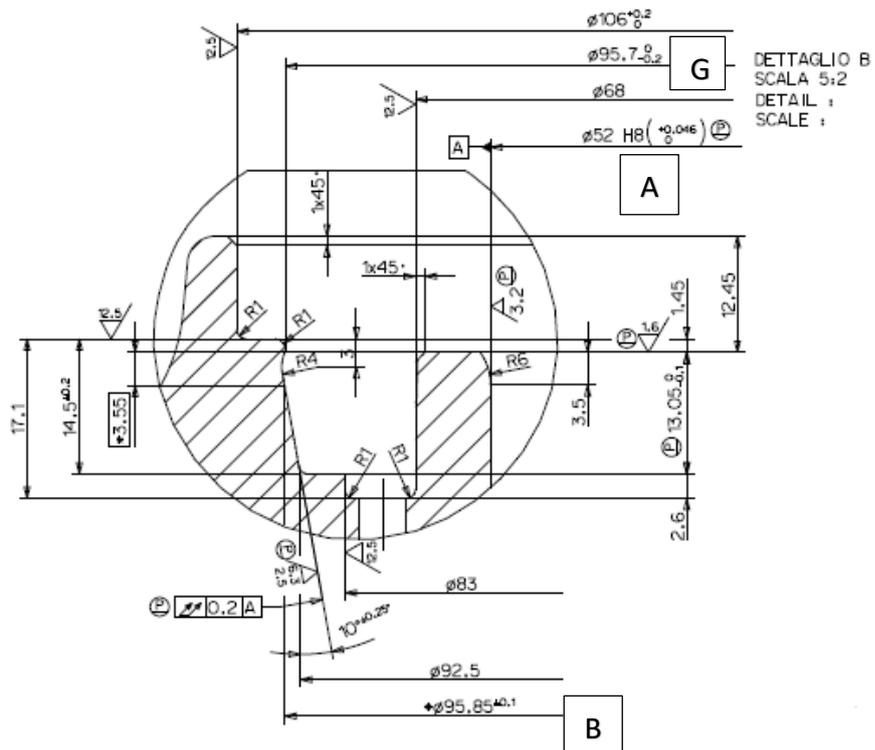


Figura 6-20. Particolare della sede del gruppo di tenuta con riferimenti ai valori di misura rilevati

Tabella 6-3. Misure rilevate dopo tornitura sulla semiruota 2

		1	2	3	4	5
A	$\varnothing 52 (+0,046/0)$	52,010	52,001	52,003	52,021	52,016
B	$95,85 (\pm 0,1)$	95,73	95,73	95,98	95,77	95,72
C	$\varnothing 350 (\pm 0,5)$	349,99	349,97	349,95	350,00	349,98
D	$81,45 (\pm 0,5)$	81,17	81,23	81,16	81,18	81,10
E	$54 (0/-0,1)$	53,91	53,98	53,90	54,00	53,95
F	$41,63 (\pm 0,3)$	41,56	41,55	41,46	41,54	41,61
G	$\varnothing 95,7 (0/-0,2)$	95,70	95,67	95,80	95,67	95,62
Z	$8 (0/-0,2)$	7,86	7,84	7,89	7,93	7,88

6.3 Trattamento termico

La lavorazione successiva è quella del trattamento termico di tempra. Nel processo produttivo definitivo, questo trattamento sarà la prima lavorazione che subiranno le semiruote che entreranno in azienda già lavorate meccanicamente.

6.3.1 Tempra

Il materiale viene portato fino a temperature di mantenimento comprese tra 780 °C e 930 °C e l'ottenimento ad alta temperatura di austenite o austenite più carburi. Il raffreddamento deve essere sufficientemente rapido per permettere la trasformazione dell'austenite in martensite: nello specifico la velocità di raffreddamento deve essere maggiore della velocità critica superiore, v_s , dell'acciaio considerato. Al termine del processo la struttura è martensitica o martensitica più carburi. Il raffreddamento dopo tempra (anche detto "spegnimento") viene normalmente effettuato immergendo il pezzo in fluidi quali acqua, soluzioni acquose caustiche o saline, soluzioni acquose di polimeri organici, oli minerali.

La velocità media di raffreddamento, sulla superficie dei pezzi, è dell'ordine di 200-600 °C/min e dipende dal fluido utilizzato e dalle dimensioni del semilavorato. In alternativa per lo spegnimento di tempra si può ricorrere ad un bagno di sali fusi o ad un flusso di gas ad alta pressione. Per specifiche tipologie di acciai, quali gli acciai autotempranti, gli acciai inossidabili martensitici e gli acciai per utensili, anche il semplice raffreddamento in aria può garantire alla struttura austenitica di trasformarsi in martensite.

Scopo della tempra è infatti l'ottenimento di una struttura martensitica o prevalentemente martensitica al fine di aumentare il più possibile le caratteristiche meccaniche dell'acciaio, cioè la durezza, il carico unitario di snervamento e il carico unitario di rottura. Fin da subito si segnala che lo spegnimento deve essere immediatamente seguito dal trattamento di rinvenimento, al fine di attenuare l'eccessiva durezza e fragilità della struttura martensitica. Il raffreddamento segue sempre tre fasi distinte. Inizialmente il liquido evapora in modo istantaneo e forma uno strato stabile di vapore attorno al componente: questa prima fase è detta fenomeno di Leidenfrost o calefazione.

In tali condizioni lo strato di vapore, oltre ad impedire al liquido di bollire rapidamente, induce una velocità di raffreddamento molto bassa poiché lo scambio termico è mediato da una fase gassosa. Quando la temperatura del pezzo scende al di sotto di una data soglia limite (detta temperatura di Leidenfrost), lo strato di vapore diviene instabile. Sulla superficie del componente iniziano a generarsi bolle di vapore e nuovo liquido entra in contatto col pezzo caldo per essere immediatamente vaporizzato.

I violenti fenomeni convettivi che si instaurano a causa dell'ebollizione consentono di ottenere velocità di raffreddamento estremamente elevate. La terza fase si verifica quando la temperatura del pezzo eguaglia quella di ebollizione del liquido: il componente sarà stabilmente in contatto con il fluido che non evaporerà più. In questa fase lo scambio termico procede per convezione tra un liquido e un solido e la legge di raffreddamento torna ad essere nuovamente blanda.

Idealmente un fluido di tempra dovrebbe consentire una velocità di raffreddamento molto rapida nelle fasi iniziali, quando cioè la temperatura è elevata, per poi divenire via via più blanda quando ci si avvicina alla trasformazione austenite-martensite. Questo significa che, nei fluidi reali, per riuscire ad avvicinarsi alle condizioni ideali è opportuno: ridurre il tempo in cui il vapore forma un film stabile attorno al pezzo, alzare la temperatura di Leidenfrost.

Un parametro spesso usato per descrivere in modo semplificato il comportamento dei fluidi di tempra è la cosiddetta drasticità, indicata con la lettera H: essa rappresenta la maggiore o minore attitudine di un mezzo temprante a raffreddare un componente in acciaio.

In generale la drasticità di un fluido dipende dalla sua natura: l'acqua è più drastica dell'olio che, a sua volta, è più drastico di un bagno di sali fusi. La drasticità, inoltre, è funzione della temperatura del fluido e del suo grado di agitazione. L'elevata velocità di raffreddamento nella fase iniziale permette di portarsi velocemente alla temperatura di martensite start senza intersecare le curve di trasformazione dell'austenite in ferrite e perlite (acciai ipoeutetoidici) o in cementite e perlite (acciai ipereutetoidici).

Una volta raggiunta la temperatura di inizio formazione di martensite, conviene che la legge di raffreddamento divenga più blanda per ridurre le tensioni residue generate dall'aumento di volume connesso alla trasformazione martensitica.

Un fluido è considerato ideale quando non si ha alcuna resistenza allo scambio termico tra il pezzo e il mezzo temprante, ossia la superficie del pezzo si porta istantaneamente alla temperatura del fluido in cui è stato immerso. Nei fluidi reali il valore di H è sempre inferiore a quello ideale e risente della natura del fluido, della sua temperatura e del suo grado di agitazione. A temperatura ambiente e in condizioni di quiete, l'acqua ha drasticità H pari a 1, l'olio 0,3 e l'aria 0,0513.

La descrizione del trattamento di tempra è valida per pezzi di piccole dimensioni, quando cioè si può considerare che la legge di raffreddamento sia pressoché identica in ogni punto della sezione. Se si considerano invece componenti di media o grande dimensione non è possibile trascurare il fatto che la superficie tenda a raffreddarsi piuttosto rapidamente per effetto del contatto diretto con il fluido temprante mentre il cuore segua una legge di raffreddamento molto più blanda.

L'attitudine degli acciai a formare martensite lungo la sezione dei pezzi sottoposti a tempra prende il nome di temprabilità. Conseguentemente si deve parlare di acciai più o meno temprabili in relazione alla loro possibilità ad assumere struttura martensitica. La temprabilità è una proprietà strettamente dipendente dalla natura e dalle caratteristiche composizionali dell'acciaio. Essa aumenta: al crescere del quantitativo degli elementi di lega, ivi compreso il carbonio, al crescere della dimensione media del grano cristallino. La temprabilità è invece indipendente dalla geometria del pezzo e dal mezzo di raffreddamento considerato.

Così come per le altre proprietà metallurgiche e meccaniche degli acciai (carico unitario di rottura e di snervamento, durezza, resilienza, tenacità a frattura, ecc.), anche la temprabilità è un importante parametro atto a definire il comportamento in esercizio dei pezzi meccanici. Un pezzo meccanico con caratteristiche ideali dovrebbe avere equivalente resistenza, durezza e tenacità lungo tutta la sua sezione e, per tutta la sua lunghezza: ciò permette di garantire un comportamento uniforme nei confronti delle sollecitazioni esterne applicate.

Poiché l'omogeneità delle proprietà meccaniche è funzione della microstruttura dell'acciaio dopo tempra, è sempre opportuno cercare di avere una microstruttura prevalentemente martensitica in tutto il componente.

La martensite infatti, oltre ad essere la struttura più resistente per un dato acciaio, ha anche il grosso vantaggio di avere una durezza pressoché costante a parità di composizione chimica:

ciò comporta che, dove si ha martensite, si ha anche omogeneità di comportamento meccanico. (12)

6.3.2 *Tempra ad induzione*

Il modo più comune per realizzare il riscaldamento superficiale necessario per la tempra superficiale è il riscaldamento ad induzione. In questo processo, un induttore, solitamente un tubo di rame percorso da acqua di raffreddamento, attraverso una corrente alternata, induce un campo magnetico alternato, che, a sua volta, induce un campo di densità di corrente parassita in un componente di acciaio. La potenza dissipata per effetto Joule nel componente dalle correnti parassite produce il riscaldamento desiderato.

Da un punto di vista elettromagnetico, il sistema descritto si comporta in modo simile ad un trasformatore, in cui l'induttore svolge il ruolo dell'avvolgimento primario, ed il componente in acciaio svolge il ruolo sia di nucleo ferromagnetico sia di avvolgimento secondario in corto circuito.

A differenza di quanto avviene in un trasformatore, in cui si impiegano specifici accorgimenti per limitare la corrente parassita nel nucleo ferromagnetico, e quindi la dissipazione, nel caso della tempra ad induzione la corrente parassita è voluta.

La distribuzione spaziale della potenza dissipata dipende dalla frequenza della corrente che percorre l'induttore; se la frequenza è sufficientemente alta, si verifica l'effetto pelle, cioè la densità di corrente parassita nel componente è massima alla superficie e decresce rapidamente con la profondità.

Pertanto, modificando la frequenza della corrente alternata è possibile modificare la profondità dello strato riscaldato per effetto Joule, mentre modificando l'intensità della corrente è possibile regolare la potenza totale e quindi la velocità di riscaldamento. Per la tempra ad induzione si usano frequenze dell'ordine di 10 kHz.

La tempra ad induzione è un fenomeno particolarmente difficile da modellare in modo matematico, sia a causa della possibile complessità geometrica del componente e dell'induttore, sia perché le proprietà elettromagnetiche e termofisiche dell'acciaio sono non lineari e variano in modo importante con la temperatura. Perciò la messa a punto del processo richiede generalmente alcune prove sperimentali.

In particolare le difficoltà nel modellizzare il processo sono dovute:

- Variazione delle proprietà magnetiche;
- Variazione delle proprietà elettriche.

La tempra ad induzione si realizza spesso soltanto su alcune parti della superficie del pezzo, con induttori progettati specificamente per ciascuna geometria. Si possono usare due metodi diversi: il primo consiste nella tempra ad induzione statica, in cui tutti i punti della superficie da temprare sono trattati contemporaneamente l'uno all'altro, cioè prima austenitizzati mediante un induttore fermo rispetto al pezzo, e poi temprati con un getto d'acqua attivato immediatamente dopo lo spegnimento dell'induttore, la potenza richiesta è notevole per la trasformazione dell'energia elettrica dalla frequenza di rete a quella richiesta per i particolari processi. Il secondo metodo consiste nella tempra ad induzione progressiva, in cui sia l'induttore sia il getto d'acqua, opportunamente distanziati, sono contemporaneamente attivi e traslano lungo la superficie da temprare, in modo che la superficie stessa sia trattata in modo graduale, ed ogni suo punto è soggetto ad una storia termica simile ma traslata nel tempo. La tempra progressiva richiede una potenza notevolmente minore. (13)

6.3.3 Isola di tempra ruote

La tempra è stata eseguita sull'isola di tempra ruote. Si tratta di un processo di tempra ad induzione scalare. La lavorazione sul lotto di prova delle ruote è stata effettuata mentre era in lavorazione il lotto di ruote BC2555 realizzate con il processo standard per evitare un attrezzaggio della macchina per una prova di sole 10 semiruote.

Il centro di lavoro è costituito da un robot di carico da pallet e da una stazione per il carico manuale da cassone su rulliera con l'utilizzo di un paranco. La macchina di tempra è costituita da tre stazioni: una stazione per il carico e scarico del pezzo, una stazione di riscaldamento ed una di raffreddamento. È presente inoltre una stazione supplementare in cui viene appoggiato momentaneamente il pezzo appena temprato per velocizzare la fase di carico e scarico.

La macchina di tempra, come detto, è costituita da una tavola rotante a tre stazioni. La lavorazione inizia con il robot che preleva un pezzo dalla rulliera e lo carica sulla stazione di carico e scarico della macchina. Durante il caricamento, le stazioni di riscaldamento e raffreddamento sono in funzione. Una volta caricata la semiruota il robot si sposta sulla

stazione intermedia tra rulliera e stazione di carico e scarico dove è presente il pezzo finito dalla lavorazione precedente. Questo viene scaricato dal robot sulla rulliera di scarico.

A questo punto il robot si posiziona in prossimità della stazione di scarico della macchina aspettando che terminino i trattamenti di riscaldamento e raffreddamento. Avvenuto ciò la tavola rotante ruota e il robot può scaricare il pezzo e posizionarlo momentaneamente nella stazione supplementare intermedia e procedere con il caricamento del nuovo pezzo.

L'impianto per il riscaldamento ad induzione ha una potenza nominale di 500 kW, per questa lavorazione si utilizza l'87% della potenza nominale pari quindi a 435 kW. Inoltre è presente un generatore che consente di utilizzare una frequenza pari a 10 kHz.

Il tempo di riscaldamento è di 26 s, la doccia di raffreddamento di 35 s. Il tempo ciclo è in ogni modo dettato dalla fase di riscaldamento in quanto l'induttore prima di avvicinarsi alla ruota e mettersi in posizione di lavoro attende che il pezzo lavorato venga scaricato dal robot. La doccia di raffreddamento, invece, inizia a lavorare appena la tavola rotante effettua la rotazione e fornisce il pezzo da lavorare.

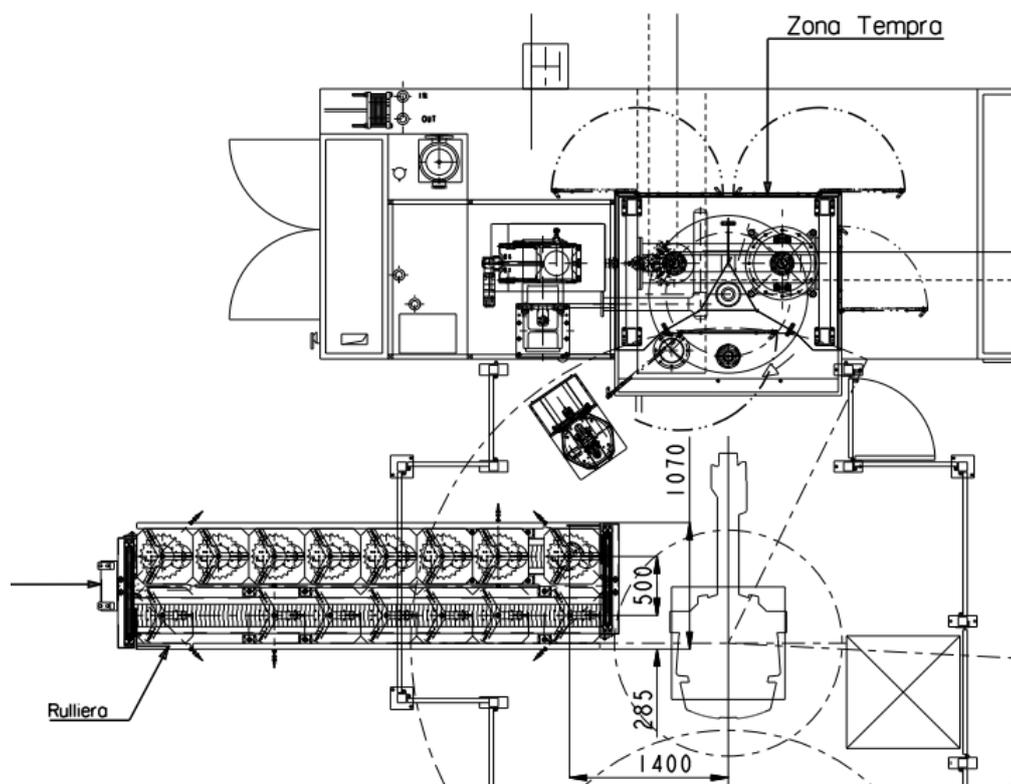


Figura 6-21. Isola di tempra ruote

6.3.4 *Processo di benessere della tempra*

Quando viene lavorata la prima ruota la lavorazione si ferma perché si deve aspettare il benessere del trattamento di tempra dal reparto del collaudo. Questa operazione di verifica viene effettuata per verificare che il trattamento fornisca i valori di durezza richiesti da specifica. Nonostante i programmi di trattamento termico per pezzi uguali siano sempre gli stessi, accade che, a seconda dell'operatore che effettua l'attrezzaggio, ma soprattutto a causa dei pezzi grezzi che possono avere piccole ma determinanti differenze a seconda del fornitore che li produce, si ritiene necessario effettuare questa verifica ogni volta che si inizia il trattamento.

Il processo di benessere consiste nel rilevare i valori di durezza ottenuti e verificare che rispettino i valori prestabiliti da specifica. In più viene effettuato un controllo di integrità per rilevare un'eventuale presenza di cricche.

La verifica inizia con il taglio di uno spicchio di ruota. Questa operazione viene effettuata con una troncatrice a due dischi paralleli.



Figura 6-22. Ottenimento del provino con una troncatrice

Si ottiene così il provino da analizzare.



Figura 6-23. Provino di analisi

Il provino viene inizialmente raschiato con carta vetrata per essere pulito da impurità e soffiato con aria compressa, successivamente si esegue un attacco acido con acqua demineralizzata e una piccola percentuale (circa 10%) di acido, in seguito viene risciacquato e asciugato. L'attacco acido mette in risalto visivamente la zona del provino che è stata temprata in modo da avere un'idea di massima sul profilo di tempra ed avere un riscontro immediato riguardo la buona riuscita del trattamento.

Una volta effettuata questa analisi preliminare, che consente comunque di avere un primo riscontro sull'esito del trattamento, si procede con la verifica tramite misura della durezza. Prima di tutto si esegue un ulteriore taglio del provino in modo da avere un provino di dimensioni più ridotte e più semplice da maneggiare. Si esegue una rettifica su una macchina di rettifica per analizzare una superficie più pulita, si effettua nuovamente l'attacco acido in modo da mettere in rilievo il profilo di tempra. Successivamente vengono disegnati sul provino i punti indicati da specifica sui quali effettuare i rilievi di durezza.

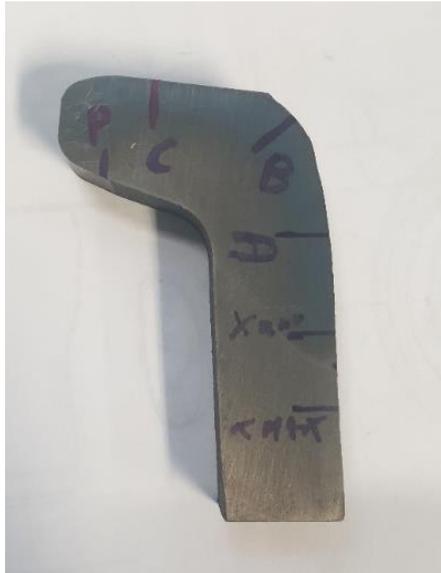


Figura 6-24. Provino di analisi con indicazione dei punti da analizzare

A questo punto si è utilizzato un durometro per valutare i valori di durezza.

Il durometro è uno strumento in grado di misurare la durezza dei materiali, o meglio la resistenza alla penetrazione. Per misurare la durezza di un materiale, il durometro effettua su di esso una penetrazione lasciando un'impronta sul pezzo da testare.

Una punta, detta penetratore viene spinta contro il materiale da testare con forza nota a seconda della durezza del materiale e direttamente proporzionale ad essa, pertanto questa penetrerà per una certa profondità. Per ottenere l'indicazione della sicurezza si provvederà alla misurazione della profondità di penetrazione o alla dimensione dell'impronta.



Figura 6-25. Durometro

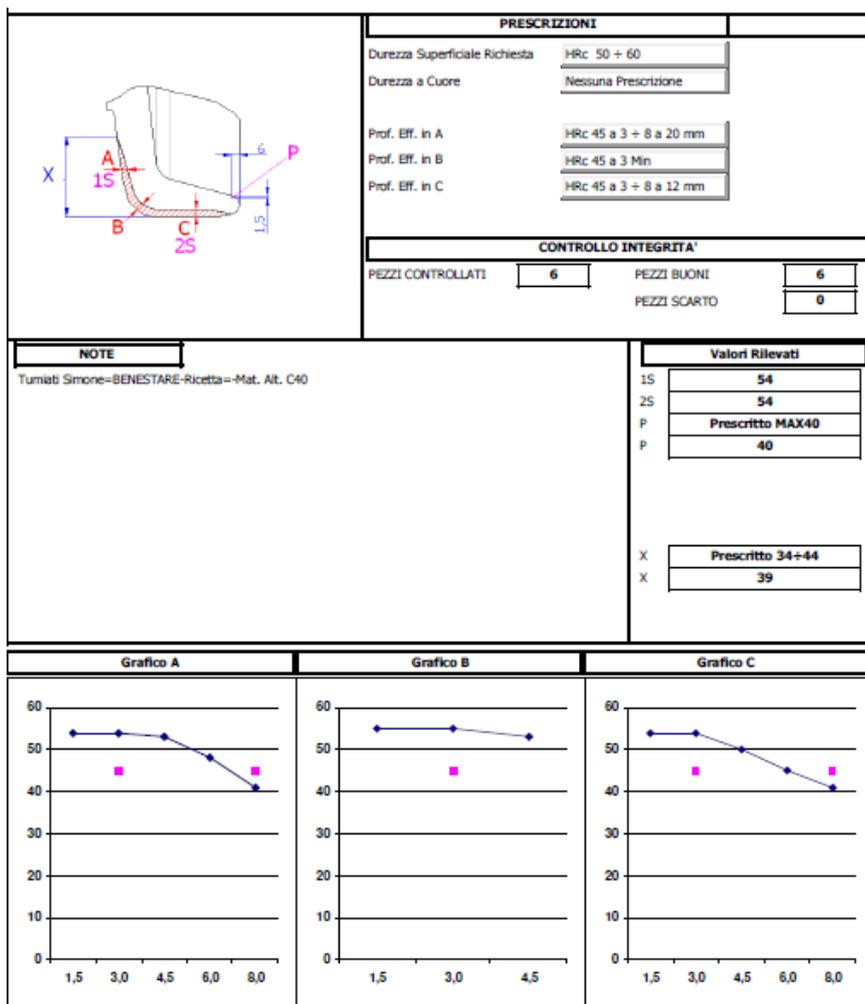


Figura 6-26. Prescrizioni sui valori di durezza da ottenere

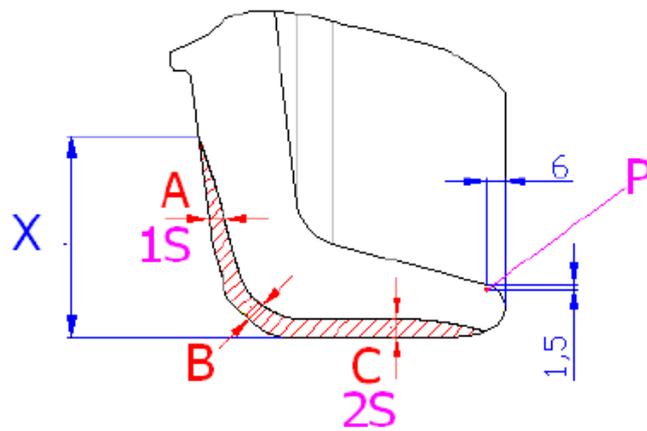


Figura 6-27. Punti di misura di durezza

La tempra superficiale ad induzione ha lo scopo di indurire la superficie della ruota che va in contatto con la suola. Non è invece richiesta una tempra a cuore. La prescrizione indica una durezza superficiale richiesta tra 50 e 60 HRC.

Per quanto riguarda il punto A che si trova, in direzione x, a 20 mm dalla base di appoggio della ruota, è richiesto un valore minimo di durezza di 45 HRC a 3 mm dalla superficie esterna e di massimo 45 HRC a 8 mm dalla superficie esterna.

Sono stati effettuati rilievi di durezza a 1,5 mm, 3 mm, 4,5 mm, 6 mm, e 8 mm. Di seguito sono riportati i valori rilevati.

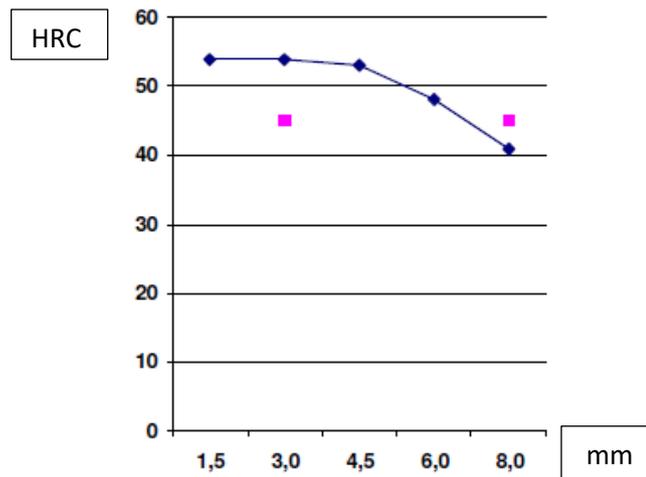


Figura 6-28. Valori di durezza nel punto A

Il punto B si trova a metà del raccordo e richiede una durezza minima di 45 HRC a 3 mm di profondità. Si sono rilevati i valori di durezza a 1,5 mm, 3 mm, 4,5 mm.

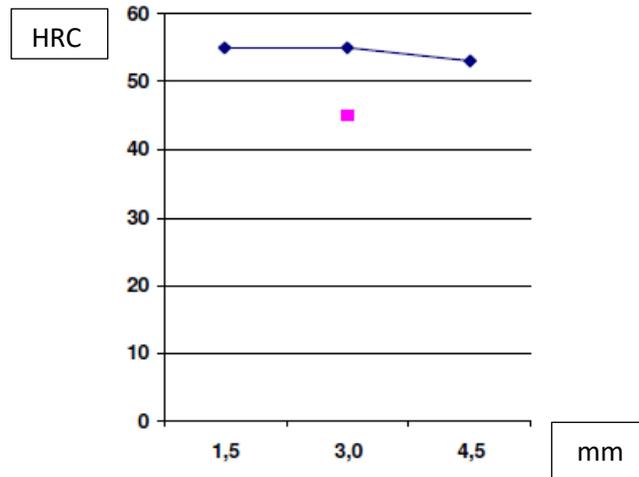


Figura 6-29. Valori di durezza nel punto B

Il punto C dista 12 mm dalla faccia laterale, qui il valore di durezza da rispettare è di almeno 45 HRC a 3 mm di profondità fino ad un massimo di 45 HRC a 8 mm.

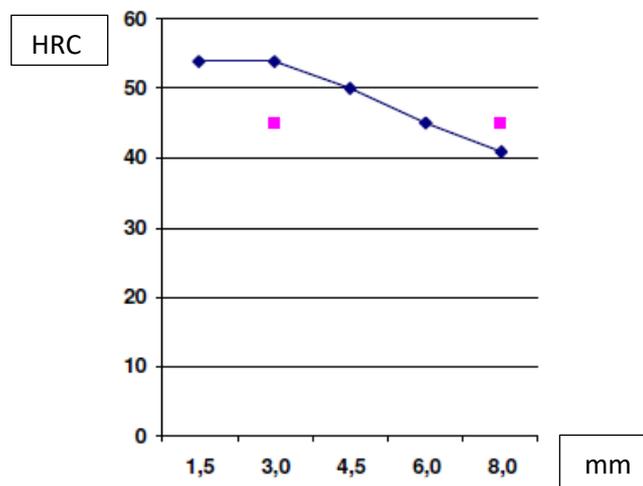


Figura 6-30. Valori di durezza nel punto C

La durezza superficiale richiesta è tra 50 e 60 HRC. In A (1S) e B (2S) si trova un valore di 54 HRC. Nel punto P, localizzato dalle quote in figura, risulta una durezza pari a 40 HRC ovvero il valore massimo da prescrizione.

Deve inoltre essere rispettato il limite di tempra in direzione x: il confine di tempra deve essere compreso tra 34 mm e 44 mm. Si rileva un valore di 39 mm.

Successivamente è stata effettuata la prova di integrità attraverso l'utilizzo di un magnaflux ovvero una macchina di controllo non distruttivo. Il processo di controllo di integrità avviene magnetizzando la semiruota in controllo. Successivamente viene bagnata con acqua e polvere metallica ed infine illuminata con luce a ultravioletti.

Gli esami magnetoscopici sfruttano il paramagnetismo di alcuni metalli, ovvero la capacità di non opporsi al passaggio del campo magnetico, o meglio ancora il ferromagnetismo, cioè la capacità di concentrarlo, per evidenziare le anomalie delle linee di flusso del campo magnetico nei pressi di un difetto superficiale. Sono controllabili tutti i materiali ferromagnetici con una permeabilità relativa $>$ di 100 μ r ad esempio ferro, acciaio e fusioni in ghisa.

I campi magnetici si creano all'interno ed intorno ad un magnete permanente o attorno ad un conduttore percorso da corrente elettrica. Le linee di flusso, che rappresentano l'intensità locale del campo magnetico, attraversano un metallo in modo uniforme, ma nei pressi di una discontinuità, quale per esempio una microcricca, una cavità od un'inclusione, si addenseranno o disperderanno, deviando localmente e creando un'anomalia del campo magnetico ai bordi del difetto.

Quando un rivelatore magnetico come polveri secche o sospensione liquida è applicato ad un pezzo dove esista una distorsione nelle linee di campo, la fuga di flusso magnetico attira le particelle magnetiche in corrispondenza di questa zona creando un accumulo delle particelle stesse. Il controllo magnetico è basato quindi su due fasi: un brusco cambiamento nella permeabilità che distorce le linee di forza creando un flusso disperso o polarità e un'applicazione di un rivelatore (particelle magnetiche) che vengono attratte da questi flussi dispersi, indicandone così posizione ed entità. (14)

6.3.5 Misure effettuate dopo tempra

BC2555-1 Dopo trattamento termico di tempra

Tabella 6-4. Valori rilevati dopo trattamento di tempra

		1	2	3	4	5
A	Ø52 (+0,046/0)	52,01	52,02	52,01	52,00	51,99
B	95,85 (±0,1)	95,79	95,75	95,80	95,77	95,78
C	Ø350 (±0,5)	351,70	351,21	351,38	351,32	352,00
D	81,55 (±0,5)	80,51	80,62	80,40	80,58	80,29
E	62,1 (0/-0,1)	62,00	61,99	61,93	62,00	62,00
F	41,63 (±0,3)	41,139	41,204	41,095	41,378	41,324
G	Ø95,7 (0/-0,2)	95,63	95,64	95,64	95,62	95,62

BC2555-2 Dopo trattamento termico di tempra

Tabella 6-5. Valori rilevati dopo trattamento di tempra

		1	2	3	4	5
A	Ø52 (+0,046/0)	52,01	52,00	51,99	52,02	52,01
B	95,85 (±0,1)	95,77	95,76	95,99	95,78	95,73
C	Ø350 (±0,5)	352,51	351,11	351,27	352,08	351,18
D	81,45 (±0,5)	80,16	80,50	80,40	80,30	80,50
E	54 (0/-0,1)	53,89	53,96	53,90	54,00	53,92
F	41,63 (±0,3)	41,121	41,167	41,045	41,123	41,191
G	Ø95,7 (0/-0,2)	95,65	95,65	95,76	95,66	95,64

6.4 Pressatura

Una volta ottenute le due semiruote temprate si prosegue il processo produttivo con l'assemblaggio di semiruota 1 e 2. La prima fase di assemblaggio consiste nell'unire i due componenti attraverso una pressa verticale.

Nel test in questione è stata utilizzata una pressa verticale manuale presente nell'area del montaggio rulli. Nel layout futuro, verrà utilizzata una pressa verticale automatica, con lo stesso principio di funzionamento della pressa manuale utilizzata nella prova.



Figura 6-31. Pressa verticale manuale

La pressa manuale utilizzata per la prova è una semplice pressa verticale dotata di un punzone che preme sul piano mozzo della semiruota. Precedente alla fase di pressaggio l'operatore carica la semiruota 1 sulla guida attraverso l'utilizzo di un paranco, la semiruota 2 viene appoggiata sulla femmina e successivamente pressata. Ricordiamo che l'accoppiamento è con interferenza solo nella parte finale dell'accoppiamento, nei primi 4 mm di profondità l'accoppiamento è tale da facilitare un preaccoppiamento effettuato dall'operatore manualmente appoggiando una semiruota sull'altra.

Misure effettuate dopo pressatura

Tabella 6-6. Valori rilevati dopo pressatura

		1	2	3	4	5
A FEMMINA	Ø52 (+0,046/0)	52,001	52,000	52,004	51,994	51,997
A MASCHIO	Ø52 (+0,046/0)	51,997	51,993	51,996	51,998	51,996
H	116,1 (0/-0,2)	115,892	115,989	115,920	116,039	115,928
I	0,00 (0,05/0)	0,053	0,044	0,048	0,045	0,048

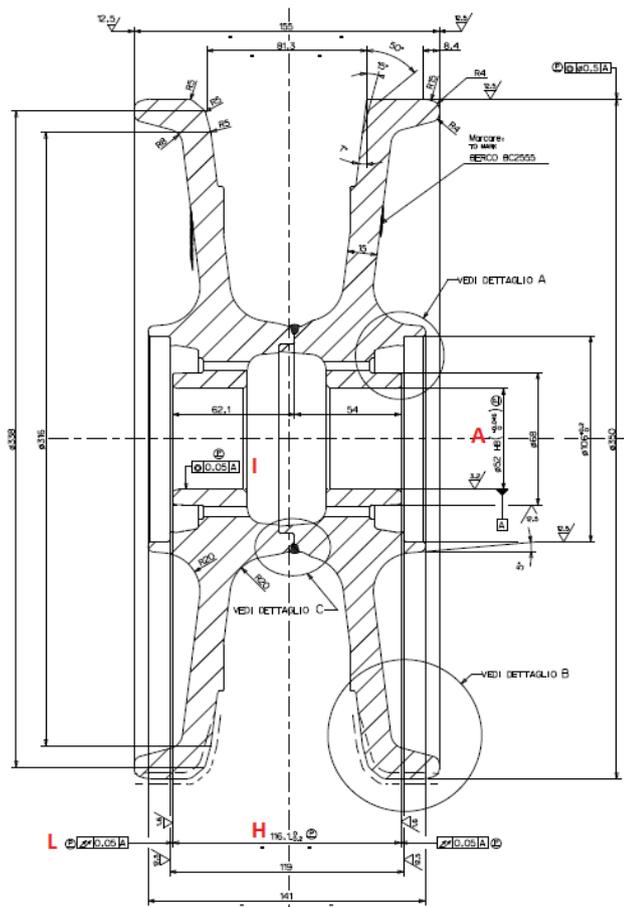


Figura 6-32. Disegno della ruota con i riferimenti ai valori di misura rilevati

6.5 Saldatura MIG

La fase successiva a quella dell'assemblaggio tramite accoppiamento per interferenza è la saldatura della ruota. Si utilizza la tecnica di saldatura mig (metal-arc inert gas) ovvero una saldatura ad arco con metallo sotto protezione di gas.

È un sistema largamente impiegato in costruzioni di apparecchiature e, per quanto concerne l'unione del ferro, ha lentamente ma progressivamente sostituito la tradizionale saldatura con elettrodi che a sua volta ha sostituito da tempo la saldatura a cannello. L'impianto è costituito da una saldatrice a corrente continua più o meno simile a quella per elettrodi con l'aggiunta di un cofano di comando che regola l'uscita continua, attraverso una torcia di saldatura, del metallo d'apporto in filo, avvolto su una bobina di dimensione unificata che viene montata sul portabobina.

Le saldatrici a filo possono essere più o meno complicate, ma sostanzialmente il sistema consiste nel dare corrente attraverso un ugello di contatto al filo d'apporto che arriva dalla bobina. La protezione del bagno di saldatura dall'ossidazione, che nell'elettrodo è assicurata dal rivestimento che diventa poi scoria, nella saldatura mig a filo continuo è fornita da un gas che viene fatto uscire contemporaneamente al filo.

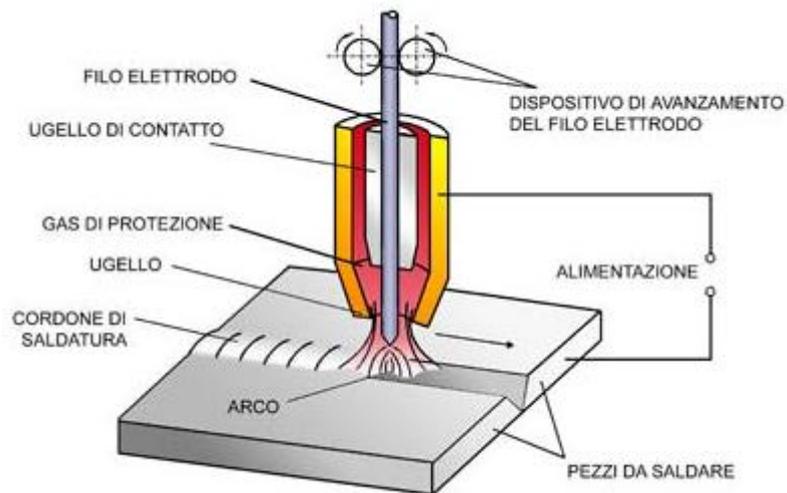


Figura 6-33. Saldatura MIG

Il generatore di corrente rende possibile un'uscita di corrente a tensione costante. L'arco elettrico, per funzionare, necessita di una tensione più bassa dei 220 o 380 V e quindi la saldatrice trasformerà la tensione della rete nei 20-60 V necessari all'arco elettrico.

Un generatore a tensione costante mantiene costante la tensione anche all'aumentare dell'intensità di corrente. Le saldatrici ad elettrodo sono invece a tensione cadente.

In generale una tensione leggermente cadente consente di operare meglio su spessori sottili, l'arco elettrico è meno violento e, a pari intensità, penetra meno e non "sfonda" il metallo base. Per ottenere una curva cadente molte saldatrici dispongono di uno slope o di dispositivi analoghi posti sul davanti del generatore. Questi dispositivi vanno inseriti quando si opera su spessori sottili. Nelle saldatrici dell'ultima generazione questo inserimento avviene automaticamente.

Un altro dispositivo spesso presente nei generatori a tensione costante è l'induttanza che ha la funzione di stabilizzare l'arco diminuendo di conseguenza gli spruzzi, si usa solo a slope

inserito e, poiché rallenta la velocità di fusione del filo, il bagno di saldatura è reso più caldo. L'induttanza va regolata su valori bassi quando, saldando su spessori molto sottili c'è bisogno di un bagno freddo per non sfondare.

Le saldatrici mig sinergiche sono macchine alle quali è stato aggiunto un piccolo computer in modo da offrire la possibilità di richiamare su una tastiera numerica diversi parametri memorizzati facilitando così la corretta messa a punto dell'impianto.

A pari amperaggio, aumentando la tensione avremo un cordone più largo, un bagno più caldo, un cordone più estetico e meno spruzzi. L'intensità di corrente o amperaggio è collegata direttamente al trainafilo e, nella maggior parte delle macchine, si regola aumentando o diminuendo la velocità di avanzamento del filo tramite la manopola posta sul cofano di comando. L'intensità di corrente, in pratica, fa colare il filo, il voltaggio invece fa fondere il materiale base. A pari voltaggio, con più filo si avrà maggior deposito, cordone più alto, bagno più freddo, minore estetica del cordone e minore deformazione dei pezzi.

Il gas contenuto nella bombola, parte integrante del processo di saldatura a filo continuo, serve a proteggere il bagno di fusione dall'ossidazione atmosferica ed è l'elemento che identifica anche il sistema. Viene infatti denominata saldatura mig quella che si effettua sotto protezione di gas inerte come Argon, Argon-Elio, Argon-Ossigeno. Il gas inerte ha la caratteristica di favorire la formazione di un bagno di saldatura molto caldo, quindi vanno impiegate torce robuste e punte di contatto con diametro del foro di una misura superiore a quelle che si usano per il CO, altrimenti la dilatazione causata dal surriscaldamento blocca il filo all'interno della punta di contatto in rame. L'impiego di gas inerte rende inutile la funzione del preriscaldatore del gas che, se presente, va disinserito.

La saldatura mag (metal active gas) si effettua sotto protezione di gas attivo come CO₂. L'anidride carbonica è un gas protettivo molto economico, favorisce la formazione di un bagno freddo, fa durare più a lungo le torce e necessita del preriscaldatore che pertanto va regolarmente inserito. Causa la relativa mancanza di estetica delle saldature su acciaio al carbonio eseguite sotto protezione di CO₂ vengono spesso impiegate miscele Ar-CO₂, molto più costose ma idonee a conferire un migliore aspetto ai cordoni depositati.

Per saldature importanti una corretta scelta del gas di protezione è tanto necessaria quanto la scelta del filo. Il gas protettivo, oltre alle caratteristiche già descritte ha anche una notevole importanza per quanto riguarda gli effetti della penetrazione.

Con questa tipologia di saldatura si trovano difetti provocati da molti più fattori rispetto alla saldatura con elettrodi. Questi difetti si evidenziano soprattutto sotto forma di porosità, incollature (mancanza di penetrazione), spruzzi, cordone irregolare e cricche. Questi sono causati da mancanza o insufficienza del flusso di gas, materiale base sporco, torcia troppo lunga, guaine intasate, ugelli non adatti, mancanza del feltrino di pulizia, cattivo allineamento dei rulli con guidafile, pressione eccessiva o scarsa dei rulli.

Per quanto concerne i difetti dovuti a cattiva regolazione della macchina l'essenziale è avere sempre presente che aumentando la tensione si aumenta la quantità di materiale base in fusione. Aumentando l'intensità di corrente si aumenta la quantità di filo in fusione. Il diametro del filo va scelto in relazione dello spessore da saldare. La qualità del filo la si può valutare dall'aspetto e dal comportamento in saldatura paragonato ad altri fili nelle stesse condizioni. La finitura superficiale deve essere lucida e brillante ad eccezione dei nuovi fili per acciaio inossidabile. La bobinatura deve essere a spire allineate. (15)

6.5.1 Isola di saldatura: funzionamento e parametri

La saldatura è stata effettuata con l'utilizzo di un robot di carico del pezzo e una saldatrice automatica con braccio robotizzato. La ruota pressata viene caricata su una rulliera, da qui un robot carica il pezzo in saldatrice. La saldatrice è costituita da un perno orizzontale nel quale viene infilata la ruota e dal lato opposto è presente un disco folle.



Figura 6-34. Saldatrice MIG

Il disco folle che va in pressione sulla ruota, bloccandola assialmente. Il disco, essendo folle, non applica alcuna resistenza in rotazione, questo componente serve a mandare in battuta la ruota sullo spallamento del perno motorizzato. La pressione deve essere tale da garantire la perfetta aderenza del disco al perno rotante in modo da rendere questi due elementi solidali e garantire che la ruota abbia la stessa rotazione del perno.



Figura 6-35. Torcia di saldatura

Questo aspetto risulta fondamentale affinché il cordone di saldatura sia completo. Infatti se la ruota scivolasse e non ruotasse con la stessa velocità del perno, non sarebbe garantita una rotazione completa di 360° e conseguentemente il cordone non risulterebbe completo.

Una volta avvenuto l'avvicinamento del disco ed esercitata la pressione sulla ruota si muove il braccio robotizzato con torcia di saldatura si posiziona in prossimità del cianfrino ed inizia la fase di saldatura. Il filo di saldatura è esab marathon con diametro di 1,2 mm, il gas protettivo è del tipo atal 5 composto per l'86% da argon e per il 14% da CO₂.

Il gas è in pressione tra i 3,5 e 4 bar con un flusso di 20 l/min. L'intensità di corrente è di 260 A con una tensione di 27 V. Il perno ruota alla velocità di 3300 mm/min. La rotazione totale del perno è di 365°, si ha quindi una chiusura del cordone di saldatura con una sovrapposizione di 5°. Nella fase di chiusura del cordone, e quindi di sovrapposizione, i parametri di saldatura vengono ridotti e si passa ad una tensione di 20 V ed una tensione di corrente di 200 A.



Figura 6-36. Ruota saldata

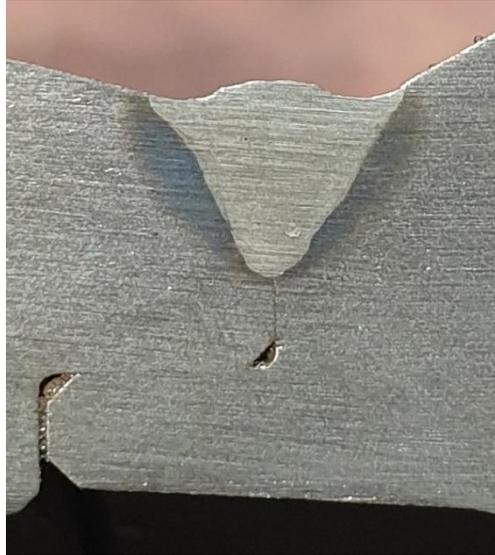


Figura 6-37. Sezione del cordone di saldatura

A seguito della saldatura è importante verificare che il cordone di saldatura non sia sceso troppo in profondità. Infatti era presente il rischio che la saldatura “sfondasse”, e che quindi non fosse garantita la battuta meccanica sottostante il cordone di saldatura.



Figura 6-38. Cordone di saldatura

Misure effettuate dopo saldatura

Tabella 6-7. Valori rilevati dopo saldatura

		1	2	4	5
A FEMMINA	Ø52 (+0,046/0)	52,002	52,000	51,998	51,004
A MASCHIO	Ø52 (+0,046/0)	52,000	52,004	52,003	51,996
H	116,1 (0/-0,2)	115,90	115,97	116,08	115,97
I	0,00 (0,05/0)	0,046	0,035	0,042	0,050
L FEMMINA	0,00 (0,05/0)	0,018	0,007	0,022	0,027
L MASCHIO	0,00 (0,05/0)	0,018	0,045	0,034	0,025
M FEMMINA	95,85 (+0,1/-0,1)	95,76	95,77	95,76	95,77
M MASCHIO	95,85 (+0,1/-0,1)	95,76	95,94	95,77	95,76
N FEMMINA	10,0° (0,25°/-0,25°)	10,018°	10,047°	10,053°	10,038°
N MASCHIO	10,0° (0,25°/-0,25°)	10,050°	10,096°	10,038°	10,083°

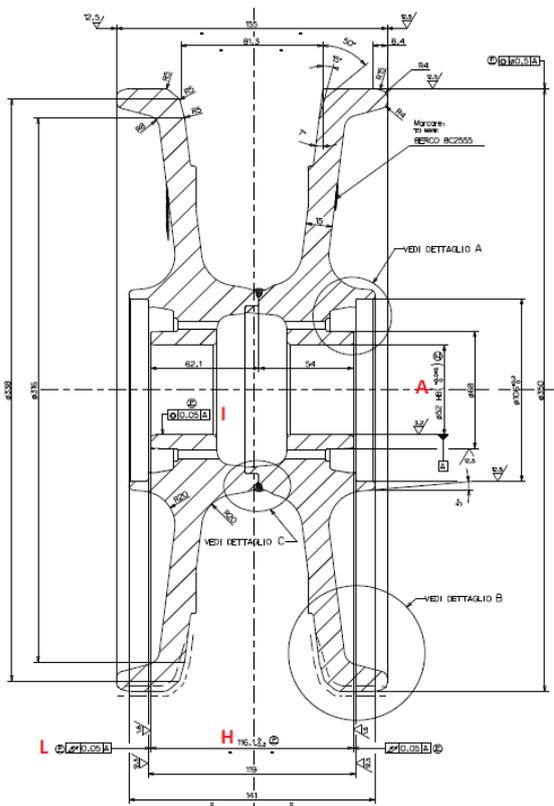


Figura 6-39. Riferimenti ai valori di misura rilevati

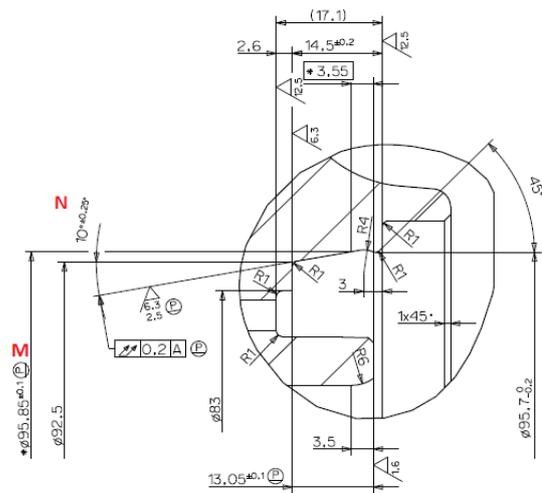


Figura 6-40. Riferimenti ai valori di misura rilevati

7 ANALISI DELLE MISURE OTTENUTE

I principali controlli da effettuare sui rilievi delle misure ottenute riguardano, in particolare, la dimensione del foro della semiruota prima e dopo il trattamento termico così come il diametro della sede del gruppo di tenuta a 3,55 mm di profondità dal piano del mozzo.

Questa misura viene controllata per verificare che l'anello di tenuta sia in sede nella posizione di progetto, infatti una posizione errata potrebbe andare a sovraccaricare l'anello causando usura o al contrario non garantire la tenuta necessaria e causare un trafilamento di olio lubrificante.

Dall'analisi delle tabelle riportate si nota che per quanto riguarda il valore di misura B prima del trattamento termico ci sono delle ruote (1, 2, 3 e 5) che risultano fuori tolleranza.

Si nota, altresì, che questi valori tendono a tornare in tolleranza (tranne la ruota 3) dopo aver subito il trattamento termico. Infatti, con il trattamento di tempra a induzione si ha un leggero aumento della quota B. In ogni caso si possono apportare delle correzioni al programma di tornitura per avere maggiore sicurezza di rientrare in tolleranza. Il diametro del foro della ruota (misura A) rimane costante durante il trattamento termico e risulta essere in tolleranza se non per un centesimo di millimetro per una ruota maschio ed una femmina.

Tabella 7-1. Valori rilevati prima del trattamento termico

DOPO TORNITURA (PRIMA DEL T.T.)		
BC2555-1	A	B
		∅52 (+0,046/0)
1	52,01	95,78
2	52,02	95,75
3	52,01	95,79
4	52,00	95,77
5	51,99	95,79
BC2555-2	A	B
		∅52 (+0,046/0)
1	52,01	95,73
2	52,00	95,73
3	52,00	95,98
4	52,02	95,77
5	52,01	95,72

Tabella 7-2. Valori rilevati dopo il trattamento termico

DOPO TRATTAMENTO TERMICO		
BC2555-1	A	B
		∅52 (+0,046/0)
1	52,01	95,79
2	52,02	95,75
3	52,01	95,80
4	52,00	95,77
5	51,99	95,78
BC2555-2	A	B
		∅52 (+0,046/0)
1	52,01	95,77
2	52,00	95,76
3	51,99	95,99
4	52,02	95,78
5	52,01	95,73

I successivi controlli di maggiore importanza sono quelli relativi alle misure H e I prima e dopo saldatura. H è la distanza di rasamento, questa quota è fondamentale per garantire un corretto assemblaggio della ruota. La misura I indica la coassialità del foro.

Si nota come dopo saldatura i valori rientrano in tolleranza. È difficile stabilire un criterio con il quale variano queste quote tra prima e dopo la saldatura, in particolar modo la quota di coassialità è di difficile controllo. Per quanto riguarda la quota di rasamento H si può dire che la tendenza, dopo la saldatura, è quella di un leggero aumento di tale quota.

Tabella 7-3. Valori rilevati prima della saldatura

DOPO PRESSATURA (PRIMA DELLA SALDATURA)		
BC2555	H	I
		116,1 (0/-0,2)
1	115,892	0,053
2	115,989	0,044
3	115,920	0,048
4	116,039	0,045
5	115,928	0,048

Tabella 7-4. Valori rilevati dopo la saldatura

DOPO SALDATURA		
BC2555	H	I
	116,1 (0/-0,2)	0,00 (+0,05/0)
1	115,90	0,046
2	115,97	0,035
3	Ruota tagliata per analizzare il cianfrino di saldatura	
4	116,08	0,042
5	115,97	0,050

8 ANALISI DEI COSTI

L'analisi dei costi che si è voluto effettuare pone a confronto, ovviamente, il ciclo produttivo standard, cioè quello utilizzato attualmente per realizzare la ruota, ed il ciclo alternativo pensato come soluzione migliorativa al fine di ottimizzare la linea.

Per realizzare il confronto si è fatto riferimento ai costi variabili e i costi standard, dati dalla somma di costi variabili e costi fissi, dei centri di costo interessati al processo produttivo nelle due configurazioni diverse. Per un'analisi adeguata ci si concentra e si dà maggior importanza ai costi variabili: i costi fissi infatti sono un insieme di molteplici fattori ed una variazione apportata al ciclo produttivo non va ad alterare in modo significativo e così rilevante i costi fissi. Ci si concentra invece sull'analisi dei costi variabili in quanto sono strettamente legati al prodotto e variano a seconda del processo di lavorazione eseguito sul prodotto.

Nella tabella seguente sono riportati i vari centri di costo di interesse per la lavorazione con le rispettive tariffe orarie. Vengono distinte le attività di macchina da quelle di manodopera, le attività di manodopera hanno solo una struttura variabile, a differenza di quelle di macchina che invece hanno una componente fissa ed una variabile. Per il ciclo standard sono stati presi direttamente i costi totali per realizzare il pezzo che si hanno attualmente che sono i seguenti:

	Tariffa variabile	Tariffa standard
Costo attuale della ruota (ciclo lavorazione standard)	54,23 €	61,13 €

Nel processo futuro a monte della macchina di saldatura che è stata utilizzata per la prova, e che sarà poi quella utilizzata nel processo definitivo, verrà aggiunta una pressa automatica verticale che avrà il compito di preassemblare le due semiruote. La pressa verticale ha un tempo ciclo notevolmente inferiore a quello di saldatura, il tempo di uscita del pezzo lavorato è quindi determinato dal tempo di saldatura. Per la stima del costo di questa linea futura si è fatto riferimento ad una linea uguale già presente in cui si ha la stessa configurazione di pressa automatica e saldatrice a valle. Questa linea già presente nello stabilimento è riportata nella tabella seguente con il nome di saldatrice CO₂.

Tipo di attività: macchina

CdC	Testo breve CdC	Tariffa complessiva	Tariffa variabile	Tariffa fissa	Divisa CA
I014302009	Tempra Ruote	125,26	28,48	96,78	EUR
I014313011	Saldatrice CO ₂	22,00	70,00	48,00	EUR

Tipo di attività: manodopera

CdC	Testo breve CdC	Tariffa complessiva	Tariffa variabile	Tariffa fissa	Divisa CA
I014302009	Tempra Ruote	47,94	47,94	0	EUR
I014313011	Saldatrice CO ₂	50,33	50,33	0	EUR

Partendo da questi valori si è calcolato il costo del ciclo futuro. La tabella seguente riporta per ogni centro di lavoro il tempo macchina e il tempo di manodopera. Il tempo di manodopera dipende da quanti operatori ci sono per centro di lavoro, nel caso in esame tempo macchina e tempo manodopera coincidono in quanto il rapporto uomo macchine risulta essere 1:1.

Si può notare, inoltre, la differenza nelle quantità nei due centri di lavoro. Nella lavorazione di tempra vengono temprate una semiruota alla volta, di conseguenza per analizzare il costo della ruota completa si deve considerare la tempra di due semiruote.

CDL	Descrizione	Quantità	Tempo Macchina	Tempo Manodopera	Efficienza
A2850827	Tempra ad induzione	2	1,08 min.	1,08 min.	100%
A0010080	Pressare e saldare	1	1,92 min.	1,92 min.	100%

Una volta giunti a conoscenza di questi valori si è potuto procedere con il calcolo. Il calcolo del costo per un centro di costo è ottenuto dalla somma di tempo di macchina per il rispettivo costo e il tempo manodopera per il rispettivo costo.

La somma viene moltiplicata per la quantità e divisa per 60 e per l'efficienza. In particolare per il calcolo del costo variabile e del costo standard del centro di costo di tempra è il seguente:

$$\text{costo variabile}_{\text{tempra ruote}} = 2 * \frac{(1,08 * 28,48) + (1,08 * 47,94)}{60 * 1} = 2,75 \text{ €}$$

$$\text{costo variabile}_{\text{pressatura e saldatura}} = 1 * \frac{(1,92 * 22,00) + (1,92 * 50,33)}{60 * 1} = 2,31 \text{ €}$$

	Costo variabile	
TEMPRA INDUZIONE	€	2,75
SALDARE/FINIRE	€	2,31
	€	5,07

Si ottiene così un costo totale variabile di 5,07 €.

Per sapere il costo totale del rullo finito con questo ciclo si deve sommare al costo calcolato il costo di ingresso del pezzo grezzo da fornitore in azienda. Il fornitore, con il nuovo processo, effettua in più la lavorazione di finitura del foro rispetto al ciclo standard oltre a realizzare le lavorazioni per ottenere la semiruota 1 e la semiruota 2.

Questa variazione, in realtà, non comporta un significativo aumento di costo del pezzo grezzo. Infatti, il motivo principale che ha portato all'idea di effettuare questo cambiamento del processo produttivo è proprio legata al fatto che il fornitore, avendo già il pezzo in macchina per effettuare la tornitura di sgrossatura del foro, della parte esterna, e della parte interna per l'ottenimento del cianfrino, avrebbe potuto effettuare la finitura del foro e anche la lavorazione di maschio e femmina senza avere rilevanti costi aggiuntivi. Si considera quindi il costo del grezzo da fornitore invariato. Il suo valore è riportato nella tabella seguente:

	Tariffa variabile	Tariffa complessiva
Costo attuale della ruota da fornitore	46,06 €	46,06 €

Il costo totale della ruota prodotta con il nuovo ciclo risulta quindi essere la somma della ruota grezza fornita e il costo delle lavorazioni di tempra e pressatura e saldatura.

$$\text{costo variabile} = 46,06 + 5,07 = 51,13 \text{ €}$$

Confrontando ora questi valori con i valori della prima tabella di questo capitolo, ovvero quella contenente il costo totale attuale di realizzazione delle ruote con processo standard, si può notare il seguente risparmio per singola ruota.

$$\text{saving}_{\text{variabile}} = 54,23 - 51,13 = 3,10 \text{ €}$$

Dall'analisi dei costi effettuata si ricava un risparmio di costi variabili di 3,10 € a pezzo. Come già detto precedentemente, la ruota in esame è un prodotto con elevati volumi annuali, ricordiamo il dato dello scorso anno fiscale in cui sono state realizzate e vendute 26548 ruote. Facendo riferimento a questo dato si ha che il costo totale variabile della ruota con il ciclo standard è dato dal prodotto della quantità venduta per il costo variabile della ruota con il ciclo attuale:

$$\text{costo totale ciclo standard} = 26.548 * 54,23 = 1.439.698 \text{ €}$$

Effettuando lo stesso calcolo con il nuovo costo variabile totale si ottiene:

$$\text{costo totale ciclo futuro} = 26.548 * 51,13 = 1.357.399 \text{ €}$$

Si ottiene un risparmio di costi variabili pari a:

$$\text{saving totale costi variabili} = 1.439.698 - 1.357.399 = 82.299 \text{ €}$$

Che corrisponde, in termini percentuali, ad un risparmio del 6%.

Se si vuole, invece, analizzare il risparmio dato solo ed esclusivamente dalla modifica della seconda fase della lavorazione si considera il costo variabile della lavorazione della seconda fase standard, ovvero saldatura e tornitura di finitura.

Tale valore ammonta a 5,41 € e deve essere confrontato al risparmio sui costi variabili ottenuto con la modifica di processo che è pari a 3,10 €. Il rapporto percentuale indica un risparmio sulla lavorazione del 57%.

9 CONSIDERAZIONI FINALI

Giunti alla conclusione che il progetto porta ad un risparmio del 6% rispetto ai costi attuali, bisogna tener presente il fatto che la disposizione della nuova linea non andrebbe a gravare in maniera pesante su costi di investimento in quanto la pressa verticale automatica che manca attualmente alla linea è recuperabile da un'altra linea in dismissione e quindi si otterrebbe a costo zero. In aggiunta, come già accennato, la pressa verticale avrebbe un tempo ciclo notevolmente più basso rispetto alla saldatrice. Ciò consentirebbe al robot di essere in grado di asservire entrambe le macchine.

Descrivendo brevemente la situazione che si avrebbe dalla linea composta da pressa e saldatrice si avrebbe una rulliera, esattamente la stessa presente attualmente, caricata manualmente, dalla quale il robot preleva le semiruote e le posiziona in pressa, la ruota pressata viene poi caricata in saldatrice, durante la saldatura il robot ha il tempo necessario per posizionare le due successive semiruote in pressa e posizionarsi all'uscita della saldatrice per aspettare la ruota saldata. Una volta terminata la saldatura, la ruota viene posizionata sulla rulliera di scarico e il robot preleva la ruota pressata e la posiziona in macchina di saldatura. Il tempo di prelievo delle due semiruote aggiunte al tempo di pressatura risulterebbe notevolmente inferiore al tempo di saldatura.

Un'ulteriore considerazione da effettuare è legata al poter effettuare questa modifica anche ad altre ruote simili a questa che subiscono lo stesso ciclo produttivo attuale e che in futuro possono essere prodotte secondo il nuovo flusso. Un esempio è dato dalla ruota BC2557 che è uguale alla ruota BC2555 se non per la larghezza che risulta essere leggermente maggiore. Con la realizzazione con il nuovo processo si avrebbero gli stessi costi che si hanno per la ruota BC2555 poiché le lavorazioni sono le stesse, la larghezza maggiore di 15 mm infatti non risulta determinare modifiche di processo rilevanti. si può quindi quantitativamente stimare lo stesso risparmio percentuale anche su questa ruota che viene venduta su volumi molto simili alla ruota BC2555.

10 BIBLIOGRAFIA

- (1) *James P. Womack, D. T. Lean thinking, come creare valore e bandire gli sprechi. Guerini next, Goware.*
- (2) *Tratto da www.thyssenkrupp-berco.com.*
- (3) *Code, S. Veichle. Close-up Engineering.*
- (4) *Thyssenkrupp-Berco. Tratto da <https://www.thyssenkrupp-berco.com/en/components-product-lines/mini-undercarriage-and-utilities>.*
- (5) *Fluiten. Manuale tecnico tenute meccaniche. Tratto da http://www.fluiten.it/wp-content/uploads/2018/02/SEM001_ITA_L.pdf.*
- (6) *Levy, G. (s.d.). La logistica nei sistemi ERP. Dalla distinta base alla produzione. Franco Angeli.*
- (7) *Chiarini & Associati S.r.l. (s.d.). LeanManufacturing.it. Tratto da LeanManufacturing.it.*
- (8) *Lezioni di sistemi integrati di produzione. Controllo numerico computerizzato. Politecnico di Torino.*
- (9) *Lezioni di sistemi integrati di produzione. La programmazione delle macchine a controllo numerico. Politecnico di Torino.*
- (10) *Mazak. Software CNC.*
- (11) *Lezioni di sistemi integrati di produzione. Macchine di misura a coordinate. Politecnico di Torino.*
- (12) *Gruppo Lucefin Research and Development. Marco Boniardi e Andrea Casaroli. (s.d.). Metallurgia degli acciai.*
- (13) *Matteis, P. (s.d.). Materiali per L'industria meccnica. Tempra ad induzione. Politecnico di Torino.*
- (14) *Schey, J. A. (s.d.). Introduction to Manufacturing process.*
- (15) *Fimer. (s.d.). Guida Pratica alla Saldatura. Tratto da https://www.fimer.com/wp-content/uploads/guida_saldatura1.pdf.*