

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA**

*DIEM*

**TESI DI LAUREA**

in

**TECNOLOGIE SPECIALI LS**

**ANALISI SPERIMENTALE SU UNA OPERAZIONE DI  
SALDATURA DI COMPONENTI TELAIO  
MOTOCICLISTICO IN LEGA DI ALLUMINIO OTTENUTI  
PER FUSIONE**

**CANDIDATA:**  
Federica Rossetti

**RELATORE:**  
Chiar.mo Prof. Luca Tomesani

**CORRELATORI:**  
Ill.mo Ing. Lorenzo Donati  
Ill.mo Ing. Giampaolo Campana

Anno Accademico 2009/2010

Sessione I

# INDICE

Introduzione.....	1
Capitolo 1. La Honda Italia.....	3
1.1 La filosofia Honda.....	6
1.1.1 Il rispetto dell'individuo.....	6
1.1.2 Le tre soddisfazioni.....	7
Capitolo 2. Telaio in lega d'alluminio per maxi moto.....	8
2.1 I modelli.....	8
2.2 Il telaio e i suoi componenti.....	10
2.3 Collocazione del telaio.....	11
Capitolo 3. Processo di fonderia.....	13
3.1 Colata in conchiglia a gravità.....	14
3.2 Cicli termici degli stampi.....	17
3.2.1 Riempimento dello stampo.....	19
3.2.2 Solidificazione della lega ed estrazione del getto.....	20
3.3 Trattamento termico.....	24
Capitolo 4. Le lavorazioni meccaniche.....	27
4.1 Descrizione del processo di saldatura del telaio.....	27
4.1.1 Operazione 1 e 1.1.....	29
4.1.2 Operazione 2.....	32
4.1.3 Operazione 3.....	34
4.2 Controllo qualità.....	35
Capitolo 5. Processo di saldatura.....	38
5.1 L'alluminio e i processi di saldatura.....	38
5.1.1 Saldatura TIG.....	41
5.1.2 Saldatura MIG.....	47
5.2 Descrizione del processo di saldatura del telaio.....	49
5.2.1 Operazione 1.....	51
5.2.2 Operazione 2.....	52
5.2.3 Operazione 3.....	58
5.2.4 Considerazioni finali.....	59
Capitolo 6. Attività sperimentale.....	63
6.1 Presentazione del problema rilevato.....	63
6.2 Analisi preliminare.....	65
6.2.1 Test non distruttivi.....	65
6.2.2 Test distruttivi.....	66
6.3 Analisi del problema.....	74
6.3.1 Diagramma di Ishikawa.....	74
6.4 Attività svolta in fonderia.....	77
6.4.1 Tolleranze e giochi.....	77
6.4.2 Test: <i>anima main pipe</i> .....	78
6.4.3 Test: <i>main pipe</i> .....	84
6.4.4 Test: <i>rear frame</i> .....	106
6.5 Attività svolta nel reparto Machinig.....	124
6.6 Attività svolta nel reparto Saldatura.....	129

Conclusione.....	138
<i>Allegato 1: Schede “Punto importante di qualità”</i> .....	141
<i>Allegato 2: Scheda di controllo</i> .....	144
<i>Allegato 3.1: CTR campione 1 main pipe</i> .....	150
<i>Allegato 3.2: CTR campione 2 main pipe</i> .....	164
<i>Allegato 4.1: CTR campione 1 rear frame</i> .....	181
<i>Allegato 4.2: CTR campione 2 rear frame</i> .....	212
Bibliografia.....	245
Ringraziamenti.....	246

# Introduzione

La cultura della qualità e della sicurezza, in questi ultimi anni, sta acquisendo un ruolo fondamentale nell'ambito dell'organizzazione aziendale. Esse, infatti, rappresentano l'elemento strategico per realizzare la competitività delle aziende all'interno di un mercato in rapida e continua evoluzione.

La genesi del concetto di qualità risale ai primi decenni del secolo scorso, quando, negli Stati Uniti, venne introdotto il concetto di *controllo di qualità*, attraverso strumenti statistici di misurazione e monitoraggio. Tali strumenti vennero esportati anche in Giappone, dove ebbero un'accoglienza molto diversa, rispetto agli Stati Uniti. La differente mentalità, il diverso contesto economico e socio-culturale portarono, negli anni, a sviluppare due diverse concezioni della qualità.

Negli U.S.A. si sviluppa una cultura della qualità riferita essenzialmente al prodotto finale, trascurando il processo produttivo situato a monte.

La qualità non può essere ottenuta a scapito del contenimento dei costi, per cui viene accettato anche un certo livello di difettosità del prodotto finale, purché non vengano intaccati profitti e produttività. Questo atteggiamento comporta, ovviamente, una scarsa attenzione alla soddisfazione del cliente, elemento al contrario, centrale nel modello di qualità giapponese.

In Giappone il termine "qualità" è inteso in senso "totale": qualità del prodotto e dei sistemi produttivi; qualità delle imprese e dei sistemi di imprese; qualità del sistema industriale, che deve interagire con la qualità degli altri settori, delle infrastrutture, dei servizi, della Pubblica Amministrazione, ecc.<sup>1</sup> La qualità deve perciò essere riferita tanto al prodotto/servizio, quanto al processo produttivo nel suo insieme (qualità di sistema).

Per "qualità totale" si intende un nuovo modo di concepire l'organizzazione aziendale nel suo complesso. In particolare, in una realtà aziendale come la Honda Italia Industriale, è applicato in modo continuo e rigoroso il controllo della qualità, non più limitatamente al momento produttivo, ma durante tutto il processo (dalle fasi di progettazione, di scelta dei materiali, della combinazione dei fattori produttivi, della scelta dei fornitori, a quelle dell'organizzazione del lavoro, dell'impiego

---

<sup>1</sup> C. Peri, *Qualità: concetti e metodi*, F. Angeli, Milano, 1995.

di tecnologie, di stoccaggio, di trasporto, di distribuzione, ecc.). La qualità del prodotto finale Honda non sarà altro che la somma delle singole qualità realizzate dall'azienda durante tutte le fasi che precedono, realizzano e seguono la produzione.

Ed è proprio in questi termini che il colosso mondiale Honda, acquisisce la consapevolezza che la qualità rappresenta un imperativo, un obbligo non solo tecnico ma anche morale, un rimedio unico e vincente per sbaragliare la concorrenza (in ragione del maggior valore offerto ai clienti), conseguendo un ordinato sviluppo dell'attività produttiva riducendo sprechi ed errori gestionali.

L'avvicinamento al mercato europeo di produttori emergenti, operanti a basso costo di manodopera e a prezzi finali molto competitivi, ha spinto i produttori locali a voler tutelare e riconquistare il cliente emanando, tra l'altro, una serie di norme volte ad assicurare il livello qualitativo dei prodotti e dei processi produttivi che ne sono a monte.

Per questi validi motivi Honda acquisisce le certificazioni ISO aderendo a norme di carattere generale, inerenti le procedure da applicare ai processi produttivi, garantendo qualità del prodotto e soddisfazione del cliente.

Il Sistema Qualità della Honda non si limita ad essere un processo per ottenere la certificazione, ma è lo strumento che consente il controllo di tutte le fasi produttive, migliorando continuamente.

L'elaborato di tesi prende in esame due componenti in lega di alluminio, facenti parte del telaio di una motocicletta di media cilindrata realizzato in tre parti ed ottenuto per colata in gravità con stampo permanente. Molto spesso, durante la fase di saldatura, si verificano dei tagli longitudinali sul cordone di saldatura, che determinano la mancata conformità del telaio.

In seguito ad una breve presentazione dell'azienda che mi ha ospitato durante la mia attività, e dei componenti telaio, si passa descrizione delle tre attività fondamentali per la realizzazione del telaio, ossia il processo di fonderia, di asportazione di truciolo e di saldatura. Al termine, stilando un diagramma di causa ed effetto, noto anche come diagramma di Ishikawa, si svilupperà l'attività di analisi condotta nelle varie sezioni.

# Capitolo 1

## La Honda Italia



La decisione della Honda Motor Company di investire in Italia nasce alla fine degli anni '60. Le motivazioni alla base dell'investimento della Honda in Italia ed in modo particolare in Val di Sangro possono essere così riassunte:

- agli inizi degli anni '70, il mercato potenziale per motocicli di cilindrata inferiore a 125cc senza obbligo di patente era relativamente ampio (circa 80.000 sedicenni);
- una grande diffusione delle due ruote in ambito nazionale rispetto al mercato europeo;
- l'Italia era caratterizzata da una tradizione di costruttori di motocicli e soprattutto di fornitori di componenti eccellenti a livello mondiale;
- il clima sociale in Abruzzo, pur essendo in periodo di autunno caldo, era molto più calmo rispetto a quello delle aree industrializzate del nord;

ultimo, ma non per questo meno importante:

- lo stato italiano offriva la possibilità di ottenere finanziamenti agevolati attraverso la Cassa del Mezzogiorno.

Ciò nonostante lo stabilimento della Val di Sangro ha dovuto vincere una serie di sfide prima di diventare una realtà modello in termini di produttività in Europa, capace di innescare dei processi innovativi e di sviluppo virtuosi per il territorio abruzzese.

Fra le sfide dobbiamo ricordare quella lanciata dai costruttori nazionali Piaggio, Aprilia, De Tommaso, Benelli, Moto Guzzi e la stessa ANCMA (Associazione Nazionale Ciclo Motociclo Accessori) che si opposero al progetto con ogni mezzo.

Inoltre le importazioni di componenti finiti o semilavorati furono limitati attraverso una serie di pesanti restrizioni: infatti nel 1974 la Comunità Economica Europea emanava la direttiva che regolamentava l'importazione dai paesi extracomunitari dei motocicli di cilindrata inferiore ai 380 cc e relativi componenti.

La manovra era rivolta a frenare l'avanzata delle case giapponesi che all'inizio degli anni '70 avevano fatto il loro ingresso in Europa e negli USA con prodotti di alta qualità a prezzi competitivi, con i quali erano riusciti ben presto ad acquisire rilevanti quote di mercato.

L'attrattiva del mercato europeo, ma soprattutto la corposità del segmento 125cc in termini di previsione di vendita, indussero la casa giapponese ad avviare la costituzione, in Italia, di una società per la produzione di moto 125 destinate al mercato italiano ed europeo.

Nel Centro-Sud inoltre non erano presenti né fornitori specializzati di componenti né manodopera specializzata, perché zona prevalentemente agricola in cui risiedeva solo un piccolissimo tessuto industriale (editoria, tessile, prodotti in ferro battuto).

Questi fattori imponevano elevati costi di trasporto per gli stabilimenti di produzione ubicati nel Centro-Sud sia in uscita, per spedire il prodotto finito nei mercati principali ubicati al nord, sia in entrata per l'acquisto della componentistica che proveniva per il 90% dal nord.

Il progetto-sfida pertanto presentava una serie di problematiche che avrebbero potuto farlo fallire.

Fortunatamente, una serie di iniziative introdotte dal *management* dello stabilimento, in collaborazione con la Honda Motor Company, hanno costruito il successo della scommessa Honda Italia.

La prima iniziativa ha riguardato i fornitori. La Honda Italia ha promosso lo sviluppo di fornitori locali a partire dal 1984 mediante l'insegnamento di tecniche di produzione, di gestione e di abbattimento costi.

Inoltre è stato creato un nucleo di fornitori che potessero generare una *supply chain* (un processo di gestione aziendale che consente di ottimizzare la consegna dei prodotti dal fornitore al cliente) tendente ad elevare il grado di accettazione dei produttori locali anche presso altre società non della Honda.

Nel contempo si decise di concentrare la produzione su un bene a minor contenuto tecnico, quale lo scooter, da utilizzare come fucina di preparazione a processi manifatturieri più complessi.

Investimenti massicci di formazione per la manodopera interna hanno poi completato lo sforzo di localizzazione.

Grazie al buon fine di queste azioni, la Honda è stata meritevole di iniziare la produzione di modelli di maximoto quali "Dominator", "Transalp", "CB 500" e recentemente "Hornet" che, con il loro più elevato contenuto tecnico ed un maggior valore aggiunto, hanno dato una ulteriore svolta positiva allo stabilimento di Atessa.

Così quest'impegno ha portato la Honda a ribaltare una situazione precaria e a vincere una sfida che inizialmente sembrava molto ardua.

In occasione della visita di Mr. Takeo Fukui, Presidente & CEO della Honda Motor Company Ltd, giunto dal Giappone appositamente per tenere a battesimo la prima CB1000R prodotta ad Atessa (Chieti), Silvio Di Lorenzo, Vice Presidente Esecutivo di Honda Italia, ha ricordato come "nell'intero 1977 abbiamo prodotto 2800 moto, un numero di veicoli che oggi produciamo in tre giorni. Il traguardo che abbiamo raggiunto – 2 milioni di motocicli e 4 milioni di motori Power Equipment realizzati in Abruzzo – sia stato possibile da un grande lavoro di squadra fra associates, fornitori e clienti."

Come ha ricordato Silvio Di Lorenzo, questo è l'eccezionale risultato raggiunto dalla Honda Italia Industriale SpA, che dal 1971 rappresenta nel nostro paese il più grande costruttore di veicoli a due ruote del mondo, la Honda Motor Co, un caso forse unico al mondo: si tratta infatti di un'azienda

relativamente giovane che ha saputo crescere per produzione e immagine ad un ritmo che non teme confronti.

Lo stereotipo delle imprese giapponesi, viste come conquistatrici di mercati europei o peggio come fabbriche “cacciavite”, è stata sfatata dalla Honda in Val di Sangro con la realizzazione di uno stabilimento dove non ci si limita ad assemblare componenti prodotti all'esterno, ma si produce a tutto tondo, creando valore aggiunto sia in termini industriali che di *know-how* ed innalzando la competitività locale rispetto ai concorrenti italiani ed europei.

## **1.1. La filosofia Honda**

La Honda Motor, fondata in Giappone nel 1948 dal Sig. Soichiro Honda, venne già concepita da lui come un'azienda multinazionale, globalizzata e soprattutto le diede una filosofia. Tale filosofia è una risorsa preziosa per Honda e risiede alla base della sua attività e dei suoi sforzi presenti e futuri. E' importante che tutti i dipendenti nel mondo comprendano, rispettino, condividano e praticino tale filosofia che li accomuna.

Si basa su due principi fondamentali:

- il rispetto dell'individuo
- le tre soddisfazioni.

### **1.1.1 Il rispetto dell'individuo**

Il rispetto dell'individuo scaturisce dal principio dell'unicità della persona. L'essere umano nasce con la capacità di pensare, ragionare, creare ma soprattutto sognare e al suo interno la Honda si adopera per coltivare e promuovere queste singolari caratteristiche di ciascuno.

Nell'ambito del rispetto per l'individuo la filosofia Honda include tre principi fondamentali:

- Iniziativa.

I collaboratori della società non devono attenersi a idee preconcepite ma devono imporsi creativamente al fine di pensare e agire di propria iniziativa prendendosi però le responsabilità delle loro azioni.

- Uguaglianza di possibilità.

Tutte le persone all'interno dell'impresa sono trattate allo stesso modo; si applica il principio della meritocrazia.

– Fiducia.

La relazione che si stabilisce tra i collaboratori deve fondarsi sulla fiducia reciproca. E' importante a tal proposito chiedere e accettare l'aiuto di altri e condividere le conoscenze e le esperienze all'interno dell'impresa.

### 1.1.2 Le tre soddisfazioni

Coloro che lavorano o hanno un contatto con il gruppo Honda direttamente o attraverso i suoi prodotti devono trarre da tale esperienza un senso di soddisfazione. L'intento di tale Azienda è quello di soddisfare tutti quelli che comprano, vendono e producono i suoi prodotti.

1. La soddisfazione di comprare deve essere percepita dal cliente acquistando prodotti e servizi che eccedono le sue aspettative. Questo principio è essenziale per stabilire una relazione duratura con il cliente.
2. La soddisfazione di vendere si consegue fornendo con orgoglio un prodotto che supera le aspettative del concessionario e del cliente.
3. La soddisfazione di creare e produrre si consegue quando i dipendenti Honda e i fornitori coinvolti nella progettazione e nella costruzione del prodotto riconoscono un senso di soddisfazione nel cliente e nel concessionario.

Nel 1956 ai due principi viene aggiunto un terzo: "il principio aziendale Honda" che è diventato il motto dell'azienda:

**“Mantenendo uno spirito globale, siamo impegnati a fornire prodotti della più alta qualità ad un prezzo ragionevole, per la soddisfazione dei clienti di tutto il mondo”.**

Tale principio rappresenta lo scopo, il motivo dell'esistenza del gruppo stesso, pertanto deve essere condiviso da tutte le consociate.

Per aiutare tutti gli associati ad applicare la filosofia Honda ad attuare il principio aziendale, Honda ha stabilito cinque politiche manageriali:

- procedere sempre con ambizione ed energia
- rispettare le teorie valide, sviluppare idee nuove ed utilizzare al meglio il nostro tempo
- gradire il proprio lavoro ed illuminare sempre l'atmosfera lavorativa
- sforzarsi sempre di avere un flusso di lavoro armonioso
- essere sempre consapevoli del valore della ricerca e della specializzazione.

# Capitolo 2

## Telaio in lega d'alluminio per maxi moto

È utile inquadrare in questo capitolo i modelli Honda assemblanti la famiglia di telai, in lega d'alluminio, che andremo a studiare con il presente lavoro di tesi; presentare le tipologie di telai, i componenti principali e la collocazione del telaio sul motociclo, con i vari componenti meccanici che vi sono collegati.

### 2.1 I modelli

Attualmente in Honda Italia sono prodotti quattro modelli di maximoto che montano due tipologie di telai in lega d'alluminio:

- telai MFG per le CB 600 (Hornet) e le CB 1000R;
- telai MER per le CBF 600 e le CBF 1000.

Nella tabella 2.1, riportata di seguito, sono specificati i modelli di maxi moto prodotti e il tipo di telaio che le caratterizza. I due telai sono materialmente e strutturalmente identici, ciò che li differenzia sono alcuni punti di collegamento e alcune lavorazioni per asportazione di truciolo.

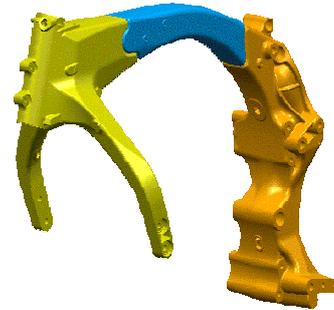


**HORNET**



**CB1000R**

**Telaio MFG**



**CBF  
600**



**CBF  
1000**

**Telaio MER**

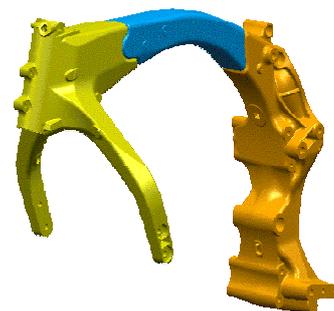


Tabella 2.1 – Modelli Honda maxi moto montanti il telaio in lega d'alluminio.

## 2.2 Il telaio e i suoi componenti

I due telai che si studieranno sono telai monobraccio in lega d'alluminio (AlSi7Mg 0,3), entrambi composti da tre sottogruppi, riportati nella sottostante tabella 2.2.

I tre componenti prodotti per fusione in conchiglia, vengono realizzati nella fonderia TFC Galileo S.p.A sita a Lagosanto (Fe).

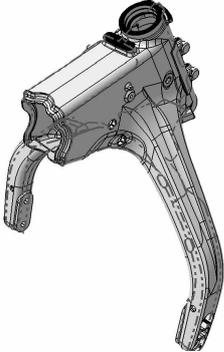
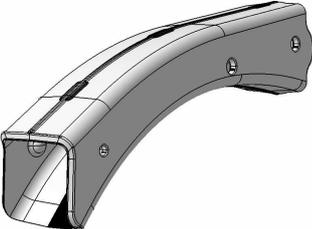
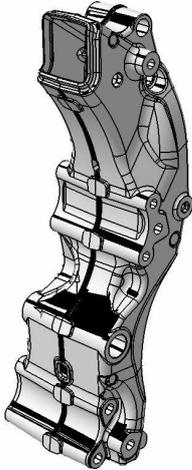
	<b>FRONT FRAME</b>
	<b>MAIN PIPE</b>
	<b>REAR FRAME</b>

Tabella 2.2 – Sottogruppi costituenti il telaio.

In seguito al processo di *die casting gravity* (ovvero di fusione in gravità) e successive fasi di trattamento termico, sabbiatura e sbavatura, i componenti sono sottoposti a lavorazioni di asportazione di truciolo e successivamente vengono saldati tra loro. In figura 2.1 è riportato il flussogramma di processo delle fasi principali di realizzazione del telaio.

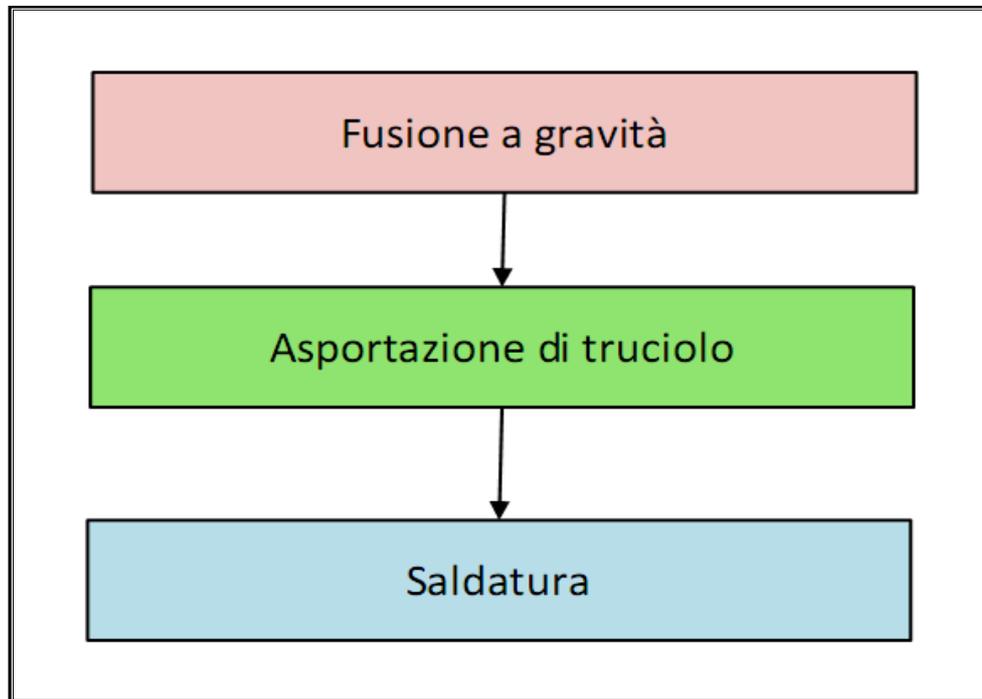


Figura 2.1 – Flussogramma di processo delle fasi principali di fabbricazione del telaio.

Il seguente lavoro si struttura in considerazione del *process flow chart* riportato sopra. Per ogni fase vengono descritte e analizzate le lavorazioni effettuate, al fine di avere una conoscenza globale del processo produttivo.

## 2.3 Collocazione del telaio

Il telaio costituisce la struttura portante di qualunque veicolo. Può risultare importante dare una visione generale della sua collocazione su un motociclo (figura 2.2 e 2.3).



Figura 2.2 – Visione d'insieme della collocazione del telaio e dei componenti meccanici.



Figura 2.3 – Visione frontale della collocazione del telaio e dei componenti meccanici.

# Capitolo 3

## Processo di fonderia

Le leghe di alluminio costituiscono una classe importantissima di materiali da fonderia. Esse trovano largo impiego nel settore dei trasporti, per ridurre i pesi e diminuire i consumi di carburante. Naturalmente per la buona riuscita dei componenti è necessario che abbiano buona capacità di fondere, presentino buona fluidità allo stato fuso, ritiro estremamente ridotto, buon potere di riempimento delle forme e basse temperature in gioco.

Nel processo di formatura per fusione il materiale viene colato in una cavità (inclusa in una forma o in uno stampo), che riproduce con opportuna precisione la geometria del pezzo finito che si vuole ottenere.

La versatilità di questo processo è ben testimoniata dall'elevato numero di tecnologie di fonderia disponibili ed utilizzate. Questa ampia possibilità di scelta consente ai progettisti e agli utenti finali una notevole flessibilità operativa per soddisfare i requisiti imposti al componente da produrre. In linea di massima, per la scelta corretta di un processo di fonderia, vanno considerati i seguenti aspetti:

- qualità superficiale del getto;
- accuratezza dimensionale richiesta;
- numero di getti da produrre;
- tipologie di attrezzature di formatura necessarie (modelli, casse d'anima, etc.);
- costi di realizzazione dello stampo o della forma;
- interazioni tra il processo individuato e le caratteristiche di progetto del getto e/o del componente.

Esistono diversi criteri che classificano i processi di formatura per colata; il più semplice individua tre categorie, sulla base del materiale costituente la forma in cui verrà colato il metallo:

1. processi di colata in sabbia;
2. processi con l'impiego di stampi permanenti;
3. processi speciali con forme ceramiche, in gesso o altro.

In sostanza, il pezzo finale può essere prodotto colandolo:

- in una forma “*a perdere*” in sabbia o, più genericamente, in materiale refrattario, cui è stata conferita, mediante leganti, una opportuna consistenza; tale forma può essere prodotta mediante un modello permanente (quindi riutilizzabile) o mediante un modello a perdere.
- in una forma permanente (stampo propriamente detto), solitamente in acciaio, ricavata per lavorazione meccanica. La forma è costituita almeno da due semiforme (inferiore e superiore) che, richiuse, realizzano la cavità in cui viene colato il metallo.

Poiché le analisi affrontate in questa tesi, riguardano componenti ottenuti mediante processi di colata per gravità e in conchiglia basculante, è opportuno approfondire unicamente queste due metodologie.

### **3.1 Colata in conchiglia a gravità**

Nel processo di **colata in conchiglia**, il metallo fuso viene versato all'interno dello stampo. Il riempimento della cavità avviene semplicemente per gravità. Lo stampo in acciaio o in ghisa, è costituito in genere da due semistampi. In questo caso, grazie all'ingresso lento della lega fusa, è possibile utilizzare delle anime che possono essere in materiale metallico (inserti e spine che agiscono con meccanismi automatizzati) o in sabbia (posizionate prima della chiusura dello stampo) sia per ricavare profili interni che per ricavare sottosquadri. È fondamentale che i semistampi siano preriscaldati e le loro superfici interne vengono ricoperte in maniera manuale o automatica con una vernice refrattaria.

Quest'ultima ha la funzione di creare una barriera protettiva tra il metallo fuso ed il substrato della forma o dell'anima durante il processo di colata, assicurando l'integrità della superficie e la facilità di distacco del getto. In effetti esso viene estratto dallo stampo quando è ancora ad una temperatura piuttosto alta e leggermente inferiore a quella di solidificazione. Una eccessiva resistenza all'estrazione porta l'operatore ad esercitare forze troppo elevate durante il prelievo del getto, causandone la deformazione. Le funzioni principali che una vernice refrattaria deve avere, sono:

- *Controllo dello scorrimento del metallo*, per assicurare che il metallo raggiunga tutte le parti della conchiglia, ad una temperatura sufficiente ad evitare la formazione di giunti freddi. La differenza di temperatura tra la conchiglia e la lega fusa, è di circa 400°C, se lo strato di vernice

è molto liscio si avrà un coefficiente di scambio termico elevato, rispetto ad uno strato rugoso, in quanto la superficie del metallo a contatto è superiore e quindi diviene più facile la dispersione di calore. Dal punto di vista termico, nonostante la presenza di picchi e valli che rappresentano un ostacolo meccanico al moto del fluido, funziona meglio una superficie di contatto più rugosa. Anche la spigolosità delle particelle refrattarie della vernice influisce sul flusso del metallo. Dato che la tensione superficiale dell'alluminio è elevata, le sue caratteristiche di fluidità e bagnabilità sono basse; in conseguenza di ciò, se si impiega un refrattario a spigolo vivo, durante la colata, la pelle di ossido dell'alluminio che tende a formarsi piuttosto rapidamente, risulterà continuamente disgregata, ed il metallo scorrerà meglio. Tuttavia, durante l'estrazione del getto, le sporgenze si spezzano, e sono dunque necessari periodici ritocchi.

- *Controllo del trasferimento del calore* per ottenere la migliore solidificazione e dare ai getti una buona alimentazione. Il controllo della dispersione di calore attraverso le varie sezioni della conchiglia e quindi della solidificazione direzionale del getto, dipendono dallo spessore dello strato di vernice e dalle caratteristiche fisiche della stessa. A tal proposito è doveroso evidenziare che esistono vernici bianche e vernici nere. Mentre le prime hanno un ruolo isolante, le seconde, essendo a base di grafite colloidale, conducono calore. Oltre alle vernici, in realtà per ottenere un effetto isolante (solitamente nelle tazze delle conchiglie basculanti), si utilizzano delle vere e proprie paste refrattarie. È possibile inoltre diversificare, a seconda delle zone più o meno massive, lo spessore della vernice, per permettere un raffreddamento più o meno rapido, evitando tutte quelle tipologie di difetti, che potrebbero innescarsi a causa dei diversi tempi di solidificazione (ad esempio tensioni interne con relativa cricatura del getto e riduzione della resistenza a fatica).
- *Buone superfici e quindi riduzione dei costi di finitura.* In realtà se la vernice viene applicata a spruzzo, verranno depositati strati sottili in modo graduale per ottenere lo spessore desiderato, al fine di giungere ad elevati gradi di finitura. Tuttavia, con una superficie troppo liscia, si rischia di non completare il riempimento del getto per i motivi, relativi alla bagnabilità, precedentemente descritti. Applicando la vernice mediante pennello, si ottiene una superficie estremamente rugosa e considerando il fatto che molta aria viene inglobata, si avrà inoltre un elevato grado di isolamento termico. Generalmente si utilizza quest'ultimo metodo per montanti e rami di colata.

- *Aumento della durata della conchiglia e quindi della produttività.*

Per la colata in gravità, il primo passo da affrontare, prima di eseguire la verniciatura dello stampo, è la pulizia della superficie da rivestire: non devono esserci residui di precedenti verniciature e nemmeno olio o altri tipi di grassi. La pulitura può essere eseguita con spazzole metalliche o sabbatura leggera. Le conchiglie a regime, lavorano generalmente a temperature che si aggirano attorno a 360°C e la temperatura consigliata per la verniciatura è compresa tra 250÷300°C per ottenere l'omogeneità ottimale. Successivamente alla verniciatura e al riscaldamento dello stampo, quest'ultimo viene chiuso e quindi è possibile procedere con la colata della lega.

Una versione innovativa della colata in gravità è il processo in **conchiglia basculante** (fig.1.4). In questo caso, il bacino di colata (o tazza) è solidale allo stampo. Una volta chiusa la conchiglia, la tazza viene riempita con il volume esatto di alluminio necessario al riempimento della forma. A questo punto inizia la rotazione del sistema tazza + stampo con una ben determinata legge di basculamento, che consente di riempire lo stampo in modo omogeneo, cercando di evitare le turbolenze.

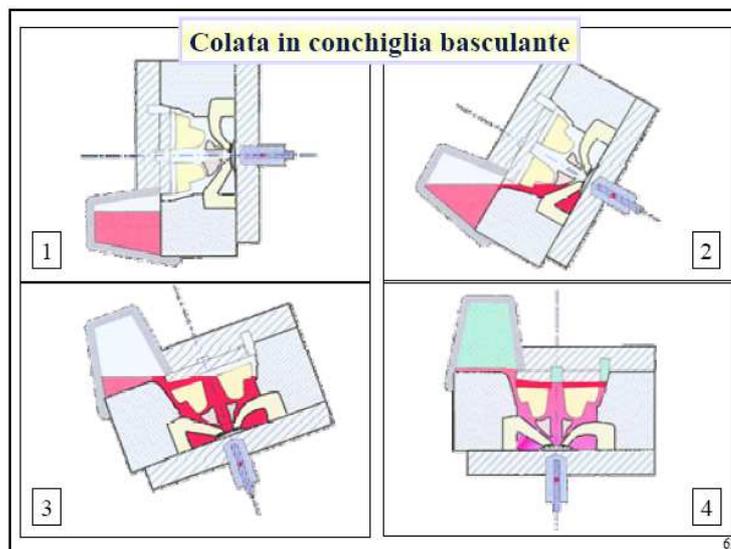


Figura 3.1 – Schematizzazione delle varie fasi della colata in conchiglia basculante.

I vantaggi della colata in conchiglia sono:

- ottenimento di un getto con ottime caratteristiche meccaniche, dovute dalla grana fine indotta da una rapida solidificazione grazie allo stampo metallico;

- riempimento uniforme con flusso regolare e piuttosto lento, fatta eccezione eventualmente per alcuni punti della forma, in cui la lega fusa potrebbe subire improvvise accelerazioni;
- uniformità dimensionale del getto, con ottimo rispetto delle tolleranze;
- possibilità di isolamento, riscaldamento o raffreddamento di alcune zone dello stampo, mediante opportuni sistemi di condizionamento termico, che consentono di controllare l'evoluzione della solidificazione, minimizzando l'insorgere dei difetti e incrementando le caratteristiche meccaniche del getto.

### **3.2 Cicli termici degli stampi**

Per ciclo termico dello stampo si intende la variazione di temperatura che si può registrare nella conchiglia durante il processo di fonderia composto dalle fasi di:

1. riempimento stampo
2. solidificazione della lega
3. estrazione del getto.

Affinché si possa ottenere un componente di buona qualità unitamente ad una elevata produttività, il processo richiede dapprima che lo stampo sia alla temperatura ideale di esercizio (temperatura strettamente legata alla forma e alle dimensioni del getto), quindi che la temperatura del sistema stampo – getto, terminato il riempimento, diminuisca velocemente per favorire la solidificazione. Nel caso del *rear* si passa da una temperatura di esercizio dello stampo pari a 400 – 460°C ad una temperatura di 360°C (figura 3.2).

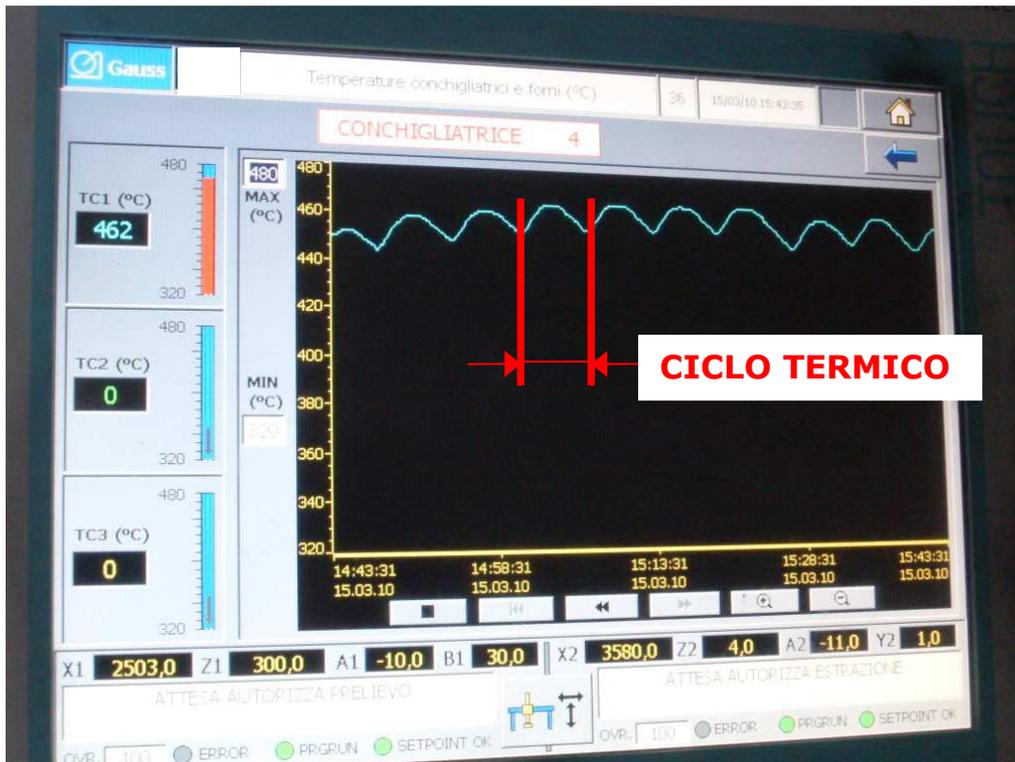


Figura 3.2 - Ciclo termico dello stampo del *rear* a regime.

La figura 3.2 mostra il ciclo termico dello stampo del *rear frame*: si nota che a regime, la variazione di temperatura è pressoché costante.

Si può dedurre che, se la lega introdotta nello stampo non ha temperatura adeguata, oppure se lo stampo è molto freddo, nelle zone poste lontane dalla fonte di alimentazione la lega giungerà con una temperatura insufficiente per la sua corretta solidificazione: i flussi di riempimento non potranno così fondersi ma solamente 'incollarsi', dando origine ad uno o più giunti freddi.

La lega prima di completare il riempimento dello stampo, cederà una notevole quantità di calore in funzione dei seguenti fattori:

- la temperatura dello stampo;
- design del getto;
- spessori del getto;
- temperatura della lega nel crogiolo o nel forno di attesa che influenzano la fluidità della lega;
- temperatura della tazza e suo spessore;
- rugosità della grafite dello stampo;
- tipologia di lega;
- eventuale presenza di risacche d'aria non evacuate durante la colata.

Generalmente, quando un pezzo viene estratto dallo stampo possiede una temperatura che può raggiungere i 450 °C; ciò non facilita il compito dell'operatore che deve osservare l'eventuale presenza o meno di difetti superficiali: il calore infatti tende a distorcere la visione del getto e può mascherare alcuni difetti come pelli e giunti freddi.

La dinamica di formazione del giunto freddo trova spiegazione nel meccanismo di solidificazione della lega. Il tenore di silicio della lega ha influenza sulla temperatura di solidificazione, infatti, la lega utilizzata dalla TFC Galileo per i componenti del telaio avente una percentuale di silicio pari al 7% mostra una temperatura di solidificazione all'incirca di 614°C (figura 3.3).



Figura 3.3 – Esempio di giunto freddo sul lembo di imbocco del *rear frame*.

### 3.2.1 Riempimento dello stampo

Il controllo del trasferimento del calore, attraverso le sezioni dello stampo, è uno degli aspetti più importanti richiesti alle vernici, in quanto esso ha l'influenza sui meccanismi di solidificazione e sul corretto riempimento dello stampo. Il processo di diffusione del calore è governato dal grado di isolamento fornito alla vernice applicata.

Durante il riempimento dello stampo, il trasferimento di calore, attraverso il film di vernice tra la lega liquida e le pareti dello stampo, risulta pressoché immediato per effetto di un'ancora elevata reattività termica, dovuta al ridotto spessore del rivestimento applicato che oscilla nel *range* dagli 80 ai 500  $\mu\text{m}$ , e all'elevata differenza di temperatura,  $\Delta T$ , esistente tra la lega liquida e lo stampo.

Se lo scambio termico avviene in modo troppo veloce o disomogeneo, si può incorrere nella formazione di getti incompleti o nella presenza di giunti freddi.

Per governare tale aspetto, vengono utilizzate vernici con granulometrie che variano a seconda delle applicazioni. Se ad esempio si utilizza uno strato di vernice liscia, essa permette un aumento del contatto tra lega e stampo con il conseguente aumento dello scambio di calore. Come effetto diretto si otterrà una diminuzione drastica della fluidità della lega. Se, invece, lo strato di vernice presenta delle asperità, a causa della tensione superficiale della lega, il contatto tra il metallo liquido e lo stampo avverrà, in un primo momento, solo attraverso i picchi corrispondenti al grado di rugosità della vernice; solo nel momento in cui il velo di ossido della lega viene a rottura, probabilmente per l'attrito con i granuli della vernice, il metallo riuscirà ad entrare nelle valli create dalla rugosità stessa della vernice, aumentando la sua scorrevolezza.

### **3.2.2 Solidificazione della lega e estrazione del getto**

Per il *gravity die casting* la scelta del materiale spazia su una vasta gamma di leghe appartenenti alla famiglia Al – Si, nelle quali la percentuale di silicio può variare da un minimo del 2% ad un massimo del 13% normalizzate EN AB ipoeutettiche ed eutettiche, ed arrivare anche al 21% per le leghe ipereutettiche. Ognuna di queste classi di leghe ha una precisa dinamica di solidificazione (figura 3.4).

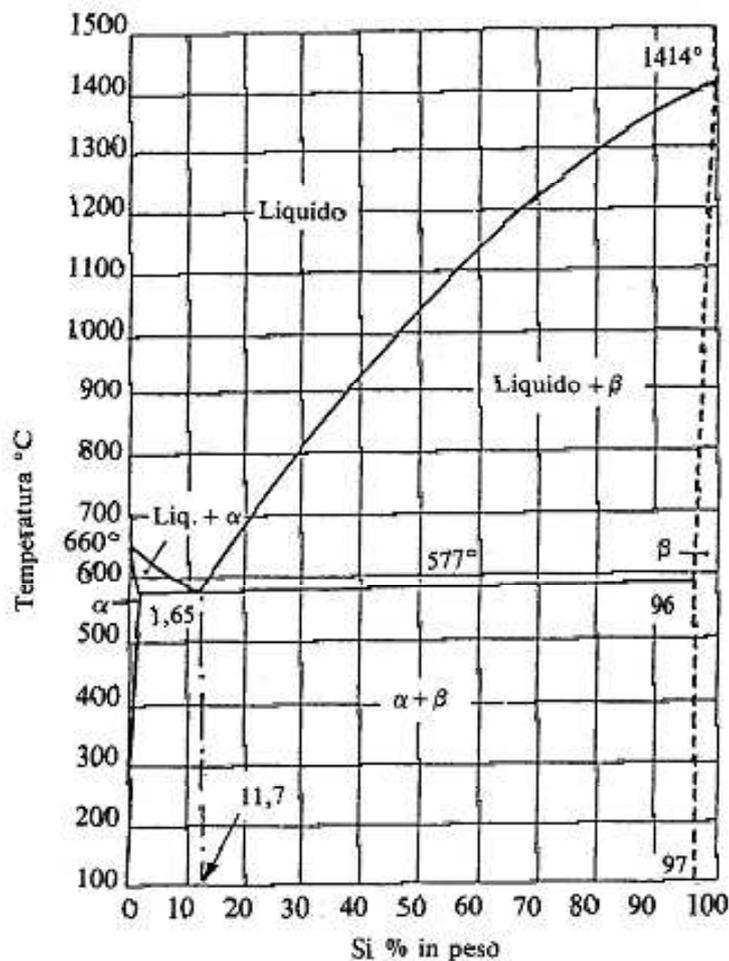


Figura 3.4 – Il diagramma di stato Al – Si è caratterizzato da tre campi: leghe ipoeutettiche, leghe eutettiche e leghe ipereutettiche.

Si possono evidenziare tre aree distinte:

- a) area delle leghe ipoeutettiche (da 0 a 12% di Si);
- b) area delle leghe eutettiche (dal 12 al 13% di Si);
- c) area delle leghe ipereutettiche (dal 13 al 21% di Si).

In particolare, come già detto nel capitolo 2, per la realizzazione del telaio Honda viene utilizzata la lega AlSi7Mg 0.3, avente cioè una percentuale di Si compresa tra il 6,5 e 7,5%. La solidificazione di questa lega inizia quando la temperatura giunge ai 610°C circa e interseca la linea del *solidus*, dando origine ad una rete di dendriti di soluzione solida  $\alpha$  – Al; tale processo continuerà fino alla

temperatura eutettica (circa 577°C), in corrispondenza della quale la parte liquida residua solidificherà formando l'eutettico Al – Si<sup>2</sup> (figura 3.5).

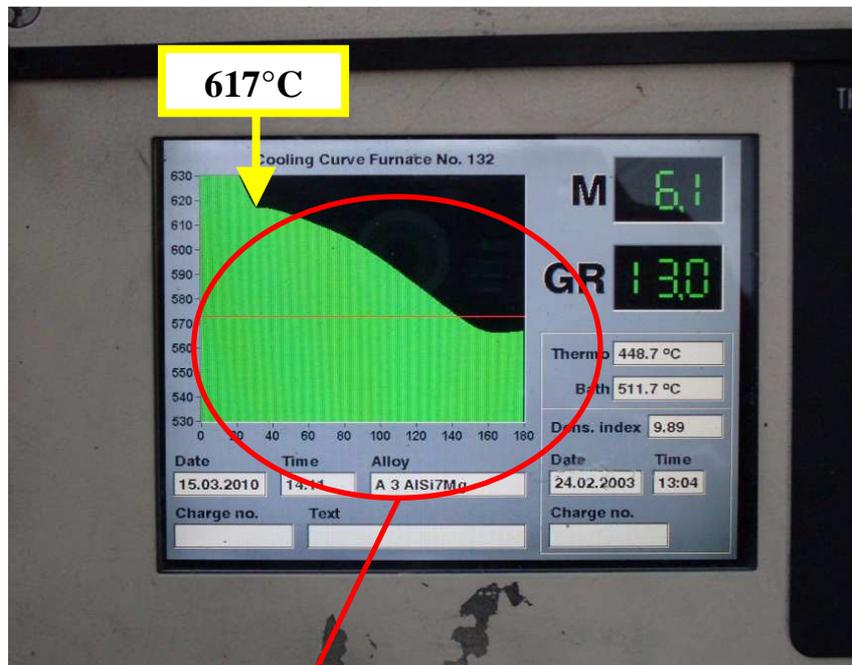
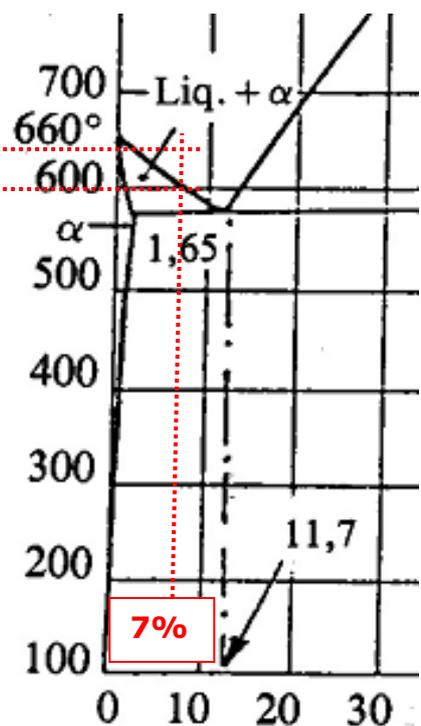
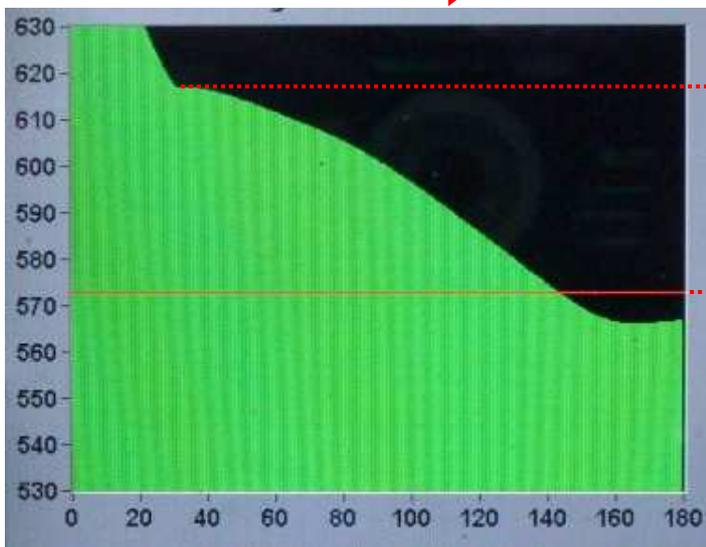


Figura 3.5 – Processo di solidificazione della lega AlSi7Mg 0.3, visibile dalla strumentazione utilizzata nella TFC Galileo.



<sup>2</sup> Andrea Manente, La fonderia di alluminio nella pratica quotidiana, Edimet S.p.A.

La lega durante la prima fase della solidificazione diminuisce la propria fluidità per effetto della formazione di una rete di dendriti di  $\alpha - \text{Al}$ . Il fronte di avanzamento della lega si fermerà quando avrà raggiunto il 50% di solido del volume totale. Questa lega, come ogni lega ipoeutettica, necessitano di sistemi di colata con una o più materozze di grandi dimensioni per una corretta alimentazione del getto.

Un parametro fondamentale per la buona riuscita di un processo di fonderia e che deve essere particolarmente tenuto in considerazione è la temperatura ideale di colata. Essa dipende fondamentalmente dalla composizione chimica della lega: una percentuale più o meno alta degli elementi presenti, come il silicio, magnesio, rame e zinco, può modificare sensibilmente la temperatura di inizio solidificazione della fase  $\alpha - \text{Al}$ .

Prendendo come riferimento la famiglia delle leghe  $\text{Al} - \text{Si}$  si può osservare che spostandosi a sinistra o a destra rispetto alla composizione eutettica, la temperatura di inizio solidificazione varia notevolmente seguendo la curva del *liquidus*. È quindi perfettamente naturale adattare la temperatura di lavoro alla percentuale di alligante.

Ovviamente non si può avere la perfetta temperatura di lavoro per ogni situazione, in quanto questa dipende anche dal grado di fluidità variabile a sua volta dalla quantità di idrogeno, ossidi, e, soprattutto, dalla presenza della modifica al sodio o alla stronzio: nel primo caso un aumento del tenore di  $\text{H}_2$  favorisce notevolmente la fluidità; nel secondo e terzo caso, ad un aumento degli ossidi e alla modifica generalmente corrisponde una disposizione della fluidità.

È quindi necessario valutare la temperatura di lavoro non solo sulla base dell'analisi chimica ma anche in funzione della particolare conformazione dello stampo che, per la presenza di spessori di ridotte dimensioni o di zone lontane del *gate* di colata, può richiedere temperature di lavoro superiori alla norma. Così una temperatura troppo vicina alla linea del *liquidus* può limitare la fluidità della lega, compromettendo l'integrità del getto per la formazione di giunti freddi o, addirittura, dando origine a zone incomplete.

Per calcolare correttamente la temperatura di lavoro, è necessario sommare alla temperatura di inizio solidificazione della lega, l'intervallo di sicurezza, che può variare da 100 a 240°C.

Il processo di solidificazione della lega viene migliorato anche dall'inserimento nello stampo di un sistema di termoregolazione (figura 3.6). Esso permette di ridurre il processo di solidificazione della lega, diminuendo l'insorgere di cavità da ritiro o la formazione di strutture eutettiche grossolane e

fragili. Tale aspetto assume, infatti, maggiore importanza in getti caratterizzati da masse elevate e con notevoli variazioni di spessore tra le diverse sezioni.

Un adeguato sistema di termoregolazione non solo permette di ottenere migliori caratteristiche meccaniche per una maggiore integrità del componente, ma consente di ridurre anche i tempi ciclo di produzione, di facilitare l'estrazione del getto e al contempo di ridurre la presenza di difetti superficiali, portando un notevole beneficio alle successive lavorazioni meccaniche.

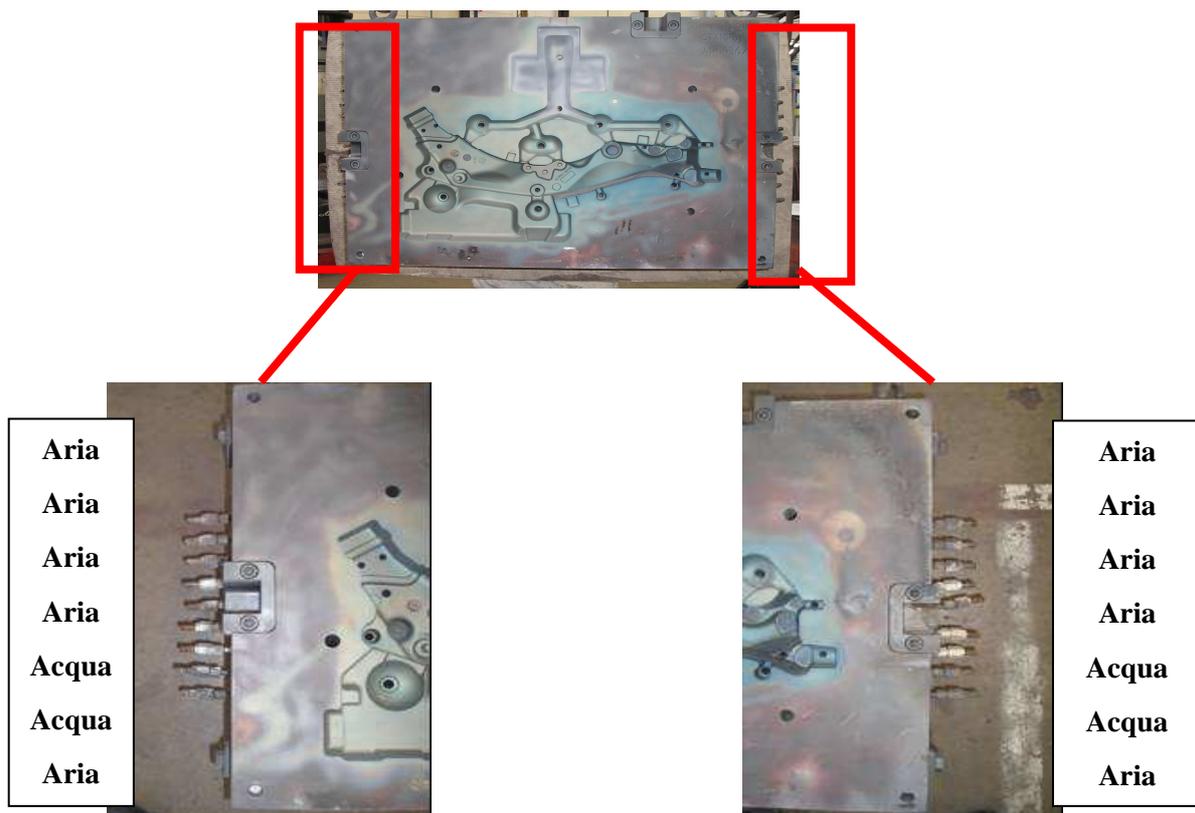


Figura 3.6 – Schema di raffreddamento dello stampo rear. Durante la solidificazione si favorisce il raffreddamento di sei zone della conchiglia, mediante aria ed acqua.

### 3.3 Trattamento termico

Per migliorare le performance dei getti, vengono utilizzati processi di trattamento termico, che permettono di rafforzare la struttura metallurgica del getto mediante la formazione controllata di finissimi precipitati indurenti all'interno della matrice di alluminio.

Inoltre, la scelta del ciclo di trattamento termico e dei relativi parametri, deve considerare anche la geometria e le dimensioni del getto.

Il trattamento termico si definisce come un insieme di operazioni di riscaldamento e raffreddamento controllato, eseguito su un metallo o una lega allo stato solido, finalizzate a modificarne la microstruttura metallurgica e, di conseguenza, alcune proprietà. Per le leghe di alluminio il processo di trattamento termico è indicato con la sigla T6, chiamato anche invecchiamento artificiale, è suddiviso in tre fasi:

- Solubilizzazione;
- Tempra;
- Invecchiamento;

e permette inoltre di migliorare le caratteristiche di resistenza allo snervamento, carico di rottura e durezza, attraverso un indurimento artificiale che si verifica durante il processo.

La solubilizzazione consiste nella permanenza della lega ad una temperatura per un tempo tale da modificarne la struttura metallurgica (temperatura =  $530^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ; tempo di permanenza = 360 min); nella successiva tempra, mediante rapido raffreddamento in acqua fredda o in una miscela di polimeri ed acqua (temperatura acqua =  $70\text{-}80^{\circ} \text{C}$ ; tempo di permanenza = 5 min), si trasferisce la temperatura ambiente, in condizione di non equilibrio, la struttura metallurgica di fase  $\alpha$  che compete alla temperatura di solubilizzazione. Si ottiene cioè una soluzione solida soprassatura. Il tempo che intercorre tra l'apertura del forno di solubilizzazione e la completa immersione della cesta di carico nella vasca di tempra, gioca un ruolo fondamentale nel processo di trattamento termico: esso deve essere il più ridotto possibile, generalmente inferiore ai 20'', per evitare che i precipitati si formino in modo non controllato. L'obiettivo da ottenere durante l'invecchiamento artificiale (temperatura =  $145^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ; tempo di permanenza = 360 min), è ottenere la formazione di particelle piccolissime, i precipitati, osservabili solo ad elevati ingrandimenti al microscopio elettronico, coerenti e semicoerenti con la matrice di alluminio, condizione indispensabile per l'efficacia dell'indurimento. A temperatura ambiente la struttura metallurgica richiede un tempo relativamente lungo per ritornare in condizioni di stabilità, mentre l'invecchiamento artificiale è in grado di raggiungere una velocità di diffusione atomica molto superiore a quella che compete la temperatura ambiente.

A termine del trattamento termico T6 si ha un aumento considerevole dei valori di durezza, del carico a rottura e del limite di snervamento a discapito, tuttavia, dei valori di allungamento a rottura che, tendenzialmente diminuiranno in maniera inversamente proporzionale ai valori di durezza. In altre parole, aumenta la tenacità e diminuisce la duttilità. Tale fenomeno è funzione di alcuni importanti fattori:

- a) del tenore degli elementi di lega (% di Mg e Cu per esempio);
- b) della quantità di composto solubilizzato (effetto solubilizzazione);
- c) del grado di soprassaturazione della matrice al termine della fase di tempra (effetto tempra);
- d) della quantità di precipitati formata durante l'invecchiamento (effetto invecchiamento).

# Capitolo 4

## Le lavorazioni meccaniche

Terminato il processo di fabbricazione, i componenti del telaio vengono spediti alla Honda Italia per la successiva fase di lavorazione meccaniche, eseguite nel reparto *Machining*.

I processi di asportazione di truciolo vengono effettuati mediante due centri di lavoro orizzontali ad alta velocità e precisione; esse infatti, sono dotate di un particolare sistema DCG (*Driven at the Center of Gravity* – Azionamento al centro di gravità) che permette il controllo e l'eliminazione delle vibrazioni grazie ad un sistema di spinta del pezzo in movimento sul suo centro di gravità. Un ulteriore vantaggio si ha nella riduzione dei tempi di produzione, da cui un successivo aumento della produttività.

### 4.1 Descrizione del processo di saldatura del telaio

All'arrivo dei box contenenti i *front frame* e i *rear frame* grezzi alla Honda, essi vengono trasportati nel Reparto *machining* per la successiva asportazione di truciolo. I *main pipe*, invece non necessitando di ulteriori lavorazioni, vengono stoccati in magazzino.

Il processo di asportazione di truciolo si differenzia a seconda del componente. In figura 4.1 è riportato il flussogramma di processo per la lavorazione meccanica del *rear frame*, mentre in figura 4.2 è riportato quello per la lavorazione del *front frame*.

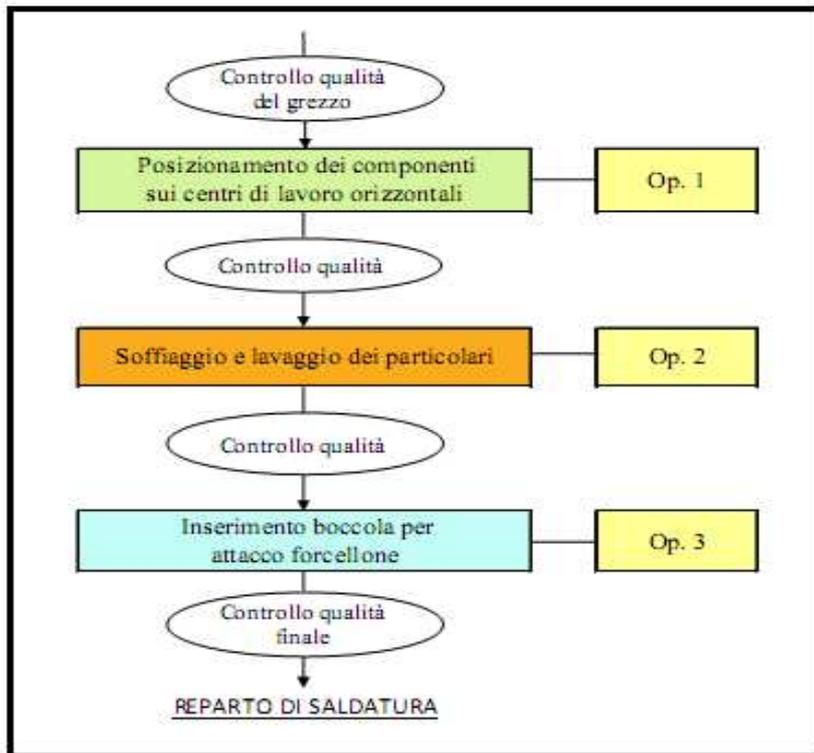


Figura 4.1 – Flusso di processo di lavorazioni meccaniche per il *rear frame*.

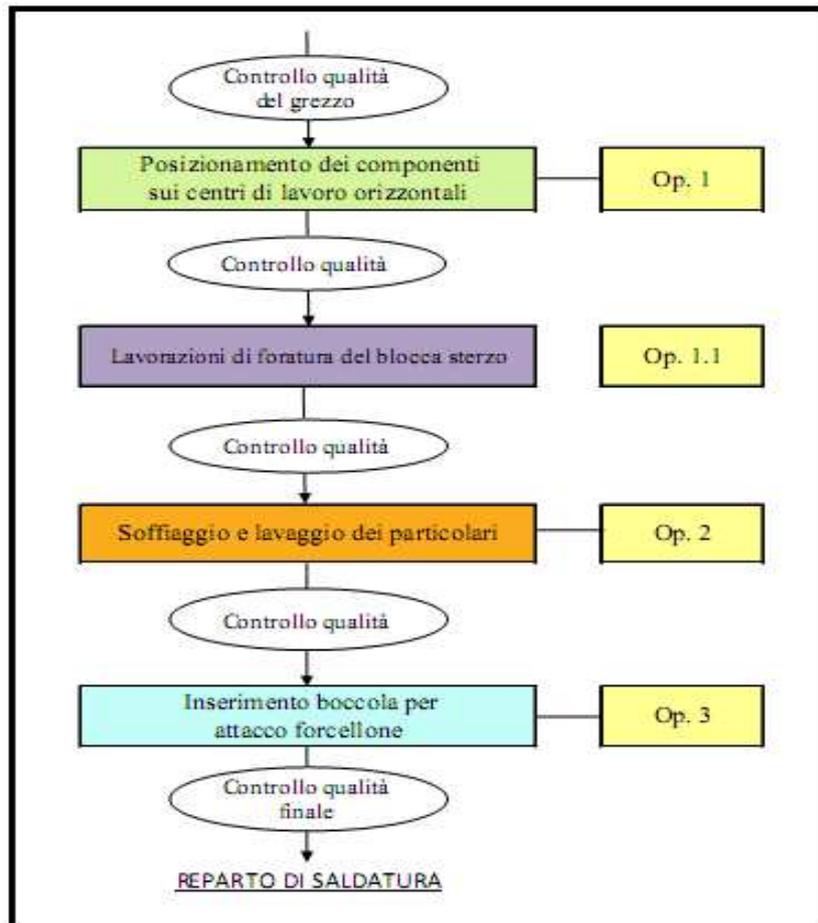


Figura 4.2 – Flusso di processo di lavorazioni meccaniche per il *front frame*.

#### 4.1.1 Operazione 1 e 1.1: posizionamento dei componenti sui centri di lavoro orizzontali

Questa prima fase della lavorazione meccanica è preceduta da un controllo visivo dell'operatore sui grezzi, ciò al fine di filtrare eventuali errori commessi durante i controlli effettuati in fonderia negli *step* precedenti. Gli eventuali scarti vengono stoccati su degli appositi carrelli evidenziati in giallo, posti in un'area stabilita.

Indipendentemente dal componente, essi vengono posizionati sugli stessi centri di lavoro; ciò che li differenzia è la maschera di afferraggio, che ovviamente varia a seconda che si tratti di *rear* o *front*, come visibile dalle figure 4.3 a/b e 4.4 a/b.

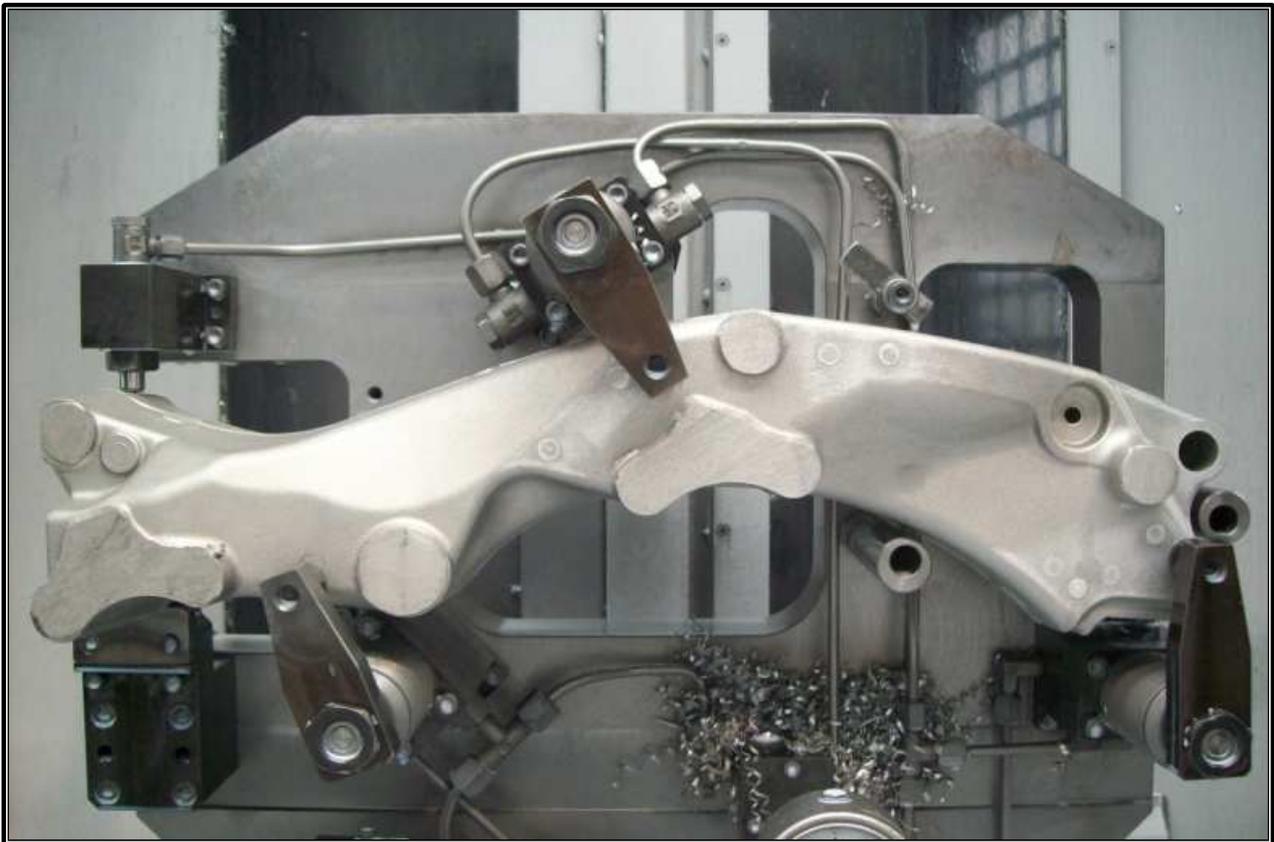


Figura 4.3 a – Afferraggio del *rear frame*.

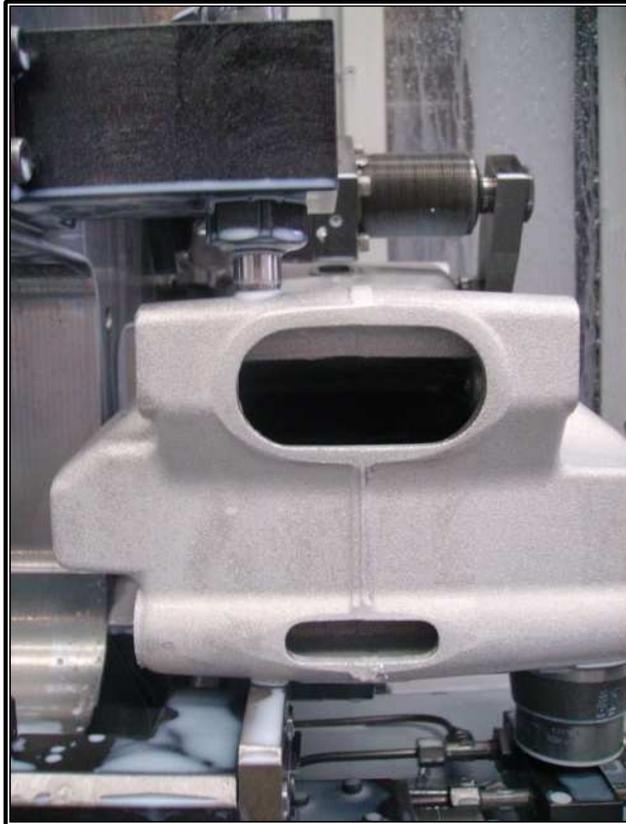


Figura 4.3b – Posizionamento del *rear frame*.



Figura 4.4 a – Posizionamento del *front frame*

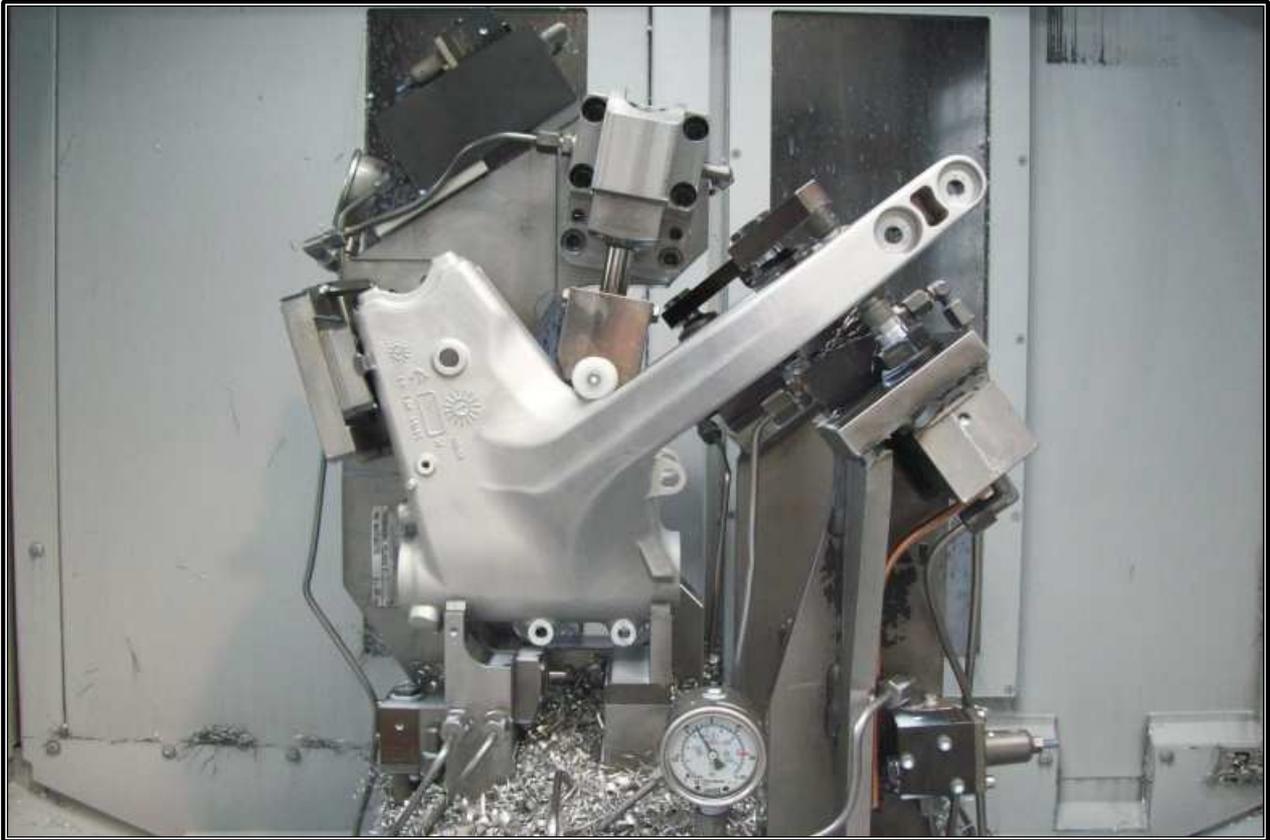


Figura 4.4 b – Afferraggio del *front frame*.

Il posizionamento sulla macchina avviene orientando il grezzo rispetto al *foro spina* del pezzo, mentre l'afferraggio per mezzo di griffe si ha in corrispondenza dei punti di riferimento, gli stessi sui quali avviene il posizionamento del grezzo sulla dima di controllo.

Nel caso del *rear frame* con il centro di lavoro si eseguono la foratura per l'attacco ammortizzatore; la foratura e l'alesatura per l'inserimento della boccola d'attacco forcellone; la foratura per la staffa d'attacco motore superiore; la foratura per l'attacco pivot superiore e inferiore; la maschiatura per l'attacco della staffa del collettore di scarico; l'alesatura per l'attacco del telaietto superiore e inferiore; infine viene effettuata la concentricità tra forature e alesature.

Invece nel caso del *frame front* vengono eseguite la barenatura del foro ralla superiore e inferiore; la maschiatura per pompa freno; la maschiatura per la clip del cavo massa; la maschiatura per attacco serbatoio; la maschiatura clip del cavo frizione; la foratura per l'inserimento del bullone d'attacco motore.

Il *frame front* viene successivamente posto in una foratrice per la lavorazione del foro canotto, come visibile in figura 4.5.

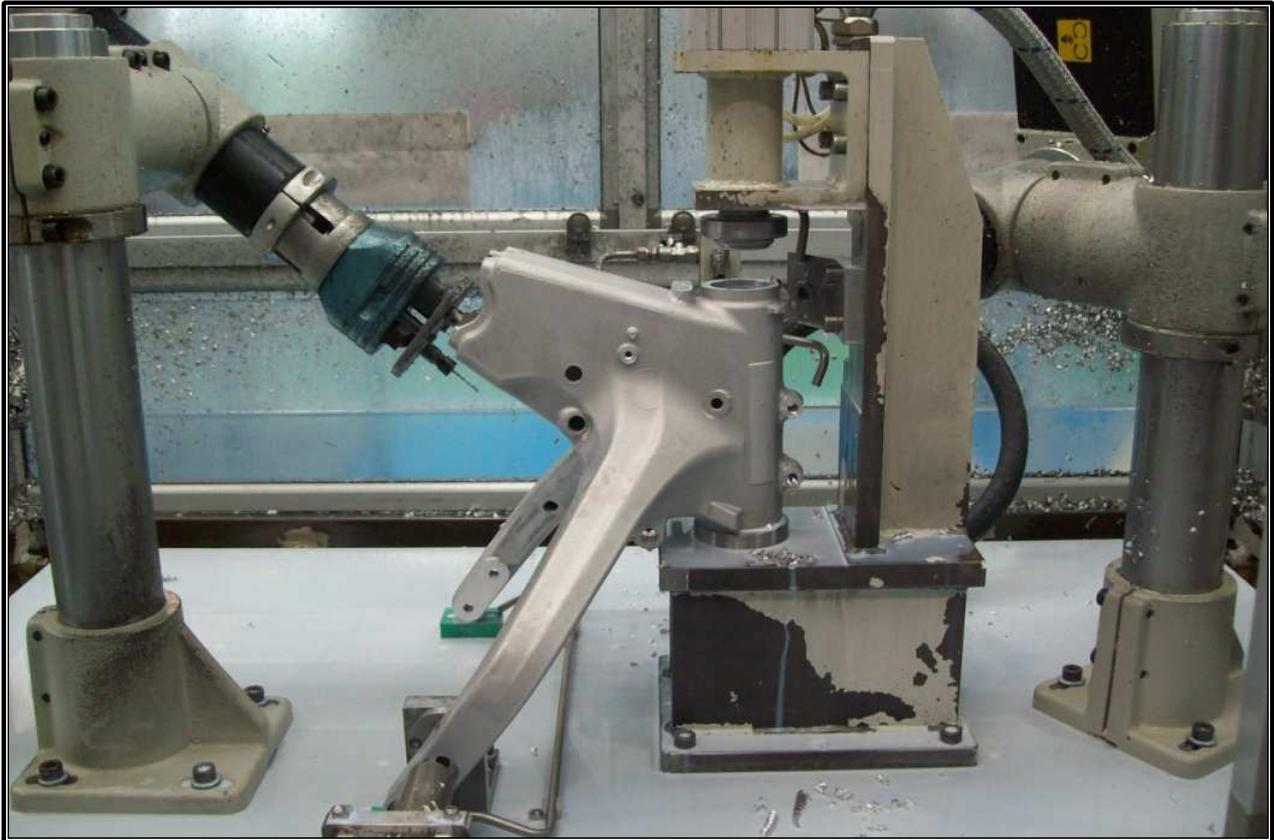


Figura 4.5 – Lavorazione del canotto.

#### **4.1.2 Operazione 2: soffiaggio e lavaggio dei componenti**

Finita la fase d'asportazione di truciolo, i pezzi vengono soffiati per eliminare i residui presenti dalla lavorazione e lavati in lavatrice a pressione con tamburo rotante (figura 4.6), per pulire le superfici dall'eventuale presenza di olio, dannosa per il successivo processo di saldatura in quanto può portare a bruciature lungo il cordone di saldatura, come si può notare dalla figura 4.7.

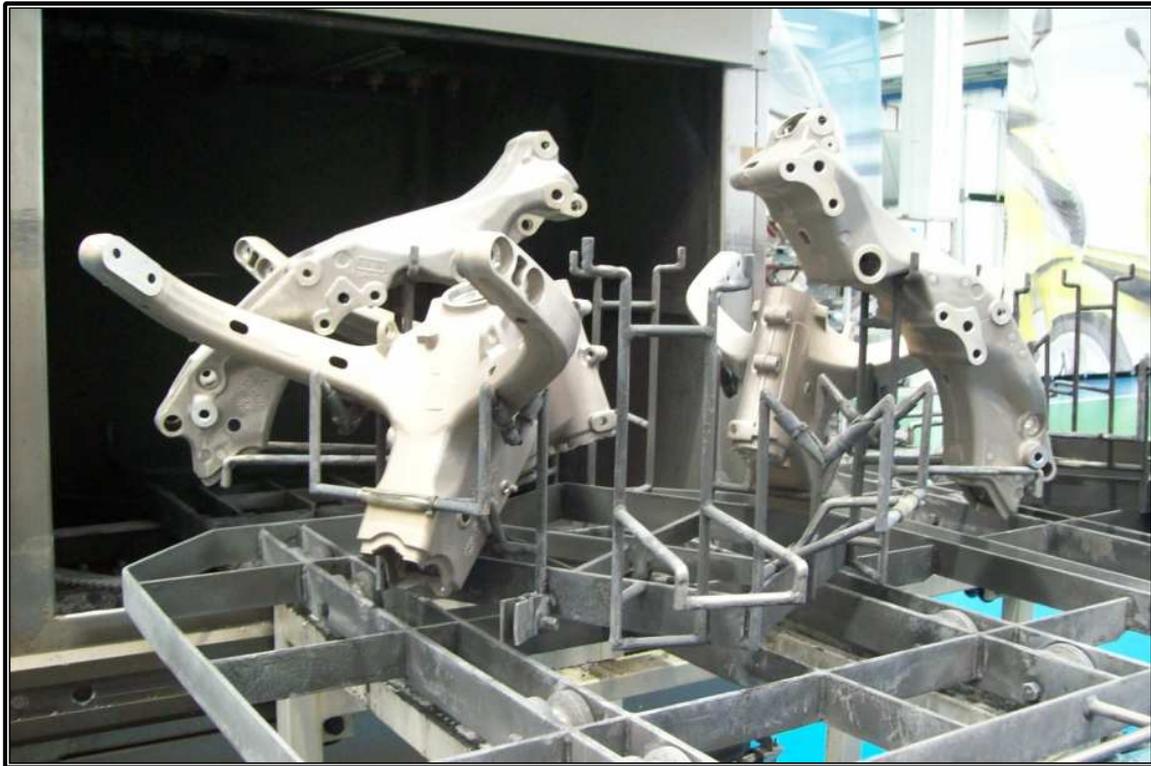


Figura 4.6 – Lavaggio dei componenti in lavatrice.



Figura 4.7 – Bruciatura lungo la saldatura a causa della non buon lavaggio del pezzo.

### 4.1.3 Operazione 3: inserimento boccola

In figura 4.8 è mostrata la fase d'inserimento della boccola d'attacco telaio – forcellone sul *rear frame*. Tale operazione avviene ponendo il componente su una pressa idraulica a termine del lavaggio.

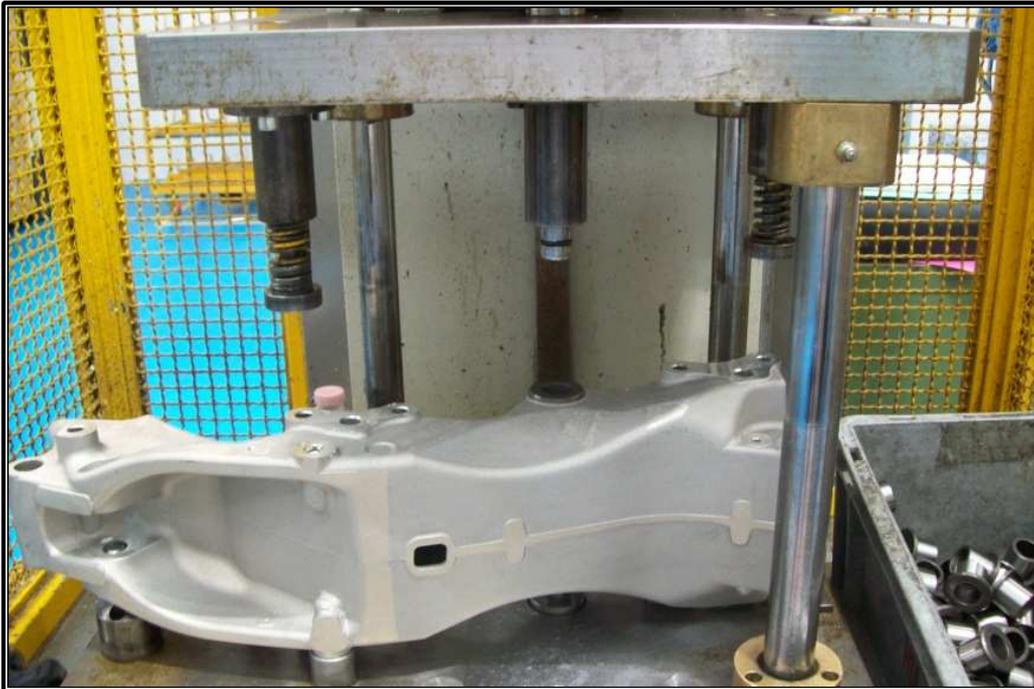


Figura 4.8 – Inserimento della boccola con pressa idraulica.

A termine di questo processo, gli operatori registrano sul *date base* i *Data Matrix* dei componenti lavorati, i quali poi vengono stoccati su degli appositi carrelli (figura 4.9) e trasportati nel Reparto di Saldatura per il successivo stadio.



Figura 4.9 – Stoccaggio componenti lavorati.

## 4.2 Controllo qualità

Come già detto in precedenza, all'arrivo dei box in reparto, l'operatore effettua un controllo visivo di ogni singolo pezzo prima della lavorazione, come specificato anche dalle schede 'Punto importante di qualità' situate sul banco di controllo, visibile in figura 4.10, e allegate di seguito (Allegato 1).



Figura 5.10 – Banco controllo qualità lavorazioni meccaniche.

Il controllo visivo e dimensionale si ripete a termine di ogni successiva operazione, con la frequenza stabilita dai 'Piani di Controllo' (Allegato 2) e variabile a seconda della zona lavorata. Come si nota dalle schede, la frequenza dei controlli varia tra 1/10 e 1/20, ossia: una zona controllata ogni dieci o ogni venti pezzi lavorati. Inoltre ogni trenta uno è controllato sulla maschera, la quale verifica gli interassi del pezzo (figura 4.11 a/b)

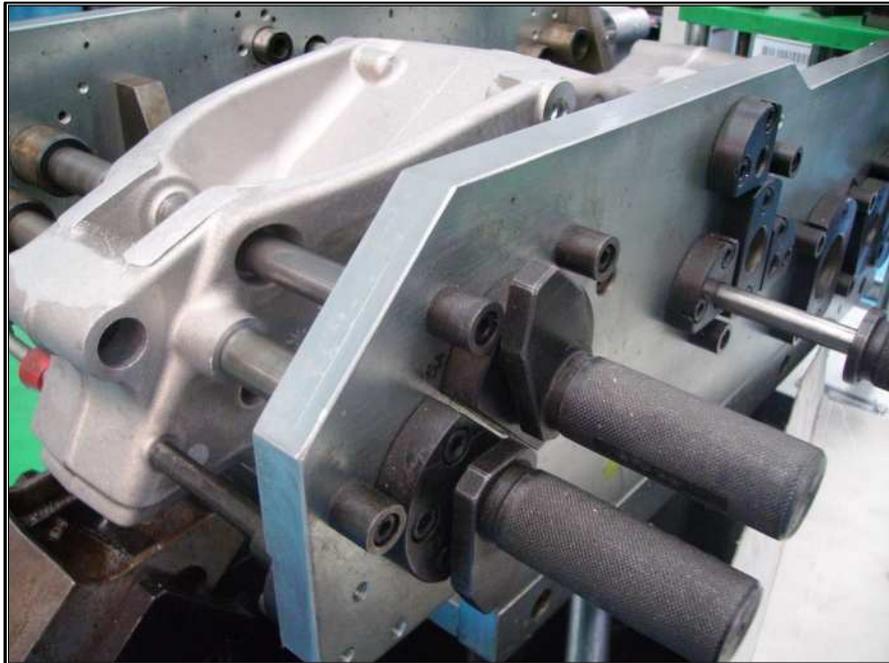


Figura 4.11 a – Esempio di controllo su maschera *rear frame*.

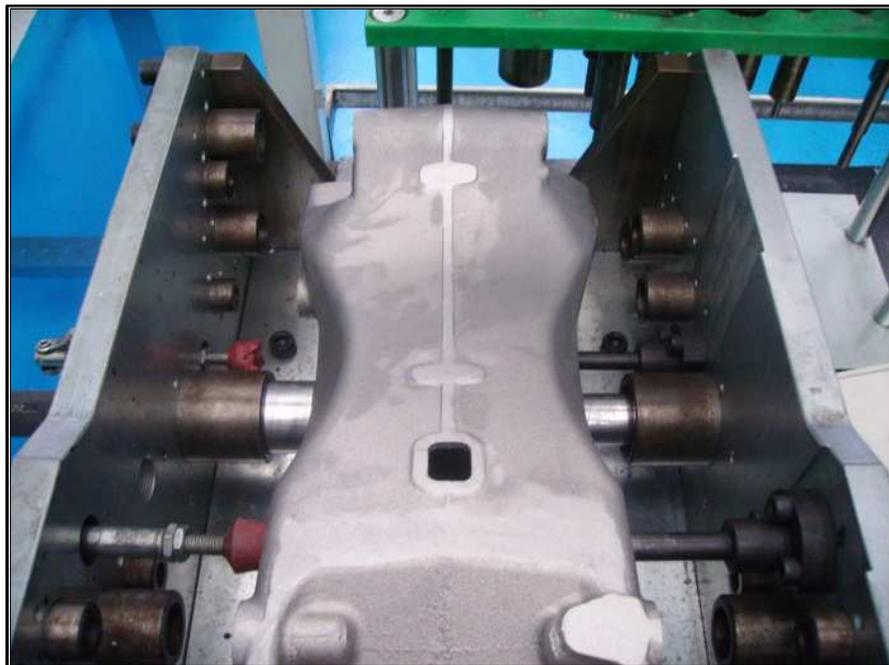


Figura 4.11 b – Esempio di controllo su maschera *rear frame*.

Prima dello stoccaggio sugli appositi carrelli, i *rear* vengono ulteriormente controllati con un tampone conico passa – non passa, con il quale si verifica o meno l’eventuale decentramento di lavorazione del foro d’attacco del telaietto posteriore, controllo visibile in figura 4.11. Attraverso questo controllo, si ha una selezione e separazione dei *rear* decentrati da quelli non decentrati. Tale decentramento, potrebbe essere causa di problemi durante il processo di saldatura del *rear* con il *main pipe*.



Figura 4.11 – Controllo foro d’attacco del telaietto con tampone conico passa – non passa

# Capitolo 5

## Processo di saldatura

Terminato la fase di asportazione truciolo, i due componenti vengono trasportati nel 'Reparto di saldatura' per essere assemblati tra loro. Il processo di saldatura avviene con due tecniche (MIG e TIG), in modo sia manuale che automatizzata.

Prima di analizzare il *process flow* del telaio, è utile parlare della saldatura e in particolare delle due tipologie di saldatura utilizzate.

### 5.1 L'alluminio e i processi di saldatura

Il limite principale dell'alluminio è la difficoltà che si incontra durante il processo di saldatura, in quanto:

- 1) L'alluminio, che si **ossida con grande facilità**, tende a formare sempre più rapidamente l'allumina all'aumentare della temperatura. Questo film di ossido che si forma è un ostacolo per la fusione del materiale e contemporaneamente rappresenta un pericolo per le possibili inclusioni di  $Al_2O_3$  nel cordone di saldatura che causano un abbattimento delle caratteristiche complessive del giunto. L'ossido di alluminio ha un elevato punto di fusione (oltre  $2000^{\circ}C$ ), una densità di volume superiore a quella dell'alluminio ed una elevata stabilità chimica. Dunque, mentre il metallo raggiunge lo stato fuso, l'ossido è ancora solido e impedisce il contatto diretto tra i due elementi da saldare.
- 2) Le **porosità diffuse nel cordone di saldatura**, sono dovute all'aumento della solubilità dell'idrogeno nel metallo all'aumentare della temperatura. Questo idrogeno può dipendere dall'umidità presente nell'atmosfera che, condensando sulla superficie del materiale di base e del materiale d'apporto, durante la saldatura dà luogo ad idrogeno atomico che si dissolve nel bagno.

- 3) Formazione di **cricche a caldo**, in presenza di leghe contenenti un numero relativamente basso di elementi aggiunti, nel cordone di saldatura durante la solidificazione si ha la formazione di grani della fase primaria  $\alpha$  Al, circondati da un velo di liquido eutettico. Se per motivi legati alla geometria del giunto o alle condizioni di raffreddamento, si sviluppassero tensioni di trazione, questo velo liquido non sarebbe in grado di porvi resistenza e si formerebbero con facilità cricche a caldo.

Tuttavia la saldabilità delle leghe di alluminio dipende da molti fattori legati innanzitutto alle caratteristiche del materiale (composizione, proprietà fisiche, stato metallurgico), dalle caratteristiche del giunto (configurazione geometrica, insorgere di tensioni residue, sollecitazioni in esercizio) e processo di saldatura (preparazione dei lembi, parametri operativi, esecuzione di preriscaldi o di trattamenti di post-saldatura). Per far fronte agli inconvenienti precedentemente descritti, si utilizzano i metodi di saldatura ad arco:

- **Tungsten Inert Gas (TIG)**
- **Metal Inert Gas (MIG)**.

I processi di saldatura TIG e MIG hanno in comune oltre all'arco elettrico, quale fonte che genera il calore per la fusione del metallo, la protezione del bagno di fusione per mezzo di un gas. Tale protezione serve ad evitare l'ossidazione da parte dell'aria del metallo fuso, la quale genera uno strato su tutta la superficie duro da rompere (anodizzazione); la temperatura necessaria per portare a rottura questo strato è di circa 2020 °C. L'ossidazione dell'alluminio causa l'alterazione delle sue caratteristiche, ad esempio per l'acciaio inossidabile non persisterebbe più una delle sue caratteristiche fondamentali quale la resistenza alla corrosione. Per cui risulta fondamentale la rimozione dello strato di ossido per avere una buona saldatura; ciò si ha, come detto, grazie all'effetto pulente dell'arco che rompe l'ossido quando la carica elettrica è positiva.

Un'altra importante caratteristica dell'alluminio è l'alta conducibilità termica. A causa di questa proprietà, il calore fornito all'alluminio durante la fase di saldatura è soggetto a dispersione (quattro volte di più dell'acciaio), provocando quindi una maggiore espansione e contrazione del materiale.

Un aspetto molto importante della saldatura è la profondità del cordone, che determina la qualità della stessa. Tale aspetto dipende da diversi fattori quali la corrente, il voltaggio, la velocità e l'inclinazione della torcia. Nella tabella 5.1 e nella figura 56. 2 sono rappresentati schematicamente le relazioni esistenti tra le caratteristiche del cordone e i parametri di saldatura.

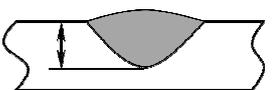
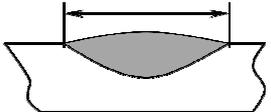
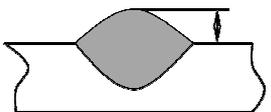
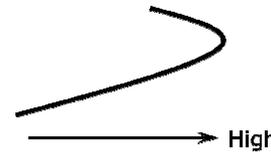
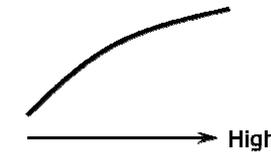
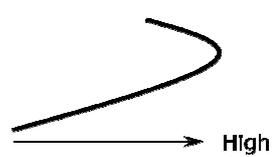
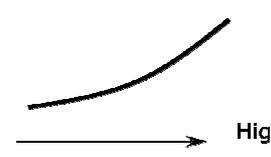
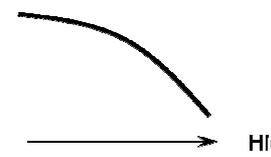
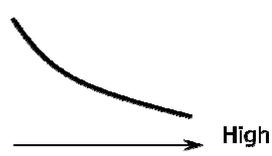
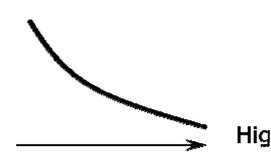
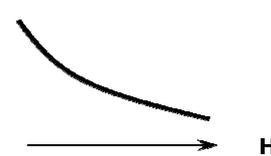
	<b>PENETRAZIONE</b>	<b>LARGHEZZA DEL GIUNTO</b>	<b>SALDATURA DA AGGIUNGERE</b>
			
<b>CORRENTE</b> ↑ High			
<b>VOLTAGGIO</b> ↑ High			
<b>VELOCITA'</b> ↑ High			

Tabella 5.1 – Relazione tra le caratteristiche del cordone e i parametri di saldatura.

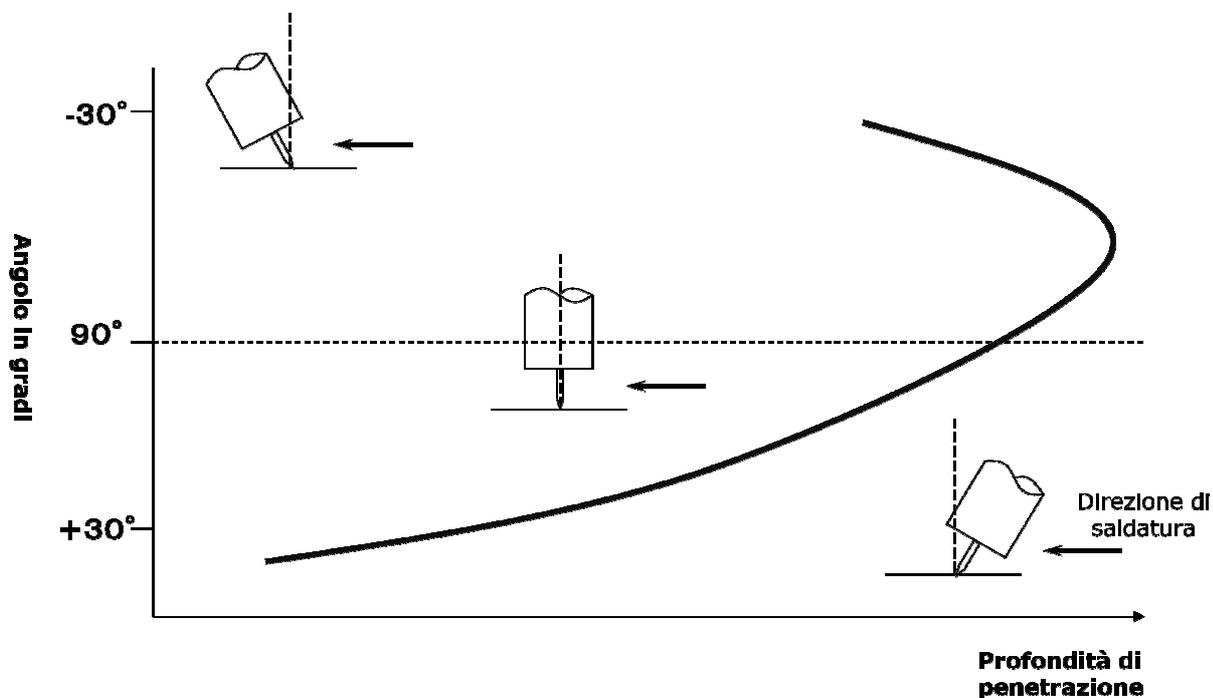


Figura 5.1 – Relazione tra l'inclinazione della torcia e la profondità del cordone di saldatura.

Fatta questa breve presentazione delle relazioni esistenti tra le caratteristiche del materiale e del cordone e i parametri di saldatura, è utile descrivere le due tipologie di saldatura utilizzate per l'assemblaggio del telaio:

- TIG weld
- MIG weld

### **5.1.1 Saldatura TIG**

Il metodo di saldatura “*Tungsten Inert Gas*” (TIG) rientra nei metodi di saldatura ad arco elettrico in atmosfera inerte. L'arco elettrico scocca tra un elettrodo di tungsteno (o di una sua lega) e il metallo base. L'elettrodo di tungsteno, grazie alla sua elevata temperatura di fusione, non prende parte al processo di fusione. Il metallo d'apporto, che si presenta sottoforma di bacchette nel caso di saldatura manuale e sottoforma di filo se il processo è automatizzato, viene immesso nei pressi dell'arco elettrico quindi nella zona nella quale il metallo base è fuso; questa zona è “immersa” in un ambiente localmente protetto da gas inerte: tipicamente argon, od elio, o miscugli tra i due. Ciò permette la saldatura di materiali anche particolarmente reattivi come l'alluminio. L'attrezzatura necessaria per la saldatura TIG è illustrata in figura 5.2.

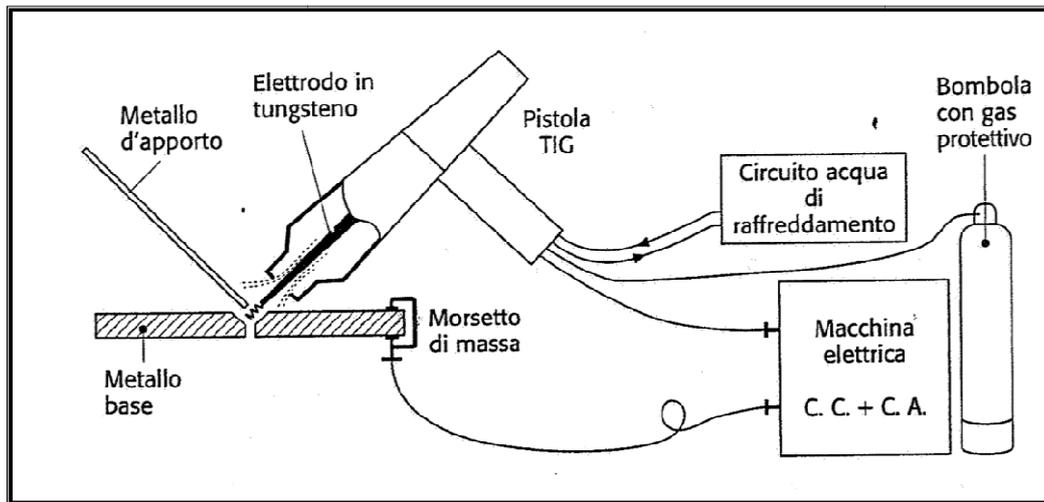


Figura 5.2 – Schema di saldatura TIG

L'elettrodo di tungsteno è contenuto in una pistola porta elettrodo e si presenta al centro di un ugello dal quale fuoriesce il gas protettivo. La pistola è collegata alla macchina elettrica, che può funzionare sia in corrente continua che in corrente alternata, tramite una guaina protettiva che riunisce il cavo elettrico di collegamento, i tubi di circolazione dell'acqua di raffreddamento e quello per l'adduzione del gas protettivo. L'arco elettrico è generato dal passaggio di corrente attraverso il gas ionizzato. Quindi l'arco è caratterizzato da ioni positivi che si muovono verso il polo negativo e da elettroni che si muovono in verso opposto. In generale si opera nella cosiddetta "modalità diretta", cioè l'elettrodo è al polo negativo. Il bombardamento ionico dell'elettrodo ne aumenta la temperatura e contribuisce all'emissione di elettroni con tensioni e correnti d'arco particolarmente basse, il che rappresenta un notevole vantaggio nella saldatura di componenti di spessore sottile. Il metodo migliore per accendere l'arco è quello che prevede una "scintilla pilota", provocata da una elevata differenza di potenziale e frequenza, che scocca tra l'elettrodo e il pezzo quando essi si trovano a distanza ravvicinata. La scintilla provoca la ionizzazione del gas protettivo e l'accensione dell'arco. Tale alta tensione di innesco viene eliminata automaticamente dopo pochi secondi dall'accensione dell'arco nel caso in cui si saldi in corrente continua, se invece si salda in corrente alternata essa rimane sovrapposta alla tensione di saldatura in modo da stabilizzare l'arco. Al termine della saldatura il sistema automatico riduce progressivamente la corrente di saldatura fino allo spegnimento dell'arco mentre la fuoriuscita di gas protettivo perdura per qualche secondo fino alla completa solidificazione del giunto e al sufficiente raffreddamento dell'elettrodo. Gli elettrodi finora detti di tungsteno per la precisione possono essere di tungsteno puro al 99,5%, oppure di tungsteno con l'1-2% di torio, oppure di tungsteno con 0,15-0,4% di zirconio. I primi sono più economici ed impiegati per lo più per saldature meno critiche, poiché possono sopportare densità di corrente inferiori rispetto agli altri due tipi. Inoltre il tungsteno puro è più sensibile alla

contaminazione dovuta a schizzi di metallo fuso. Gli elettrodi di tipo legato hanno maggiore emissività a parità di temperatura, quindi permettono di saldare con correnti più basse, hanno durata maggiore e formano un arco più stabile e più facilmente innescabile. Tutti questi pregi vanno a scapito di un costo maggiore dell'elettrodo.

Il processo di saldatura TIG è caratterizzato dalla possibilità di saldare senza metallo d'apporto, per semplice fusione dei lembi, quindi con assenza di sovrametallo dei cordoni, cosa particolarmente interessante in numerose applicazioni. In questo caso è considerato come spessore limite 1,5 mm circa, oltre tale spessore si ottiene una concavità inaccettabile del cordone e occorre utilizzare metallo d'apporto.

La gamma di spessori normalmente consigliata in TIG si estende da 0,5 mm a 6 mm; limite massimo di convenienza per risultato e velocità di esecuzione. Fino ad uno spessore di 3 mm circa la saldatura può essere eseguita su lamiere a lembi retti senza alcuno smusso, oltre è necessario smussare i lembi a V.

Il procedimento TIG è largamente usato anche su grossi spessori per l'esecuzione di passate di fondo a penetrazione controllata (es. tubazioni) con riempimento eseguito poi con altri procedimenti (elettrodi MIG o arco sommerso).

Dal punto di vista qualitativo è il procedimento in grado di garantire i migliori risultati in quanto permette:

- accurato controllo del bagno di fusione e della penetrazione;
- velocità di esecuzione che consentono un buon degasaggio del bagno di fusione (importante per eliminare le porosità);
- dosaggio del metallo d'apporto indipendente dallo spessore e dalla corrente di saldatura.

Si è già accennato alla preparazione dei lembi in base agli spessori da saldare; è importante tuttavia prevedere, soprattutto per saldature automatiche, una buona pulizia dei lembi; infatti ogni traccia di sporco può, bruciando, deteriorare l'elettrodo o dare luogo a dei difetti di inclusione o di cattivo aspetto dei cordoni.

Sempre in caso di saldatura automatica la precisione richiesta sulla traiettoria dell'elettrodo deve essere compresa entro qualche decimo di millimetro. Questo impone l'uso, soprattutto nel caso di

saldatura testa-testa, di attrezzi di bloccaggio di buona precisione, capaci di contrastare le deformazioni causate dalla saldatura.

La tensione d'arco è la tensione necessaria a mantenere l'arco acceso, essa condiziona la larghezza e la forma della penetrazione ed è a sua volta legata a:

- la lunghezza d'arco (distanza torcia-pezzo)
- la natura del gas
- l'intensità di corrente ed i metalli costituenti l'anodo ed il catodo

Scelto un determinato gas o miscela, in corso d'opera bisognerà garantire che i valori di lunghezza d'arco e di corrente di saldatura si mantengano stabili e costanti.

La lunghezza d'arco è condizionata in saldatura manuale dall'abilità dell'operatore. In saldatura automatica deve essere garantita in primo luogo dalla precisione dell'attrezzatura e dalla corretta preparazione dei pezzi e, dove questo non sia possibile o per maggiori garanzie, devono essere adottati dispositivi elettronici di controllo della tensione dell'arco.

Anche la corrente di saldatura è legata sia alla tensione d'arco che alla tensione della rete di alimentazione, al riscaldamento del generatore ed alla lunghezza dei cavi tra generatore e arco di saldatura.

Si è detto che esistono macchine elettriche per la saldatura TIG, le quali erogano corrente continua o corrente alternata. La scelta va effettuata principalmente in base al tipo di materiale da saldare. La figura 5.2 riporta una tabella con alcune indicazioni per questa scelta.

<b>Materiale</b>	<b>Corrente e polarità</b>
Acciai dolci	CC polar. diretta
Acciai inox	CC polar. diretta o CA
Leghe di alluminio	CA
Leghe di magnesio	CA
Leghe di nickel	CC polar. diretta
Ottone	CA
Rame	CC polar. diretta

Figura 5.2 – Scelta del tipo di saldatura TIG in base ai materiali

Gli effetti del tipo di corrente scelta sono:

- *Corrente continua in polarità diretta.*

Il flusso di elettroni è diretto verso il metallo di base. L'arco è ben concentrato e la penetrazione raggiunge il massimo valore raggiungibile col metodo TIG. Dato che l'elettrodo raccoglie circa il 30% del calore generato dall'arco, esso non è sottoposto ad elevati aumenti di temperatura. In queste condizioni quindi si raggiungono densità di corrente sopportabili dall'elettrodo (circa 60 A/mm<sup>2</sup>).

- *Corrente continua in polarità inversa.*

Il flusso di elettroni è diretto verso l'elettrodo che quindi raccoglie circa il 70% del calore emesso. Questo surriscaldamento impone l'utilizzo di elettrodi di grande diametro che da un lato favoriscono la dissipazione termica dall'altro impongono limiti alla massima densità di corrente ottenibile (circa 5 A/mm<sup>2</sup>) e di conseguenza alla penetrazione. Per di più l'emissione di elettroni da parte del metallo base è causata da un arco poco concentrato. Il vantaggio di tale metodo sarebbe la distruzione degli ossidi (per leghe particolarmente reattive come quelle di magnesio e di alluminio) grazie al bombardamento degli ioni positivi. Tuttavia gli aspetti negativi sono così influenti e preponderanti rispetto a quest'unico vantaggio che quest'alimentazione non è praticamente mai utilizzata.

- *Corrente alternata.*

Questo caso rappresenta una situazione intermedia rispetto alle altre due. Infatti l'elettrodo raccoglie il 50% del calore emesso. Anche i valori di penetrazione, concentrazione dell'arco e densità di corrente sopportabile dall'elettrodo (30 A/mm<sup>2</sup>) sono intermedi rispetto ai primi due casi. La distruzione degli ossidi da parte del bombardamento degli ioni avviene solo nel semiperiodo in cui l'elettrodo è positivo. Come precedentemente anticipato l'uso della corrente alternata provoca instabilità dell'arco. Infatti il tungsteno e il metallo base hanno potere emissivo diverso e ciò causa una corrente alternata sì, ma sbilanciata tra un semiperiodo e l'altro. Questo fatto viene ovviato sovrapponendo alla corrente di saldatura una corrente di bassa intensità ma di elevata tensione e frequenza; la stessa che viene sfruttata per l'accensione dell'arco.

Nella tabella 5.2 sono riassunte le caratteristiche di polarità elettrica per le due tipologie di saldatura analizzate in questo capitolo.

		CARATTERISTICA DI POLARITA' ELETTRICA		
		A/R arco	D/C catodo positivo	D/C catodo negativo
<b>TIG</b>	Effetto pulente	BUONO	ECCELLENTE	NESSUNO
	Livello di penetrazione	MEDIO	BASSO	PROFONDO
	Consumo dell'elettrodo	MEDIO	ESTREMO	BASSO
<b>MIG</b>	Effetto pulente	ECCELLENTE	BUONO	NESSUNO
	Livello di penetrazione	VARAIBILE	PROFONDO	POCO PROFONDO
	Sviluppo di scorie	ANCORA MINORE	MENO	MAGGIORE

Tabella 5.2 – Confronto tra polarità diretta e polarità inversa nel caso della saldatura su alluminio.

La saldatura TIG è un metodo molto efficace per ottenere saldature di elevata qualità su quasi tutti i materiali metallici ad eccezione di quelli a bassa temperatura di fusione (stagno, piombo, zinco). In particolare essa è molto adatta per le leghe di alluminio nelle quali l'eventuale formazione di  $Al_2O_3$  (ossido particolarmente refrattario) causerebbe problemi nel giunto, ma anche per materiali reattivi quali magnesio, titanio e zirconio. E' altresì adatta per la saldatura di spessori sottili, poiché la forte emissività dell'elettrodo consente di mantenere stabili archi anche con correnti basse (fino a circa 15 – 20 A). L'impiego per spessori maggiori è sicuramente possibile ma non è altrettanto conveniente dal punto di vista economico come altri metodi (MIG e arco sommerso) caratterizzati da penetrazioni e deposizioni orarie maggiori. Il processo di saldatura TIG è un metodo dispendioso sia per il costo delle attrezzature, sia per quello dell'elettrodo, sia per l'utilizzo di gas inerte. Esso viene riservato ai materiali più pregiati o agli spessori più sottili.

### 5.1.2 Saldatura MIG

Il processo di saldatura MIG (*Metal Inert Gas*) detto anche “a filo continuo” è molto simile al processo TIG: da esso differisce soprattutto per il fatto che l’elettrodo è fusibile ed è costituito dallo stesso metallo d’apporto sottoforma di filo.

L’attrezzatura necessaria è schematizzata in figura 5.3. Il metallo d’apporto sotto forma di filo si trova avvolto in bobine che giungono alla pistola attraverso una guaina in plastica autolubrificante. Il filo fuoriesce dalla torcia completamente circondato dal gas protettivo, in modo che l’arco elettrico e la zona dove avviene la fusione siano isolati dall’atmosfera.

Il filo viene fatto avanzare a velocità costante tramite due rulli trainafilo il cui motore è elettricamente collegato alla macchina saldatrice.

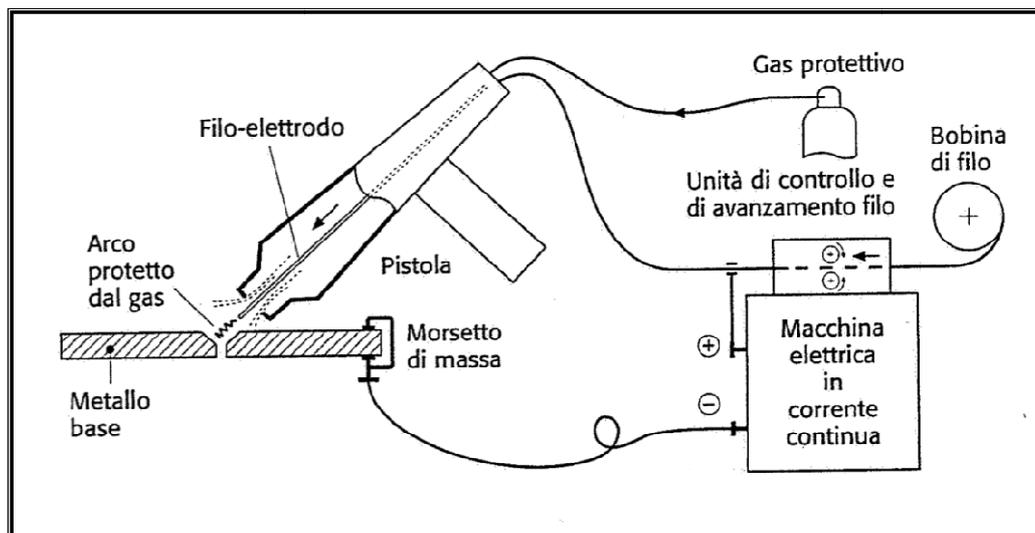


Figura 5.3 – Schema di saldatura MIG.

Velocità d’avanzamento e velocità di fuoriuscita del filo sono collegate per avere un arco di lunghezza costante. La torcia è raffreddata da un sistema di circolazione d’acqua. Il gas protettivo prima di giungere alla pistola può essere fatto passare eventualmente attraverso un preriscaldatore che ha la funzione di evitare il congelamento del gas in seguito all’espansione.

La gamma di spessori saldabili si estende da 0,5 – 0,6 mm a 10 – 15 mm; oltre può essere più vantaggioso il procedimento ad arco sommerso.

Rispetto al TIG ha un tasso di deposito più elevato ed è quindi consigliabile per riempimenti e soprattutto per l'esecuzione di cordoni in angolo. Può essere generalmente utilizzato in saldature in tutte le posizioni.

Dal punto di vista qualitativo vengono fatte alcune riserve per l'ottenimento di giunti di elevata qualità in quanto:

- l'elevata velocità di fusione lascia al bagno minore tempo per un buon degasaggio e quindi rischio di porosità;
- è più sensibile alla qualità del filo d'apporto sia sui difetti interni dei cordoni (porosità) che sull'estetica;
- l'abilità dell'operatore e/o la qualità delle apparecchiature sono molto più critiche per un risultato buono e costante.

L'alimentazione elettrica usata in questo tipo di saldatura è solamente in corrente continua con polarità inversa. Infatti la corrente alternata creerebbe un arco troppo instabile per questa tecnologia. La polarità inversa è giustificata dal fatto che il bilancio termico dell'arco è favorevole alla fusione del filo. Le macchine elettriche per il MIG hanno caratteristica esterna a tensione quasi costante; infatti, come illustrato in figura 5.4, una variazione di lunghezza dell'arco da  $l_0$  a  $l_1$ , provocata dall'operatore in caso di saldatura manuale o dalla variazione della geometria del pezzo in caso di saldatura automatizzata, causa una variazione di corrente  $\Delta I$  tanto maggiore quanto minore è la pendenza della curva caratteristica tensione-corrente della macchina elettrica; con 1 e 2 sono indicate le caratteristiche di due diverse macchine.

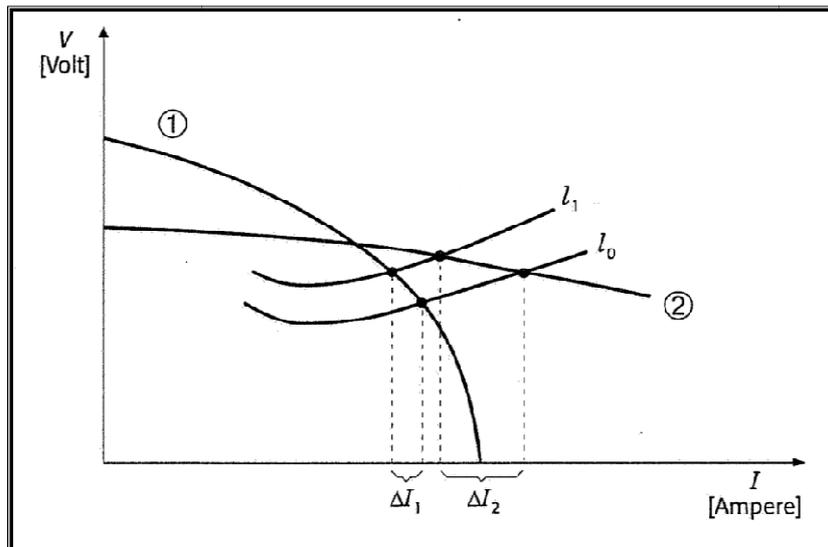


Figura 5.4 – Curve caratteristiche delle macchine elettriche: influenza lunghezza dell’arco

Questa variazione di corrente è indispensabile per variare la velocità di avanzamento del filo e per mantenere quindi un arco di lunghezza quasi costante. Inoltre la variazione di corrente provocata da variazioni accidentali della velocità del filo ha influenza limitata sulla variazione di tensione e quindi sulla stabilità dell’arco.

Il trasferimento del metallo dal filo al metallo base può avvenire in vari modi. Ciò dipende essenzialmente dalla tensione d’arco e dalla “corrente di transizione” che è un parametro che dipende da numerosi fattori tra cui la densità di corrente, il tipo di gas, il materiale del filo.

- *Modalità “short arc”.*

Si verifica con tensioni d’arco inferiori a circa 20 V e correnti inferiori al valore di transizione. Il trasferimento avviene con formazione di gocce di grosse dimensioni che si prolungano verso il metallo di base. Esse creano un corto circuito e spengono temporaneamente l’arco. Il fenomeno si ripete da 20 a 200 volte circa al secondo, in funzione del tipo di gas e della densità di corrente. Il bagno di fusione risulta abbastanza freddo e la solidificazione è rapida. Questa tecnica è quindi adatta alla saldatura in qualunque posizione e degli spessori sottili. La deposizione oraria è bassa.

- Modalità “*spray arc*”.

Si verifica con tensioni d’arco superiori a circa 25 V e con correnti superiori al livello di transizione. In questo caso il trasferimento avviene sotto forma di un elevato numero di gocce di piccole dimensioni che passano attraverso l’arco senza spegnerlo. E’ una tecnica adatta ai grossi spessori, data l’elevata penetrazione e l’elevata deposizione oraria. A causa dell’elevata fluidità del bagno di fusione e l’assenza di scoria, tale metodo è adatto solo a saldature in piano.

- Modalità “*pulsed arc*”.

E’ ottenibile con particolari tipi di macchine, nelle quali a un livello di corrente inferiore a quello di transizione si sovrappongono impulsi di corrente il cui valore di picco supera il livello di transizione. In corrispondenza di ogni impulso si distacca dal filo una goccia che attraversa l’arco depositandosi sul metallo di base. Questa tecnica permette di conservare i principali vantaggi dei due metodi *short arc* e *spray arc* visti in precedenza.

Per la saldatura MIG si usano normalmente argon o elio, che garantiscono un’efficace protezione dell’arco e della zona di fusione dal contatto con l’atmosfera. In questo modo è possibile saldare efficacemente tutte le leghe di interesse industriale. Tuttavia il costo di tali gas è notevole e il loro uso non è giustificato nella saldatura di acciai a basso tenore di carbonio. In tali casi si usa la cosiddetta saldatura MAG (Metal Active Gas) che, pur essendo molto simile al MIG impiega gas meno costoso: CO<sub>2</sub>, col quale si ha un trasferimento del metallo dal filo sottoforma globulare (grosse gocce) e con notevoli spruzzi. Si usano anche miscele tra argon ed elio e gas meno pregiati. Nella saldatura MAG tuttavia la presenza di gas ossidanti obbliga all’uso di fili di composizione adatta, con piccole percentuali di silicio o manganese che hanno potere disossidante.

## 5.2 Descrizione del processo di saldatura del telaio

In figura 5.5 è riportato il flussogramma di processo per la linea di produzione automatizzata per la saldatura dei telai d’alluminio. La fase di prepuntatura è una postazione duplicata in parallelo; cioè i telai puntati giungono all’isola di saldatura (Op. 2) indipendentemente dalle due postazioni distinte.

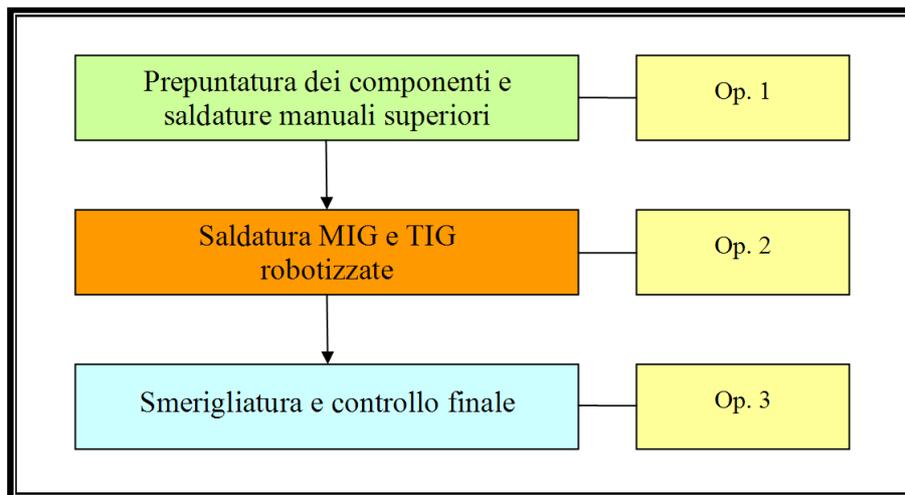


Figura 5.5 – Flusso del processo di saldatura su linea automatica per telai maxi moto.

In figura 5.6 è mostrato il layout della linea con indicato su ogni postazione il numero di operazione come già definito nel flussogramma di processo di figura 5.5; inoltre con IN ed OUT sono indicati i flussi di sottogruppi in ingresso e di semilavorati in uscita dalla linea produttiva.

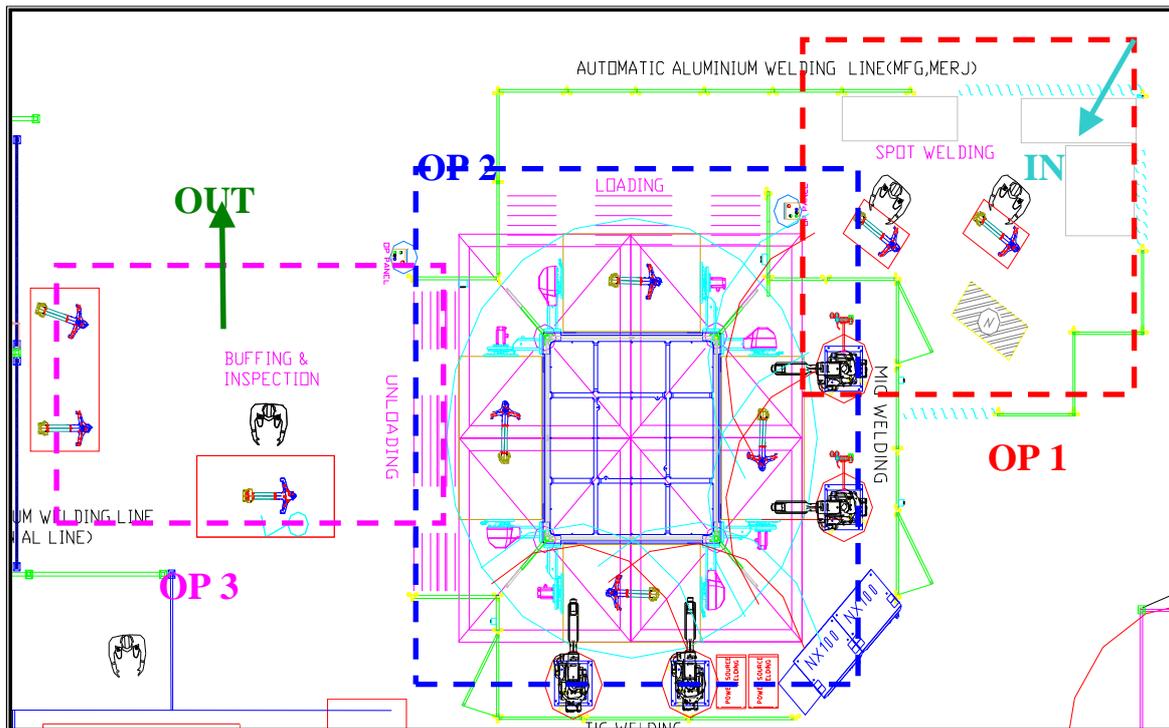


Figura 5.6 – Layout della linea automatica di saldatura telai maxi moto

### 5.2.1 Operazione 1: prepuntatura e saldatura manuale

Si è già detto come questa operazione venga eseguita su due postazioni parallele sulla linea.

In figura 5.7 è riportata la pianta della postazione; con la lettera “A” sono indicate le maschere di puntatura, con la “B” le macchine elettriche, con la lettera “C” il carrello e la cassa contenenti sottogruppi in ingresso della postazione.

Si può notare come l’intera zona sia delimitata da pannelli (in verde nella figura) atti a schermare verso l’esterno le radiazioni luminose provenienti dalle torce MIG utilizzate in questa fase di processo. Inoltre sono presenti, allo stesso scopo, delle tende (in celeste nella figura) per consentire l’ingresso e l’uscita di persone e materiali in questa stazione.

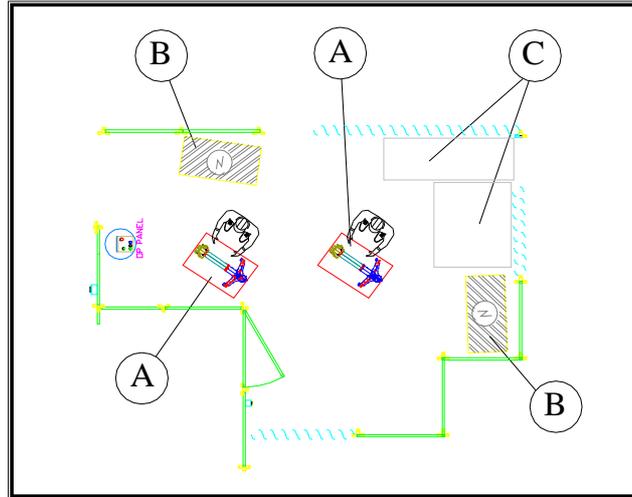


Figura 5.7 – Postazione di prepuntatura telai maxi moto

L'operatore, per prima cosa, monta i sottogruppi costituenti il telaio sulla maschera di puntatura; questa maschera provvede a mantenere le varie parti assemblate, come saranno nel prodotto finale, per mezzo di attuatori pneumatici e sistemi di blocco che agiscono su fori e parti lavorate del telaio che hanno la maggiore precisione di posizionamento richiesta.

In figura 5.8 è fotografata la maschera di puntatura con all'interno i sottogruppi di un telaio.

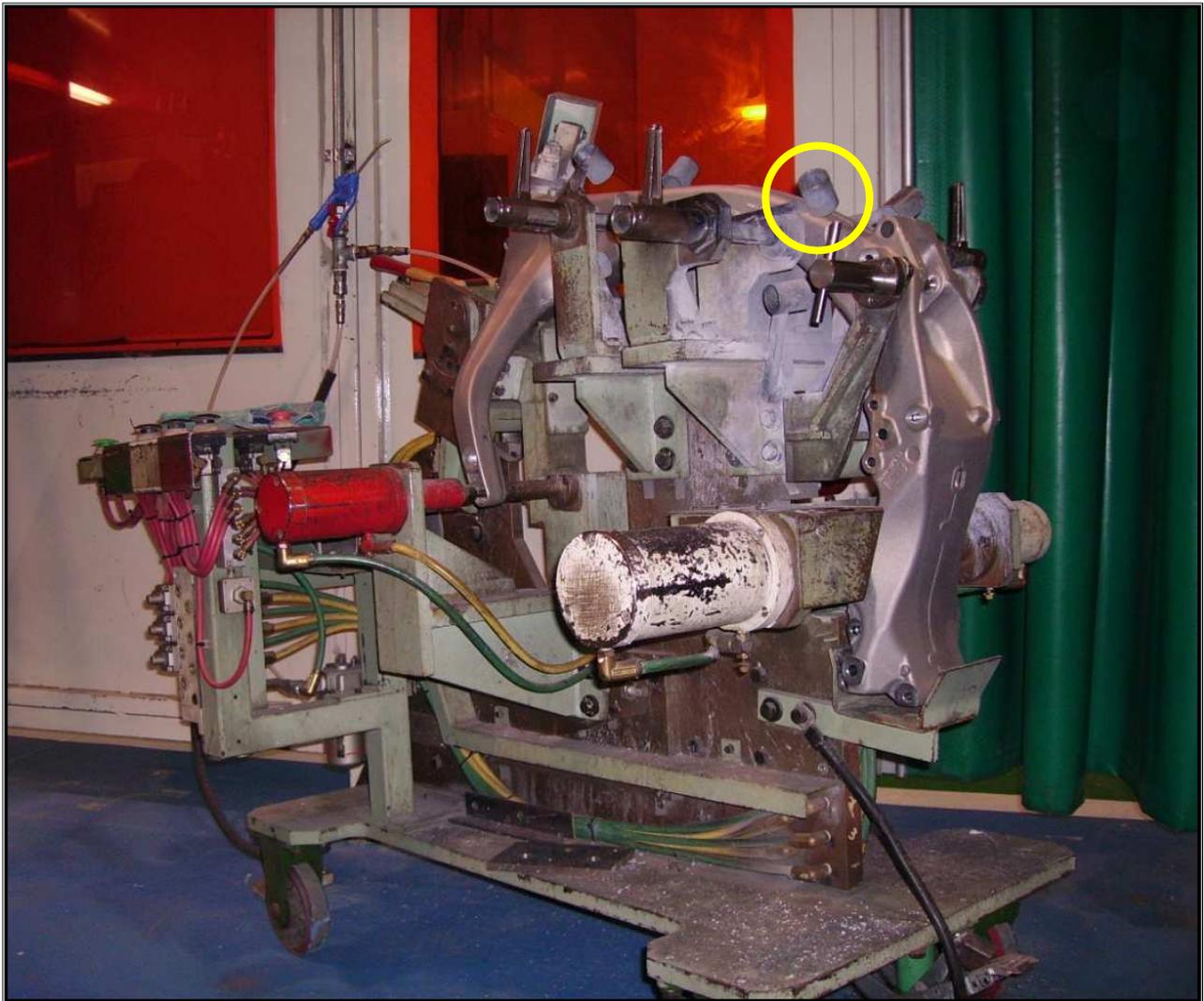


Figura 5.8 – Maschera di prepuntatura telai maxi moto

Nella stessa figura, si può notare evidenziato uno dei sei supporti che fissano la posizione nello spazio della torcia durante la fase di puntatura. L'operatore, infatti, inserisce la torcia in ognuno degli otto supporti ed effettua così la puntatura delle parti del telaio senza possibilità di errore di posizionamento. C'è da specificare che i punti vengono fatti sui quattro spigoli di ognuno dei due cordoni, dato che il telaio ha sezione quadrata.

L'operatore in questa fase realizza manualmente anche un intero cordone di saldatura sul lato che superiore del telaio. Questa operazione è raffigurata in figura 5.9.

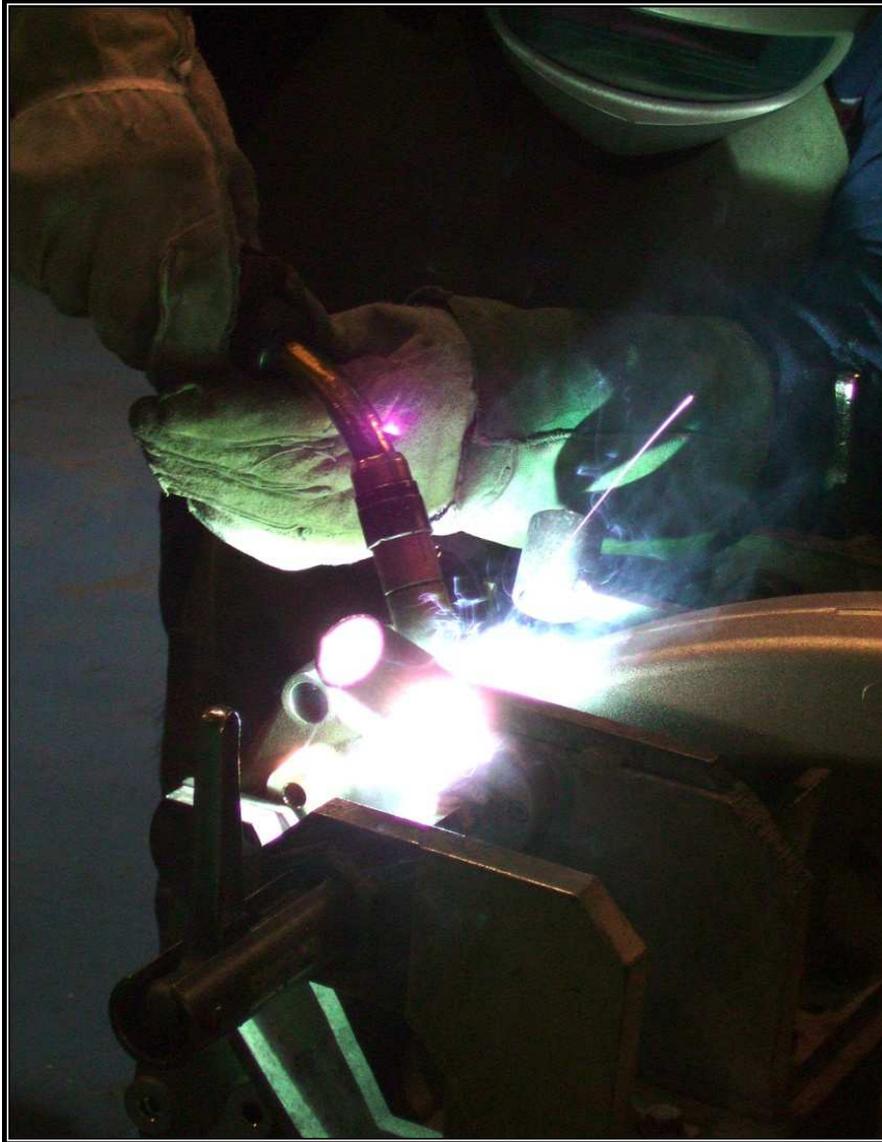


Figura 5.9 – Realizzazione di un cordone di saldatura su telai maxi moto.

### 5.2.2 Operazione 2: isola di saldatura robotizzata

Gli operatori della fase di prepuntatura effettuano il carico sull'isola di saldatura robotizzata. Quest'isola è costituita principalmente da una grande tavola quadrata che presenta su ognuno dei quattro lati 4 maschere rotanti per il posizionamento dei telai.

La figura 5.10 mostra uno schema dall'alto dell'intera isola: la tavola rotante è indicata con la lettera "X", le quattro maschere rotanti sull'asse orizzontale con la lettera "Y", la postazione di carico con la lettera "A", le due postazioni di saldatura sono indicate con "B" quella MIG e con "C" quella TIG, la postazione di scarico con la lettera "D".

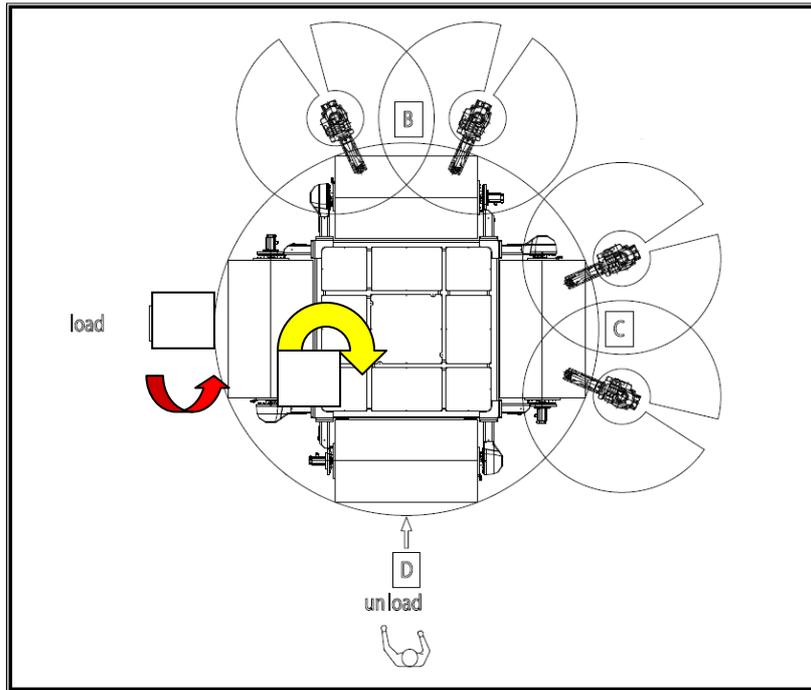


Figura 5.10 – Isola di saldatura robotizzata per telai maxi moto

La figura 5.11 illustra l'isola di saldatura robotizzata così come inserita nel layout del reparto. Si noti che essa è ruotata di 90° in senso orario rispetto a come mostrato in figura 5.10.

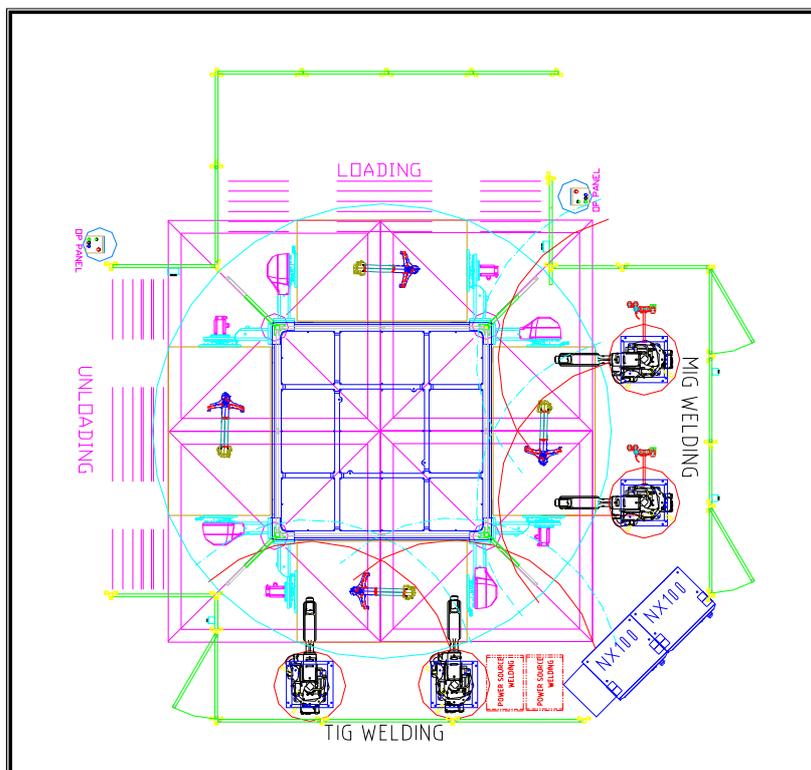


Figura 5.10 – Isola di saldatura robotizzata per telai maxi moto

Sull'isola vengono effettuate, come già anticipato, due tipologie di saldatura a filo continuo in due differenti postazioni.

I cordoni di saldatura vengono principalmente realizzati tramite saldatura MIG e grazie alla rotazione delle maschere è possibile operare sempre in piano.

Le figure 5.11 e 5.12 mostrano questa fase del processo: la prima con una torcia in azione; la seconda con l'ingrandimento della zona di lavoro prima di iniziare la fase quindi ancora con le torce spente. E' interessante notare come la parte da saldare sia sempre contenuta su un piano orizzontale.

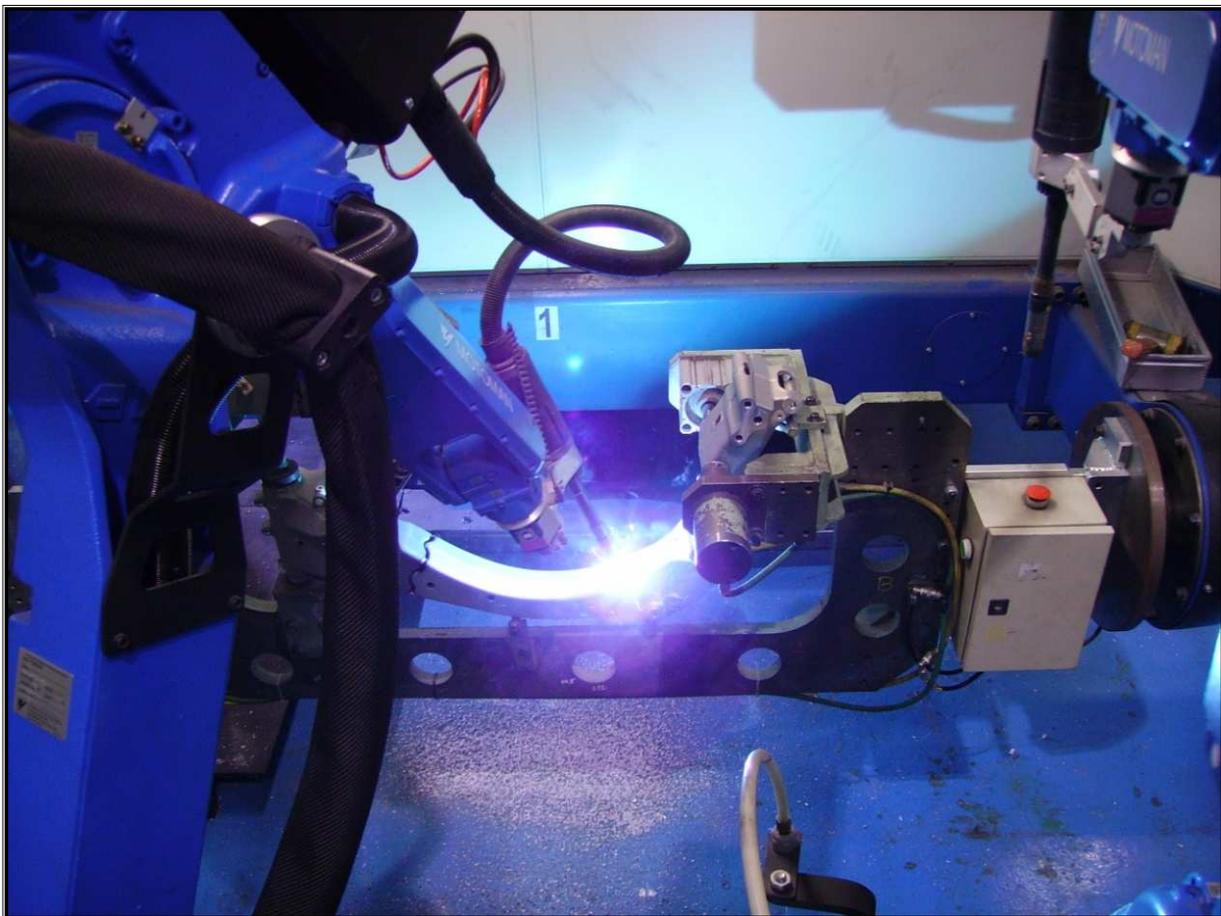


Figura 5.11 – Isola di saldatura robotizzata: saldatura MIG

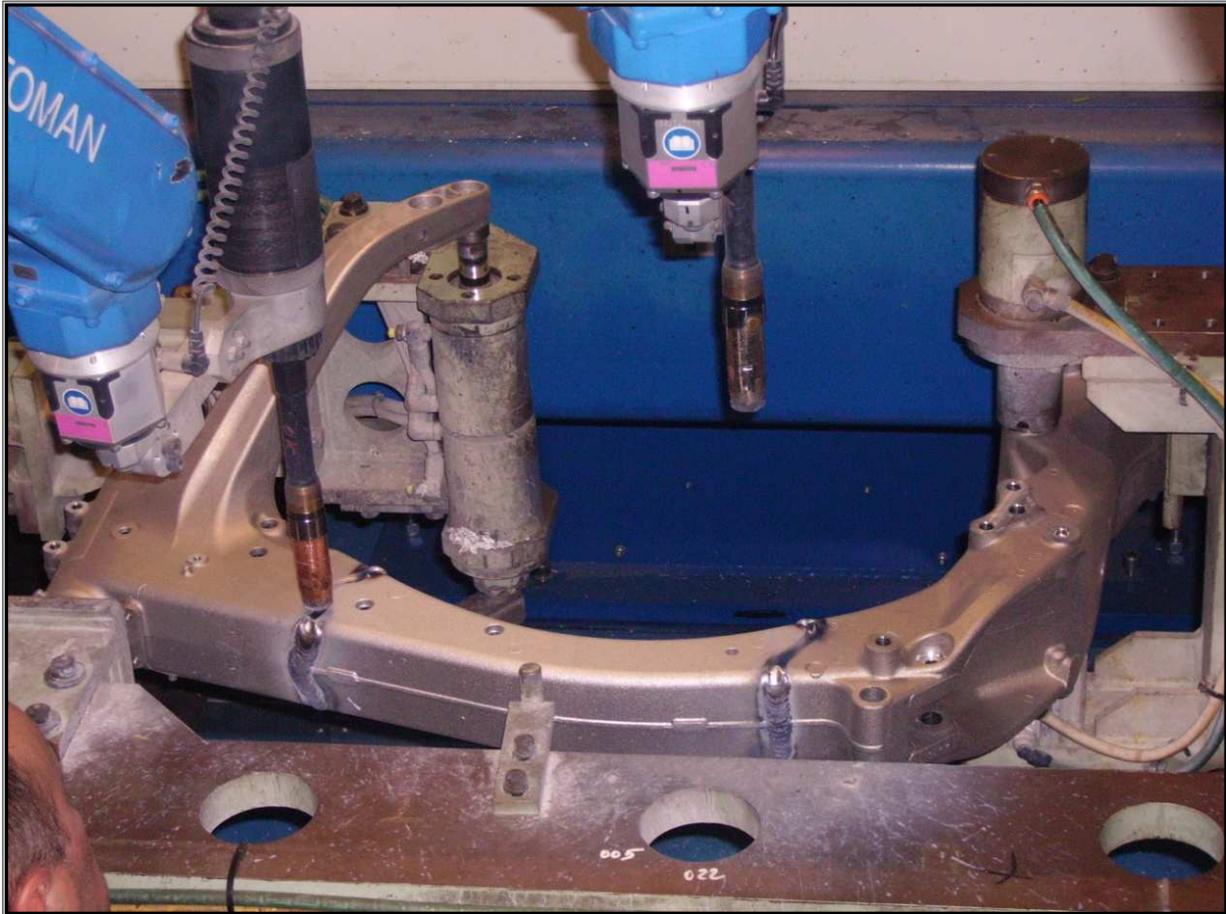


Figura 5.12 – Isola di saldatura robotizzata: saldatura MIG (ingrandimento)

Nella postazione successiva viene effettuato un “ritocco” dei cordoni di saldatura sugli 8 spigoli attraverso 2 torce TIG movimentate da altrettanti robot antropomorfi. Anche per questa lavorazione la rotazione delle maschere consente di mantenere sempre il telaio in piano.

La figura 5.13 mostra una torcia TIG di suddetta macchina in azione.

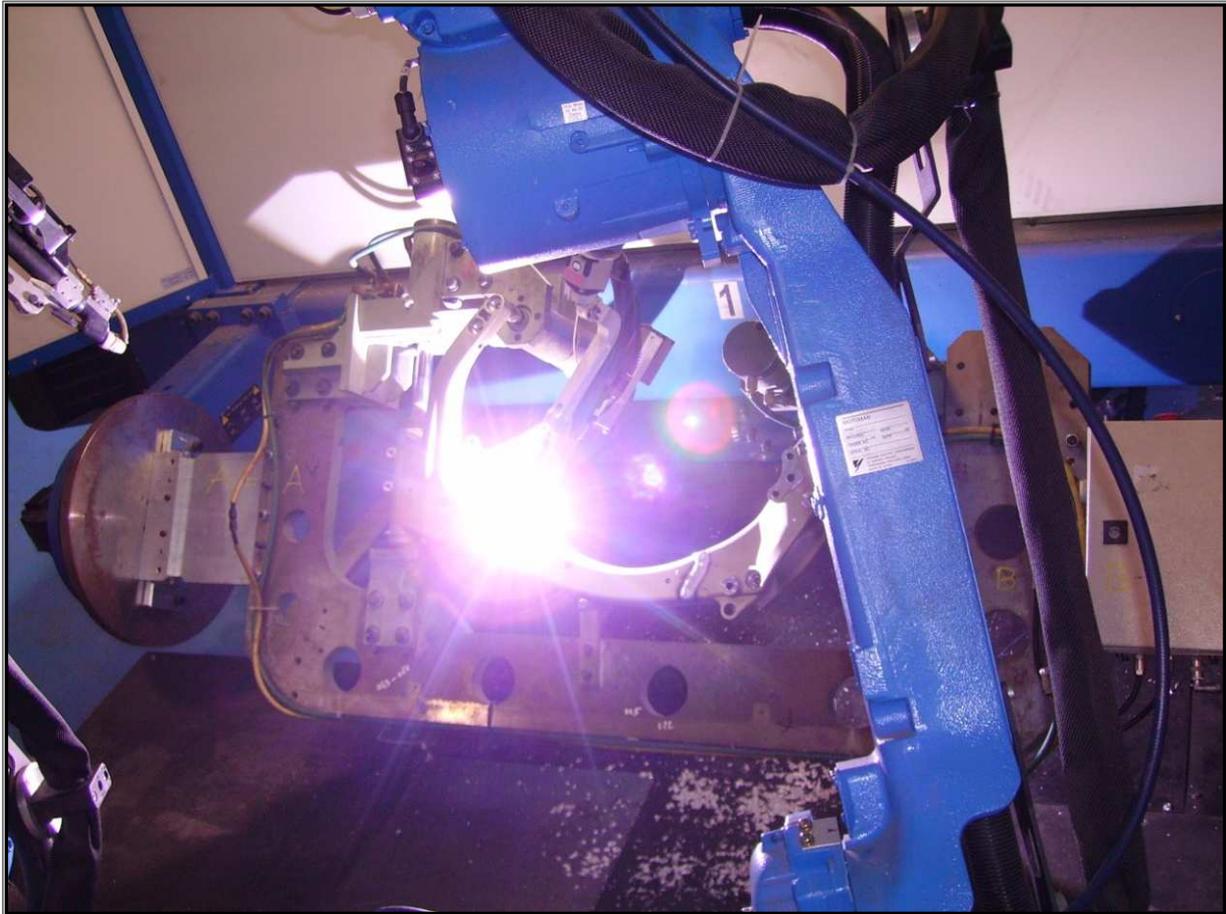


Figura 5.13 – Isola di saldatura robotizzata: saldatura TIG.

La figura 5.14 invece presenta una fotografia ingrandita della torcia TIG e della posizione sulla quale effettua la saldatura sul telaio. E' possibile osservare la tavola ruotata in modo che la saldatura venga eseguita in piano.

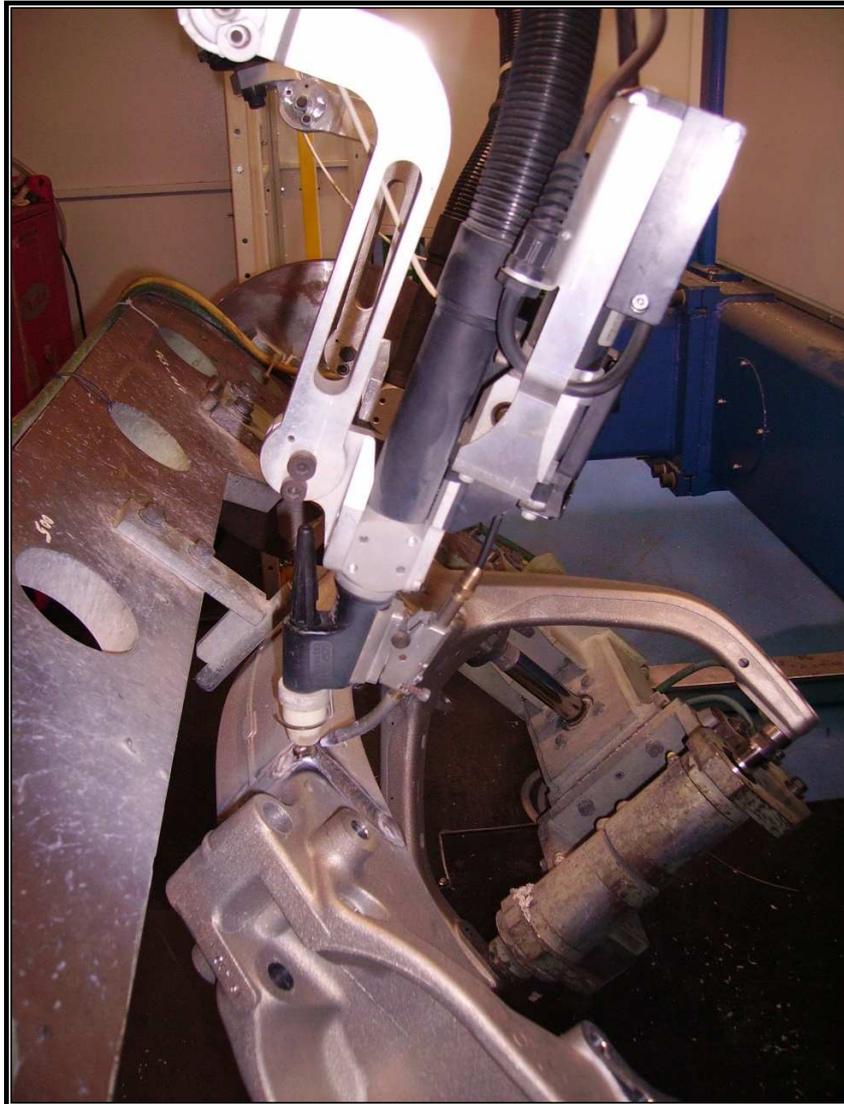


Figura 5.14 – Isola di saldatura robotizzata: saldatura TIG (ingrandimento).

### **5.2.3 Operazione 3: smerigliatura e controllo finale**

L'ultima fase del processo di saldatura dei telai in alluminio di maxi moto è quella del controllo finale sulle saldature realizzate, la spazzolatura dei cordoni per rimuovere gli aloni di saldatura ed il controllo finale su dima.

Questo controllo viene effettuato inserendo il telaio in una maschera con la quale è possibile verificare, con opportuni tastatori, il corretto posizionamento di tutte le parti nello spazio.

La figura 5.15 riporta in fotografia l'operazione di spazzolatura dei cordoni.



Figura 5.15 – Spazzolatura dei cordoni di saldatura

#### 5.2.4 Considerazioni finali

E' opportuno valutare la particolare geometria di cordoni di saldatura dei telai di maxi moto d'alluminio. I giunti di testa sono realizzati tramite cordoni di saldatura che hanno una penetrazione di circa 10 mm con una larghezza di 18 - 20 mm. Le superfici da saldare hanno una conformazione ad incastro.

La figura 5.16 riporta la foto di un telaio spazzolato e un ingrandimento del cordone.

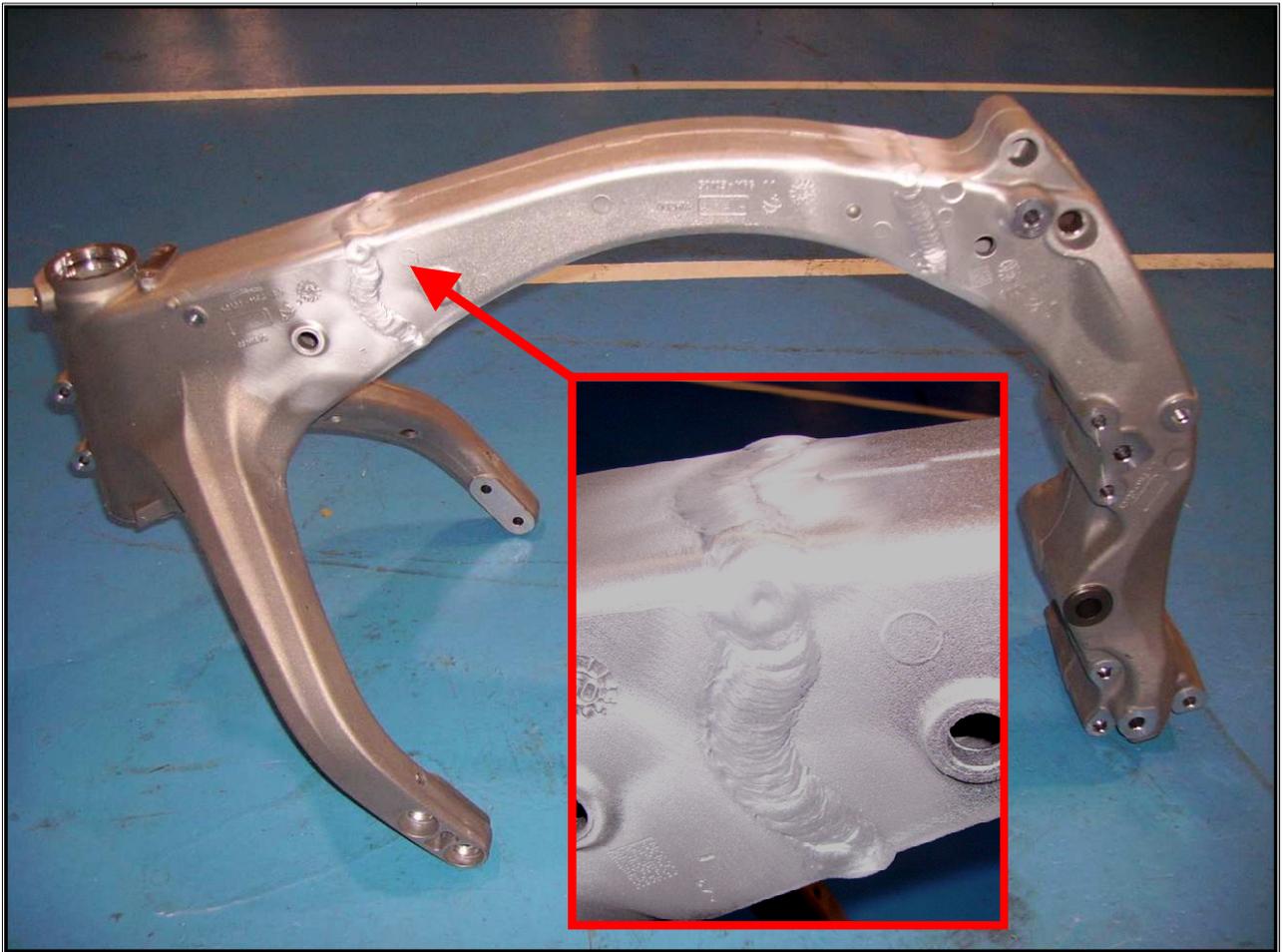


Figura 5.16 – Telaio in alluminio e ingrandimento del cordone di saldatura

Si può notare come il cordone abbia una particolare conformazione dovuta al movimento ellittico della torcia MIG durante la saldatura. Questo movimento viene effettuato sia dai robot che dagli operatori nella prepuntatura manuale. Esso è risultato essere il migliore per poter realizzare il cordone in un'unica passata riempiendo la cava in maniera uniforme e con bordi del cordone il più lineari possibile. Sono state effettuate in azienda prove con movimento pendolare dalla torcia che portava però alla rottura precoce della saldatura stessa nelle prove distruttive e con movimento circolare che però lasciava parti non riempite come mostrato nella figura 5.17 che illustra uno schema dello standard aziendale.

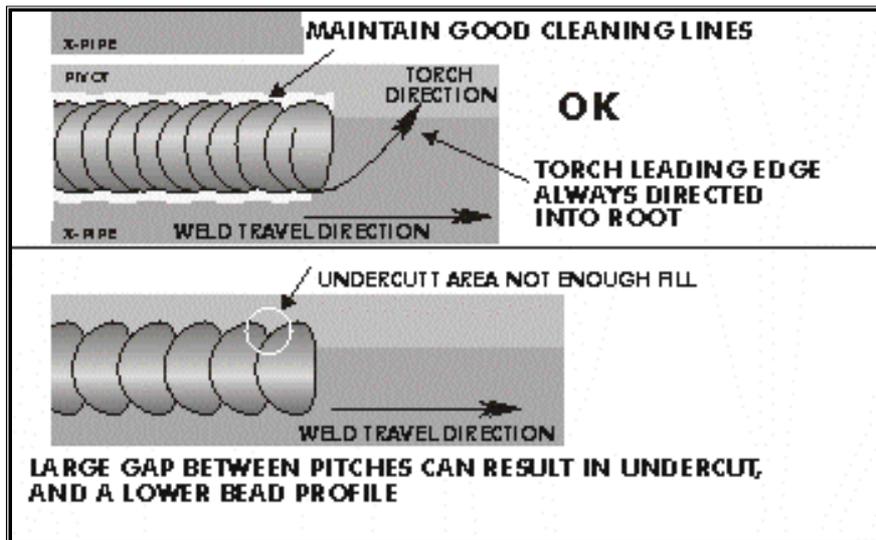


Figura 5.17 – Geometria del cordone: movimento della torcia MIG.

Si possono ricapitolare le operazioni di saldatura, eseguite sui telai d'alluminio, attraverso la figura 5.18 la quale riporta la sezione del cordone.

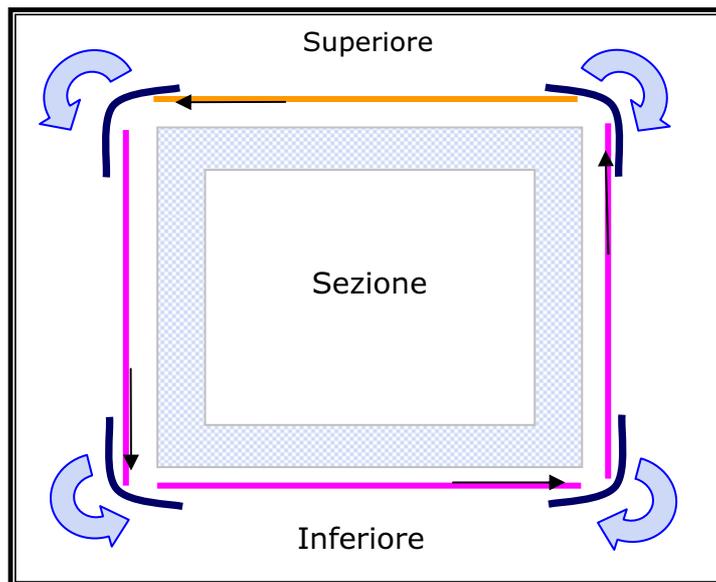


Figura 5.18 – Schema del cordone di saldatura.

In arancione è rappresentata la saldatura MIG eseguita manualmente, in violetto la saldatura MIG eseguita a macchina e in blu le saldature sugli spigoli eseguiti con le torce TIG su robot.

E' opportuno accennare alle numerose tipologie di controllo effettuate a campione su questa tipologia di telai.

- *Prova distruttiva di rottura.*

Si porta il telaio a rottura per mezzo di un carico statico. I telai non devono rompersi se non per forze superiori al limite stabilito.

- *Prova di resistenza a fatica.*

I telai non devono rompersi prima del numero di cicli di carico minimi imposti. Ovviamente sono standardizzati anche le entità delle forze applicate e i cicli di carico scarico.

- *Prova non distruttiva ai raggi X.*

I cordoni di saldatura vengono osservati in una macchina per raggi X industriale. Si possono osservare cricche, soffiature ed inclusioni nei cordoni oltre che la qualità della penetrazione.

- *Prova distruttiva sezionamento dei cordoni.*

I telai vengono sezionati in corrispondenza dei cordoni di saldatura. Una lavorazione di fresatura ben fatta fa risaltare il differente aspetto visivo del metallo d'apporto e del metallo base.

# Capitolo 6

## Attività sperimentale

### 6.1 Presentazione del problema rilevato

Durante il processo di saldatura si verificano degli scarti di telai dovuti a tagli del cordone di saldatura, in corrispondenza dell'accoppiamento *rear frame* e *main pipe*, come visibile dalla figura 6.1.

L'obiettivo di questa tesi è quello di studiare e analizzare tale problema, individuarne la/e causa/e e proporre un'eventuale contromisura che riduca o elimini la percentuale di scarto legata a tale non conformità del telaio.

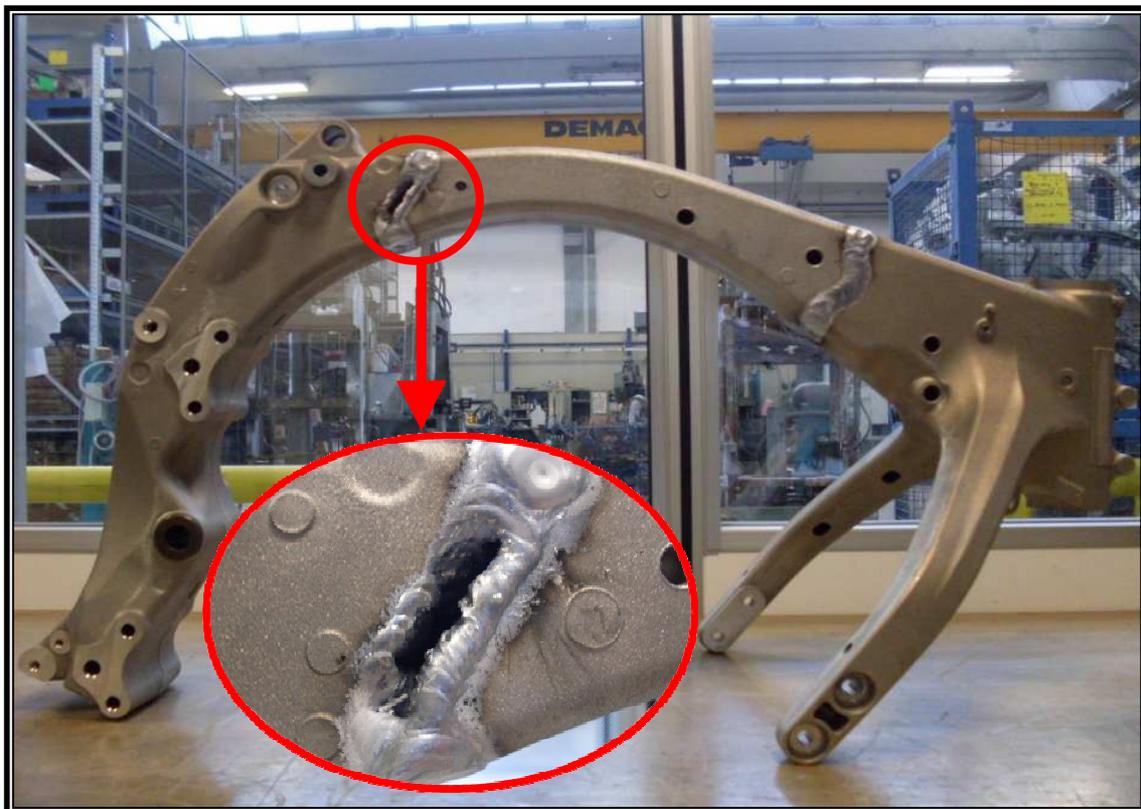


Figura 6.1 – Telaio scartato per problema di taglio del cordone di saldatura.

Come è evidente dal dettaglio evidenziato in figura 6.1, il cordone di saldatura MIG presenta una profonda cavità, con rientro di materiale all'interno della sezione.

Per avere un'idea dell'entità del problema, e prima di passare ad analizzare le sue possibili cause, può risultare importante avere una visione completa dal punto di vista numerico della produzione dei telai ed in particolar modo delle percentuali di scarto.

Nel figura 6.2 sono riportati i dati di produzione del telaio in base all'anno fiscale giapponese (KI), che va dal 1° aprile al 30 marzo. In particolare essi vanno dall'ottobre 2008 (83 KI), primo anno di produzione, al 30 marzo 2010 (86 KI). In verde è rappresentata la produzione di telai conforme agli standard di qualità, definita in gergo aziendale "good" (OK); in rosso è rappresentata quella non conforme, "no good" (NG); in giallo la percentuale di telai utilizzati per macro test.

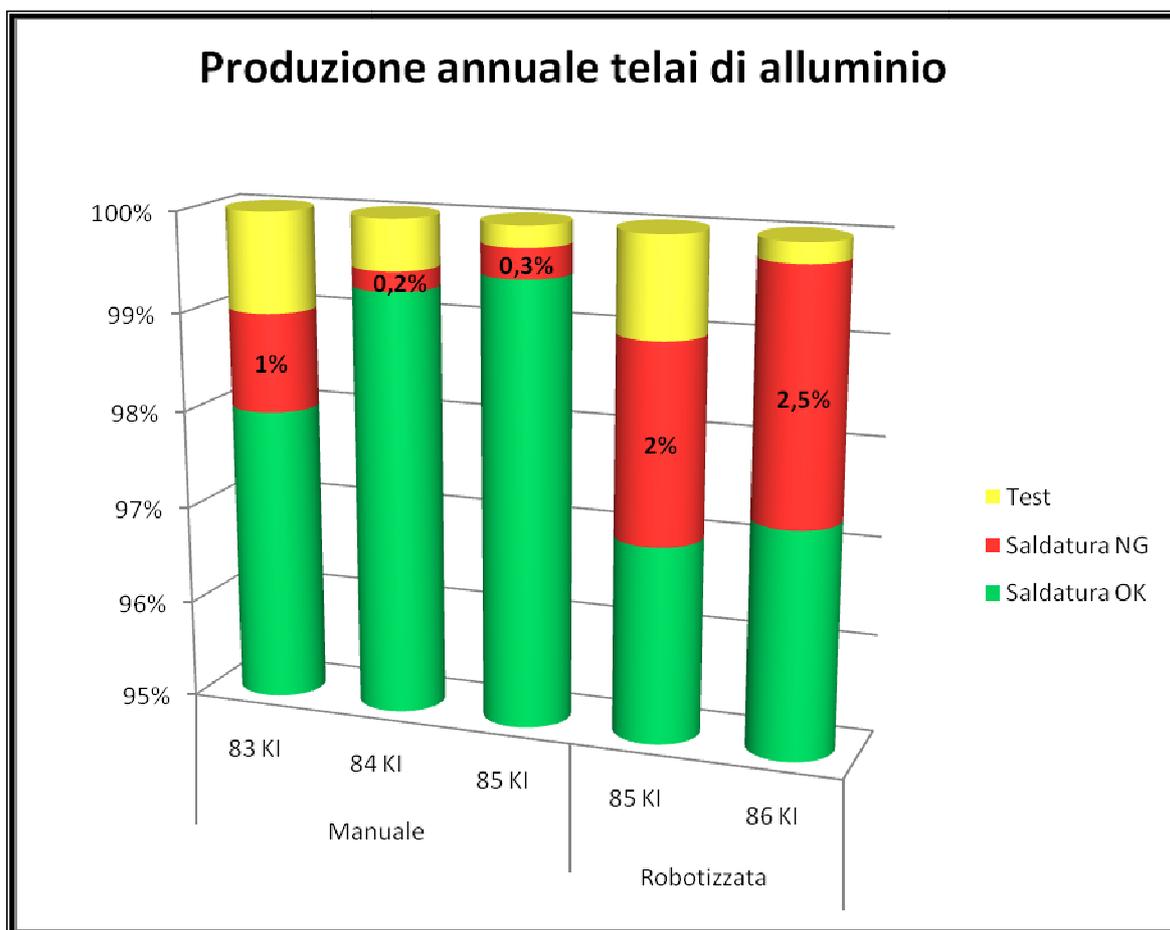


Figura 6.2 – Grafico riportante la percentuale di telai prodotti dal primo anno di fabbricazione.

Analizzando i dati raccolti, si nota come la percentuale di scarti sia pari all'1% nei primi sei mesi di produzione, per poi raggiungere dei valori esigui nei successivi due anni (0,2% nel 84 KI e 0,3% nei primi sei mesi dell'85 KI). Tali valori subiscono un innalzamento del 2% negli ultimi sei mesi

dell'85 KI, nell'ottobre del 2008 l'azienda è passata da una saldatura prettamente manuale ad una robotizzata; la percentuale di scarti cresce dello 0,5% nell'anno successivo.

## 6.2 Analisi preliminare

Per un'iniziale studio si è provveduto a sezionare il telaio nella zona interessata e successivamente si sono eseguite diverse analisi al fine di individuare con maggior precisione le possibili cause del problema. I test eseguiti possono essere suddivisi in:

- test non distruttivi
- test distruttivi.

### 6.2.1 Test non distruttivi

Per un maggior controllo dello stato della saldatura e per escludere dallo studio cause legate alla metallurgia del materiale, o all'eventuale presenza di ritiri, si è provveduto ad eseguire test non distruttivi ai raggi RX della zona interessata dal taglio di saldatura (figura 6.3 e 6.4).

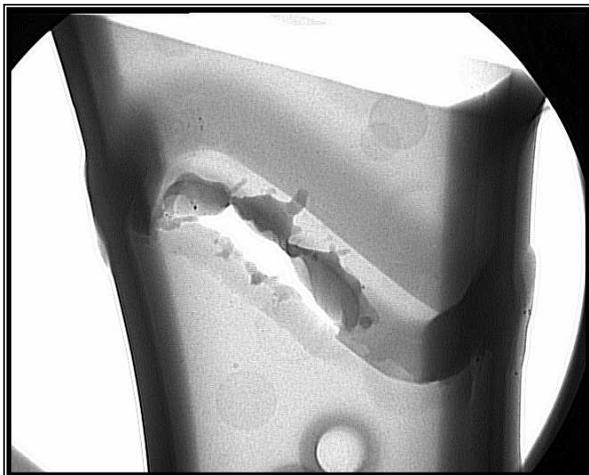


Figura 6.3 – Test ai raggi RX sul lato del taglio della saldatura.



Figura 6.4 – Test ai raggi RX.

Da un'attenta visione dei raggi RX riportati, si notano nel cordone di saldatura, delle inclusioni (cerchiate in rosso) non importanti ai fini dello studio.

### 6.2.2 Test distruttivi

Tagliando il telaio nella zona d'interesse (figura 6.5), da una visione più attenta si nota come il lato destro della sezione (quella interessata dallo sfondamento del cordone) è caratterizzato da un maggiore *gap* della sezione d'accoppiamento, rispetto al lato sinistro.

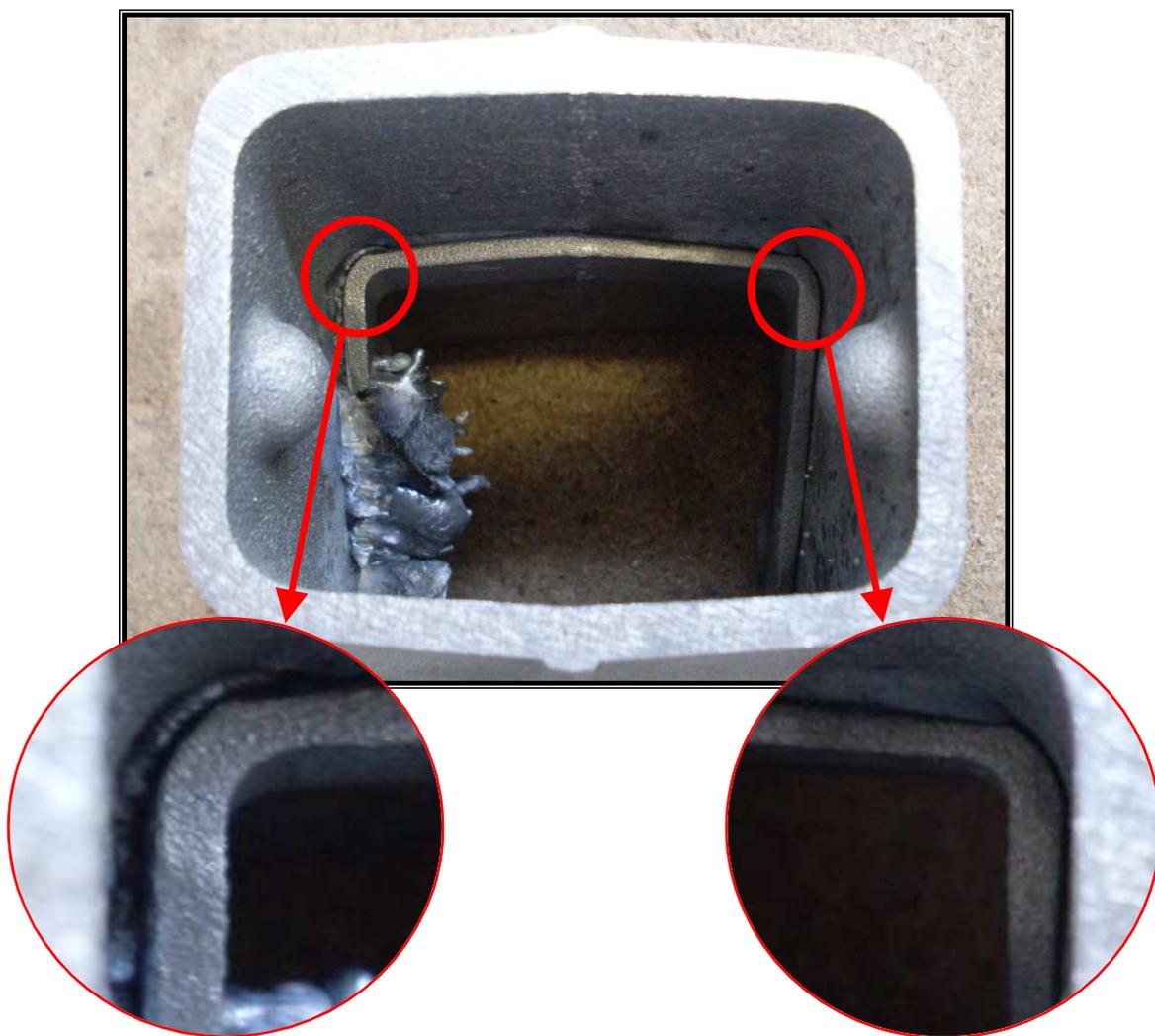


Figura 6.5 – Sezione del telaio, dalla quale è visibile il *gap* nella zona d'accoppiamento.

Per avere una migliore visualizzazione di quanto detto, si è provveduto a tagliare ulteriormente lo spezzone del telaio, come visibile dalla figura 6.6.

Effettuando la misura del *gap* con uno spessore, si rileva che la distanza tra i profili è di 0,3 mm sul lato sinistro e di 1,80 mm sul lato destro. Questo evidenzia il decentramento della sezione d'accoppiamento, possibile causa dello sfondamento del cordone di saldatura.

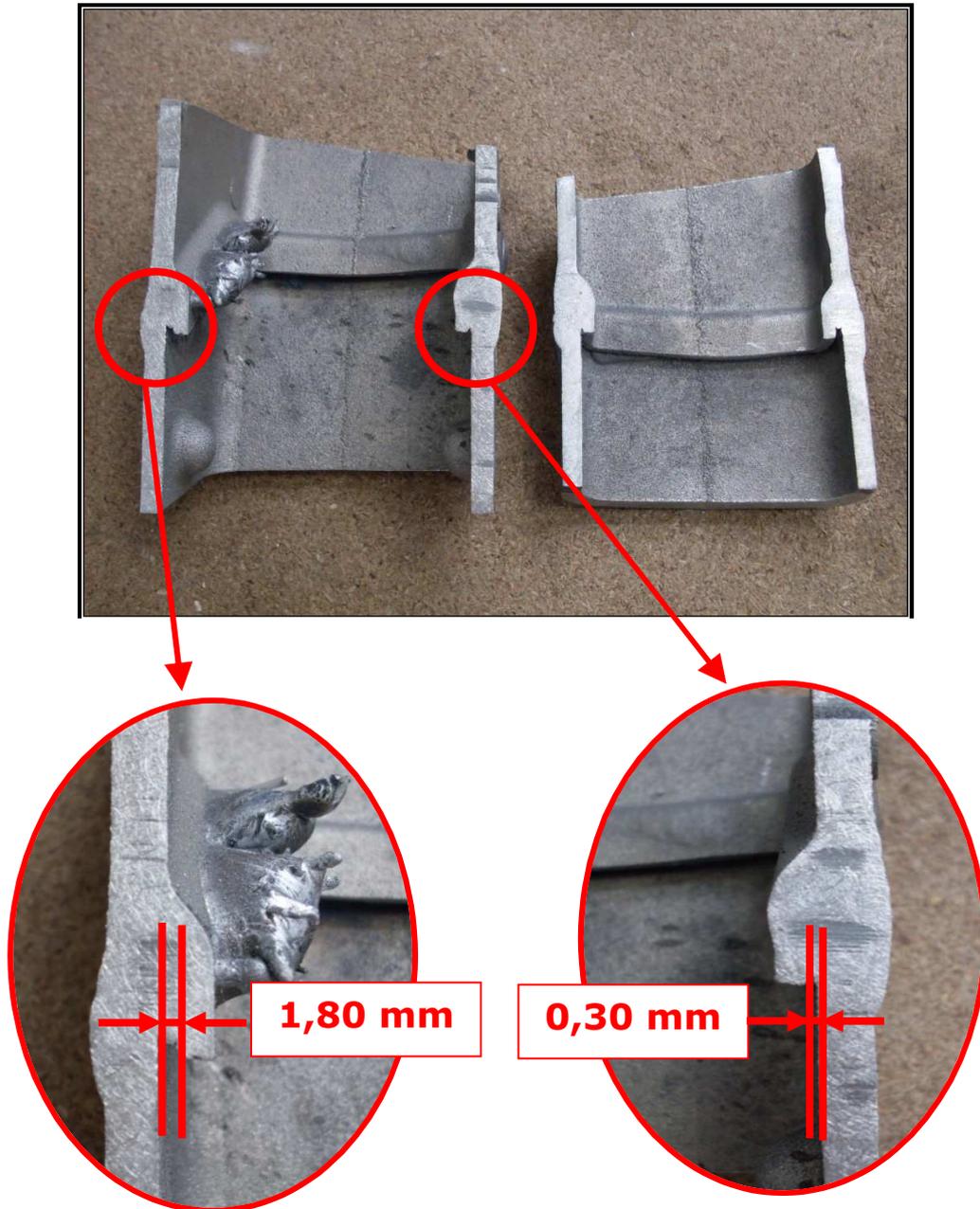


Figura 6.6 – Sezione del cordone di saldatura e dettaglio del *gap* d'accoppiamento.

Questo decentramento è testimoniato anche dalla prova di tracciatura eseguita manualmente sulla superficie esterna delle sezioni del telaio (figura 6.7 e 6.8). Evidenziando in nero il bordo di chiusura stampo delle due estremità dello spezzone e del cordone di saldatura, con un altimetro per la tracciatura si sono eseguite delle linee a metà del bordo sbavato. In corrispondenza del cordone di saldatura si nota come la linea di destra e quella di sinistra non coincidano. Questo sta a sottolineare il mancato decentramento dei due componenti del telaio.

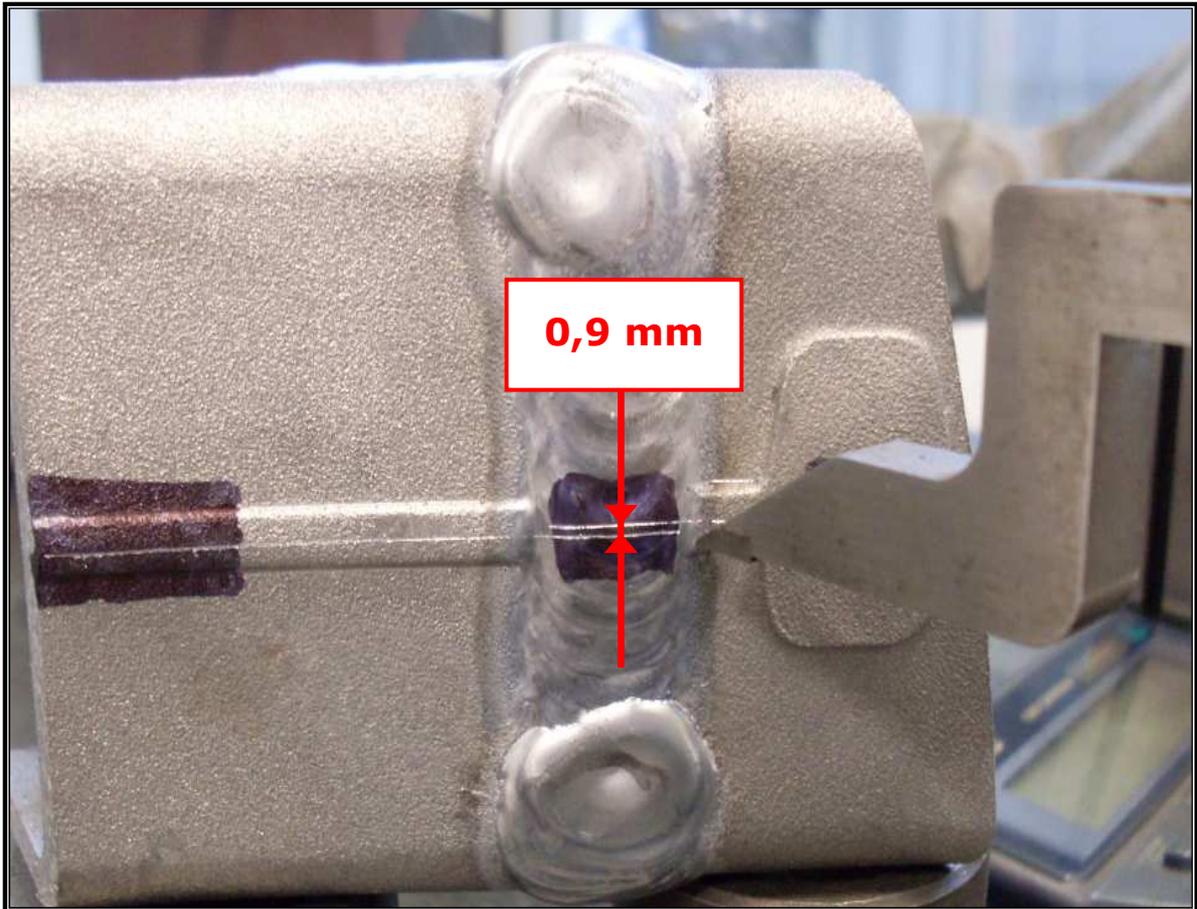


Figura 6.7 – Prova di tracciatura eseguita su uno dei due spezzoni del telaio.

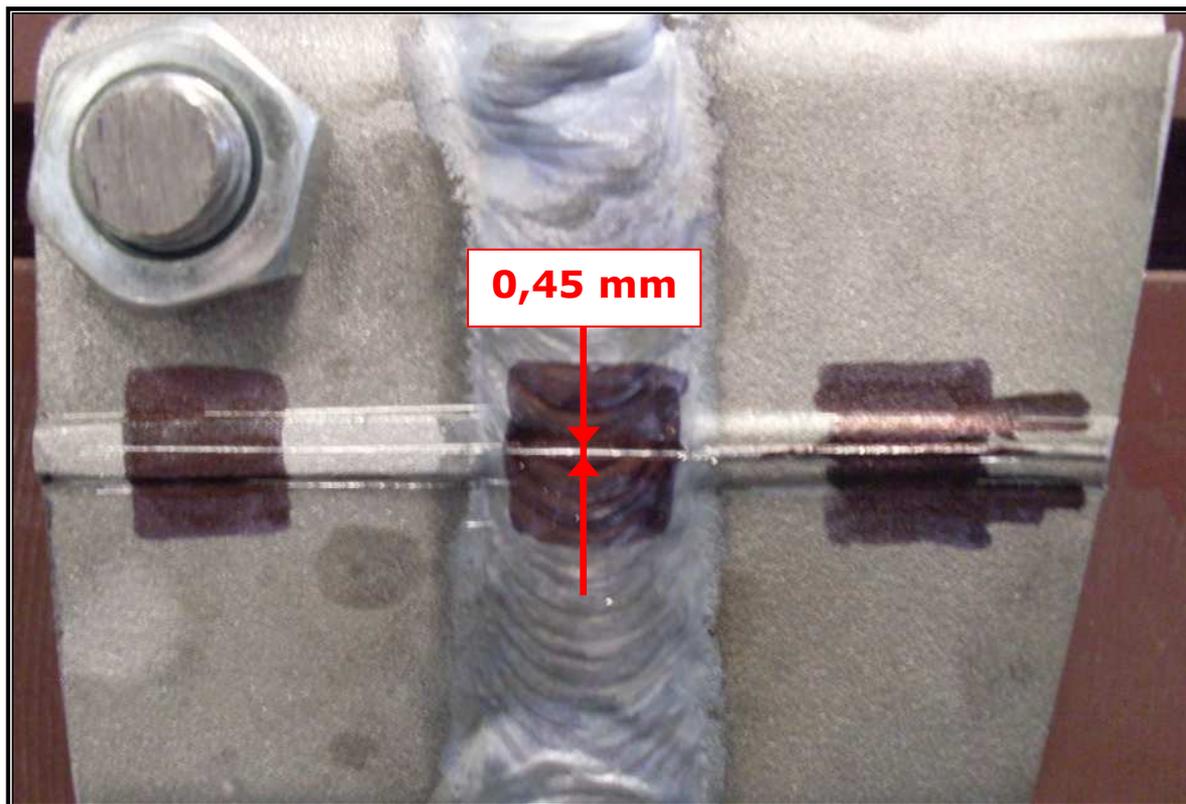


Figura 6.8 –Prova di tracciatura eseguito su uno dei due spezzoni del telaio.

A termine di questa studio prettamente dimensionale, si è passati ad effettuare un analisi EDAX della saldatura. Essa consiste nel sottoporre un provino di materiale ad un bombardamento di elettroni. I raggi X emessi, analizzati in energia, sono tipici degli elementi presenti in superficie. Per tanto tagliando un provino di saldatura ritenuta qualitativamente conforme (figura 6.9), ed eseguendo l'analisi spettroscopica EDAX nelle tre zone evidenziate (zona 1, zona 2, zona 3), si evidenzia che il cordone di saldatura è caratterizzato dalla presenza di alluminio, silicio e magnesio, come visibile dallo spettri riportati di seguito (figura 6.10, 6.11, 6.12).

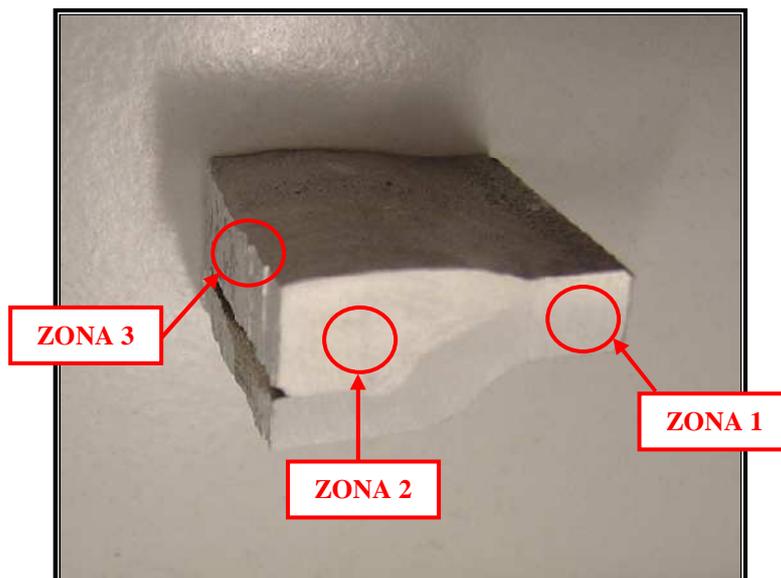


Figura 6.9 – Provino di saldatura conforme agli standard di qualità.

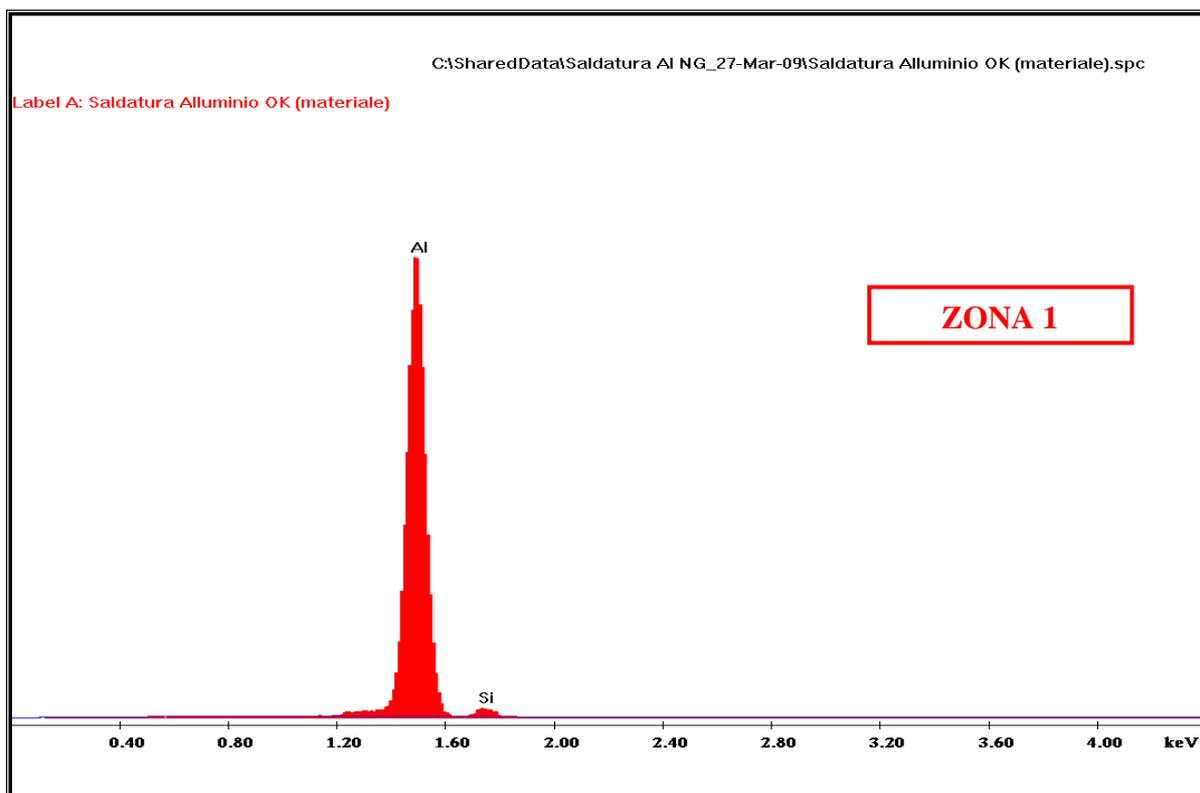


Figura 6.10 – Spettroscopia effettuata sulla zona 1.

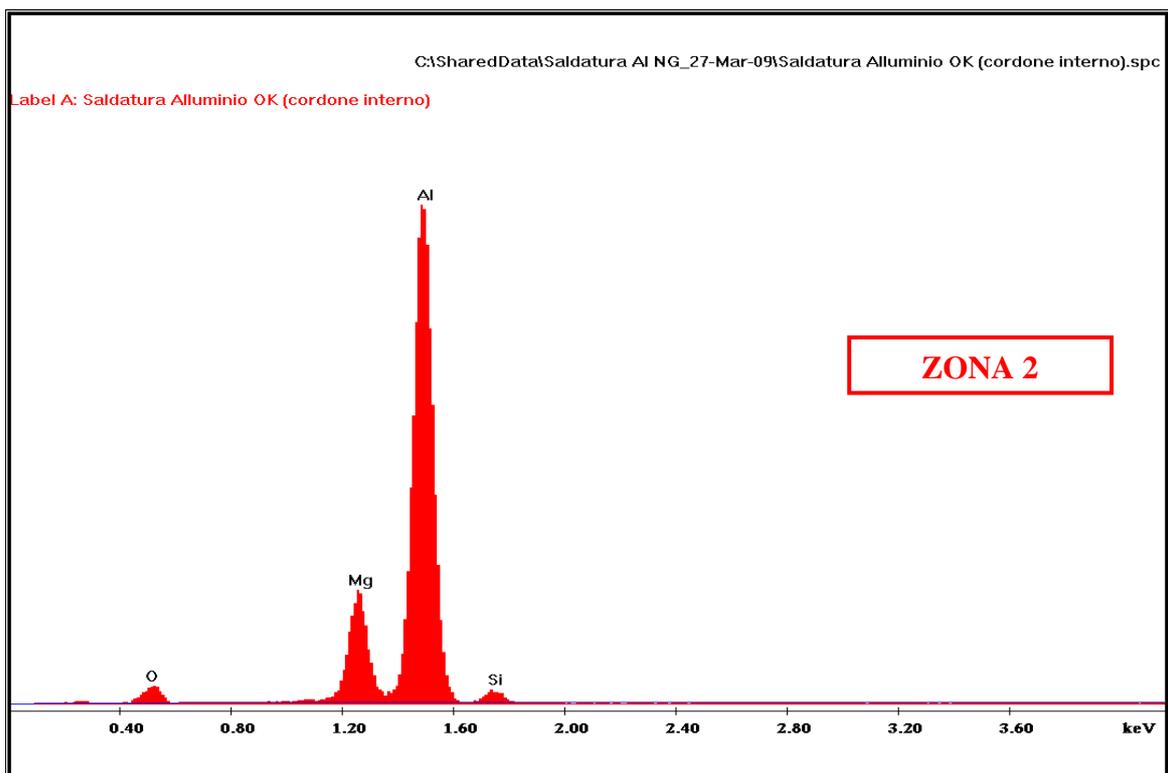


Figura 6.11 – Spettroscopia effettuata sulla zona 2.

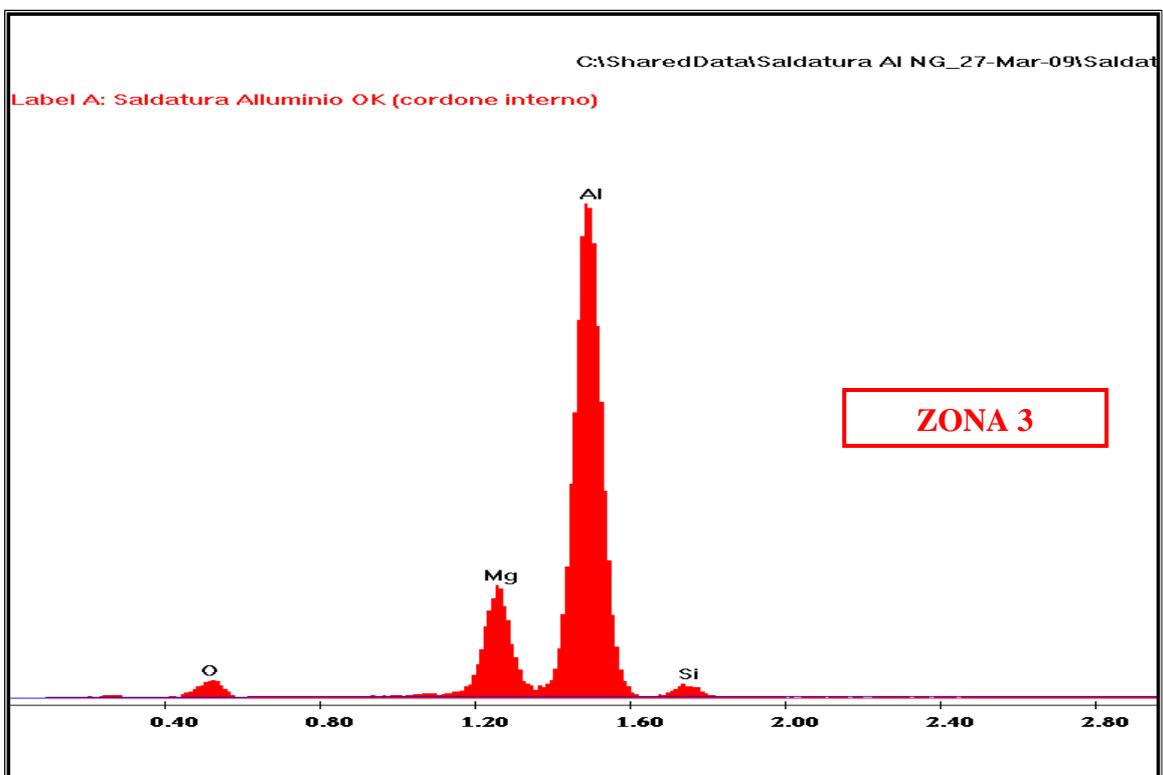


Figura 6.12 – Spettroscopia effettuata sulla zona 3.

Effettuando la stessa analisi su un campione di saldatura non conforme (figura 6.13, 6.14), si è rilevata anche la presenza di carbonio, che pur aumentando la rigidezza, parallelamente infragilisce il materiale, in particolare nell'alluminio la sua presenza porta solo ad effetti negativi, come visibile dagli spettri riportati di seguito (figura 6.15, 6.16).

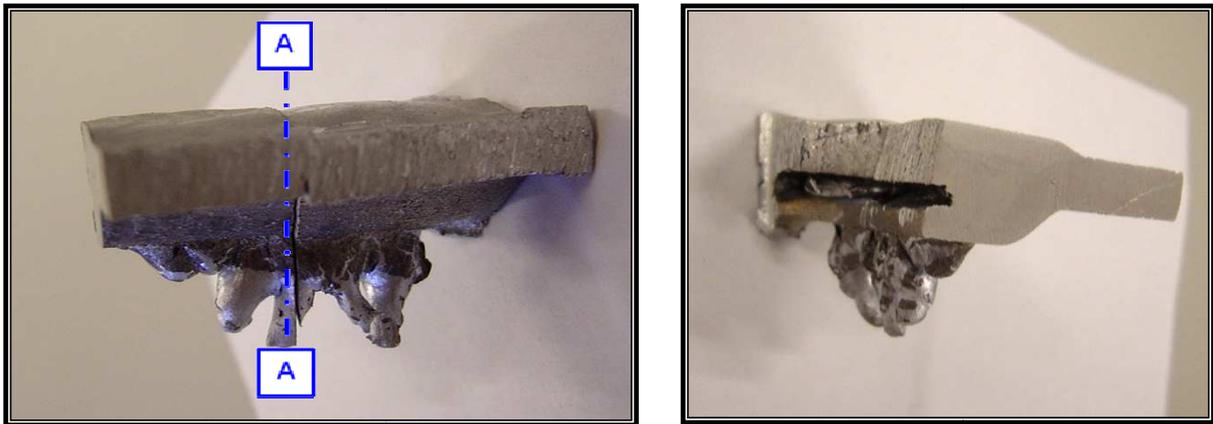


Figura 6.13 – Campione e sezione di cordone di saldatura non conforme.

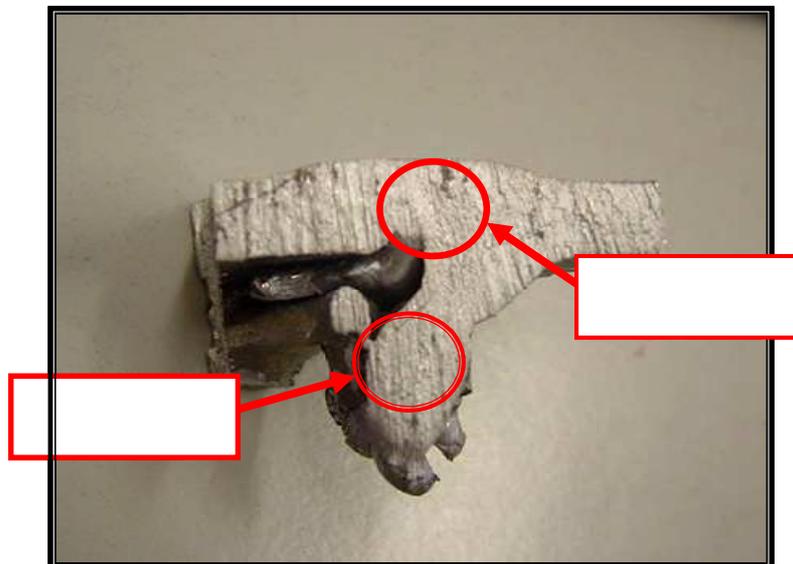


Figura 6.14 – Provino di saldatura non conforme agli standard.

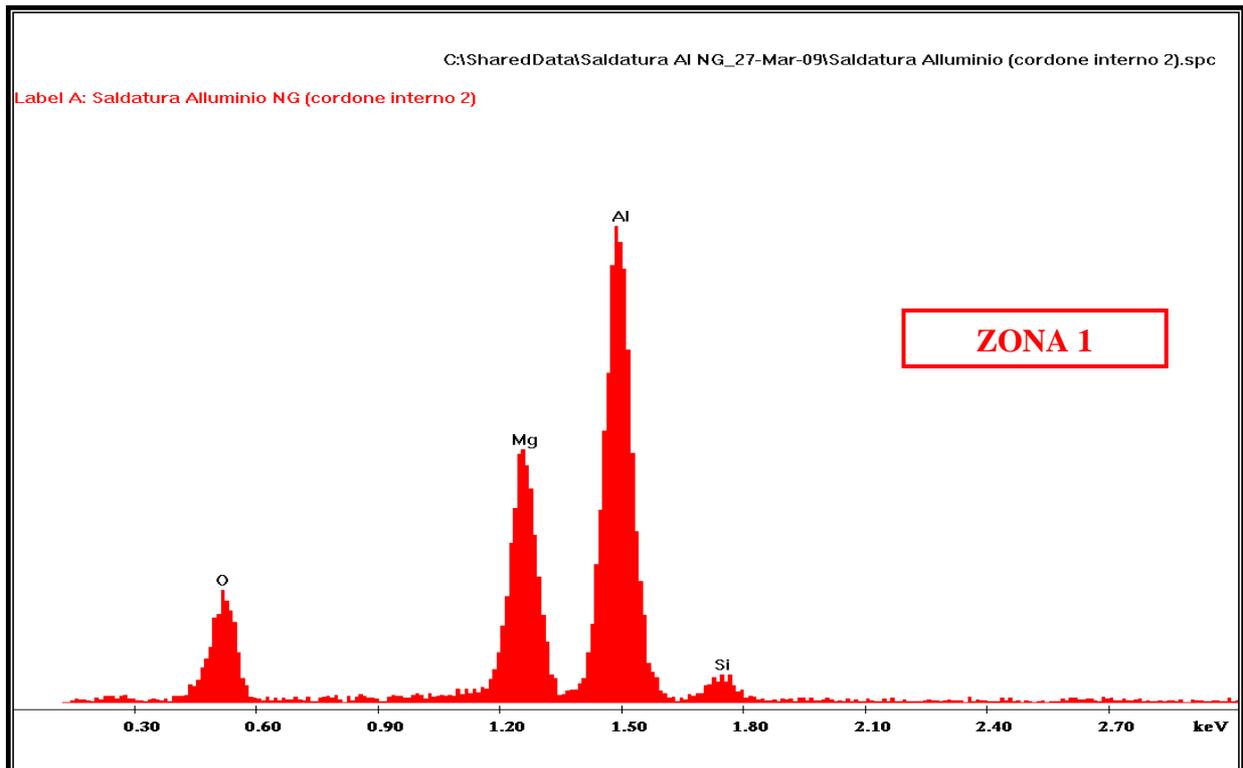


Figura 6.15 – Spettroscopia effettuata sulla zona 1.

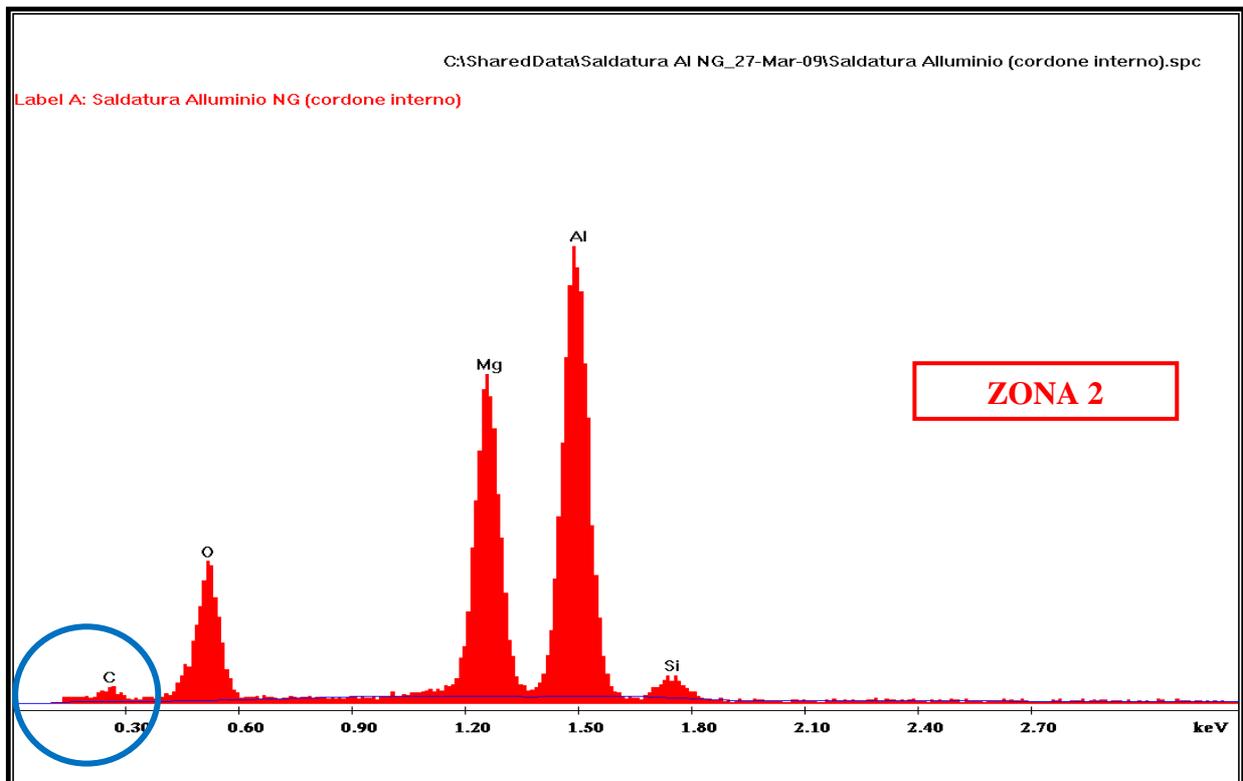


Figura 6.16 – Spettroscopia effettuata sulla zona 2.

La presenza di carbonio nella saldatura può essere imputabile a:

- presenza sulla superficie di agenti contaminanti (olio delle lavorazioni meccaniche, liquido pulente);
- aumento di temperatura dovuta a impurità nel metallo d'apporto;
- picchi di temperatura durante la saldatura, imputabili al robot o all'operatore.

Per cui per evitare tale aspetto, è importante controllare la pulizia delle superfici da saldare, effettuare costantemente controlli sul materiale d'apporto utilizzato, e riverificare e settare nuovamente i parametri delle macchine.

## 6.3 Analisi del problema

Per lo studio della problematica presentata si procederà innanzitutto con la stesura di un diagramma causa – effetto, noto anche come diagramma a spina di pesce o diagramma di Ishikawa. Con tale schema sarà possibile determinare la soluzione del problema, analizzando *step by step* le cause in gioco.

### 6.3.1 Diagramma di Ishikawa

Per analizzare il problema presentato, si è ricorso ad un metodo introdotto per la prima volta dall'ingegnere giapponese fautore del *Total Quality*, Korou Ishikawa, dal quale prende il nome.

Noto anche come digramma a lisca di pesce, come detto in precedenza, è uno dei principali mezzi per la soluzione dei problemi di qualità, in quanto mostra le relazioni tra una caratteristica e i suoi fattori o cause. Esso è dunque la rappresentazione grafica di tutte le possibili cause relative ad un fenomeno. Può essere inteso sia come mezzo per la rappresentazione sintetica delle cause di un problema, sia come strumento per l'individuazione delle cause stesse e quindi delle soluzioni del problema.<sup>3</sup>

Il principio su cui si basa il diagramma, e che rappresenta il primo passo per la risoluzione del problema che si sta affrontando, consiste nell'identificazione delle possibile cause. Tale metodo

---

<sup>3</sup> Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management, Masaaki Imai.

permette, dunque, di rappresentare graficamente, in maniera logica e strutturata, i legami esistenti tra un effetto e i relativi perché. Lo strumento consente di analizzare in modo sistematico ed integrato le cause di un determinato evento, senza perdere di vista una visione ordinata del fenomeno considerato. La forma di rappresentazione a spina di pesce consente, inoltre, di visualizzare il fenomeno in modo semplice ed efficace, facilitando il lavoro di ricerca.

Di seguito, in figura 6.17, è riportato il diagramma di Ishikawa utilizzato per l'analisi del problema presentato in precedenza.

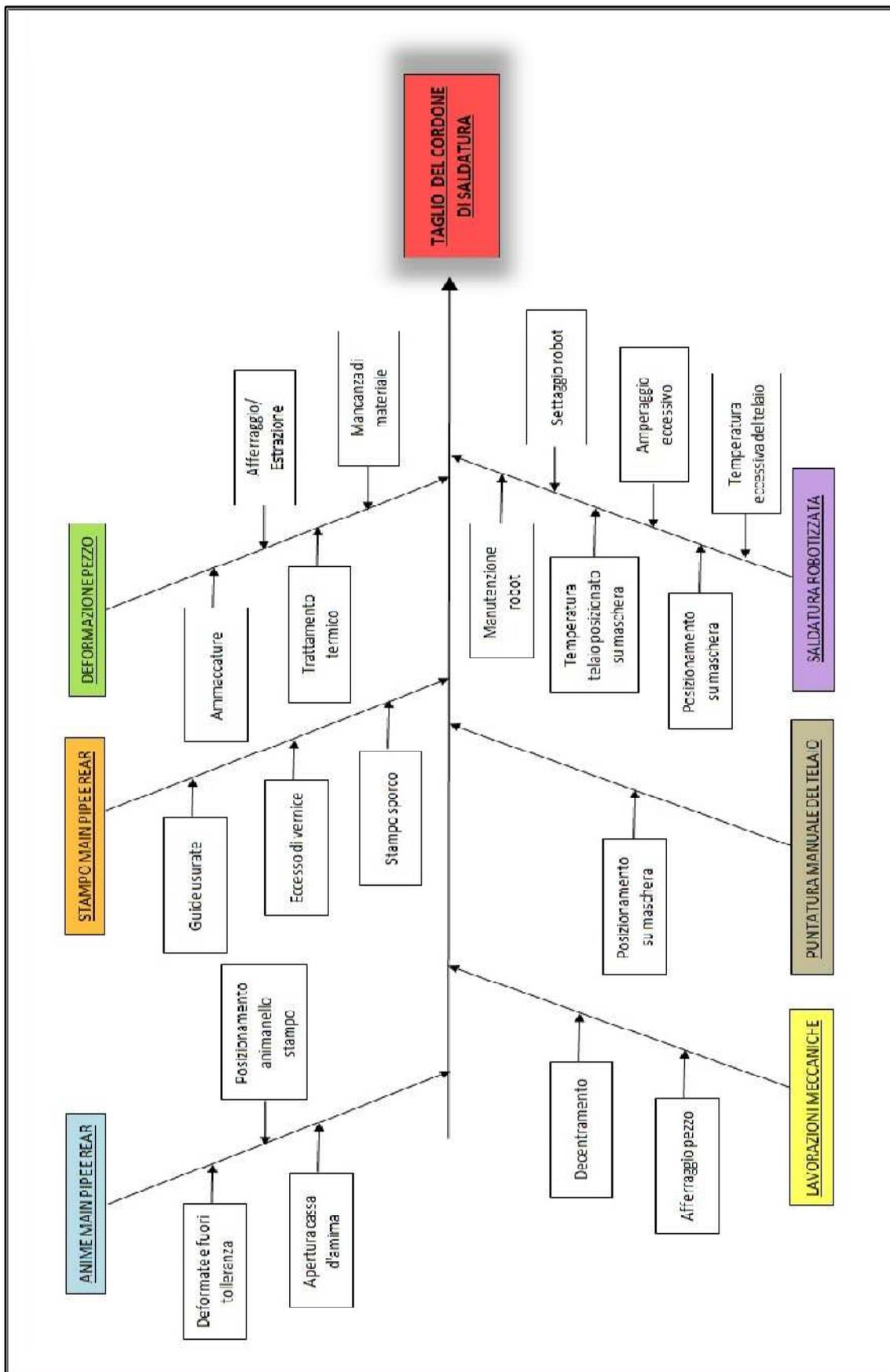


Figura 7.17 – Diagramma di Ishikawa.

Dalla visione del diagramma di Ishikawa si nota come le cause riguardano sia il processo di fusione, sia la fase di asportazione di truciolo, sia la fase di saldatura. Per tale ragione ho deciso di suddividere l'attività di studio e ricerca in tre sezioni:

1. attività svolta in fonderia
2. attività svolta nel reparto Machinig della Honda Italia
3. attività svolta nel reparto Saldatura della Honda Italia.

Per ogni sezione verranno spiegate le attività svolte e presentati i dati raccolti.

## 6.4 Attività svolta in fonderia

### 6.4.1 Tolleranze e giochi

Dalla pre – analisi effettuata in precedenza, si è constatato che la zona incriminata e sulla quale si concentrano i controlli, è la zona di accoppiamento tra *rear frame* e *main pipe*; per tanto è utile definire le dimensioni e le tolleranze previste a disegno (tabella 6.1).

<b>MAIN PIPE</b>	<b>REAR FRAME</b>
Dimensione nominale $D_n = 70,0 \text{ mm}$	Dimensione nominale $d_n = 68,2 \text{ mm}$
Dimensione massima $D_{max} = 70,8 \text{ mm}$	Dimensione massima $d_{max} = 69,0 \text{ mm}$
Dimensione minima $D_{min} = 70,0 \text{ mm}$	Dimensione minima $d_{min} = 68,2 \text{ mm}$
Scostamento superiore $ES = D_{max} - D_n = 0,8 \text{ mm}$	Scostamento superiore $es = d_{max} - d_n = 0,8 \text{ mm}$
Scostamento inferiore $EI = D_{min} - D_n = 0 \text{ mm}$	Scostamento inferiore $ei = d_{min} - d_n = 0 \text{ mm}$
Tolleranza $t = ES - EI = 0,8 \text{ mm}$	Tolleranza $t = es - ei = 0,8 \text{ mm}$

Tabella 6.1 – Dimensioni e tolleranze a disegno dei componenti *main pipe* e *rear frame*.

Dalle dimensioni riportate a disegno è chiaro come tra i diversi componenti del telaio vi sia un accoppiamento con gioco (o mobile), ossia il diametro del foro è sempre maggiore del diametro dell'albero ( $D_{min} \geq d_{max}$ ). Questo si verifica quando la zona di tolleranza albero – foro non risultano sovrapposte nemmeno parzialmente e la zona di tolleranza del foro è sempre superiore a quella dell'albero.

Definiamo ora i valori di gioco minimo ( $G_{min}$ ) e massimo ( $G_{max}$ ) per l'accoppiamento:

$$\begin{aligned} G_{min} &= D_{min} - d_{max} && \text{con: } D_{min} > d_{max} \\ &= 70,0 - 69,0 = 1,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{max} &= D_{max} - d_{min} && \text{con: } D_{max} > d_{min} \\ &= 70,8 - 68,2 = 2,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tenendo in considerazione le dimensioni e le tolleranze dei due componenti del telaio, e successivamente i giochi massimo e minimo di ogni accoppiamento, procediamo con l'analisi di un campione di *main pipe* e di *rear frame*; per un migliore studio, si effettua un'analisi dimensionale anche sulle anime dei componenti.

#### **6.4.2 Test: anima *main pipe***

Per prima cosa è stato prelevato un campione di 120 anime di *main pipe* sulle quali si è provveduto ad effettuare un controllo dimensionale della zona corrispondente alla superficie d'accoppiamento (figura 6.18). Su ogni anima è riportato il numero della cassa d'anima di produzione (cassa d'anima 1, cassa d'anima 2, cassa d'anima 3).

Il campione risulta così composto:

- 40 anime della cassa d'anima 1
- 40 anime della cassa d'anima 2
- 40 anime della cassa d'anima 3.

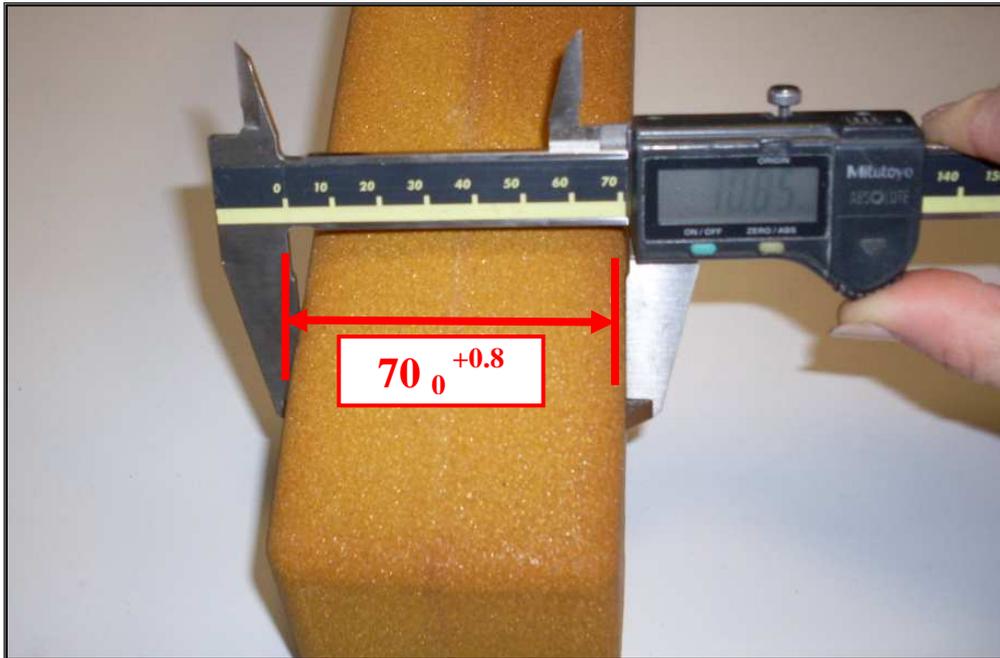


Figura 6.18 – Misurazione dell'anima *main pipe* in corrispondenza della zona d'accoppiamento.

Considerando la tabella 6.1, sopra riportata, il *range* di tolleranza ( $r_T$ ) per le anime del *main pipe* risulta essere:

$$70,0 \text{ mm} \leq r_T \leq 70,8 \text{ mm}$$

Le misure, effettuate con il calibro nella zona corrispondente alla sezione di accoppiamento del pezzo (figura 6.18), sono riportate in tabella 6.2 e suddivise in base al numero della cassa d'anima.

	QUOTA RILEVATA [mm]	Δ TOLL. [mm]		QUOTA RILEVATA [mm]	Δ TOLL. [mm]		QUOTA RILEVATA [mm]	Δ TOLL. [mm]
	70,60	0,20		70,76	0,04		70,69	0,11
	70,60	0,20		70,71	0,09		70,68	0,12
	70,60	0,20		70,71	0,09		70,66	0,14
	70,61	0,19		70,74	0,06		70,58	0,22
	70,54	0,26		70,76	0,04		70,77	0,03
	70,55	0,25		70,76	0,04		70,59	0,21
	70,54	0,26		70,71	0,09		70,73	0,07
	70,56	0,24		70,67	0,13		70,70	0,10
	70,59	0,21		70,72	0,08		70,57	0,23
	70,52	0,28		70,71	0,09		70,59	0,21
	70,57	0,23		70,68	0,12		70,61	0,19
	70,53	0,27		70,68	0,12		70,61	0,19
	70,55	0,25		70,68	0,12		70,61	0,19
	70,56	0,24		70,71	0,09		70,64	0,16
	70,59	0,21		70,74	0,06		70,63	0,17
	70,54	0,26		70,68	0,12		70,67	0,13
	70,58	0,22		70,68	0,12		70,65	0,15
	70,54	0,26		70,70	0,10		70,64	0,16
	70,58	0,22		70,76	0,04		70,63	0,17
<u>Cassa</u>	70,63	0,17	<u>Cassa</u>	70,69	0,11	<u>Cassa</u>	70,58	0,22
<u>d'anima 1</u>	70,58	0,22	<u>d'anima 2</u>	70,63	0,17	<u>d'anima 3</u>	70,61	0,19
	70,60	0,20		70,65	0,15		70,67	0,13
	70,56	0,24		70,75	0,05		70,68	0,12
	70,57	0,23		70,70	0,10		70,67	0,13
	70,68	0,12		70,72	0,08		70,61	0,19
	70,57	0,23		70,68	0,12		70,72	0,08
	70,56	0,24		70,70	0,10		70,66	0,14
	70,57	0,23		70,72	0,08		70,64	0,16
	70,63	0,17		70,75	0,05		70,72	0,08
	70,60	0,20		70,71	0,09		70,73	0,07
	70,66	0,14		70,73	0,07		70,80	0,00
	70,65	0,15		70,72	0,08		70,67	0,13
	70,64	0,16		70,81	-0,01		70,73	0,07
	70,68	0,12		70,76	0,04		70,66	0,14
	70,62	0,18		70,74	0,06		70,74	0,06
	70,56	0,24		70,77	0,03		70,58	0,22
	70,63	0,17		70,76	0,04		70,60	0,20
	70,58	0,22		70,76	0,04		70,60	0,20
	70,61	0,19		70,80	0,00		70,62	0,18
	70,58	0,22		70,68	0,12		70,74	0,06

Tabella 6.2 – Misure effettuate sulle anime del *main pipe*.

Effettuiamo una distribuzione gaussiana dei dati raccolti per ognuno dei tre campioni di anime considerate (figura 6.19).

Sul grafico è evidenziato il *range* di tolleranza dell'anima. Come si nota, le gaussiane appaiono tutte spostate verso il limite superiore, per cui le anime risultano anche più grandi del dovuto, con la relativa conseguenza di avere i *main pipe* più larghi e accoppiamenti caratterizzati da un maggiore *gap*.

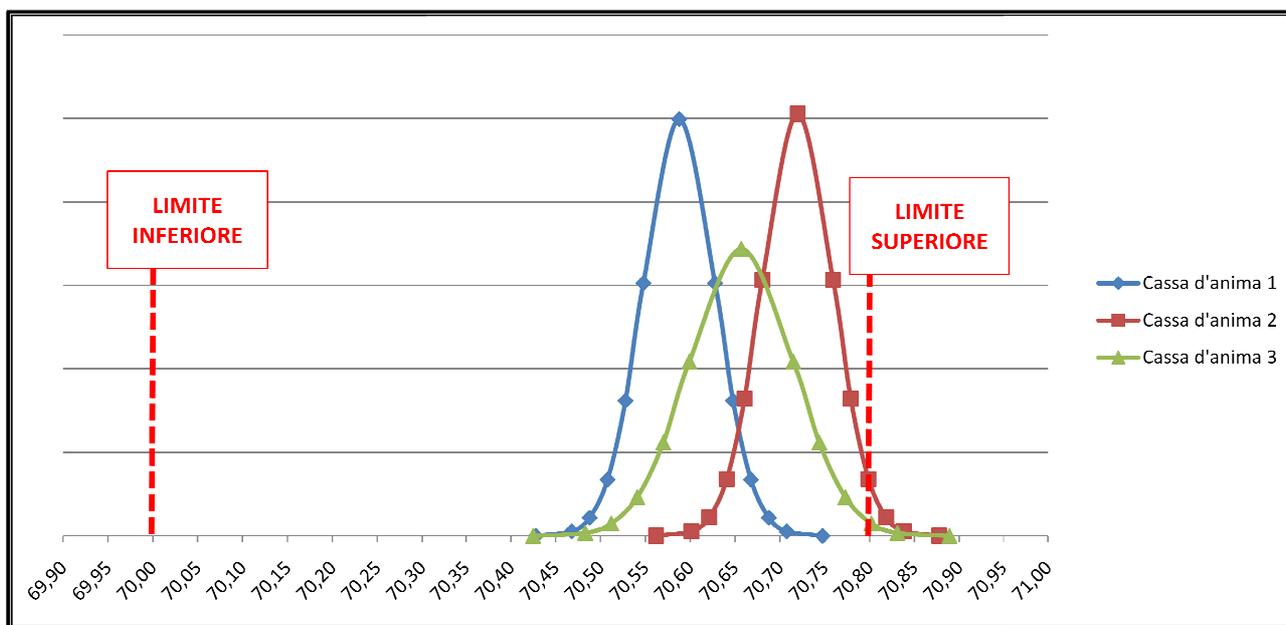


Figura 6.19 – Gaussiana delle anime *main pipe*.

Osservando le gaussiane di figura 6.19, si nota che la distanza tra le medie delle tre distribuzioni e il comune valore *target* determina, per due di esse, una porzione di area al di fuori del limite superiore di specificazione (limiti fissati su indicazioni derivanti dal progetto, si differenziano dai limiti di tolleranza naturali che dipendono dalle caratteristiche intrinseche del processo). Questo sta ad evidenziare la scarsa capacità di processo.

Il termine capacità di processo indica l'abilità a produrre elementi conformi alle specifiche. L'analisi della capacità dei processi (*Process Capability Analysis*) è un insieme di attività che, utilizzando tecniche statistiche, consente di quantificare la capacità e fornisce indicazioni per eventuali interventi migliorativi sul processo stesso. Essa è espressa mediante la formula:

$$C_p = \frac{UTL - LTL}{6\sigma}$$

Dove: UTL è il limite superiore di tolleranza

LTL è il limite inferiore di tolleranza

$\sigma$  è lo scarto quadratico medio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}}$$

L'indice  $C_p$  confronta l'ampiezza dell'intervallo di conformità, cioè la dispersione ammissibile per il processo (numeratore), con la variabilità naturale del processo rappresentata dal valore  $6\sigma$ , detta anche Tolleranza Naturale (denominatore). A questo proposito è importante dire che, la grandezza  $6\sigma$  è considerata una misura della cosiddetta variabilità naturale del processo. Per una distribuzione normale, l'intervallo compreso fra i limiti naturali di tolleranza del processo ( $\mu \pm 3\sigma$ , dove  $\mu$  indica la media) include il 99,73% dei valori della variabile  $X$  e, in corrispondenza, si ha lo 0,27% di valori esterni. Questa misura di variabilità naturale si è dimostrata, nella pratica, particolarmente efficace nella costruzione di indici e misure per il monitoraggio del processo. Infatti processi che sono inferiori alla soglia di conformità del 99,73%, sono da ritenersi poco capaci.<sup>4</sup>

Per cui, se l'intervallo di specificazione è maggiore di  $6\sigma$  (ovvero se l'indice  $C_p > 1$ ) significa che, mediamente, si producono meno del 2,7% di pezzi non conformi e cioè che il processo è *capable*.

Poiché  $C_p$  controlla solo la dispersione del processo, senza fornire alcuna informazione sulla sua centratura, si introduce l'indice  $C_{pk}$ , che tiene conto anche del grado di 'centratura' del processo rispetto al valore obiettivo:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LTL}{3\sigma}; \frac{UTL - \mu}{3\sigma} \right\}$$

dove  $\mu$  è la media

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

È interessante notare che  $C_p$  e  $C_{pk}$  sono legati dalla seguente relazione:

$$C_{pk} = (1 - k) * C_p, \quad 0 \leq k \leq 1$$

$$\text{dove: } k = \frac{|0,5 * (UTL + LTL) - \mu|}{0,5 * (UTL - LTL)}$$

<sup>4</sup> M. Scagliarini, *Indici di capacità*. Serie strumenti per la didattica 1998, n.3, Dipartimento di Scienze Statistiche "Paolo Fortunati", Università degli studi di Bologna.

Come si può facilmente notare, se la media è centrata rispetto ai limiti di specificazione, ossia se il valore *target* è  $T = (LTL + UTL)/2$ , allora  $k = 0$  e i due indici  $C_p$  e  $C_{pk}$  coincidono. Se ciò non accade è da preferire il calcolo del  $C_{pk}$  che tiene conto anche della distanza della media dal valore *target*, che è centrato rispetto ai limiti di specificazione. Anche per il  $C_{pk}$  il valore 1 separa situazioni di cattiva prestazione (inferiori a 1) da quelle di buona prestazione del processo.

Nel caso esaminato, tali indici risultano (tabella 6.3):

	STAMPO ANIMA 1	STAMPO ANIMA 2	STAMPO ANIMA 3
$C_p$	3,34	3,38	2,30
$C_{pk}$	-13,24	-14,53	-9,52

Tabella 6.3 – Calcolo degli indici di processo.

Pur avendo una buona situazione relativamente alla variabilità del processo ( $C_p > 1,33$ ), il valore  $C_{pk} < 1,33$  segnala una cattiva capacità di processo, per cui nel complesso non risulta capace. Questo è da attribuire soprattutto alla non centratura della media rispetto all'intervallo di conformità, ossia la media è lontana dal valore *target*, mentre la varianza appare adeguatamente bassa ( $C_p > 1,33$ ). Un miglioramento potrà pertanto essere realizzato variando il valore della deviazione standard ( $\sigma$ ) in modo da avvicinarlo al valore *target*.

### 6.4.3 Test: *main pipe*

Per lo studio del *main pipe* si effettuano due tipi di test:

- 1) controllo della sezione di accoppiamento (larghezza interna);
- 2) controllo dell'eventuale deformazione;
- 3) controllo tridimensionale automatizzato (**CTR**).

I primi due sono eseguiti sia prima che dopo il trattamento termico di tempra e invecchiamento, al fine di individuare possibili problemi di distorsioni dovuti al posizionamento dei pezzi nelle ceste. Il CTR invece è effettuato solo dopo la fase di trattamento, con l'unico scopo di verificare l'effettiva rispondenza dei pezzi alla matematica di progetto, ossia per capire se le geometrie dei componenti rispettano le tolleranze dimensionali forniteci dalle specifiche.

I primi due controlli sono effettuati su un campione di 75 *main pipe* suddiviso in base al numero dello stampo dell'anima (anima 1, anima 2 e anima 3), e così composto:

- 25 *main pipe* di anima 1;
- 25 *main pipe* di anima 2;
- 25 *main pipe* di anima 3.

Il CTR invece è effettuato solo su due dei pezzi campione sopra considerati.

### 1) Controllo della sezione di accoppiamento

Per mezzo di un calibro si verifica la dimensione della sezione interna dell'accoppiamento maschio – femmina (figura 6.20); la quale dopo il trattamento termico deve essere compresa nel seguente *range* di tolleranza naturale ( $r_T$ ):

$$70,0 \text{ mm} \leq r_T \leq 70,8 \text{ mm.}$$



Figura 6.20 – Misurazione del *main pipe* in corrispondenza della sezione di accoppiamento.

Nella tabella 6.4 si riportano i dati raccolti durante la misurazione e suddivisi in base al campione considerato.

	TRATTAMENTO TERMICO			TRATTAMENTO TERMICO			TRATTAMENTO TERMICO	
	Prima [mm]	Dopo [mm]		Prima [mm]	Dopo [mm]		Prima [mm]	Dopo [mm]
<u>Anima 1</u>	70,14	70,32	<u>Anima 2</u>	70,36	70,62	<u>Anima 3</u>	70,33	70,50
	70,04	70,28		70,45	70,65		70,39	70,63
	70,19	70,47		70,57	70,82		70,35	70,57
	70,05	70,32		70,44	70,50		70,20	70,69
	70,06	70,28		70,31	70,43		70,33	70,25
	70,20	70,53		70,39	70,66		70,20	70,41
	70,44	70,85		70,18	70,36		70,46	70,56
	70,20	70,56		70,43	70,81		70,35	70,66
	70,53	70,84		70,45	70,63		70,49	70,44
	70,24	70,57		70,65	70,98		70,32	70,67
	70,15	70,46		70,47	70,71		70,27	70,52
	70,24	70,50		70,31	70,72		70,40	70,57
	70,14	70,52		70,37	70,60		69,96	70,26
	70,20	70,45		70,34	70,56		70,40	70,62
	70,30	70,59		70,68	70,85		70,26	70,64
	70,23	70,60		70,27	70,68		70,21	70,53
	70,18	70,48		70,19	70,35		70,52	70,84
	70,17	70,54		70,37	70,64		70,45	70,74
	70,11	70,53		70,15	70,47		70,27	70,67
	70,16	70,46		70,52	70,97		70,26	70,60
70,40	70,78	70,32	70,63	70,41	70,70			
70,18	70,51	70,25	70,72	70,15	70,41			
70,18	70,61	70,25	70,56	70,47	70,92			
70,22	70,54	70,35	70,62	70,32	70,66			
70,26	70,63	70,16	70,46	70,46	70,53			

Tabella 6.4 – Misure effettuate sui componenti *main pipe*.

Dai dati raccolti si effettua una distribuzione di Gauss per ogni anima considerata (figura 6.21, 6.22, 6.23).

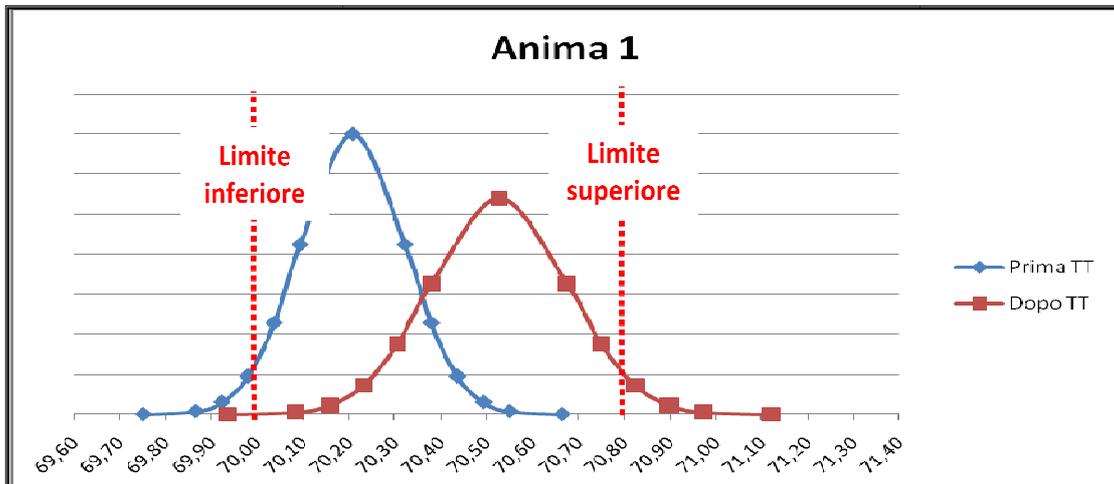


Figura 6.21 – Gaussiana dell'anima 1 prima e dopo il trattamento termico.

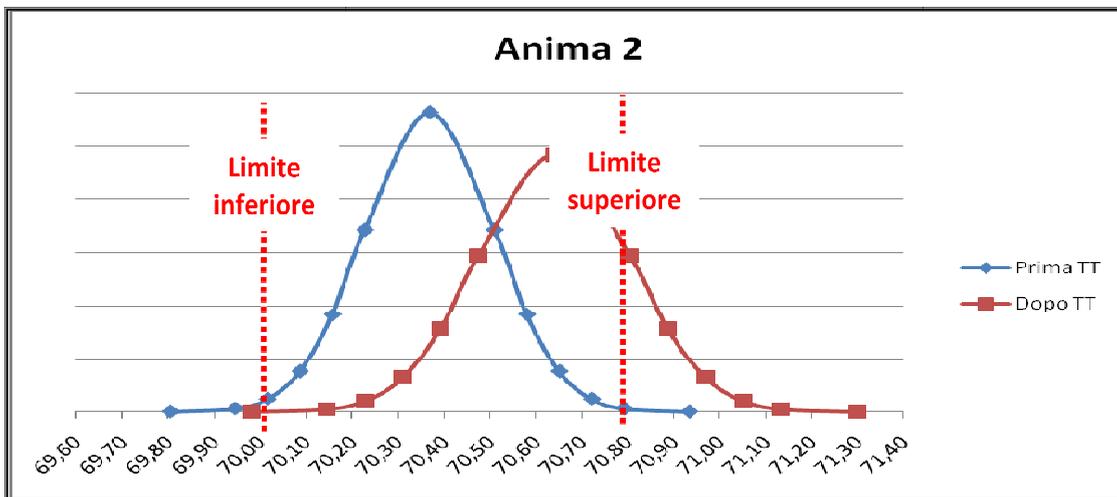


Figura 6.22 – Gaussiana dell'anima 2 prima e dopo il trattamento termico.

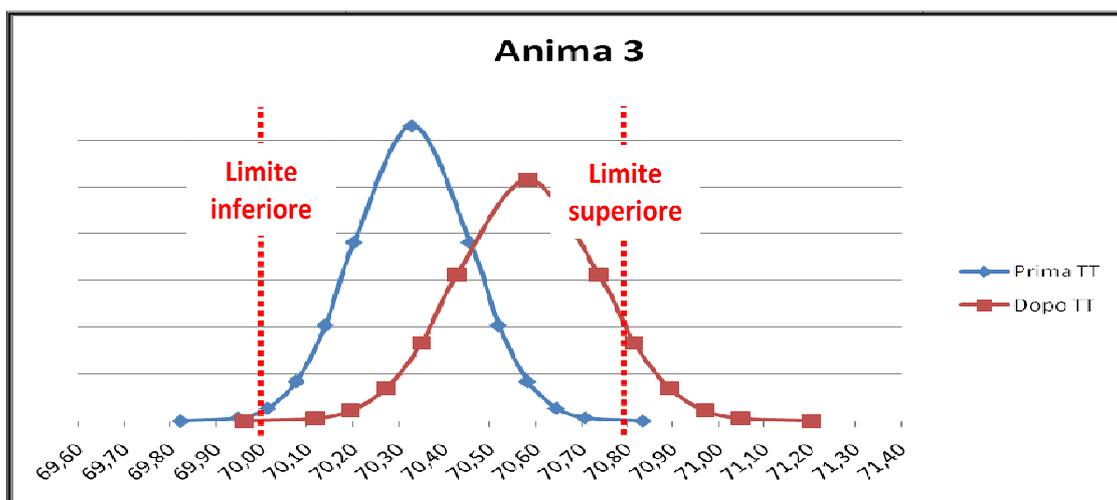


Figura 6.14 – Gaussiana dell'anima 3 prima e dopo il trattamento termico.

Come si nota dalle distribuzioni di Gauss, in seguito al trattamento termico, la sezione di accoppiamento del *main pipe* subisce un'aumento, che risulta essere maggiore del *range* di tolleranza ammissibile.

Anche in questo caso, come per le anime del main pipe, si nota che la distanza tra la media delle distribuzioni dei componenti dopo il trattamento termico e il valore *target*, determina un'elevata porzione di area al di fuori del limite superiore di specificazione. Dal calcolo delle capacità di processo (tabella 6.5) si osserva che gli indici del potenziale di processo ( $C_p$ ) e di prestazione ( $C_{pk}$ ) sono minori dei loro valori *target*. Ciò sta a significare, rispettivamente, che il processo non è né variabile né capace. Per cui si potrà avere un miglioramento abbassando sia il valore medio, sia il valore di deviazione standard.

	ANIMA 1		ANIMA 2		ANIMA 3	
	Prima	Dopo	Prima	Dopo	Prima	Dopo
$C_p$	1,17	0,90	0,94	0,16	1,05	0,86
$C_{pk}$	0,61	0,61	0,87	0,32	0,87	0,47

Tabella 6.5 – Calcolo degli indici di processo.

## 2) Controllo superficie laterale

Effettuato il controllo su maschera di ogni singolo componente (figura 6.24), sul lato sinistro del pezzo (facendo finta di essere seduti sul telaio), in cui sono riportati i dati di rintracciabilità, si individuano quattro punti (P1 in corrispondenza della zona d'accoppiamento *front frame – main pipe*, P2 e P3 nella parte centrale, P4 nella zona di accoppiamento *main pipe – rear frame*), in corrispondenza dei quali, per mezzo di un altimetro digitale, viene eseguita la misurazione necessaria a verificare l'eventuale deformazione del componente (figura 6.25, 6.26). È importante precisare che per la buona riuscita del test, si è provveduto a sistemare i vari componenti su degli appoggi calibrati.



Figura 6.24 – Controllo *main pipe* su maschera



Figura 6.25 – Punti misurati sul campione di *main pipe*.



Figura 6.26 – Misure effettuate con altimetro sulla superficie laterale.

Di seguito è riportata la tabella 6.6 contenente i dati raccolti prima della fase di trattamento termico. Per convenzione, nella tabella sono calcolate le deformazioni di ogni singolo componente rispetto al proprio punto P1 (considerato come lo zero di ogni pezzo). Per ogni punto di misurazione (P2, P3, P4) sono inoltre evidenziate e riportate in grafico (figura 6.27) le maggiori deformazioni per ogni punto.

		PRIMA DEL TRATTAMENTO TERMICO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 1	1	80,04	80,00	79,84	79,97	0,00	-0,04	-0,20	-0,07
	2	80,03	80,01	79,94	80,29	0,00	-0,02	-0,09	0,26
	3	80,37	80,27	80,16	80,15	0,00	-0,10	-0,21	-0,22
	4	80,36	80,23	80,11	80,24	0,00	-0,13	-0,25	-0,12
	5	80,34	80,30	80,11	80,43	0,00	-0,04	-0,23	0,09
	6	79,79	79,87	79,84	79,96	0,00	0,08	0,05	0,17
	7	80,71	80,53	80,35	80,29	0,00	-0,18	-0,36	-0,42
	8	80,43	80,15	80,01	79,95	0,00	-0,28	-0,42	-0,48
	9	80,32	80,20	80,09	80,24	0,00	-0,12	-0,23	-0,08
	10	80,46	80,29	80,19	80,15	0,00	-0,17	-0,27	-0,31
	11	80,18	80,13	79,99	80,12	0,00	-0,05	-0,19	-0,06
	12	80,32	80,21	80,05	80,32	0,00	-0,11	-0,27	0,00
	13	80,57	80,35	80,15	80,33	0,00	-0,22	-0,42	-0,24
	14	80,21	80,19	80,07	80,15	0,00	-0,02	-0,14	-0,06
	15	80,45	80,27	80,12	80,29	0,00	-0,18	-0,33	-0,16
	16	80,36	80,31	80,19	80,24	0,00	-0,05	-0,17	-0,12
	17	80,28	80,19	80,13	80,26	0,00	-0,09	-0,15	-0,02
	18	80,35	80,31	80,17	80,32	0,00	-0,04	-0,18	-0,03
	19	80,49	80,18	80,05	80,33	0,00	-0,31	-0,44	-0,16
	20	80,46	80,52	80,14	80,21	0,00	0,06	-0,32	-0,25
	21	80,36	80,17	80,04	80,24	0,00	-0,19	-0,32	-0,12
	22	80,34	80,21	80,01	80,26	0,00	-0,13	-0,33	-0,08
	23	80,36	80,20	80,07	80,07	0,00	-0,16	-0,29	-0,29
	24	80,22	79,97	79,89	79,98	0,00	-0,25	-0,33	-0,24
	25	80,16	80,10	79,95	80,04	0,00	-0,06	-0,21	-0,12

Tabella 6.6 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 1, effettuate prima del trattamento termico.

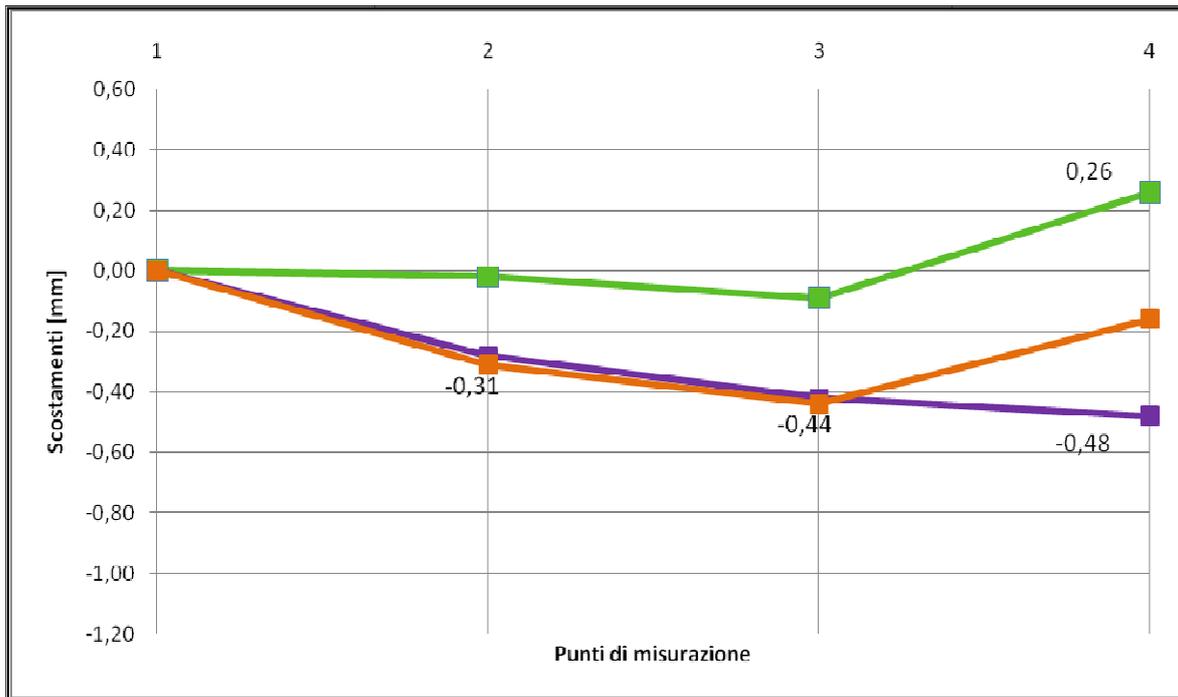


Figura 6.27 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 1, prima del trattamento termico.

Eseguito il trattamento termico, sugli stessi pezzi vengono raccolte le misure come in precedenza (tabella 6.7), evidenziate le maggiori deformazioni che si hanno per ogni punto, e rappresentate nel grafico di figura 6.28.

		DOPO IL TRATTAMENTO TERMICO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 1	1	80,17	80,03	79,92	79,77	0,00	-0,14	-0,25	-0,40
	2	80,10	80,00	79,94	80,23	0,00	-0,10	-0,16	0,13
	3	80,48	80,41	80,16	80,61	0,00	-0,07	-0,32	0,13
	4	80,60	80,35	80,16	80,61	0,00	-0,25	-0,44	0,01
	5	80,40	80,26	80,13	80,20	0,00	-0,14	-0,27	-0,20
	6	79,98	79,90	79,86	79,93	0,00	-0,08	-0,12	-0,05
	7	80,34	80,34	80,11	80,42	0,00	0,00	-0,23	0,08
	8	80,54	80,25	80,12	80,01	0,00	-0,29	-0,42	-0,53
	9	80,26	80,19	80,09	80,03	0,00	-0,07	-0,17	-0,23
	10	80,54	80,31	80,17	80,27	0,00	-0,23	-0,37	-0,27
	11	80,14	80,10	79,97	80,42	0,00	-0,04	-0,17	0,28
	12	80,38	80,26	80,10	80,17	0,00	-0,12	-0,28	-0,21
	13	80,69	80,42	80,25	80,22	0,00	-0,27	-0,44	-0,47
	14	80,30	80,24	80,14	80,20	0,00	-0,06	-0,16	-0,10
	15	80,48	80,32	80,20	80,40	0,00	-0,16	-0,28	-0,08
	16	80,35	80,29	80,08	80,51	0,00	-0,06	-0,27	0,16
	17	80,36	80,28	80,23	80,41	0,00	-0,08	-0,13	0,05
	18	80,56	80,38	80,26	80,31	0,00	-0,18	-0,30	-0,25
	19	80,60	80,21	80,03	80,19	0,00	-0,39	-0,57	-0,41
	20	80,61	80,31	80,15	80,27	0,00	-0,30	-0,46	-0,34
	21	80,47	80,22	80,05	80,44	0,00	-0,25	-0,42	-0,03
	22	80,53	80,32	80,19	80,20	0,00	-0,21	-0,34	-0,33
	23	80,44	80,20	80,06	80,56	0,00	-0,24	-0,38	0,12
	24	80,20	79,89	79,78	80,06	0,00	-0,31	-0,42	-0,14
	25	80,19	80,12	79,94	80,30	0,00	-0,07	-0,25	0,11

Tabella 6.7 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 1, effettuate dopo il trattamento termico.

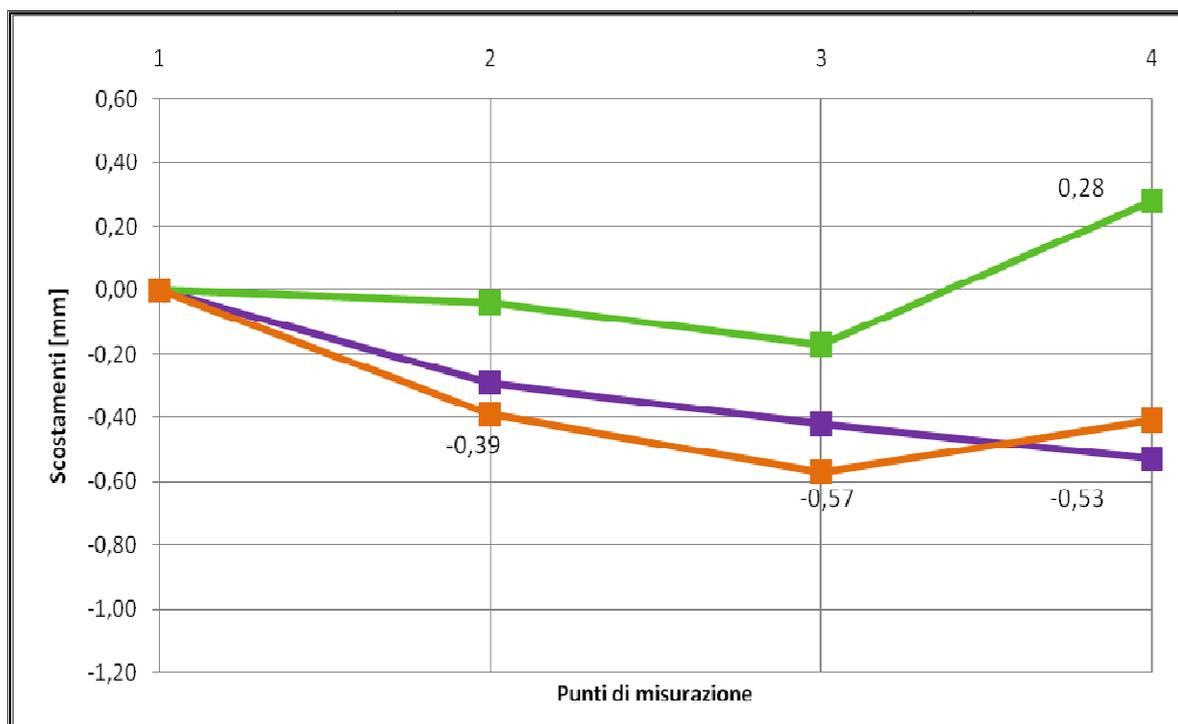


Figura 6.28 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 1, dopo il trattamento termico.

Il procedimento effettuato per i componenti di stampo di anima 1, viene ripetuto anche per quelli di stampo di anima 2 (tabella 6.8, 6.9 e figura 6.29, 6.30) e per i pezzi di stampo di anima 3 (tabella 6.10, 6.11 e figura 6.31, 6.32).

		PRIMA DEL TRATTAMENTO TERMICO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 2	1	80,15	80,07	79,95	80,23	0	-0,08	-0,20	0,08
	2	80,49	80,35	80,21	80,44	0	-0,14	-0,28	-0,05
	3	80,27	80,22	80,07	80,15	0	-0,05	-0,20	-0,12
	4	80,28	80,08	79,92	80,00	0	-0,20	-0,36	-0,28
	5	80,50	80,09	79,97	80,10	0	-0,41	-0,53	-0,40
	6	79,98	79,97	79,93	79,99	0	-0,01	-0,05	0,01
	7	80,15	80,26	80,10	80,19	0	0,11	-0,05	0,04
	8	80,51	80,27	80,14	80,21	0	-0,24	-0,37	-0,30
	9	80,71	80,31	80,19	80,20	0	-0,40	-0,52	-0,51
	10	81,07	80,49	79,94	80,59	0	-0,58	-1,13	-0,48
	11	80,02	80,07	79,92	80,37	0	0,05	-0,10	0,35
	12	80,43	80,28	80,15	80,24	0	-0,15	-0,28	-0,19
	13	80,73	80,37	80,23	80,16	0	-0,36	-0,50	-0,57
	14	80,26	80,16	80,01	80,30	0	-0,10	-0,25	0,04
	15	80,21	80,24	80,10	80,31	0	0,03	-0,11	0,10
	16	80,59	80,13	79,98	80,10	0	-0,46	-0,61	-0,49
	17	80,39	80,25	80,07	80,30	0	-0,14	-0,32	-0,09
	18	80,23	80,02	79,90	80,11	0	-0,21	-0,33	-0,12
	19	80,27	80,12	79,97	80,11	0	-0,15	-0,30	-0,16
	20	80,60	80,34	80,06	80,23	0	-0,26	-0,54	-0,37
	21	80,62	80,35	80,16	80,48	0	-0,27	-0,46	-0,14
	22	80,34	80,28	80,10	80,29	0	-0,06	-0,24	-0,05
	23	80,05	80,27	80,11	80,20	0	0,22	0,06	0,15
	24	80,26	80,09	79,81	80,02	0	-0,17	-0,45	-0,24
	25	80,55	80,30	80,13	80,19	0	-0,25	-0,42	-0,36

Tabella 6.8 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 2, effettuate prima del trattamento termico.

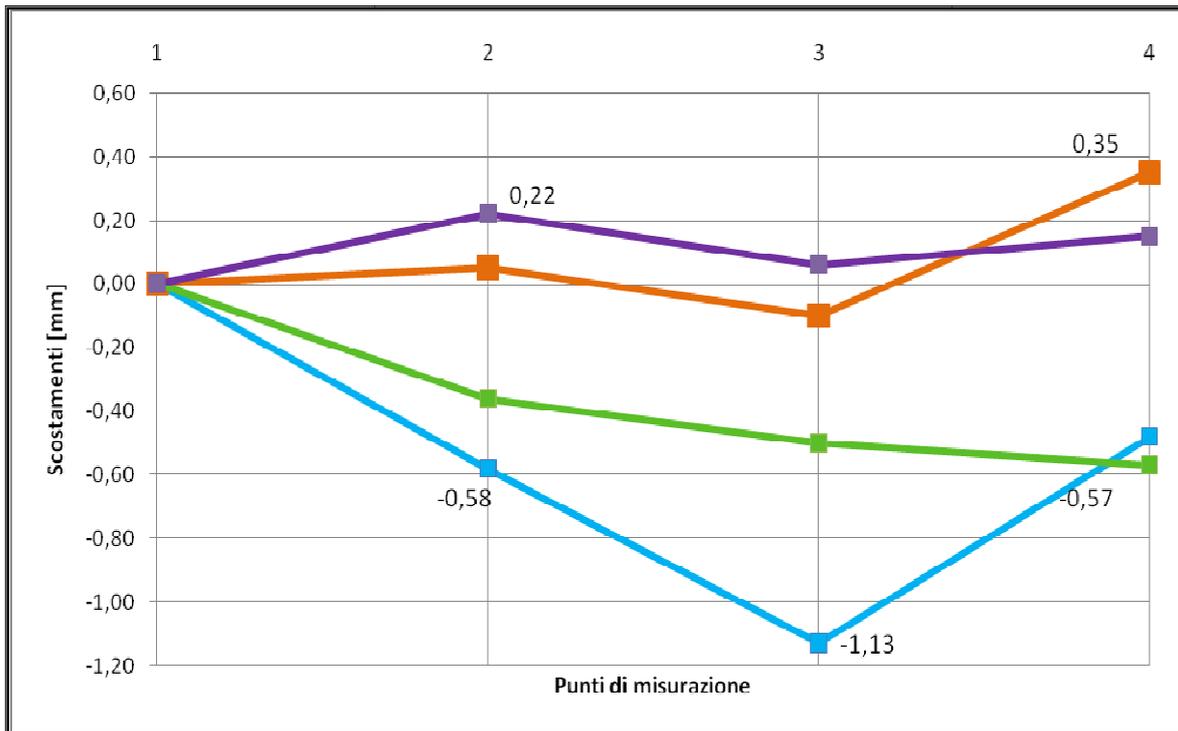


Figura 6.29 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 2, prima del trattamento termico.

		DOPO IL TRATTAMENTO TERMICO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 2	1	80,34	80,16	79,93	80,65	0	-0,18	-0,41	0,31
	2	80,48	80,36	80,17	80,64	0	-0,12	-0,31	0,16
	3	80,46	80,34	80,09	80,58	0	-0,12	-0,37	0,12
	4	80,40	80,06	79,96	80,02	0	-0,34	-0,44	-0,38
	5	80,65	80,09	79,99	80,09	0	-0,56	-0,66	-0,56
	6	80,04	79,94	79,80	80,36	0	-0,10	-0,24	0,32
	7	80,25	80,24	80,07	80,34	0	-0,01	-0,18	0,09
	8	80,47	80,20	80,07	80,29	0	-0,27	-0,40	-0,18
	9	80,55	80,28	80,14	80,30	0	-0,27	-0,41	-0,25
	10	80,28	80,08	79,90	80,26	0	-0,20	-0,38	-0,02
	11	80,17	80,10	80,01	80,25	0	-0,07	-0,16	0,08
	12	80,55	80,31	80,21	80,27	0	-0,24	-0,34	-0,28
	13	80,82	80,35	80,10	80,34	0	-0,47	-0,72	-0,48
	14	80,31	80,19	80,04	80,21	0	-0,12	-0,27	-0,10
	15	80,35	80,27	80,04	80,64	0	-0,08	-0,31	0,29
	16	80,63	80,15	80,03	80,13	0	-0,48	-0,60	-0,50
	17	80,40	80,29	80,02	80,35	0	-0,11	-0,38	-0,05
	18	80,21	79,97	79,89	80,05	0	-0,24	-0,32	-0,16
	19	80,23	80,13	79,96	80,13	0	-0,10	-0,27	-0,10
	20	80,49	80,25	80,09	80,27	0	-0,24	-0,40	-0,22
	21	80,60	80,36	80,20	80,45	0	-0,24	-0,40	-0,15
	22	80,69	80,47	80,22	80,29	0	-0,22	-0,47	-0,40
	23	80,48	80,24	80,07	80,35	0	-0,24	-0,41	-0,13
	24	80,31	80,07	79,79	79,99	0	-0,24	-0,52	-0,32
	25	80,61	80,31	80,16	80,40	0	-0,30	-0,45	-0,21

Tabella 6.9 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 2, effettuate dopo il trattamento termico.

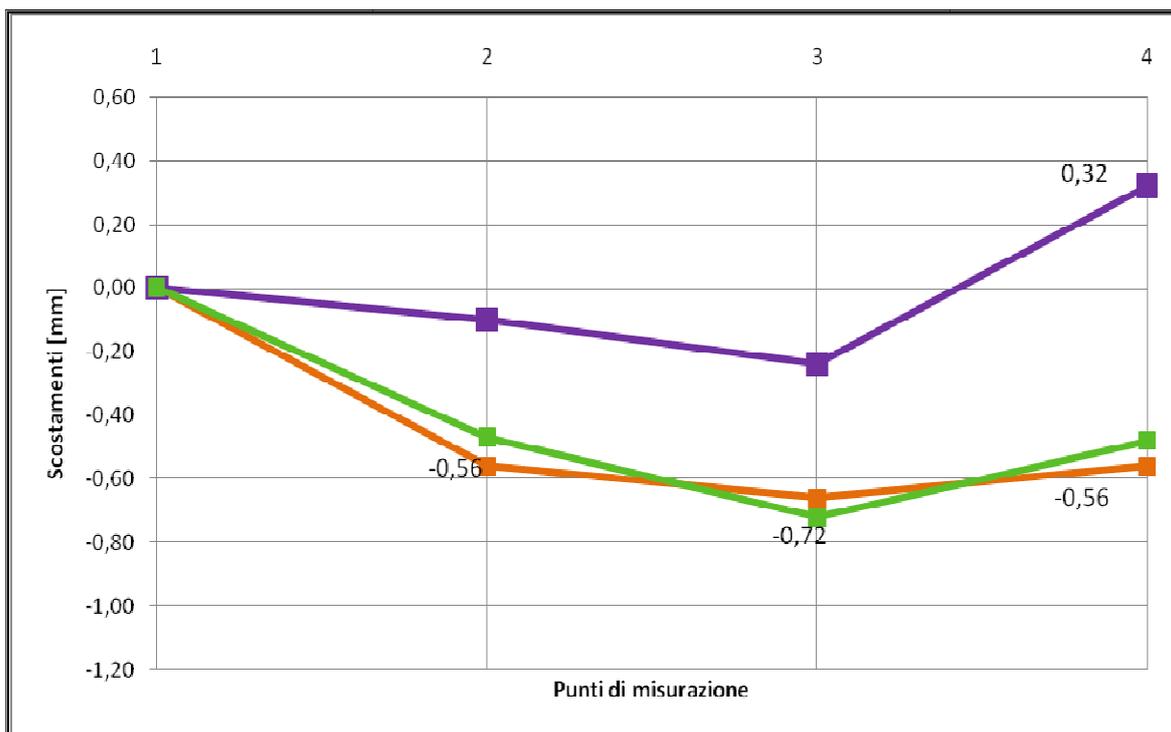


Figura 6.30 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 2, dopo il trattamento termico.

		PRIMA DEL TRATTAMENTO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 3	1	80,22	80,26	80,12	80,23	0	0,04	-0,10	0,01
	2	80,27	80,28	80,00	80,22	0	0,01	-0,27	-0,05
	3	80,52	80,41	80,16	80,19	0	-0,11	-0,36	-0,33
	4	80,31	80,23	80,06	80,42	0	-0,08	-0,25	0,11
	5	80,18	80,12	79,98	80,15	0	-0,06	-0,20	-0,03
	6	80,23	80,15	80,04	80,12	0	-0,08	-0,19	-0,11
	7	80,24	80,16	80,04	80,16	0	-0,08	-0,20	-0,08
	8	80,49	80,32	80,17	80,23	0	-0,17	-0,32	-0,26
	9	80,18	80,15	79,99	80,04	0	-0,03	-0,19	-0,14
	10	80,44	80,18	80,00	80,08	0	-0,26	-0,44	-0,36
	11	80,21	80,24	80,07	80,15	0	0,03	-0,14	-0,06
	12	80,22	80,24	80,06	80,16	0	0,02	-0,16	-0,06
	13	80,83	80,46	80,29	80,09	0	-0,37	-0,54	-0,74
	14	80,44	80,10	80,02	80,21	0	-0,34	-0,42	-0,23
	15	80,33	80,04	79,88	79,98	0	-0,29	-0,45	-0,35
	16	80,09	79,91	79,72	80,12	0	-0,18	-0,37	0,03
	17	80,32	80,23	80,10	80,18	0	-0,09	-0,22	-0,14
	18	80,26	80,17	80,00	80,38	0	-0,09	-0,26	0,12
	19	80,49	80,40	80,22	80,07	0	-0,09	-0,27	-0,42
	20	80,15	80,10	79,95	80,09	0	-0,05	-0,20	-0,06
	21	80,26	80,17	80,12	80,15	0	-0,09	-0,14	-0,11
	22	80,43	80,21	80,08	80,24	0	-0,22	-0,35	-0,19
	23	80,61	80,22	80,12	80,22	0	-0,39	-0,49	-0,39
	24	80,07	79,98	79,81	80,15	0	-0,09	-0,26	0,08
	25	79,69	79,90	79,75	80,06	0	0,21	0,06	0,37

Tabella 6.10 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 3, effettuate prima del trattamento termico.

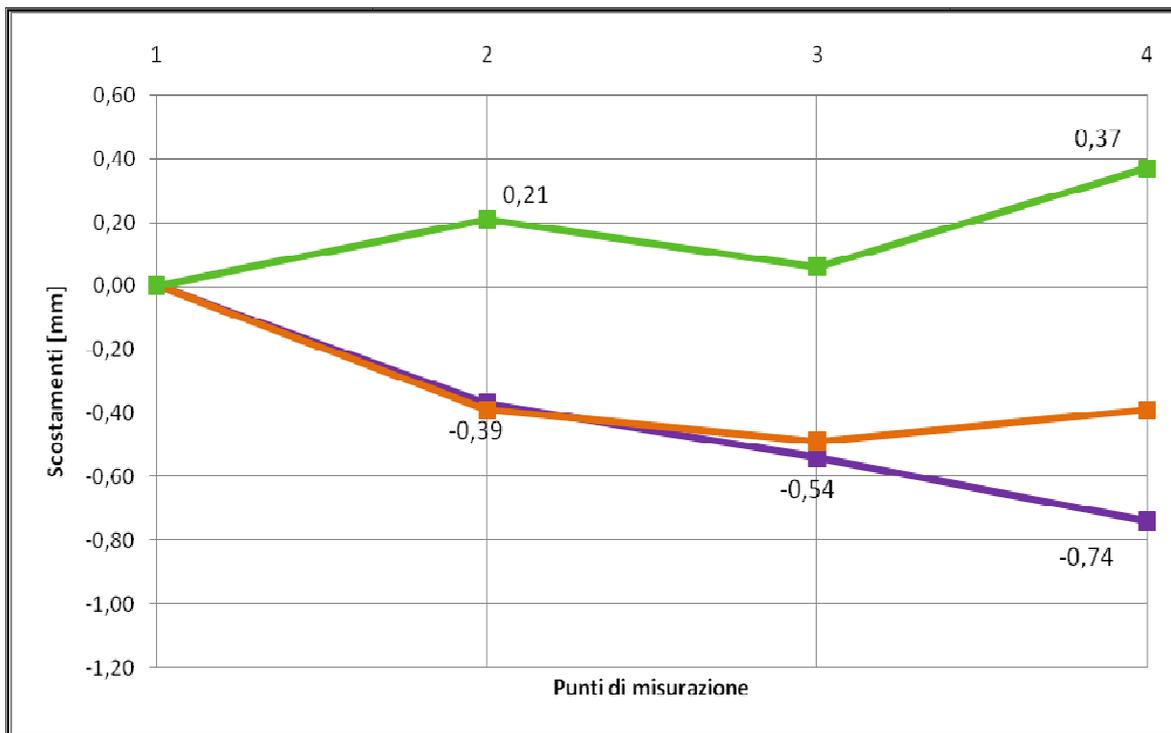


Figura 6.31 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 3, prima del trattamento termico.

		DOPO IL TRATTAMENTO							
NUMERO PEZZO		PUNTI MISURATI [mm]				VARIAZIONI RISPETTO A P1 [mm]			
		P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Anima 3	1	80,30	80,17	79,97	80,54	0	-0,13	-0,33	0,24
	2	80,24	80,32	79,97	80,47	0	0,08	-0,27	0,23
	3	80,61	80,33	80,10	80,22	0	-0,28	-0,51	-0,39
	4	80,65	80,39	80,19	80,30	0	-0,26	-0,46	-0,35
	5	80,34	80,28	80,05	80,57	0	-0,06	-0,29	0,23
	6	80,37	80,23	80,05	80,54	0	-0,14	-0,32	0,17
	7	80,32	80,22	80,04	80,44	0	-0,10	-0,28	0,12
	8	80,60	80,51	80,15	80,62	0	-0,09	-0,45	0,02
	9	80,33	80,22	79,93	80,46	0	-0,11	-0,40	0,13
	10	80,58	80,23	80,02	80,18	0	-0,35	-0,56	-0,40
	11	80,62	80,35	80,17	80,24	0	-0,27	-0,45	-0,38
	12	80,31	80,32	80,2	80,19	0	0,01	-0,11	-0,12
	13	79,86	80,04	79,96	80,14	0	0,18	0,10	0,28
	14	80,13	80,13	80,04	80,23	0	0	-0,09	0,1
	15	80,48	80,11	79,96	79,98	0	-0,37	-0,52	-0,50
	16	80,11	79,83	79,71	80,19	0	-0,28	-0,40	0,08
	17	80,30	80,24	80,12	80,20	0	-0,06	-0,18	-0,10
	18	80,15	80,12	80,01	80,31	0	-0,03	-0,14	0,16
	19	80,20	80,20	80,07	80,14	0	0	-0,13	-0,06
	20	80,18	80,16	80,03	80,26	0	-0,02	-0,15	0,08
	21	80,29	80,20	80,12	80,24	0	-0,09	-0,17	-0,05
	22	80,49	80,24	80,05	80,61	0	-0,25	-0,44	0,12
	23	80,29	80,24	80,13	80,32	0	-0,05	-0,16	0,03
	24	80,12	79,96	79,80	80,17	0	-0,16	-0,32	0,05
	25	79,78	79,96	79,97	80,13	0	0,18	0,19	0,35

Tabella 6.11 – Dati sulle misure laterali del *main pipe* di stampo di anima 3, effettuate dopo il trattamento termico.

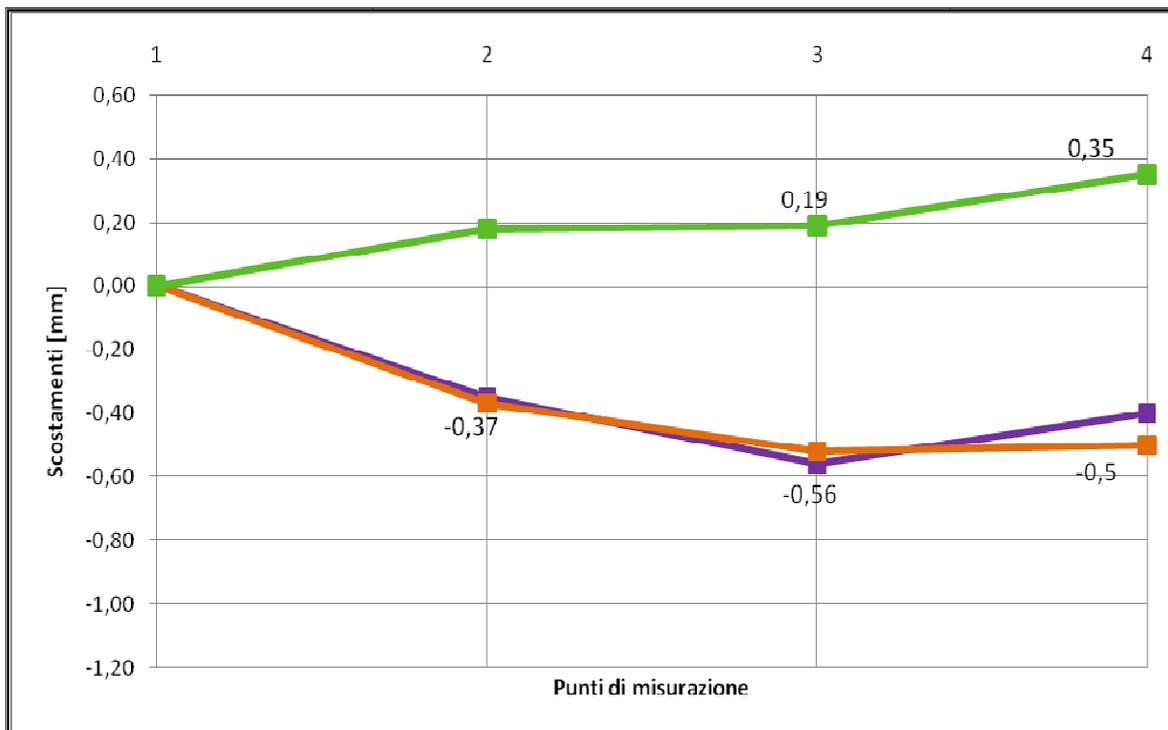


Figura 6.32 – Andamento delle deformazioni del *main pipe* di stampo di anima 3, dopo il trattamento termico.

Dal confronto dei dati raccolti nelle tabelle 6.6 , 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 si nota come i componenti *main pipe* subiscono un aumento delle deformazioni dopo la fase del trattamento termico. Tale deformazione laterale potrebbe costituire un problema nella fase di accoppiamento sulla maschera di puntatura, utilizzata nel reparto di saldatura. Tali deformazioni possono essere imputabili al posizionamento dei vari pezzi nelle ceste per il trattamento termico, che come visto in precedenza si ha in senso verticale .

### 3) Controllo tridimensionale automatizzato (CTR)

Dopo aver effettuato i test su tutti i pezzi del campione considerato, è stato eseguito il CTR, su i due componenti considerati più critici (figura 6.33, 6.34). Questo tipo di controllo, consiste essenzialmente in un metodo di misura tridimensionale delle superfici tramite l'ausilio di un puntatore automatico, che dalle misurazione delle superfici ci dà lo scostamento dalla tolleranza ammessa (figura 6.35, 6.36, 6.37) .



Figura 6.33 – Controllo CTR su componente *main pipe*.

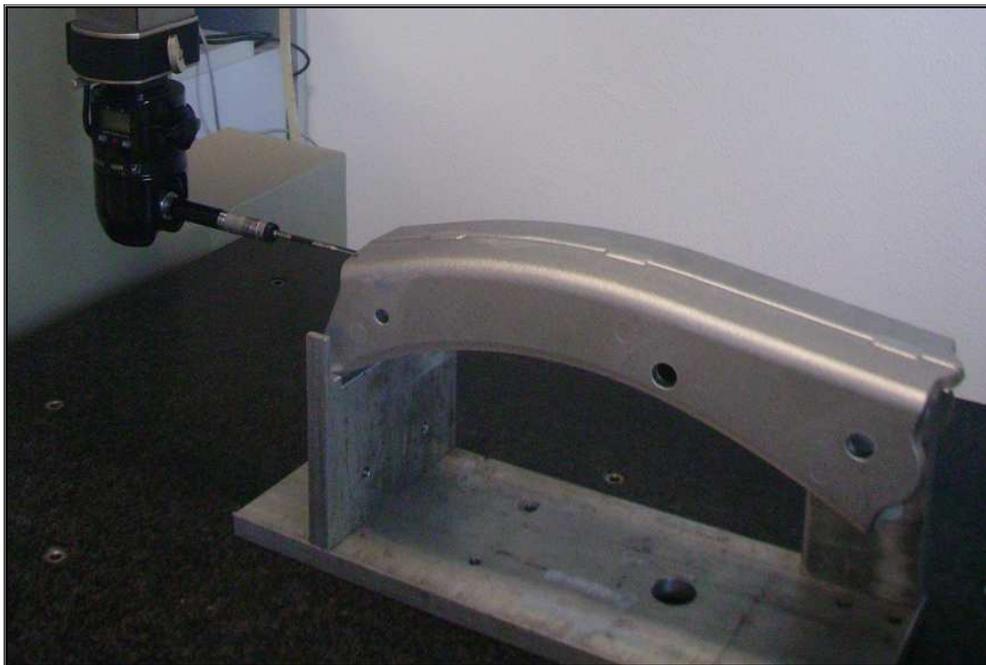


Figura 6.34 – Particolare della tastazione del puntatore sul *main pipe*.

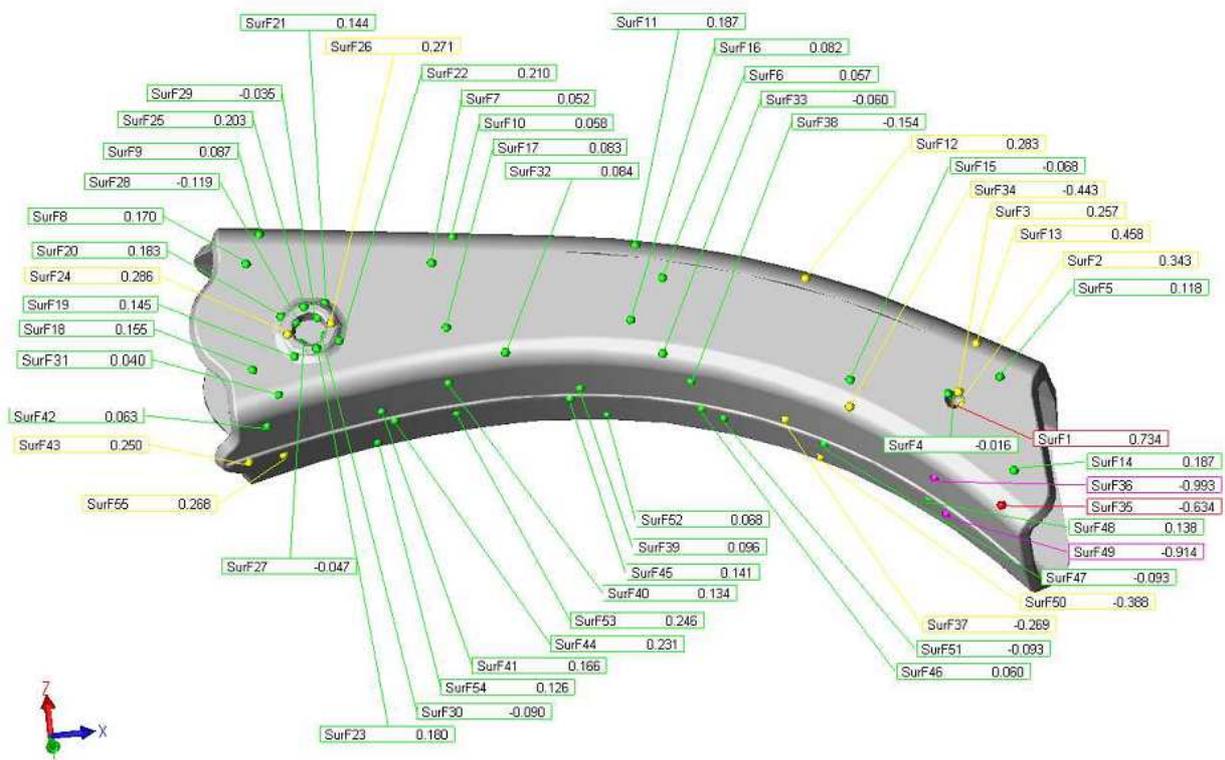


Figura 6.35 – Misurazioni del laterale sinistro.

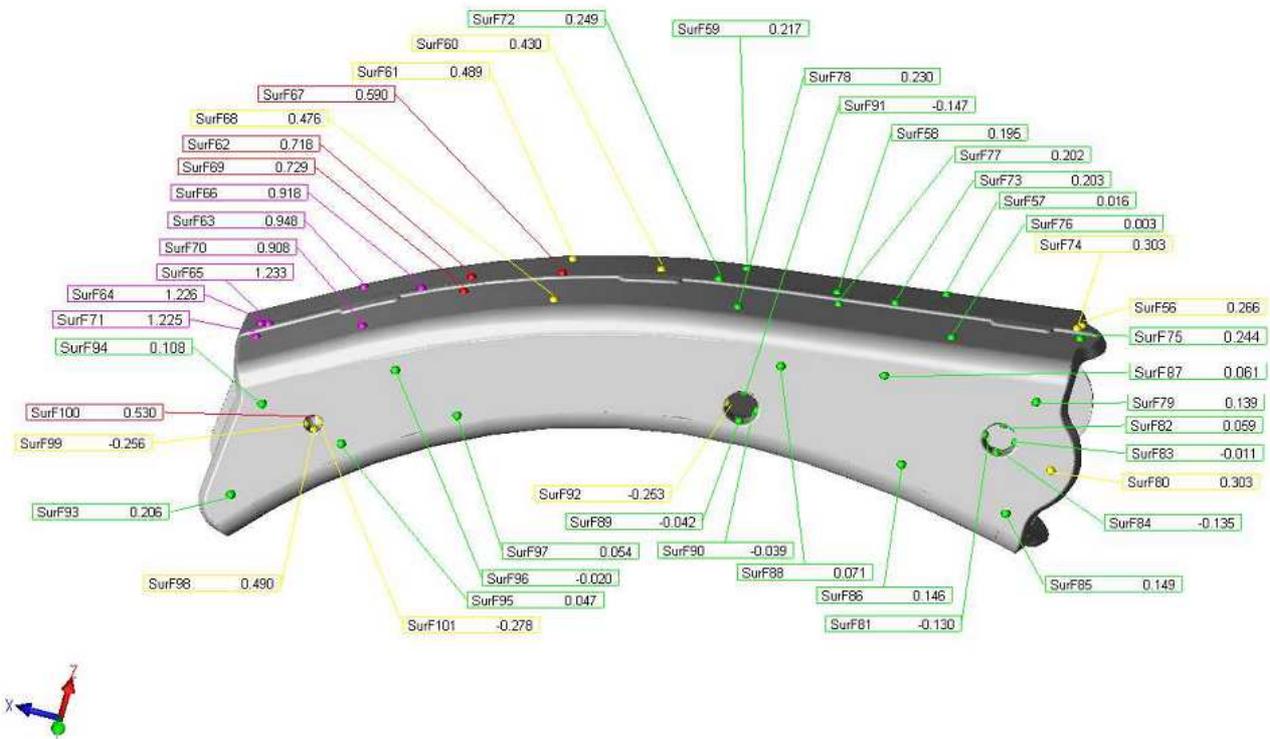


Figura 6.36 – Misurazioni del laterale destro.

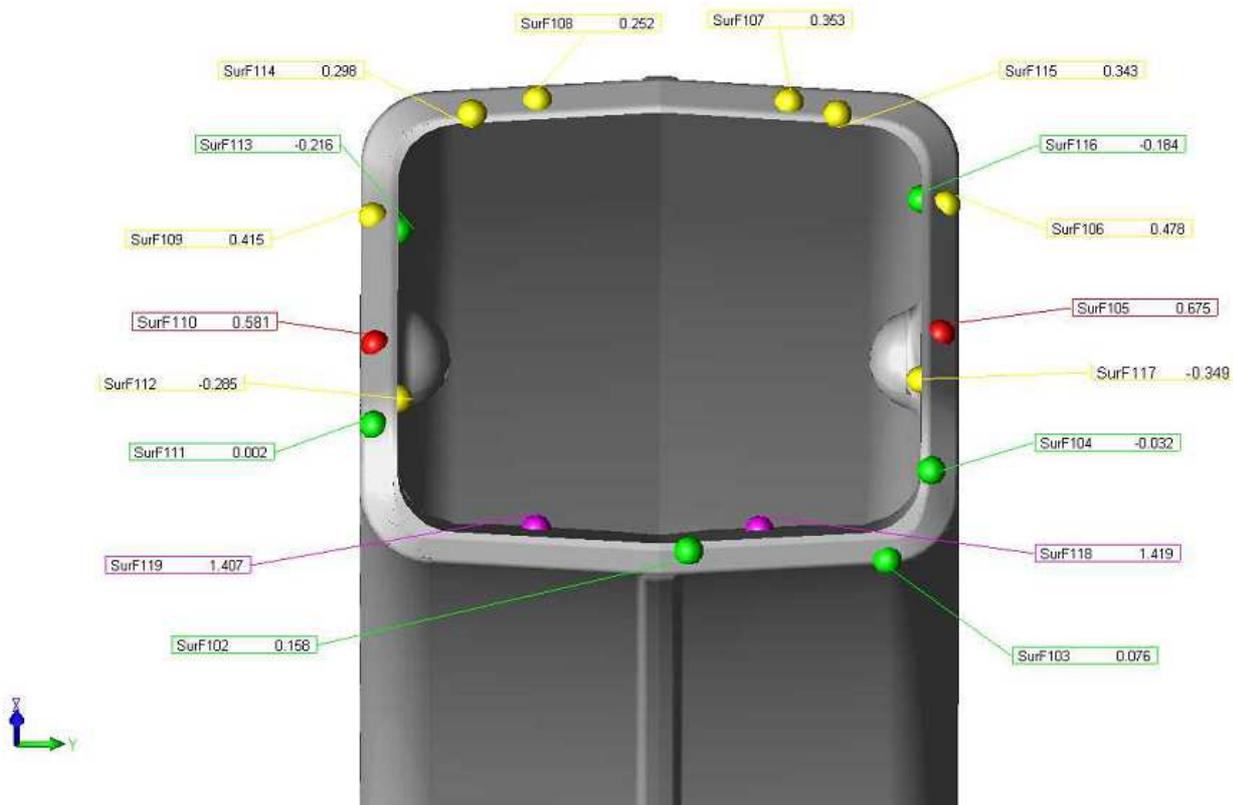
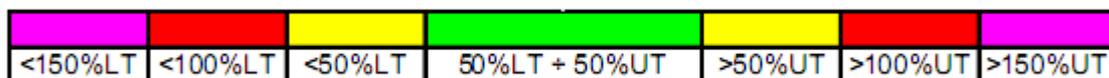


Figura 6.37 – Misurazioni lato di accoppiamento *main pipe – rear frame*.

LEGENDA:



Come si nota dalle figure 6.35, 6.36 e 6.37 la zona di accoppiamento *main pipe – rear frame* risulta essere superiore ai limiti massimi naturali, dei quali si specifica la percentuale di superamento come da legenda sopra riportata. Si rimanda la visione dei dati completi all'Allegato 3.

#### 6.4.4 Test: rear frame

Per lo studio del *rear frame* si effettuano due tipi di test:

- 1) controllo della sezione di accoppiamento (larghezza esterna);
- 2) controllo della superficie laterale;
- 3) controllo della deformazione frontale;
- 4) controllo tridimensionale automatizzato (CTR).

Anche in questo caso i primi due sono eseguiti sia prima che dopo il trattamento termico, al fine di individuare possibili problemi di distorsioni dei componenti. Il CTR invece è effettuato solo dopo la fase di trattamento, con l'unico scopo di capire se le geometrie dei componenti rispettano le tolleranze dimensionali forniteci dalle specifiche.

I controlli sono effettuati su un campione di 75 *rear frame* suddiviso in base al numero dello stampo di produzione:

- 25 *rear frame* di stampo 1;
- 25 *rear frame* di stampo 2;
- 25 *rear frame* di stampo 3.

Il CTR è invece effettuato sui due pezzi considerati più critici.

##### 1) Controllo della sezione di accoppiamento.

Per mezzo di un calibro si verifica la dimensione della sezione esterna dell'accoppiamento maschio – femmina (figura 6.38). Dopo il trattamento termico i valori devono essere compresi nel seguente *range* di tolleranza naturale ( $r_T$ ):

$$68,2 \text{ mm} \leq r_T \leq 69,0 \text{ mm}$$

Di seguito si riportano i dati raccolti, suddivisi in base al campione considerato (tabella 6.12).



Figura 6.38 – Misurazione della zona di accoppiamento del componente *rear frame*.

NUMERO PEZZO	Stampo 1		Stampo 2		Stampo 3	
	PRIMA del TT [mm]	DOPO il TT [mm]	PRIMA del TT [mm]	DOPO il TT [mm]	PRIMA del TT [mm]	DOPO il TT [mm]
1	68,66	68,55	68,26	68,38	68,51	68,26
2	68,63	68,66	68,42	68,36	68,48	68,28
3	68,68	68,39	68,37	68,68	68,51	68,22
4	68,82	68,75	68,38	68,48	68,45	68,12
5	68,70	68,68	68,38	68,45	68,31	68,15
6	68,68	68,77	68,40	68,42	68,51	68,27
7	68,71	68,77	68,35	68,44	68,44	68,22
8	68,89	68,82	68,32	68,35	68,52	68,25
9	68,72	68,70	68,40	68,47	68,57	68,42
10	68,75	68,78	68,44	68,47	68,62	68,23
11	68,67	68,60	68,35	68,39	68,56	68,79
12	68,70	68,76	68,26	68,27	68,59	68,38
13	68,46	68,58	68,42	68,34	68,53	68,30
14	68,65	68,77	68,50	68,37	68,50	68,42
15	68,51	68,37	68,47	68,35	68,66	68,38
16	68,77	68,76	68,35	68,25	68,65	68,42
17	68,79	68,77	68,45	68,43	68,64	68,38
18	68,69	68,63	68,62	68,40	68,57	68,30
19	68,72	68,74	68,63	68,41	68,55	68,34
20	68,69	68,62	68,45	68,36	68,59	68,34
21	68,73	68,64	68,35	68,36	68,59	68,52
22	68,82	68,77	68,58	68,47	68,96	68,77
23	68,69	68,74	68,51	68,40	68,75	68,71
24	68,75	68,63	68,46	68,38	68,63	68,41
25	68,71	68,73	68,57	68,36	68,45	68,36

Tabella 6.12 – Misure delle sezioni di accoppiamento dei componenti *rear frame*.

Dal calcolo delle medie e delle deviazioni standard dei valori raccolti per ogni stampo, prima e dopo la fase del trattamento termico, si ottengono le distribuzioni gaussiane di figura 6.39, 6.40 e 6.41, riportate di seguito.

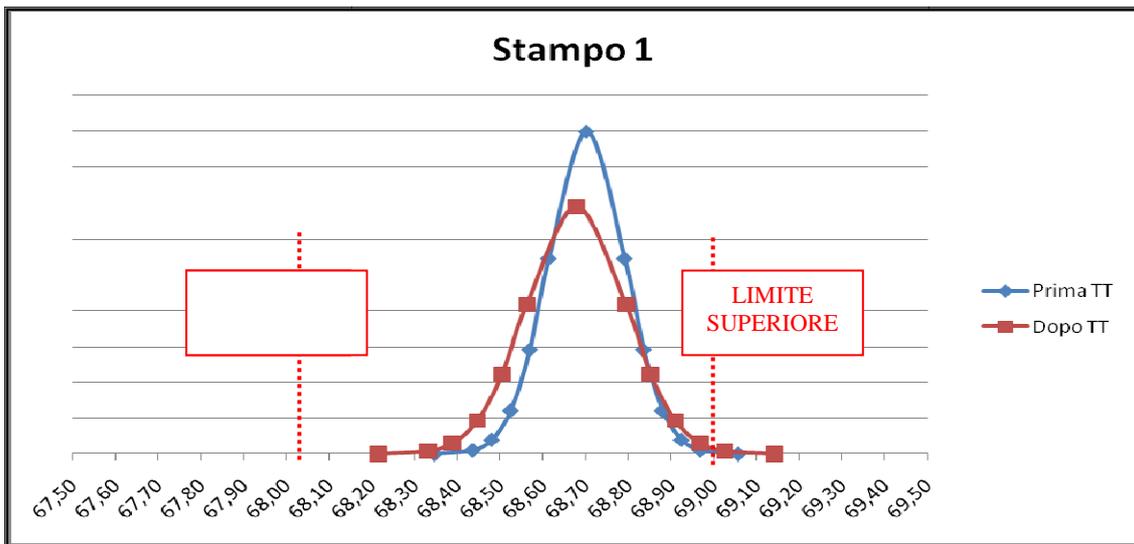


Figura 6.39 – Distribuzione gaussiana dei componenti *rear frame* dello stampo 1.

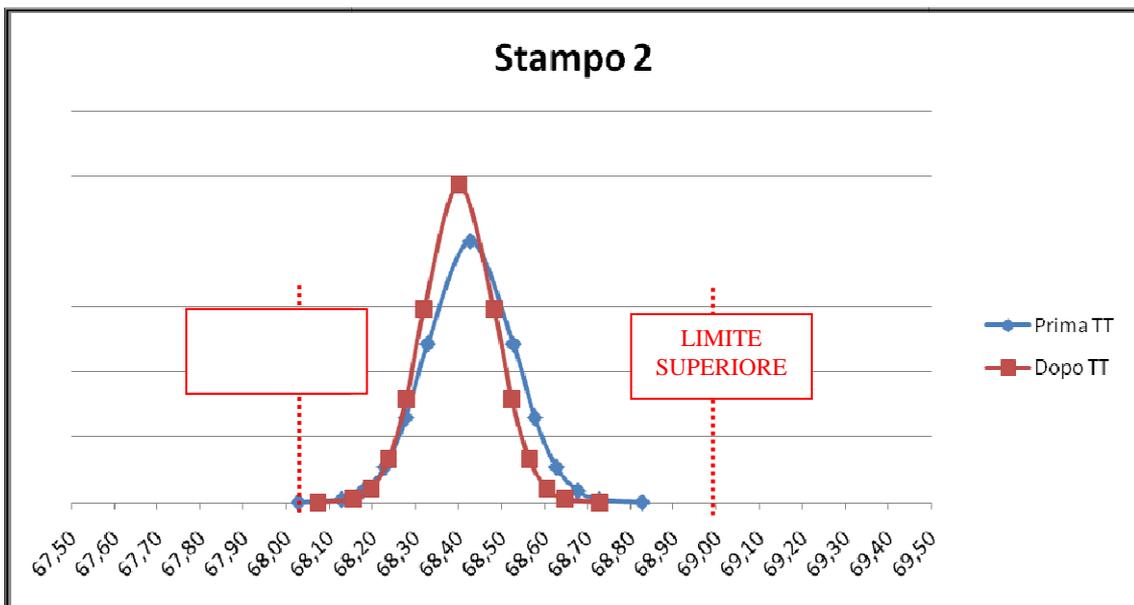


Figura 6.40 – Distribuzione gaussiana dei componenti *rear frame* dello stampo 2.

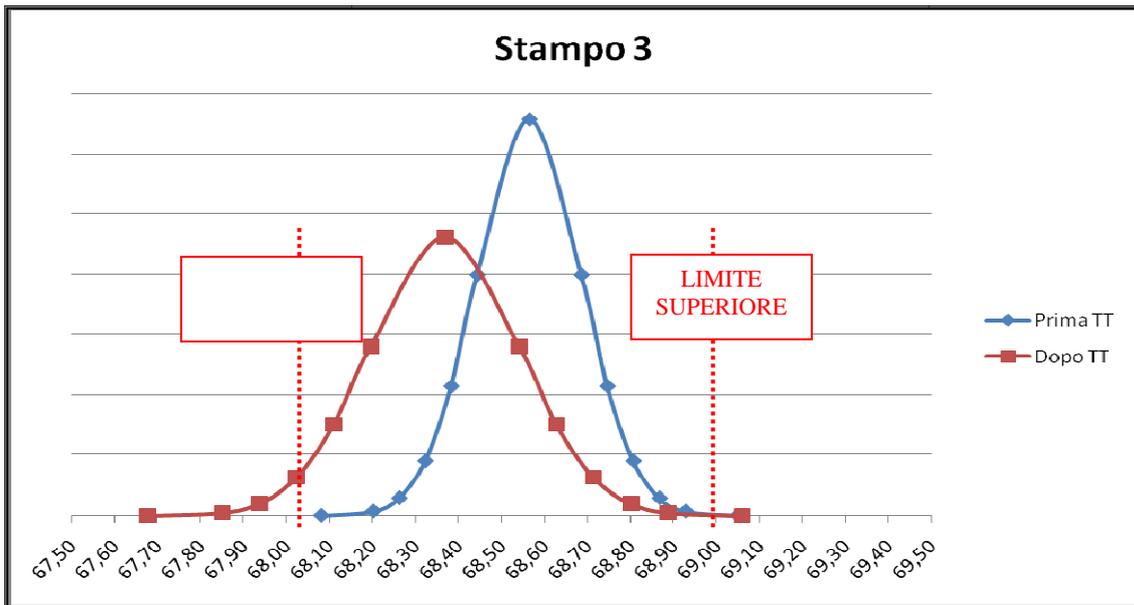


Figura 6.41 – Distribuzione gaussiana dei componenti *rear frame* dello stampo 3.

Osservando e analizzando le varie distribuzioni, si nota che nel caso dei componenti di stampo 1 i valori tendono al limite naturale superiore, con un evidente discostamento della media effettiva dal valore obiettivo. Ciò determina una porzione di area al di fuori del limite superiore di specificazione. Nel caso dello stampo 2, la distribuzione, pur rientrando nel *range* di tolleranza naturale, ha un valore medio che si discosta dal valore medio obiettivo. Infine, osservando la distribuzione dello stampo 3, si nota come la gaussiana non risulti centrata nel valore medio dell'intervallo di conformità. L'eccessiva variabilità determina, inoltre, un'ampia porzione di area al di fuori dei limiti di specificazione, in entrambe le direzioni. Per migliorare tale processo, occorrerà ridimensionare il *range* di tolleranza e abbassare il valore dello scarto quadratico medio.

Dal calcolo delle capacità (tabella 6.13) si osserva che i processi sono ritenuti non capaci, in quanto gli indici del potenziale di processo ( $C_p$ ) e di prestazione ( $C_{p_k}$ ) sono minori del valore *target*, tranne il  $C_p$  dello stampo 2. In tal caso però il processo è ugualmente considerato non capace, in quanto il valore  $C_{p_k}$  è minore del valore obiettivo.

	STAMPO 1		STAMPO 2		STAMPO 3	
	Prima	Dopo	Prima	Dopo	Prima	Dopo
Cp	1,50	1,15	1,34	1,63	1,10	0,77
Cpk	1,11	0,92	0,76	0,82	1,01	0,33

Tabella 6.13 – Calcolo degli indici di processo.

## 2) Controllo della superficie laterale

Ponendo i *rear* sulla maschera di controllo, per mezzo di un altimetro digitale si effettua un controllo dimensionale sul profilo laterale di ogni singolo pezzo del campione considerato, al fine di verificare un eventuale deformazione laterale del componente (figura 6.42).

È importante precisare che il test avviene misurando otto punti scelti in precedenza e visibili in figura 6.43.



Figura 6.42 – Misurazione della superficie laterale del componente *rear frame*.

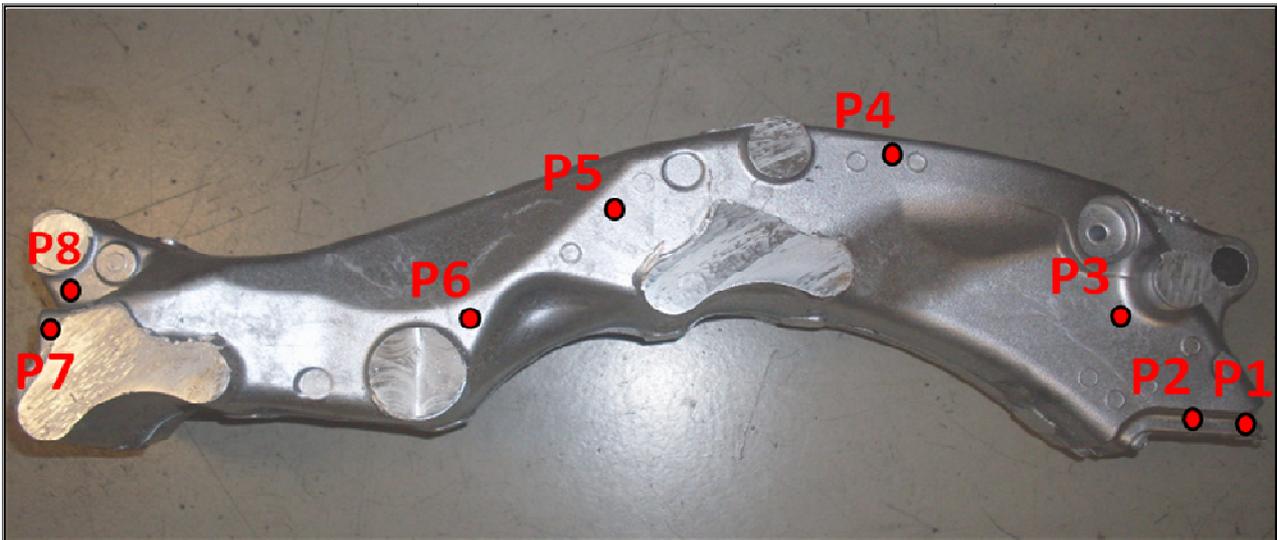


Figura 6.43 – Visione degli otto punti scelti per il test.

NUMERO PEZZI	PRIMA del trattamento termico [mm]								DOPO il trattamento termico [mm]								$\Delta$ (dopo - prima) [mm]								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Stampo <u>1</u>	1	136,02	136,25	142,04	167,41	167,39	167,28	184,70	153,97	136,09	136,30	142,06	167,42	167,41	167,29	184,83	154,04	0,07	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,13	0,07
	2	136,00	136,28	141,99	167,30	167,33	167,10	184,55	153,79	136,57	136,78	142,34	167,46	167,36	167,10	184,45	153,63	0,57	0,50	0,35	0,16	0,03	0,00	-0,10	-0,16
	3	135,95	136,21	142,01	167,41	167,32	167,22	184,74	153,98	136,20	136,39	142,18	167,57	167,48	167,31	184,69	153,90	0,25	0,18	0,17	0,16	0,16	0,09	-0,05	-0,08
	4	135,97	136,33	142,08	167,45	167,43	167,31	184,66	153,90	136,26	136,54	142,16	167,46	167,47	167,34	184,72	153,90	0,29	0,21	0,08	0,01	0,04	0,03	0,06	0,00
	5	136,00	136,28	142,02	167,41	167,38	167,23	184,63	153,85	136,25	136,53	142,20	167,55	167,44	167,30	184,78	153,98	0,25	0,25	0,18	0,14	0,06	0,07	0,15	0,13
	6	135,97	136,20	141,96	167,37	167,35	167,21	184,64	153,87	136,15	136,39	142,24	167,53	167,46	167,27	184,52	153,73	0,18	0,19	0,28	0,16	0,11	0,06	-0,12	-0,14
	7	136,02	136,25	142,10	167,42	167,39	167,27	184,70	153,91	136,23	136,42	142,23	167,50	167,46	167,29	184,67	153,83	0,21	0,17	0,13	0,08	0,07	0,02	-0,03	-0,08
	8	136,06	136,33	142,09	167,39	167,37	167,25	184,73	153,95	136,05	136,33	142,13	167,47	167,46	167,25	184,70	153,89	-0,01	0,00	0,04	0,08	0,09	0,00	-0,03	-0,06
	9	136,01	136,30	142,04	167,44	167,43	167,27	184,66	154,02	136,21	136,42	142,21	167,51	167,46	167,28	184,62	153,81	0,20	0,12	0,17	0,07	0,03	0,01	-0,04	-0,21
	10	136,10	136,30	142,10	167,44	167,42	167,28	184,65	153,88	136,06	136,30	142,07	167,47	167,44	167,32	184,73	153,86	-0,04	0,00	-0,03	0,03	0,02	0,04	0,08	-0,02
	11	136,01	136,26	142,05	167,37	167,36	167,27	184,68	153,87	136,10	136,57	142,16	167,51	167,45	167,27	184,71	153,85	0,09	0,31	0,11	0,14	0,09	0,00	0,03	-0,02
	12	135,92	136,23	142,03	167,44	167,37	167,26	184,67	153,89	136,11	136,47	142,17	167,50	167,40	167,28	184,74	153,88	0,19	0,24	0,14	0,06	0,03	0,02	0,07	-0,01
	13	135,91	136,11	141,89	167,29	167,18	167,05	184,63	153,85	136,12	136,40	142,17	167,40	167,32	167,16	184,49	153,70	0,21	0,29	0,28	0,11	0,14	0,11	-0,14	-0,15
	14	136,02	136,28	142,06	167,40	167,39	167,28	184,66	153,37	136,28	136,50	142,17	167,46	167,44	167,30	184,60	153,80	0,26	0,22	0,11	0,06	0,05	0,02	-0,06	0,43
	15	136,02	136,04	142,00	167,33	167,31	167,15	184,66	153,88	136,31	136,17	142,18	167,43	167,33	167,16	184,63	153,78	0,29	0,13	0,18	0,10	0,02	0,01	-0,03	-0,10
	16	136,02	136,39	142,03	167,52	167,42	167,31	184,68	153,91	136,12	136,38	142,10	167,46	167,46	167,27	184,65	153,82	0,10	-0,01	0,07	-0,06	0,04	-0,04	-0,03	-0,09
	17	136,10	136,32	142,10	167,43	167,40	167,29	184,70	153,97	136,12	136,45	142,12	167,40	167,46	167,33	184,67	153,83	0,02	0,13	0,02	-0,03	0,06	0,04	-0,03	-0,14
	18	135,98	136,14	142,02	167,47	167,39	167,23	184,68	153,92	135,90	136,20	141,97	167,46	167,38	167,20	184,66	153,85	-0,08	0,06	-0,05	-0,01	-0,01	-0,03	-0,02	-0,07
	19	135,97	136,59	142,04	167,40	167,45	167,28	184,69	153,91	136,00	136,25	142,06	167,51	167,52	167,36	184,79	154,01	0,03	-0,34	0,02	0,11	0,07	0,08	0,10	0,10
	20	135,96	136,21	141,93	167,37	167,33	167,18	184,62	153,89	136,15	136,42	142,15	167,48	167,43	167,25	184,60	153,81	0,19	0,21	0,22	0,11	0,10	0,07	-0,02	-0,08
	21	135,87	136,15	141,99	167,47	167,41	167,26	184,73	153,98	136,13	136,37	142,09	167,56	167,50	167,28	184,73	153,97	0,26	0,22	0,10	0,09	0,09	0,02	0,00	-0,01
	22	136,04	136,25	142,03	167,37	167,38	167,26	184,67	153,89	136,16	136,37	142,09	167,46	167,46	167,26	184,75	153,94	0,12	0,12	0,06	0,09	0,08	0,00	0,08	0,05
	23	135,99	136,20	142,01	167,43	167,36	167,34	184,69	154,14	136,01	136,23	142,03	167,47	167,50	167,32	184,69	153,93	0,02	0,03	0,02	0,04	0,14	-0,02	0,00	-0,21
	24	135,89	136,20	141,96	167,40	167,34	167,19	184,67	153,95	136,34	136,55	142,17	167,49	167,41	167,24	184,52	153,71	0,45	0,35	0,21	0,09	0,07	0,05	-0,15	-0,24
	25	136,11	136,37	142,20	167,50	167,34	167,22	184,60	153,85	136,24	136,49	142,16	167,48	167,41	167,27	184,59	153,77	0,13	0,12	-0,04	-0,02	0,07	0,05	-0,01	-0,08

Tabella 6.14 – Misure rear di stampo 1.

La tabella 6.14 riporta i dati raccolti dai pezzi di stampo 1. Per ogni elemento è calcolata la differenza tra il valore misurato 'pre' e 'post' trattamento. I delta calcolati rappresentano graficamente la deformazione a cui è soggetto il componente a termine di tale fase. La figura 6.44 rappresenta le maggiori deformazioni dei componenti analizzati.

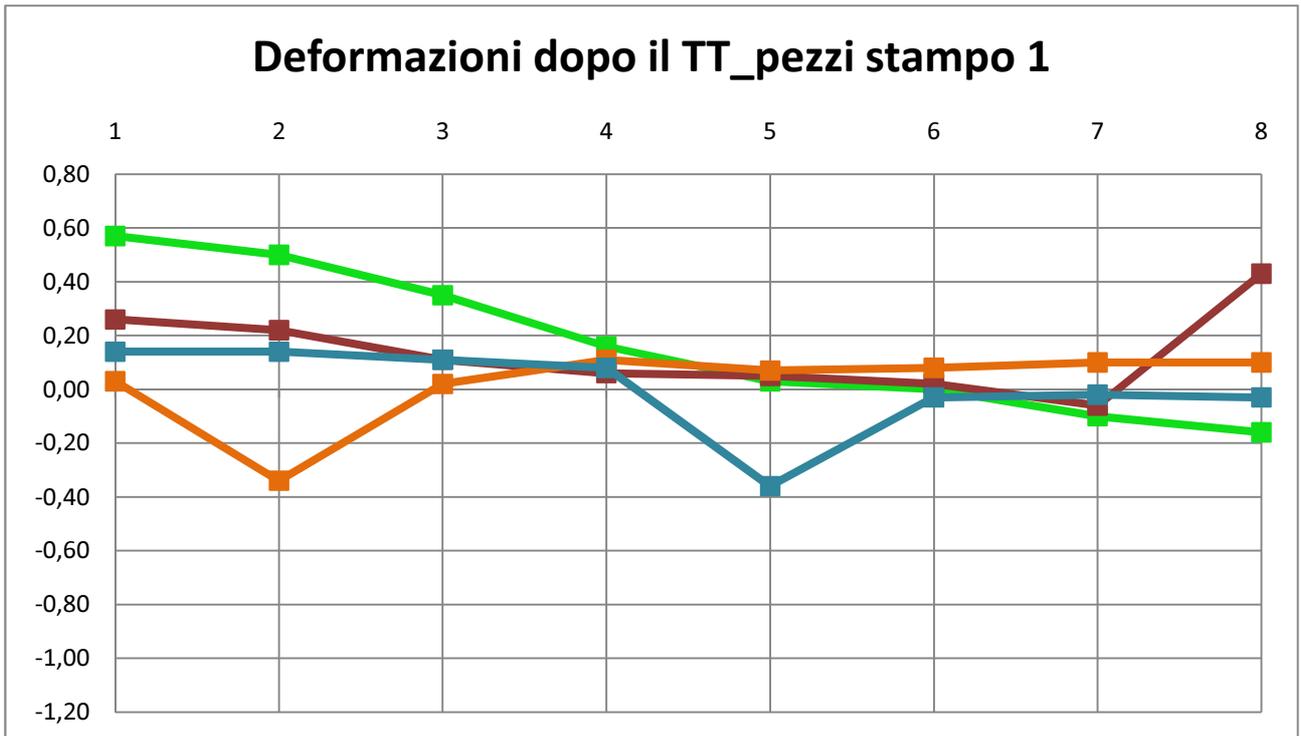


Figura 6.44 – Maggiori deformazioni dei componenti *rear frame* di stampo 1.

NUMERO PEZZI	PRIMA del trattamento termico [mm]								DOPO il trattamento termico [mm]								Δ (dopo - prima) [mm]							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	136,08	136,25	142,15	167,38	167,38	167,30	184,70	153,88	136,19	136,28	142,24	167,46	167,44	167,26	184,76	153,92	0,11	0,03	0,09	0,08	0,06	-0,04	0,06	0,04
2	136,05	135,97	142,15	167,39	167,33	167,23	184,66	153,82	136,16	136,10	142,21	167,48	167,41	167,21	184,70	153,83	0,11	0,13	0,06	0,09	0,08	-0,02	0,04	0,01
3	136,03	135,99	142,12	167,31	167,36	167,31	184,70	153,83	136,19	136,43	142,20	167,61	167,49	167,30	184,69	153,92	0,16	0,44	0,08	0,30	0,13	-0,01	-0,01	0,09
4	136,09	136,00	142,12	167,36	167,38	167,23	184,67	153,85	136,28	136,36	142,31	167,42	167,40	167,26	184,67	153,78	0,19	0,36	0,19	0,06	0,02	0,03	0,00	-0,07
5	136,07	136,21	142,16	167,47	167,42	167,23	184,72	153,85	136,28	136,28	142,23	167,50	167,35	167,24	184,74	153,86	0,21	0,07	0,07	0,03	-0,07	0,01	0,02	0,01
6	136,25	136,31	142,26	167,38	167,38	167,25	184,60	153,78	136,43	136,31	142,32	167,37	167,39	167,22	184,58	153,74	0,18	0,00	0,06	-0,01	0,01	-0,03	-0,02	-0,04
7	136,29	136,31	142,28	167,44	167,46	167,32	184,72	153,87	136,37	136,36	142,18	167,35	167,48	167,33	184,63	153,76	0,08	0,05	-0,10	-0,09	0,02	0,01	-0,09	-0,11
8	135,88	135,97	142,01	167,37	167,35	167,17	184,59	153,81	136,00	136,04	142,09	167,37	167,37	167,18	184,62	153,77	0,12	0,07	0,08	0,00	0,02	0,01	0,03	-0,04
9	136,15	136,19	142,14	167,37	167,41	167,27	184,75	153,91	136,13	136,24	142,20	167,42	167,42	167,27	184,77	153,93	-0,02	0,05	0,06	0,05	0,01	0,00	0,02	0,02
10	136,08	136,09	142,23	167,44	167,39	167,27	184,68	153,85	136,18	136,22	142,24	167,56	167,43	167,28	184,70	153,83	0,10	0,13	0,01	0,12	0,04	0,01	0,02	-0,02
11	135,99	136,06	142,15	167,41	167,38	167,24	184,71	153,89	136,09	136,21	142,28	167,50	167,41	167,23	184,67	153,80	0,10	0,15	0,13	0,09	0,03	-0,01	-0,04	-0,09
12	135,93	135,96	141,94	167,29	167,47	167,15	184,59	153,80	136,14	136,26	142,16	167,36	167,28	167,14	184,64	153,80	0,21	0,30	0,22	0,07	-0,19	-0,01	0,05	0,00
13	136,10	136,16	142,18	167,35	167,40	167,26	184,71	153,87	136,17	136,18	142,16	167,37	167,38	167,21	184,81	153,98	0,07	0,02	-0,02	0,02	-0,02	-0,05	0,10	0,11
14	136,05	136,97	142,02	167,37	167,31	167,15	184,64	153,82	135,14	136,50	142,09	167,41	167,34	167,17	184,70	153,91	-0,91	-0,47	0,07	0,04	0,03	0,02	0,06	0,09
15	136,05	136,11	142,15	167,39	167,37	167,25	184,68	153,84	136,34	136,23	142,16	167,40	167,38	167,23	184,68	153,80	0,29	0,12	0,01	0,01	0,01	-0,02	0,00	-0,04
16	135,81	135,74	141,85	167,18	167,21	167,06	184,46	153,67	136,18	136,08	142,10	167,32	167,26	167,11	184,49	153,63	0,37	0,34	0,25	0,14	0,05	0,05	0,03	-0,04
17	136,02	136,08	141,99	167,36	167,34	167,19	184,70	153,91	136,01	136,06	142,03	167,41	167,39	167,19	184,69	153,84	-0,01	-0,02	0,04	0,05	0,05	0,00	-0,01	-0,07
18	136,17	136,13	142,14	167,29	167,35	167,39	184,73	153,99	136,22	136,81	142,32	167,33	167,37	167,27	184,79	153,97	0,05	0,68	0,18	0,04	0,02	-0,12	0,06	-0,02
19	135,77	135,99	142,02	167,37	167,29	167,10	184,65	153,88	136,11	136,55	142,10	167,35	167,25	167,07	184,44	153,66	0,34	0,56	0,08	-0,02	-0,04	-0,03	-0,21	-0,22
20	136,12	136,15	142,23	167,42	167,36	167,23	184,79	154,01	136,23	136,24	142,18	167,34	167,40	167,26	184,62	153,80	0,11	0,09	-0,05	-0,08	0,04	0,03	-0,17	-0,21
21	136,14	136,18	142,10	167,26	167,37	167,26	184,76	153,95	136,22	136,18	142,23	167,43	167,37	167,19	184,78	154,00	0,08	0,00	0,13	0,17	0,00	-0,07	0,02	0,05
22	135,97	136,28	142,11	167,47	167,36	167,24	184,74	153,99	136,22	136,22	142,24	167,48	167,38	167,27	184,83	154,01	0,25	-0,06	0,13	0,01	0,02	0,03	0,09	0,02
23	136,03	136,16	142,12	167,34	167,31	167,21	184,73	153,91	136,13	136,17	142,05	167,28	167,36	167,28	184,77	154,04	0,10	0,01	-0,07	-0,06	0,05	0,07	0,04	0,13
24	135,81	136,02	142,06	167,39	167,29	167,11	184,57	153,78	136,20	136,22	142,09	167,35	167,29	167,12	184,57	153,78	0,39	0,20	0,03	-0,04	0,00	0,01	0,00	0,00
25	136,27	136,10	142,11	167,42	167,33	167,20	184,68	153,88	136,25	136,24	142,23	167,43	167,36	167,26	184,67	153,87	-0,02	0,14	0,12	0,01	0,03	0,06	-0,01	-0,01

Tabella 6.15 – Misure rear di stampo 2.

La tabella 6.15 riporta i dati raccolti dai pezzi di stampo 2. Anche in questo caso, per ogni elemento è calcolata la differenza tra il valore misurato 'pre' e 'post' trattamento. Le deformazioni sono rappresentate graficamente in figura 6.45.

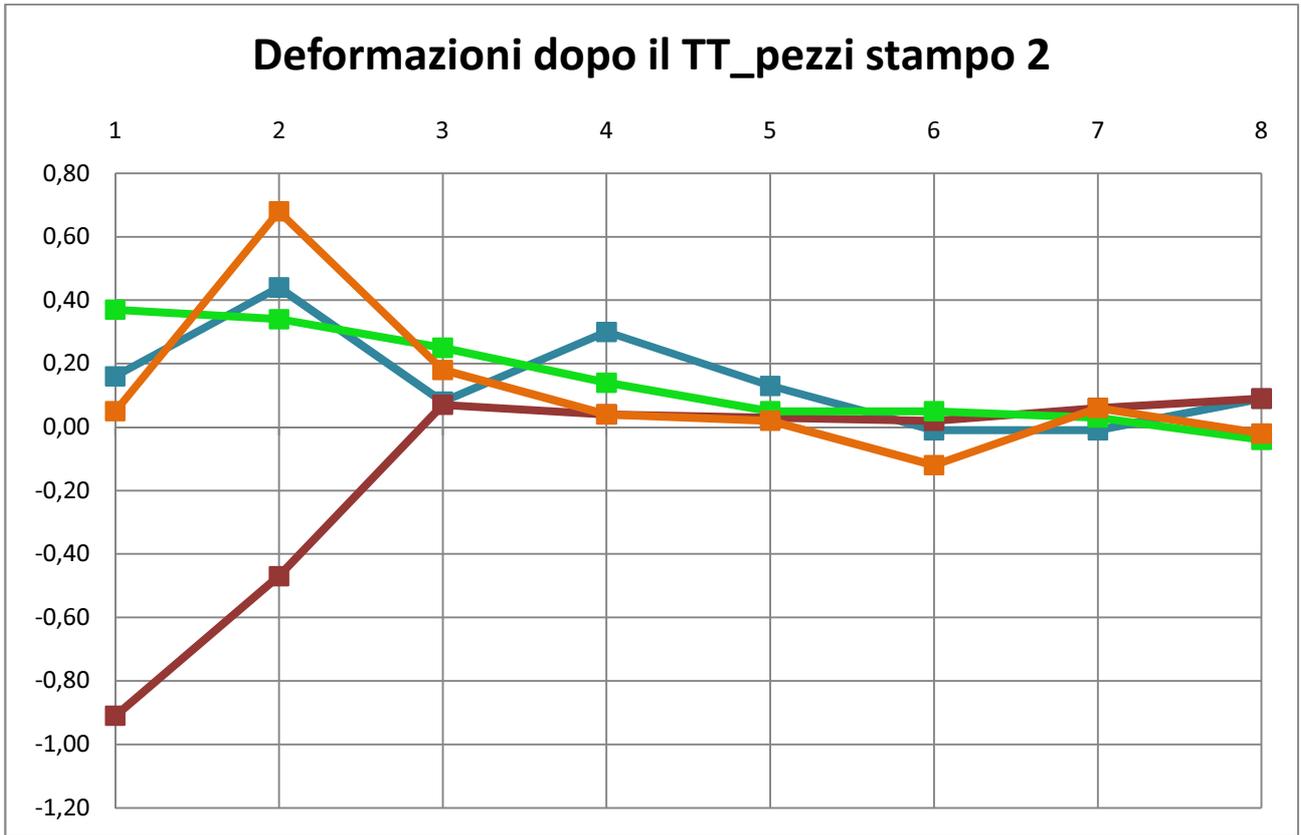


Figura 6.45 – Maggiori deformazioni dei componenti *rear frame* di stampo 2.

NUMERO PEZZI	PRIMA del trattamento termico [mm]								DOPO il trattamento termico [mm]								Δ (dopo - prima) [mm]								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Stampo 3	1	136,09	136,27	142,26	167,55	167,48	167,35	184,84	154,17	136,24	136,20	142,27	167,45	167,42	167,33	184,67	153,83	0,15	-0,07	0,01	-0,10	-0,06	-0,02	-0,17	-0,34
	2	136,97	136,12	142,23	167,47	167,49	167,31	184,93	154,18	135,93	136,13	142,12	167,34	167,34	167,25	184,79	153,98	-1,04	0,01	-0,11	-0,13	-0,15	-0,06	-0,14	-0,20
	3	136,08	136,25	142,29	167,45	167,42	167,32	184,83	154,05	136,12	136,27	142,28	167,38	167,42	167,32	184,71	153,87	0,04	0,02	-0,01	-0,07	0,00	0,00	-0,12	-0,18
	4	136,10	136,21	142,24	167,41	167,40	167,27	184,78	154,02	136,14	136,39	142,34	167,43	167,43	167,32	184,67	153,88	0,04	0,18	0,10	0,02	0,03	0,05	-0,11	-0,14
	5	136,13	136,23	142,30	167,46	167,38	167,28	184,77	154,00	136,17	136,26	142,23	167,37	167,39	167,30	184,74	153,92	0,04	0,03	-0,07	-0,09	0,01	0,02	-0,03	-0,08
	6	136,07	136,36	142,27	167,45	167,39	167,32	184,87	154,11	136,15	136,58	142,17	167,34	167,41	167,37	184,72	153,95	0,08	0,22	-0,10	-0,11	0,02	0,05	-0,15	-0,16
	7	136,05	136,21	142,17	167,30	167,37	167,24	184,71	154,03	136,17	136,32	142,24	167,29	167,40	167,28	184,72	153,91	0,12	0,11	0,07	-0,01	0,03	0,04	0,01	-0,12
	8	136,06	136,14	142,19	167,40	167,40	167,32	184,91	154,15	136,29	136,39	142,30	167,38	167,41	167,38	184,76	153,94	0,23	0,25	0,11	-0,02	0,01	0,06	-0,15	-0,21
	9	136,06	136,25	142,27	167,50	167,41	167,27	184,64	153,92	136,04	136,17	142,23	167,49	167,42	167,32	184,72	153,94	-0,02	-0,08	-0,04	-0,01	0,01	0,05	0,08	0,02
	10	136,12	136,23	142,26	167,52	167,32	167,19	184,58	153,85	136,17	136,22	142,23	167,50	167,38	167,26	184,75	153,98	0,05	-0,01	-0,03	-0,02	0,06	0,07	0,17	0,13
	11	136,16	136,21	142,39	167,51	167,41	167,24	184,66	153,92	136,06	136,32	142,22	167,63	167,57	167,37	184,98	154,15	-0,10	0,11	-0,17	0,12	0,16	0,13	0,32	0,23
	12	136,20	136,26	142,33	167,54	167,43	167,29	184,69	153,96	136,28	136,28	142,28	167,51	167,44	167,36	184,83	154,01	0,08	0,02	-0,05	-0,03	0,01	0,07	0,14	0,05
	13	136,02	136,24	142,20	167,42	167,25	167,11	184,43	153,69	136,09	136,27	142,28	167,50	167,43	167,30	184,76	153,97	0,07	0,03	0,08	0,08	0,18	0,19	0,33	0,28
	14	136,21	136,28	142,31	167,44	167,35	167,20	184,54	154,81	136,30	136,39	142,27	167,44	167,40	167,21	184,60	153,89	0,09	0,11	-0,04	0,00	0,05	0,01	0,06	-0,92
	15	136,17	136,44	142,42	167,42	167,36	167,25	184,64	153,91	136,19	136,32	142,30	167,47	167,48	167,34	184,66	153,85	0,02	-0,12	-0,12	0,05	0,12	0,09	0,02	-0,06
	16	136,11	136,30	142,28	167,39	167,37	167,26	184,70	153,96	136,26	136,38	142,28	167,46	167,44	167,30	184,66	153,89	0,15	0,08	0,00	0,07	0,07	0,04	-0,04	-0,07
	17	136,10	136,27	142,32	167,47	167,37	167,24	184,61	153,87	136,23	136,22	142,28	167,52	167,42	167,27	184,74	154,02	0,13	-0,05	-0,04	0,05	0,05	0,03	0,13	0,15
	18	136,17	136,21	142,19	167,45	167,30	167,15	184,57	153,86	136,23	136,33	142,26	167,51	167,31	167,18	184,81	154,00	0,06	0,12	0,07	0,06	0,01	0,03	0,24	0,14
	19	136,03	136,21	142,17	167,47	167,27	167,11	184,53	153,81	136,07	136,19	142,16	167,43	167,27	167,18	184,40	153,64	0,04	-0,02	-0,01	-0,04	0,00	0,07	-0,13	-0,17
	20	136,99	136,13	142,19	167,44	167,37	167,22	184,69	153,94	136,18	136,21	142,24	167,53	167,48	167,29	184,86	154,14	-0,81	0,08	0,05	0,09	0,11	0,07	0,17	0,20
	21	135,88	135,97	142,01	167,37	167,35	167,17	184,59	153,81	136,00	136,04	142,09	167,37	167,37	167,18	184,62	153,77	0,12	0,07	0,08	0,00	0,02	0,01	0,03	-0,04
	22	135,97	136,28	142,11	167,47	167,36	167,24	184,74	153,99	136,22	136,22	142,24	167,48	167,38	167,27	184,83	154,01	0,25	-0,06	0,13	0,01	0,02	0,03	0,09	0,02
	23	136,07	136,29	142,28	167,46	167,38	167,24	184,67	153,93	136,21	136,37	142,22	167,43	167,31	167,18	184,68	153,91	0,14	0,08	-0,06	-0,03	-0,07	-0,06	0,01	-0,02
	24	136,01	136,23	142,08	167,46	167,74	167,31	184,80	154,00	136,15	136,37	142,19	167,54	167,38	167,28	184,78	153,97	0,14	0,14	0,11	0,08	-0,36	-0,03	-0,02	-0,03
	25	136,02	136,39	142,06	167,44	167,35	167,17	184,69	153,91	135,86	136,33	142,05	167,42	167,38	167,21	184,62	153,86	-0,16	-0,06	-0,01	-0,02	0,03	0,04	-0,07	-0,05

Tabella 6.16 – Misure rear di stampo 3.

La tabella 6.16 riporta i dati raccolti dai pezzi di stampo 3. Anche in questo caso, per ogni elemento è calcolata la differenza tra il valore misurato 'pre' e 'post' trattamento. Le deformazioni sono rappresentate graficamente in figura 6.46.

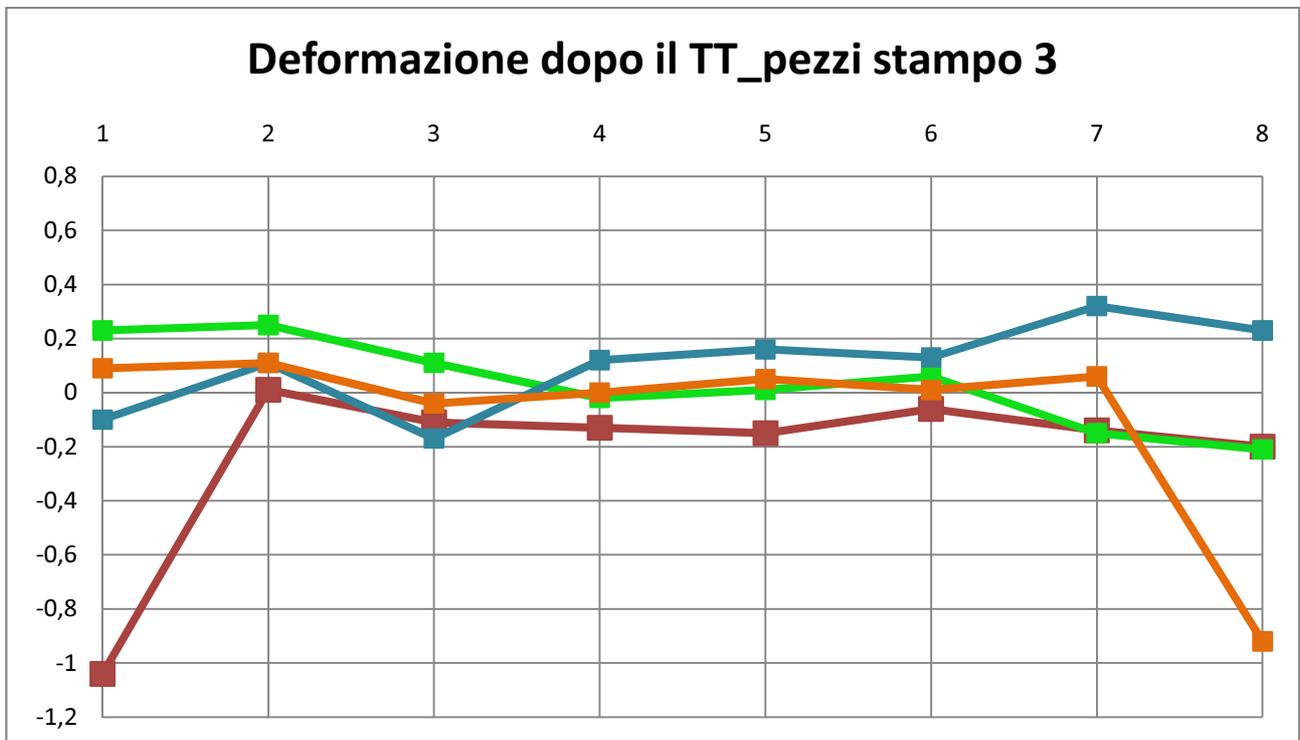


Figura 6.46 – Maggiori deformazioni dei componenti *rear frame* di stampo 3.

Analizzando i grafici sopra riportati, si nota che in alcuni casi le deformazioni risultano avere dei valori negativi, specialmente per i punti 1 e 2, corrispondenti alla zona di accoppiamento *rear frame* – *main pipe*. Ciò evidenzia come il trattamento termico possa determinare una situazione peggiorativa per le dimensioni dei componenti. In particolare, la riduzione delle dimensioni dell'imbocco *rear* è causa di un maggior *gap* nell'accoppiamento con il *main pipe*, da cui l'accentuamento della problematica in studio.

### 3) Controllo della deformazione frontale

La maschera di controllo del *rear frame* è dotata di tre farfalle passa/non passa, di tolleranza 0,6/1,2 mm. Tali farfalle hanno lo scopo di controllare la possibile deformazione frontale dei pezzi (figura 6.47 e 6.48).



Figura 6.47 – Deformazione a cui può essere soggetto il componente.

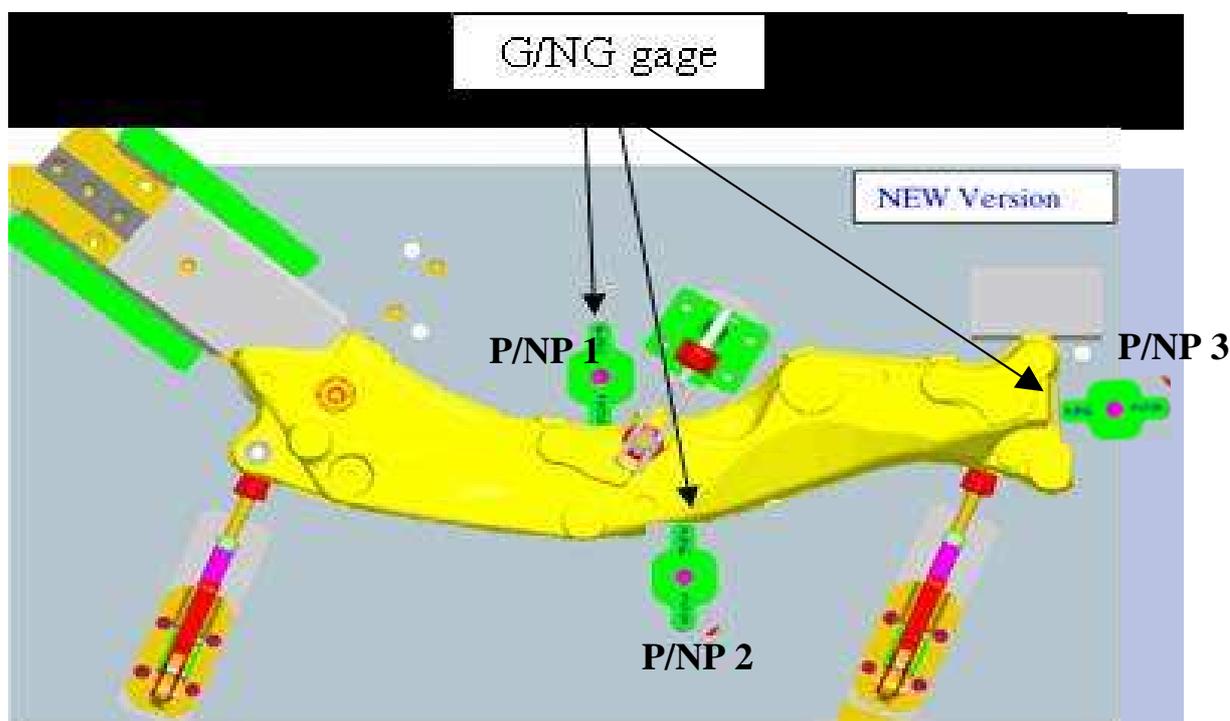


Figura 6.48 – Disegno CAD della maschera di controllo *rear frame*. Le frecce indicano le farfalle passa/non passa.

Per mezzo di uno spessimetro si è provveduto a misurare, prima e dopo il trattamento termico, il *gap* esistente tra le singole farfalle e il pezzo. I dati raccolti sono riportati nella tabella 6.17. A puro scopo informativo sono state calcolate le differenze tra le misure effettuate ‘pre’ e ‘post’ la fase di trattamento. Il calcolo dei delta ci da un'idea generale delle deformazioni a cui sono stati soggetti i campioni. Sono stati inoltre evidenziati i valori minimi e massimi che si hanno per ogni passa/non passa a seconda del numero dello stampo; da questo si deduce il campo entro cui variano gli scostamenti dei singoli pezzi, in seguito al trattamento termico.

NUMERO PEZZO	PRIMA del TT			DOPO il TT			DELTA (dopo tt - prima tt)			
	P/PN 1 [mm]	P/PN 2 [mm]	P/PN 3 [mm]	P/PN 1 [mm]	P/PN 2 [mm]	P/PN 3 [mm]	P/PN 1 [mm]	P/PN 2 [mm]	P/PN 3 [mm]	
<u>Stampo 1</u>	1	0,90	0,65	0,85	1,20	0,65	0,85	0,30	0,00	0,00
	2	0,30	1,15	0,45	0,25	1,45	0,85	-0,05	0,30	0,40
	3	0,75	0,75	0,85	1,15	0,80	0,90	0,40	0,05	0,05
	4	0,75	0,75	1,00	1,00	0,60	1,10	0,25	-0,15	0,10
	5	0,80	0,75	0,90	1,25	0,65	0,95	0,45	-0,10	0,05
	6	0,90	0,70	0,90	1,20	0,55	1,10	0,30	-0,15	0,20
	7	0,85	0,75	0,90	1,10	0,65	1,05	0,25	-0,10	0,15
	8	0,80	0,80	0,95	1,05	0,60	0,95	0,25	-0,20	0,00
	9	0,75	0,80	0,95	1,05	0,70	1,00	0,30	-0,10	0,05
	10	0,10	1,25	0,15	0,90	0,80	1,15	0,80	-0,45	1,00
	11	0,85	0,75	0,90	1,10	0,75	1,05	0,25	0,00	0,15
	12	0,80	0,75	1,00	1,10	0,55	1,00	0,30	-0,20	0,00
	13	0,80	0,80	0,95	1,10	0,65	1,05	0,30	-0,15	0,10
	14	0,80	0,75	1,00	0,95	0,75	1,05	0,15	0,00	0,05
	15	0,65	0,90	0,60	0,95	0,70	0,85	0,30	-0,20	0,25
	16	0,35	1,15	0,90	0,90	0,70	0,90	0,55	-0,45	0,00
	17	0,90	0,70	0,95	1,15	0,60	1,05	0,25	-0,10	0,10
	18	0,85	0,80	0,15	1,15	0,75	1,20	0,30	-0,05	1,05
	19	0,85	0,70	1,00	1,10	0,60	0,85	0,25	-0,10	-0,15
	20	0,80	0,90	1,10	1,05	0,75	0,90	0,25	-0,15	-0,20
	21	0,75	0,85	1,15	1,10	0,70	0,95	0,35	-0,15	-0,20
	22	0,85	0,75	1,05	1,15	0,65	0,80	0,30	-0,10	-0,25
	23	0,80	0,80	1,05	0,95	0,75	1,00	0,15	-0,05	-0,05
	24	0,85	0,70	1,00	1,00	0,75	1,00	0,15	0,05	0,00
	25	0,55	0,85	0,50	1,10	0,75	1,20	0,55	-0,10	0,70
<u>Stampo 2</u>	1	0,75	0,60	0,70	0,95	0,60	0,70	0,20	0,00	0,00
	2	0,85	0,65	0,80	1,10	0,75	0,70	0,25	0,10	-0,10
	3	0,80	0,60	0,80	1,10	0,80	1,00	0,30	0,20	0,20
	4	0,90	0,60	0,65	0,55	0,70	1,20	-0,35	0,10	0,55
	5	0,85	0,65	0,70	1,05	0,60	0,80	0,20	-0,05	0,10
	6	0,15	1,30	0,40	0,95	0,60	0,75	0,80	-0,70	0,35
	7	0,75	0,60	0,85	0,95	0,60	0,65	0,20	0,00	-0,20
	8	0,80	0,80	0,90	1,05	0,75	0,90	0,25	-0,05	0,00
	9	0,90	0,60	0,75	0,95	0,70	0,70	0,05	0,10	-0,05

	10	0,85	0,60	0,75	1,00	0,55	0,70	0,15	-0,05	-0,05
	11	0,90	0,60	0,85	1,20	0,50	0,80	0,30	-0,10	-0,05
	12	0,90	0,75	0,90	1,15	0,65	1,00	0,25	-0,10	0,10
	13	0,70	0,70	0,50	1,25	0,55	0,70	0,55	-0,15	0,20
	14	0,20	1,10	0,25	1,05	0,70	0,85	0,85	-0,40	0,60
	15	0,90	0,60	0,75	1,20	0,45	0,85	0,30	-0,15	0,10
	16	0,80	0,90	1,00	0,95	0,70	0,85	0,15	-0,20	-0,15
	17	0,80	0,80	1,00	0,95	0,80	0,90	0,15	0,00	-0,10
	18	0,75	0,70	0,95	0,95	0,85	0,70	0,20	0,15	-0,25
	19	0,80	0,70	0,90	0,80	0,85	0,85	0,00	0,15	-0,05
	20	0,80	0,70	0,90	1,05	0,70	0,80	0,25	0,00	-0,10
	21	0,85	0,65	0,75	1,05	0,55	0,60	0,20	-0,10	-0,15
	22	0,80	0,70	0,75	0,90	0,65	0,75	0,10	-0,05	0,00
	23	0,75	0,80	0,85	0,95	0,75	0,75	0,20	-0,05	-0,10
	24	0,80	0,75	0,95	1,10	0,65	0,85	0,30	-0,10	-0,10
	25	0,85	0,65	0,75	1,10	0,60	0,85	0,25	-0,05	0,10

	1	0,85	0,70	0,45	1,00	0,70	0,70	0,15	0,00	0,25
	2	1,05	0,75	0,75	1,15	0,65	0,80	0,10	-0,10	0,05
	3	0,95	0,60	0,45	1,45	0,30	0,70	0,50	-0,30	0,25
	4	0,90	0,70	0,45	1,30	0,50	0,65	0,40	-0,20	0,20
	5	0,90	0,70	0,50	1,40	0,45	0,70	0,50	-0,25	0,20
	6	1,00	0,60	0,50	1,35	0,45	0,70	0,35	-0,15	0,20
	7	0,90	0,70	0,45	1,15	0,60	0,70	0,25	-0,10	0,25
	8	0,95	0,60	0,60	1,10	0,60	0,75	0,15	0,00	0,15
	9	0,95	0,70	0,65	0,95	0,80	0,70	0,00	0,10	0,05
	10	0,85	0,75	0,70	1,15	0,65	0,70	0,30	-0,10	0,00
	11	0,95	0,65	0,75	0,70	0,95	0,75	-0,25	0,30	0,00
	12	0,95	0,65	0,65	1,25	0,45	0,80	0,30	-0,20	0,15
<u>Stampo 3</u>	13	0,75	0,85	0,80	0,95	0,55	0,75	0,20	-0,30	-0,05
	14	0,90	0,75	0,70	0,95	0,80	0,65	0,05	0,05	-0,05
	15	0,95	0,60	0,60	1,15	0,70	0,75	0,20	0,10	0,15
	16	0,85	0,70	0,80	1,00	0,80	0,70	0,15	0,10	-0,10
	17	0,90	0,75	0,75	1,00	0,70	0,70	0,10	-0,05	-0,05
	18	0,85	0,80	0,75	1,00	0,70	0,75	0,15	-0,10	0,00
	19	0,95	0,80	0,70	0,95	0,75	0,80	0,00	-0,05	0,10
	20	0,90	0,75	0,70	1,00	0,65	0,80	0,10	-0,10	0,10
	21	0,90	0,60	0,75	0,95	0,70	0,70	0,05	0,10	-0,05
	22	0,85	0,60	0,75	1,00	0,55	0,70	0,15	-0,05	-0,05
	23	0,90	0,80	0,90	1,20	0,30	0,75	0,30	-0,50	-0,15
	24	0,85	0,65	1,05	0,95	0,75	1,00	0,10	0,10	-0,05
	25	0,70	0,85	1,00	0,95	0,85	0,95	0,25	0,00	-0,05

Tabella 6.17 – Misure dei *gap* tra le farfalle passa/non passa e il profilo dei pezzi di stampo 3.

#### 4) Controllo tridimensionale automatizzato (CTR)

Dopo aver effettuato i test su tutti i pezzi del campione considerato, anche in questo caso è stato eseguito il CTR, su due componenti ritenuti più critici (figura 6.49, 6.50).



Figura 6.49 – Controllo CTR su componente *rear frame*.



Figura 6.50 – Particolare della tassazione del puntatore sul componente *rear frame*.

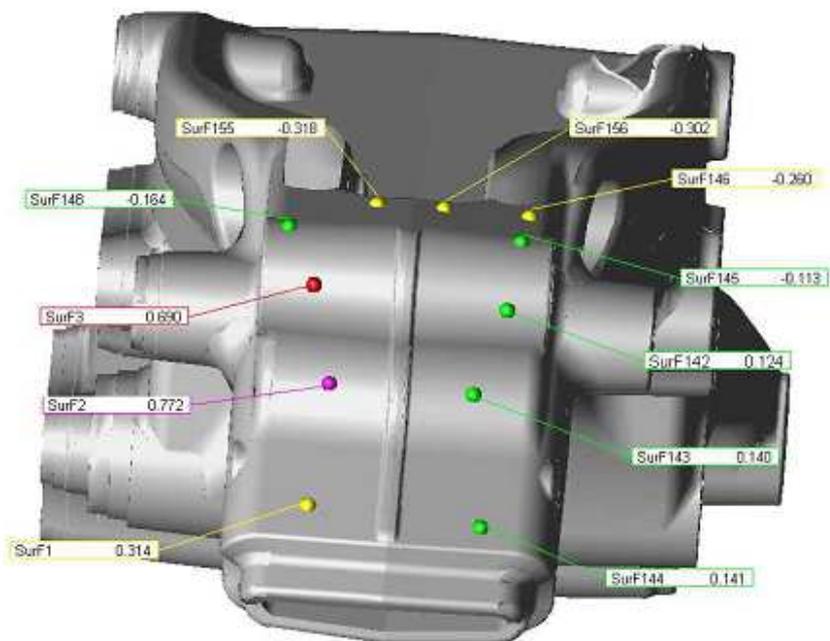


Figura 6.51 – Misurazioni parte superiore della zona di accoppiamento maschio – femmina.

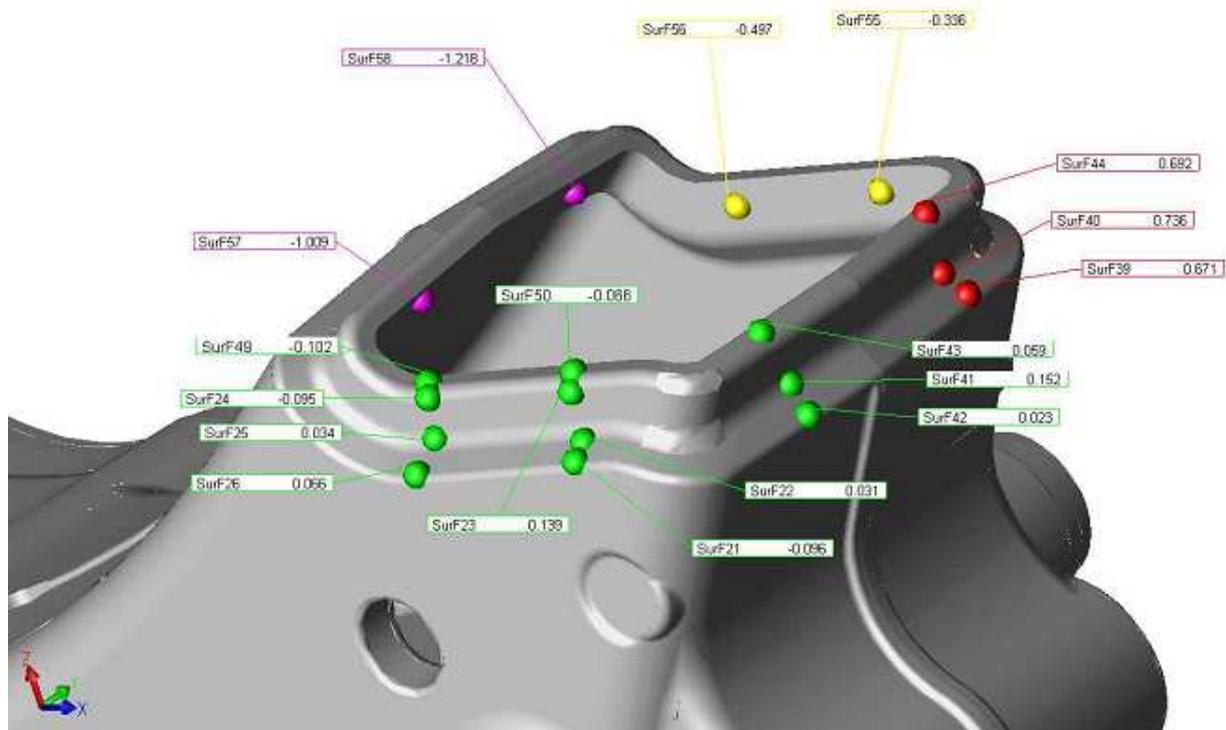


Figura 6.52 – Misurazioni della sezione di accoppiamento (lato sinistro).

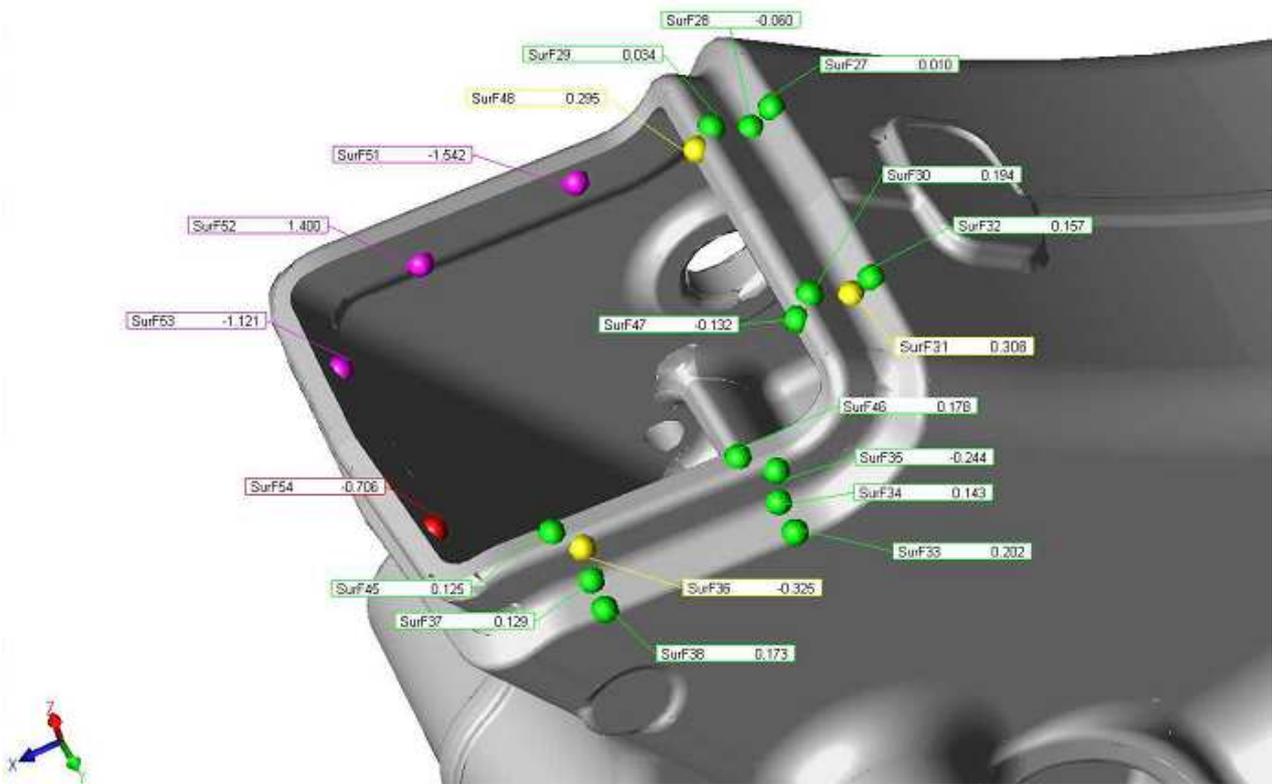


Figura 6.53 – Misurazioni della sezione di accoppiamento (lato destro).

LEGENDA:

<150%LT	<100%LT	<50%LT	50%LT + 50%UT	>50%UT	>100%UT	>150%UT

Come si nota dalle figure 6.51, 6.52 e 6.53 la zona di accoppiamento *main pipe – rear frame* risulta avere sul lato sinistro delle dimensioni maggiori dei limiti massimi naturali; cosa che invece non accade per il lato destro. Questo sta a dimostrare un possibile disallineamento dei getti, dovuto probabilmente ad una mancata manutenzione delle spine di scorrimento stampo.

Si rimanda la visione completa dei dati all'Allegato 4.

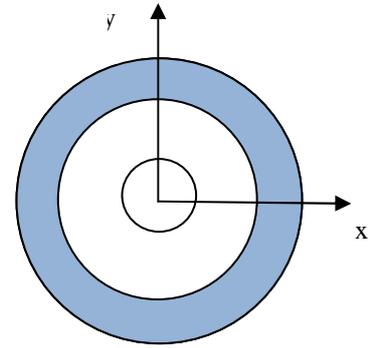
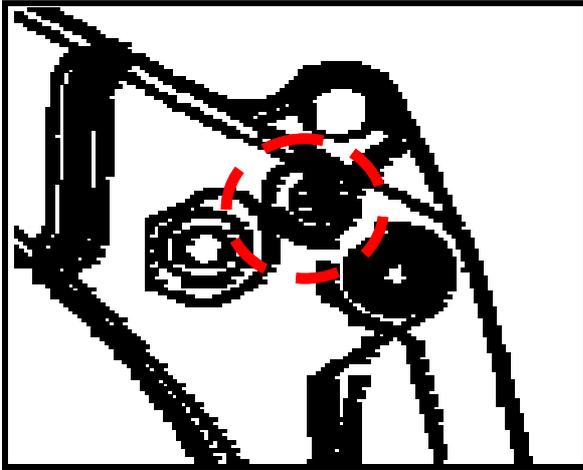
## **6.5 Attività svolta nel reparto Machining**

A termine di questa fase di studio effettuata in fonderia, i campioni sono soggetti a lavorazioni di asportazione di truciolo nel reparto Machining della Honda Italia.

Durante questa fase si è constatato il decentramento delle lavorazioni meccaniche. Tale constatazione è stata poi avvalorata dal controllo con tampone del foro attacco telaietto, come descritto nel capitolo 5.

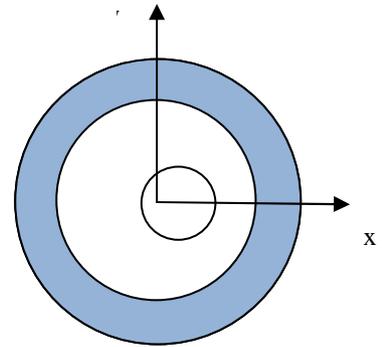
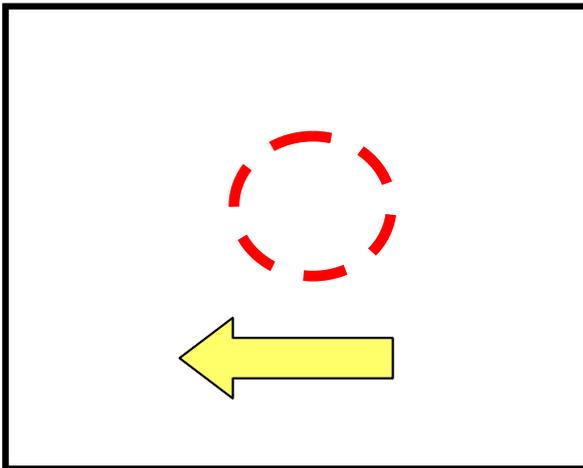
Nella tabella 6.18 è rappresentata la situazione ottimale di centramento e quelle di decentramento, considerate “NG”. Inoltre, per ogni condizione appartenente a quest’ultima categoria sono rappresentate delle frecce che indicano la direzione dello spostamento a cui è soggetto il pezzo e, per ognuna è descritta la situazione corrispondente in fase di saldatura.

GOOD

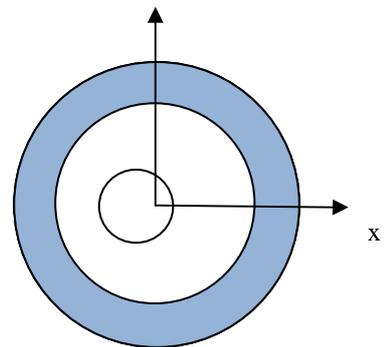
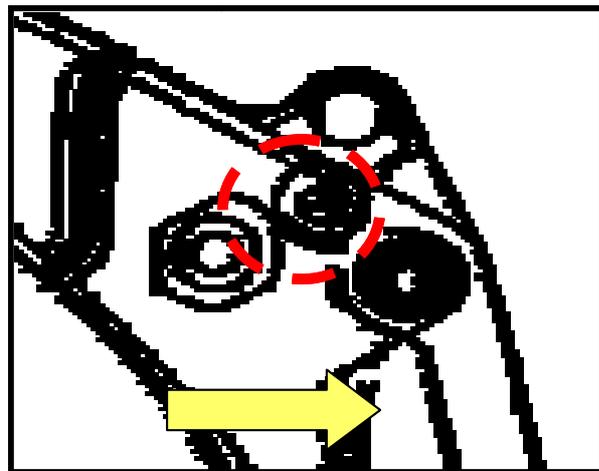


imale di lavorazione  
saldatura ritenuta  
tandard di qualità.

NO GOOD



10 miglioramenti  
piamento e nella



n buona dovuta ad un  
fficile overlapping.

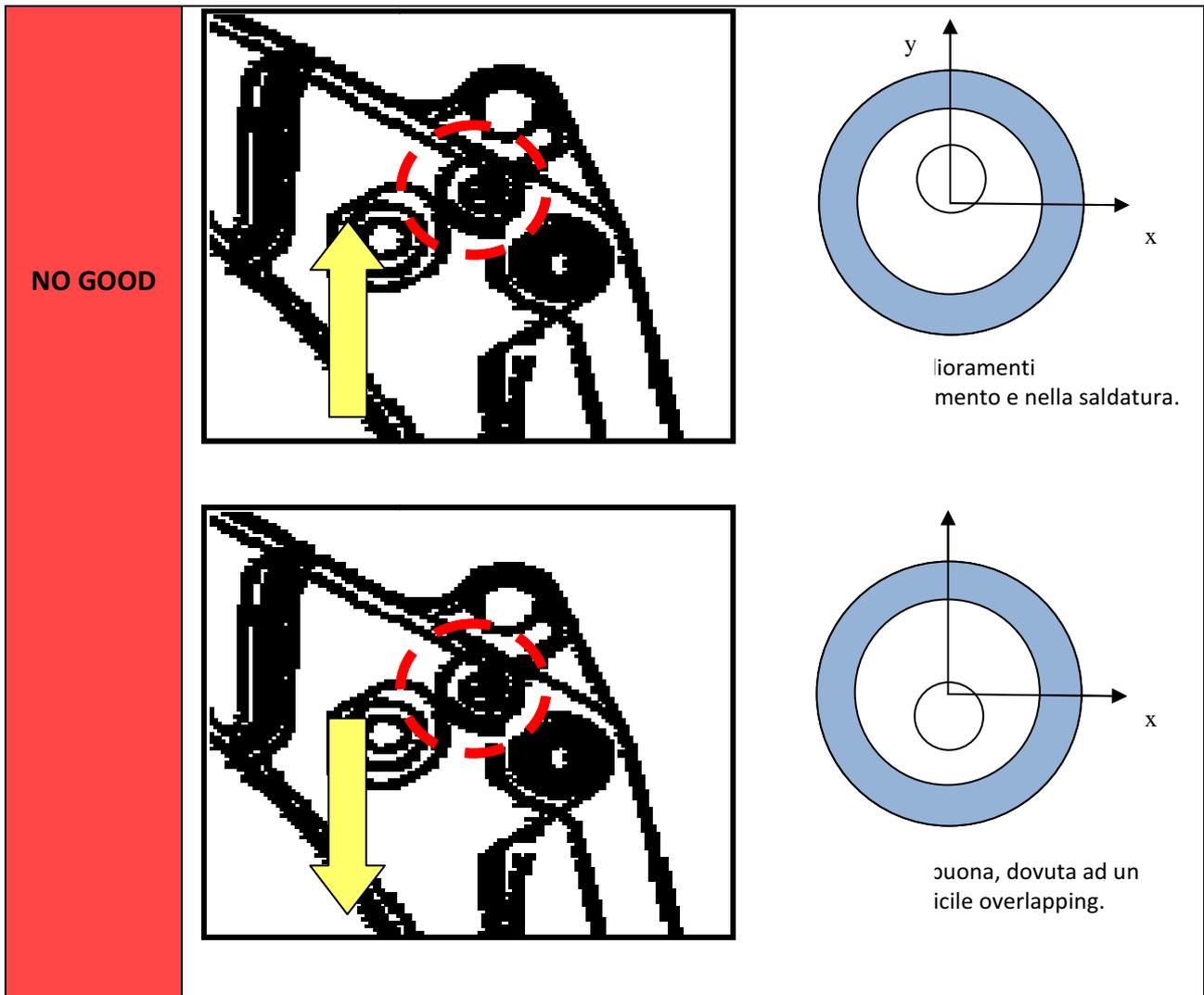


Tabella 6.18 – Tipi di decentramento riscontrati in fase di asportazione di truciolo. Con le frecce si indicano le direzioni di spostamento del componente.

Al fine di tenere monitorata la variabile decentramento, si è provveduto a misurare:

- 1) l'offset del foro lavorato rispetto al grezzo;
- 2) la coassialità tra il foro sinistro e destro, che è pari a 0,3 mm.

## 1) Offset del foro

Per mezzo di un calibro si è misurato, nelle direzioni x e y, l'offset del foro lavorato rispetto al grezzo, la cui tolleranza è pari a  $\pm 0,5$  mm. Le figure 6.54, 6.55, 6.56 e 6.57 rappresentano gli andamenti gaussiani dei dati raccolti.

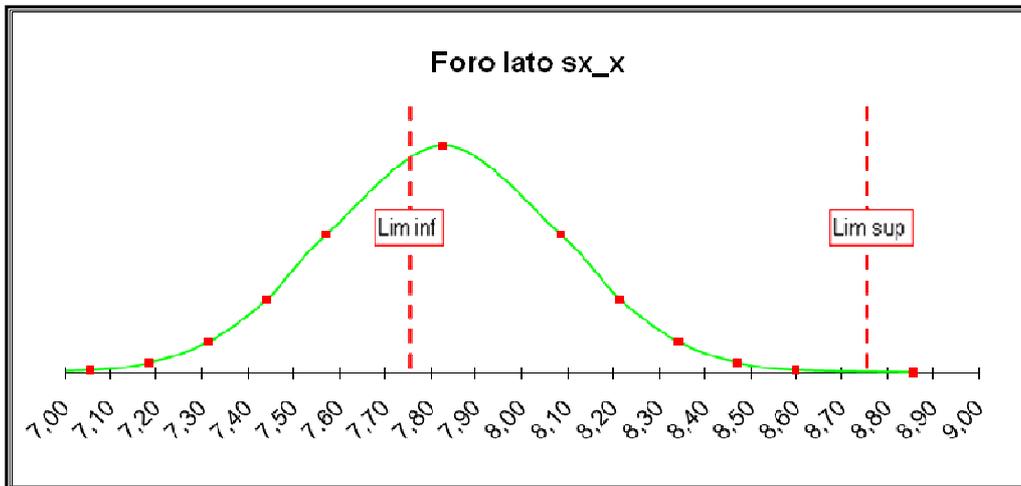


Figura 6.54 – Andamento gaussiano dei dati raccolti sul foro sinistro, nella direzione delle x.

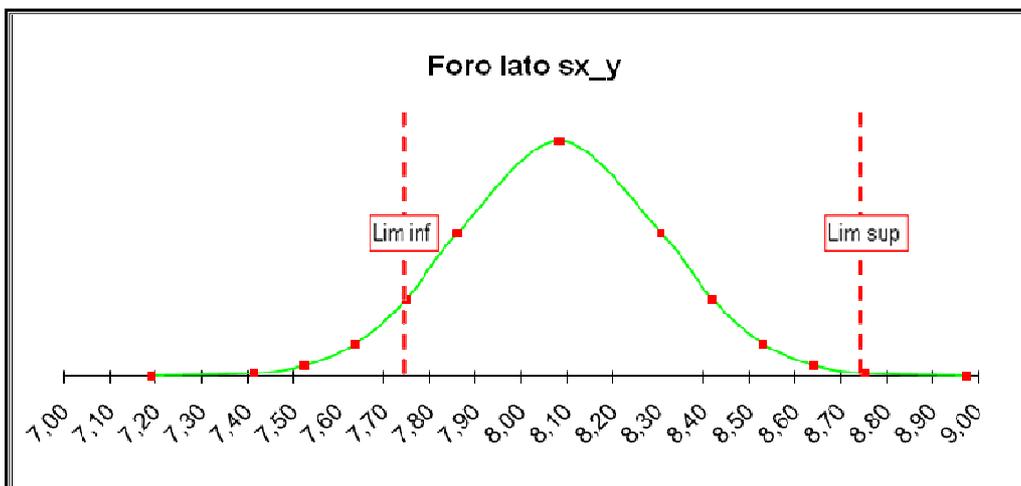


Figura 6.55 – Andamento gaussiano dei dati raccolti sul foro sinistro, nella direzione delle y.

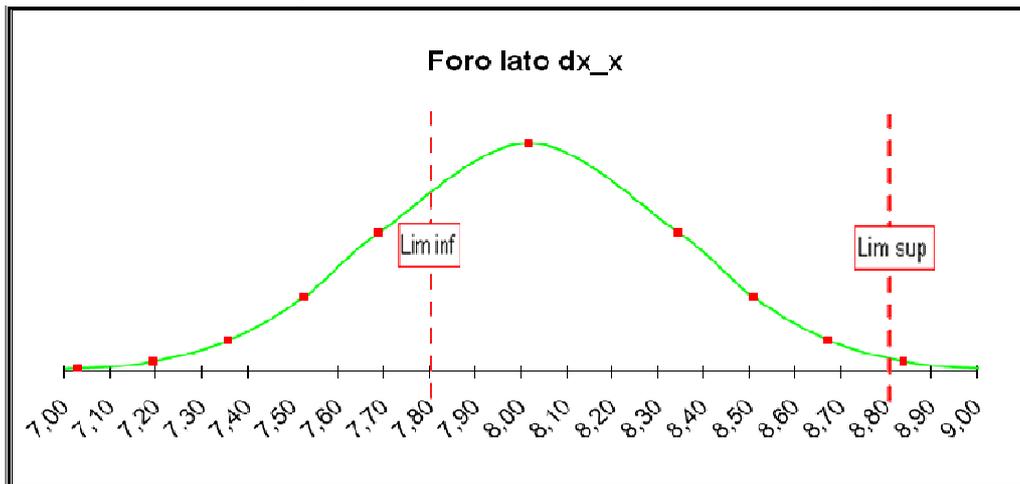


Figura 6.49 – Andamento gaussiano dei dati raccolti sul foro destro, nella direzione delle x.

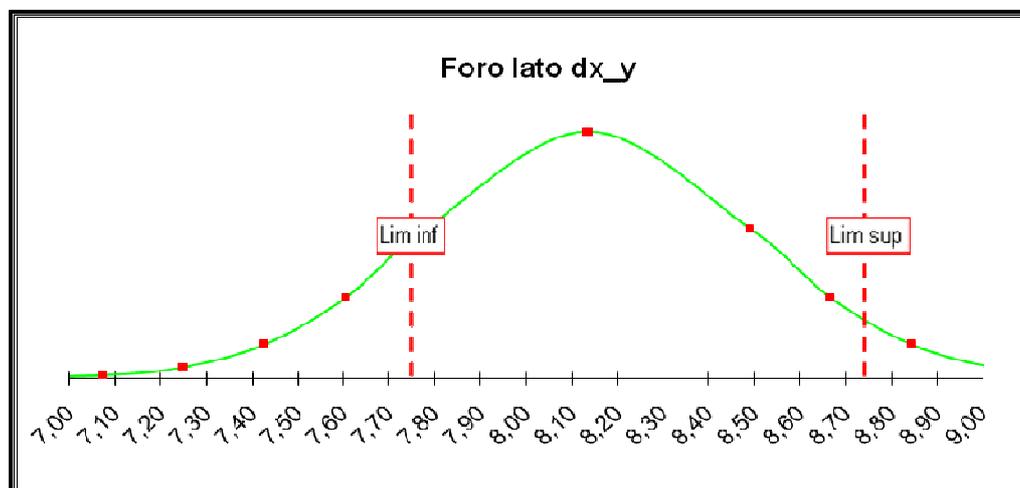


Figura 6.50 – Andamento gaussiano dei dati raccolti sul foro destro, nella direzione delle y.

Come si nota dalle gaussiane, la media delle distribuzioni risulta inferiore della media del *range* di tolleranza. Inoltre i valori si distribuiscono in maniera non omogenea all'interno del campo di considerazione, ma tendono ad uscire al di fuori dei limiti sia superiore che inferiore. Questo identifica una non uniformità delle lavorazioni, dovuta probabilmente al disallineamento del pezzo; problematica di cui ci si è accorti anche nell'attività di studio svolta in fonderia.

La non idoneità del processo è evidenziata anche dal calcolo degli indici  $C_p$  e  $C_{pk}$  (tabella 6.19), che risultano minori del valore *target* di 1,33. Ciò sta a significare che il processo non è né idoneo né capace. Un miglioramento del processo lo si potrà avere abbassando sia il valor medio, sia il valore di deviazione standard.

	FORO SINISTRO		FORO DESTRO	
	x	y	x	y
Cp	0,65	0,75	0,51	0,47
Cpk	0,10	0,50	0,27	0,36

Tabella 6.19 – Calcolo degli indici di processo.

## 6.6 Attività svolta nel reparto Saldatura

A termine della fase di asportazione di truciolo, arrivati i pezzi campione nel reparto di saldatura, si è provveduto a verificare il parametro fondamentale del processo di saldatura: l'*overlap* tra *rear frame* e *main pipe*.

Nella figura 6.51 è rappresentata il telaio e due saldature effettuate, nella tabella 6.20 sono poi rappresentate le possibili condizioni di accoppiamento tra i due componenti e gli effetti che si hanno nella fase di saldatura.

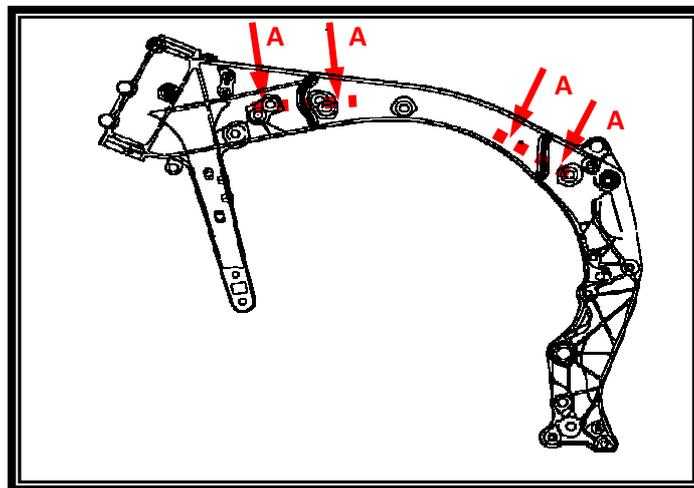


Figura 6.51 – Disegno CAD del telaio con evidenziate le zone di saldatura dei componenti.

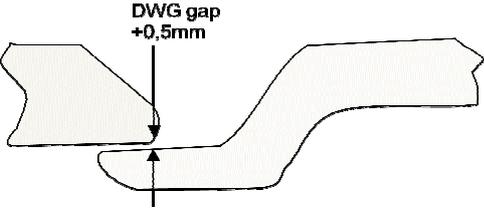
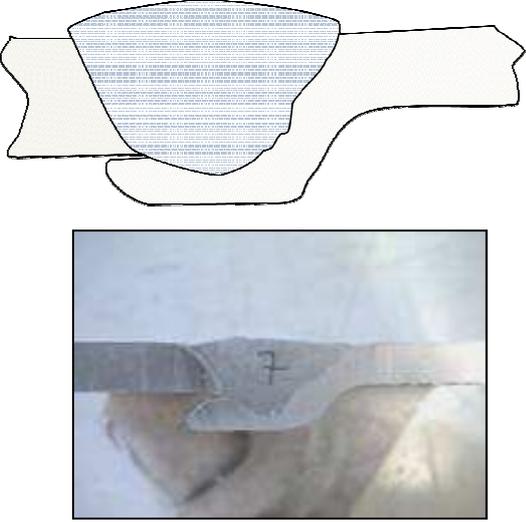
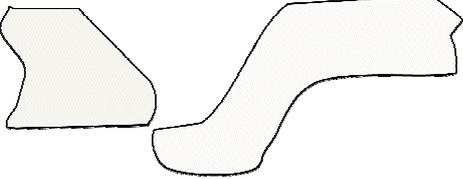
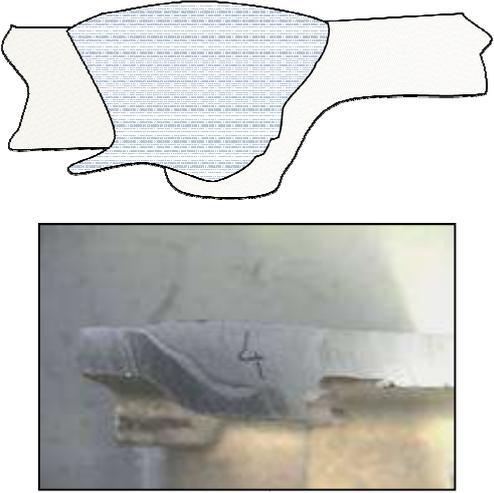
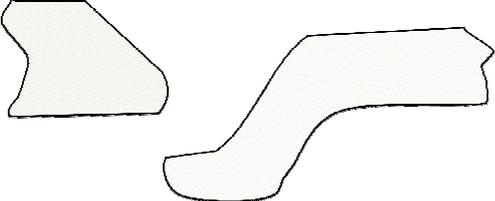
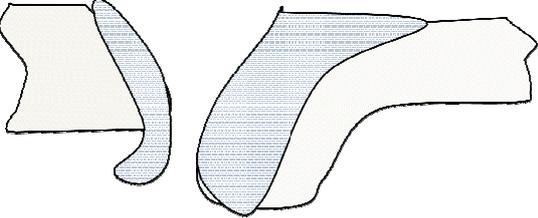
	CONDIZIONE INIZIALE Sez. A – A	RISULTATO DI SALDATURA
<b>GOOD</b>	 <p>DWG gap +0,5mm</p>	
<b>NO GOOD</b>	 <p>RLAP</p>	
	 <p>' &amp; GAP</p>	

Tabella 6.20 – Tipi di sovrapposizioni e relativi effetti sulla saldatura.

Come si vede dall'ultima condizione presentata in tabella 6.20, la non sovrapposizione e presenza di *gap* tra i due componenti fanno sì che il materiale base passi dallo stato solido allo stato liquido. Si deduce, quindi, che i risultati di saldatura sono strettamente legati alla presenza di *gap* e alla condizione di sovrapposizione dei due profili.

Considerando questi due importanti requisiti, e le quote da progetto (figura 6.52), si è provveduto a misurare e analizzare i profili di accoppiamento del campione di *rear frame*. Sono state per tanto prelevate le misure in tre punti del profilo (figura 6.53, 6.54). I dati raccolti sono riportati nella tabella 6.21.

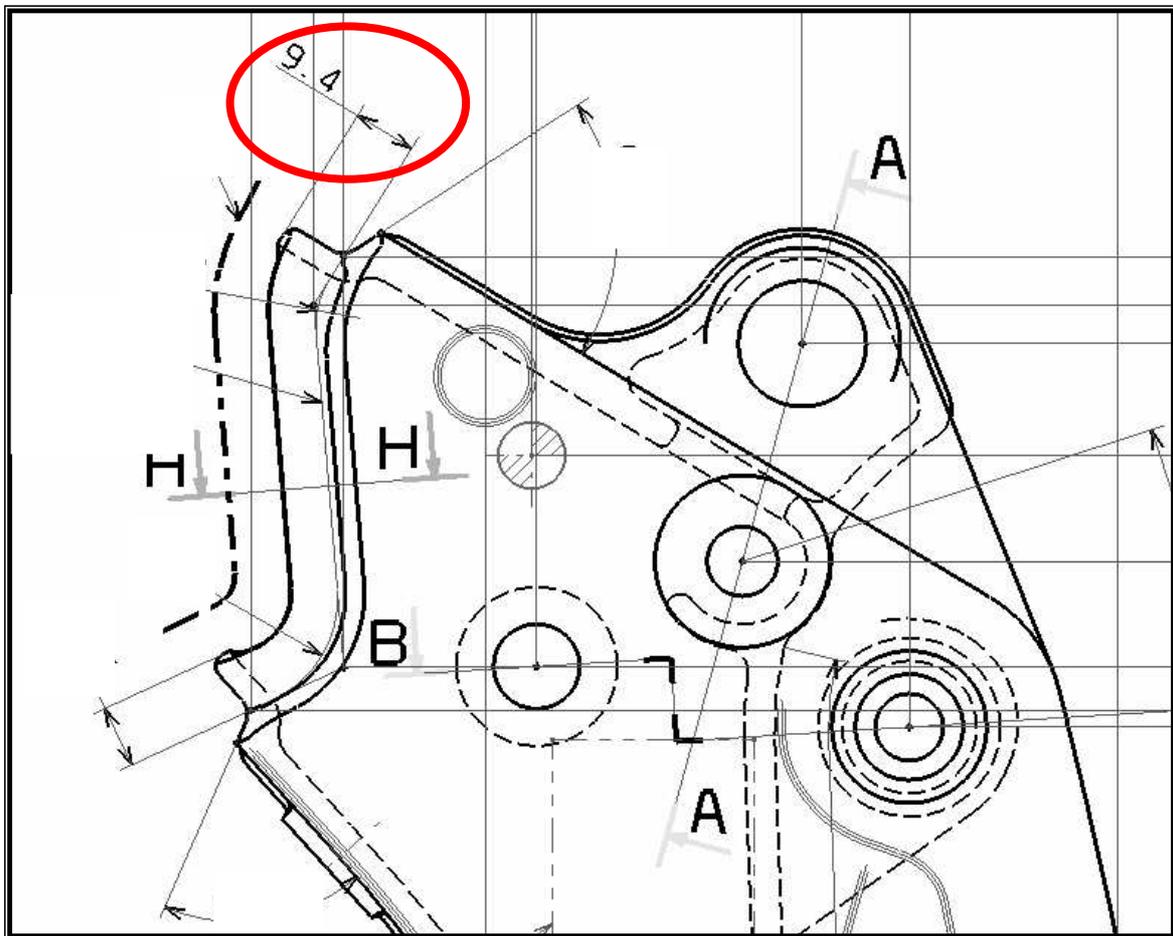
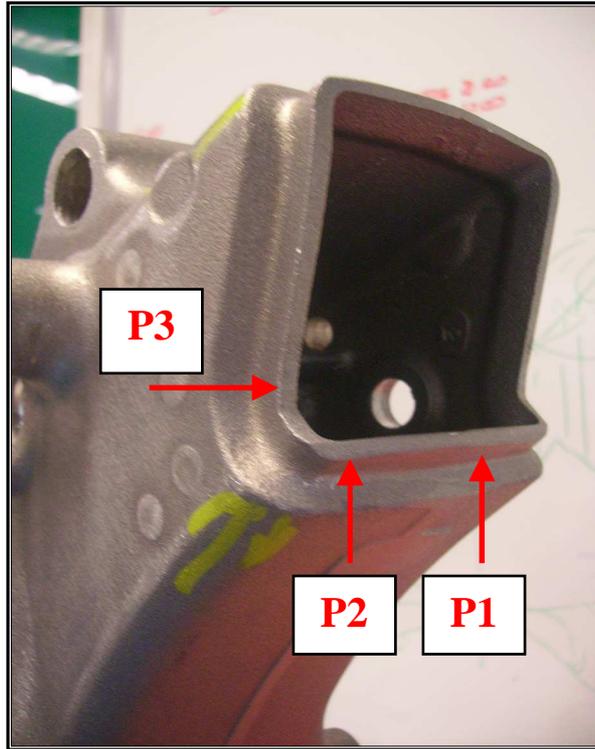


Figura 6.52 – Quota da disegno.



6.53 – Punti del profilo misurati.

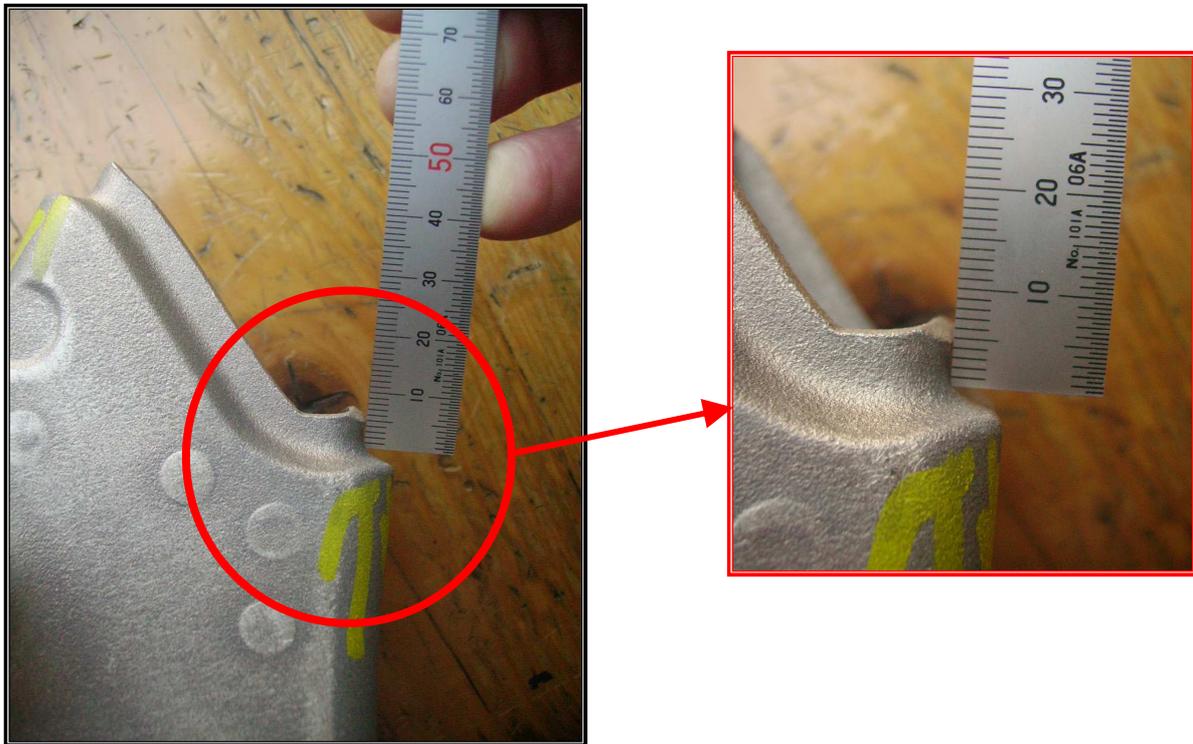


Figura 6.54 – Misurazione effettuata.

NUMERO PEZZO	Stampo 1			Stampo 2			Stampo 3		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1	6,6	6,9	6,9	8	7,8	7,6	8	8,4	7,4
2	6,8	6,5	6,8	8,1	8	7,7	8,1	7,2	7,2
3	6,9	7,2	7,5	8,2	8,2	7,7	8,3	7,8	6,9
4	7,1	7,2	8,2	6,8	6,5	6,8	8,5	8,3	7,5
5	7,2	5,9	8,1	7,2	7,6	7,7	8,5	8,4	7,1
6	7,2	7,6	7,7	7,6	7,2	7	8,7	8,1	7,6
7	7,4	6,4	6,7	6	6,3	7	7,8	8,3	7,6
8	7,6	7,2	7	6,3	6,5	7,3	8,5	8,4	7,1
9	7,6	7,5	7,3	6,7	6,7	7,7	8,7	8,1	7,6
10	7,6	7,7	7,6	6,9	6,6	6,7	6,7	6,7	7,7
11	7,8	7,6	7,9	7	7,2	7,5	7,4	7,4	6,2
12	8	7,8	7,6	7,1	6,7	6,6	7,4	7,6	7,6
13	8,1	7,9	6,9	7,2	7,8	7,5	7,8	7,3	7,5
14	8,1	8	7,7	7,4	7,4	6,2	8	7,4	7,5
15	8,2	8,2	7,7	7,4	7,6	7,6	8,3	7,8	6,9
16	8,4	7,6	6,6	7,6	7,4	7,3	6,7	6,7	7,7
17	8,8	8,7	8	7,7	7,2	7,4	7,2	7,8	7,5
18	8,9	8,3	7,8	7,7	7,2	7,5	7,4	7,4	6,2
19	7,6	7,2	7	7,7	7,5	7	7,4	7,6	7,6
20	7,1	7,2	8,2	7,7	7,9	7,1	7,8	6,9	7,3
21	7,2	5,9	8,1	7,8	6,9	7,3	5,6	6,3	6,8
22	8,2	8,2	7,7	7,8	7,3	7,5	7,3	6,8	7
23	7,6	7,5	7,3	7,8	8,3	7,2	7,6	7,7	7,6
24	7,6	7,7	7,6	7,8	8,3	7,6	7,8	7,6	7,9
25	7,6	7,5	7,3	8	7,4	7,5	6	6,3	7

Tabella 6.21 – Misure dei profili di accoppiamento *rear frame – main pipe*.

Pur non essendo misure molto precise, in quanto prese con una riga, esse ci danno l'idea delle misure in gioco, che come si nota, sono ben differenti dalla quota di progetto pari a 9,4 mm. Nella tabella sono state quindi evidenziate in rosso tutte le minori di 7,0 mm, in giallo tutte quelle comprese tra 7,0 mm e 8,5 mm, infine in rosso tutti i valori maggiori o uguali a 8,5 mm, poiché per i getti di fonderia viene considerata una tolleranza di  $\pm 0,5$  mm. Da ciò si vede come più del 96% dei punti misurati risultano fuori quota. Osservando le foto di alcuni dei pezzi campione, si constata immediatamente che i profili risultano molto spesso privi di materiale e sbavati (figura 6.55).

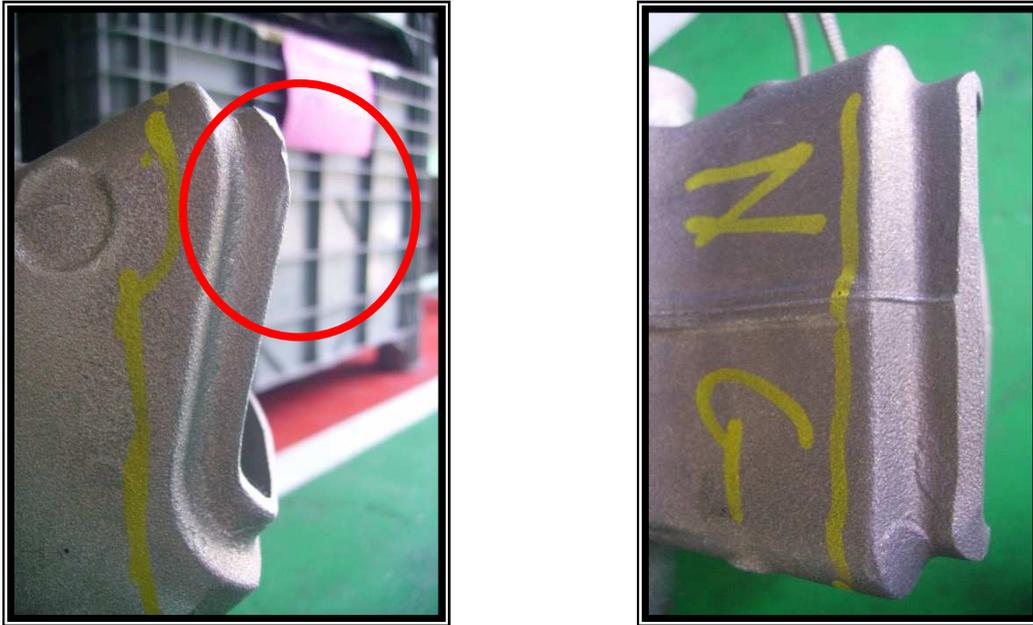


Figura 6.55 – Profilo di accoppiamento non idoneo perché sbavato nella parte superiore.

Al fine di determinare gli effetti che queste non conformità dei pezzi determinano negli accoppiamenti, si sono verificate per mezzo di un calibro le condizioni di *overlapping* nell'accoppiamento *rear frame – main pipe*. Le misure rilevate sono riportate nella tabella 6.22, nella quale sono riportati i numeri degli stampi dei pezzi. È inoltre riportato il giudizio relativo al controllo maschera effettuato passando una spina nel lato destro del foro d'attacco serbatoio (figura 6.56), e quello relativo alla qualità e conformità della saldatura dei componenti.

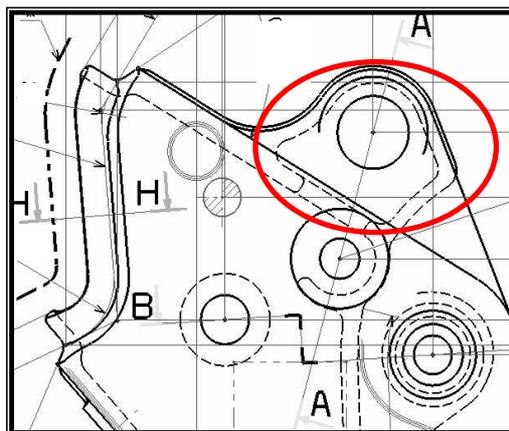


Figura 6.56 – Zona di accoppiamento del *rear frame*. In rosso è evidenziato l'attacco serbatoio.

NUMERO PEZZO REAR	NUMERO STAMPO	GIUDIZIO DOPO CONTROLLO IN MASCHERA	PUNTI MISURATI								GIUDIZIO SALDATURA
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
1	1	OK	2,82	3,3	1,9	2,6	3,5	3,9	2,4	2,8	OK
2	1	OK	3,7	3,3	3	2,8	2,1	3,2	2,6	3	OK
3	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	OK	3,4	3,6	2,6	2,9	2,6	2,6	2,9	2,9	OK
7	2	OK	3,3	2,9	3,2	3,3	3	2,9	3,2	2,8	OK
8	1	OK	3,8	4,1	2,4	2,6	3,9	3,9	2,4	2,4	OK
9	1	OK	3	3,1	2,6	2,5	1,2	2,6	3,3	3,5	OK
10	3	OK	2,8	3	2,2	2,8	2,9	2,9	2,6	2,9	OK
11	3	OK	3,5	3,4	2,5	3,3	2,5	2,7	3	3,2	OK
12	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	2	OK	3,2	3	2,5	2,8	3,3	2,9	3,1	3,1	OK
14	1	OK	2,6	2,9	3,1	3,4	2,7	2,9	2,6	2,5	OK
15	3	OK	2,9	3,2	2,2	2,7	3,4	3,7	2,5	2,8	OK
16	2	OK	3,1	3,2	2,7	2,6	1,3	2,5	3,2	3,4	OK
17	1	OK	3,9	4,2	2,5	2,6	3,1	3,1	3,8	3,8	OK
18	2	OK	4,2	3,6	2,9	2,9	3	2,9	3,5	3,6	OK
19	2	OK	3,7	2,9	2,3	2,7	4	4	2,5	2,5	OK
20	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	3	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	1	OK	3,1	3,3	2,1	2,9	2,7	2,7	2,5	2,9	OK
23	1	OK	3,6	3,9	3,4	3	2,4	3,3	2,6	3,1	NG (sotto)
24	2	OK	3	3,2	2,5	2,9	2,8	3	3,1	3	NG (sotto)
25	2	-	4,2	3,8	3,2	3	3,3	3,4	3,3	3,3	OK
26	3	-	3,9	3,5	3,1	2,9	2,2	3,3	3,4	3	NG (sinistra)
27	1	OK	3,7	3,5	2,7	3,8	2,8	2,8	3,2	3	OK
28	3	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	3	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	3	OK	3,8	3,7	3	2,8	1,9	3	3,4	3,5	OK
31	1	OK	4,3	4	3,2	3,5	2,2	2,8	2,4	2,2	OK
32	3	-	4,5	3,3	3,1	2,7	2	2,6	3	3,2	OK
33	3	OK	2,9	3,2	2,2	2,7	3,4	3,7	2,5	2,8	OK
34	1	OK	3,4	3,6	2,6	2,9	2,6	2,6	2,9	2,9	OK
35	1	OK	2,6	2,9	3,1	3,4	2,7	2,9	2,6	2,5	OK
36	1	OK	4,4	4,4	3	2,9	1,9	3,1	3,5	3,8	OK
37	2	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1	-	2,8	3,2	1,1	1,2	2,8	2,8	1,5	1,3	NG (destra)
39	2	-	4,5	4	3,4	3,5	3,4	3	4,2	4	OK
40	2	-	4,5	3,3	3,1	2,7	2	2,6	3	3,2	OK
41	2	-	4	4,3	3,9	4,2	2	2,7	3,9	4	OK
42	2	-	4,3	4,1	3	3,1	2,8	2	2,4	3	OK
43	1	OK	4,3	3,7	3,4	3,3	2,3	2,8	3,9	3,8	OK
44	1	OK	4,3	4	3,2	3,5	2,2	2,8	2,4	2,6	OK
45	2	OK	2,9	3,2	2,2	2,7	3,4	3,7	2,5	2,8	OK
46	2	-	4,6	4,1	3,5	3,2	3,3	3,5	3,5	4,2	OK
47	2	-	4,7	3,6	3,5	3,4	2	3,2	3,3	3,6	OK
48	3	-	4,6	4	2,7	2,5	1,5	2,6	3,1	2,6	NG (destra)
49	2	OK	4,3	3,7	3,4	3,3	2,3	2,8	3,9	3,8	OK
50	3	-	4	4	3,3	3,3	2	2,8	2,8	3	NG (destra)
51	3	-	4,5	4,7	3,3	3,3	1,8	1,9	3,8	3,7	OK
52	1	OK	2,9	3	2,2	2,7	3,5	3,7	2,5	2,8	OK

53	3	OK	2,5	3,3	2,4	2,7	3,3	3,7	3	2,6	OK
54	3	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	1	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	1	OK	4,3	4	2,9	2,4	-	-	-	-	-
57	2	OK	2,6	2,9	3,1	3,4	2,7	2,9	2,6	2,5	OK
58	3	OK	3	3,3	2,7	3,6	2,4	2,4	2,8	3	OK
59	3	-	4	4,2	3,6	2,9	2,3	2,7	3,2	3,4	OK
60	3	OK	2,9	3,2	2,2	2,7	3,4	3,7	2,5	2,8	OK
61	1	OK	3	3,1	2,6	2,5	1,2	2,6	3,3	3,5	OK
62	1	OK	3,9	4,2	2,5	2,6	3,1	3,1	3,8	3,8	OK
63	1	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	3	NG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	3	OK	4,4	4	3,6	3,5	2	3,4	3,2	3,5	OK
66	3	-	4	3,8	3	3,2	2,1	3,4	3,5	3,4	OK
67	2	OK	4,5	3,9	2,7	2,1	-	-	-	-	-
68	3	-	3,6	3,8	4	3,8	2,9	3,1	4,5	3,7	OK
69	2	OK	4,5	4	3,2	3,2	-	-	-	-	-
70	2	OK	4,2	3,7	3,1	3,2	-	-	-	-	-
71	1	-	4	4,3	2,7	2,5	-	-	-	-	-
72	3	-	4,1	4,2	3,1	3,3	-	-	-	-	-
73	3	-	3,5	3,4	2,9	3	1,6	3	3	2,9	OK
74	3	OK	4	3,5	2,3	2,7	-	-	-	-	-
75	1	OK	4,2	3,9	3	2,5	-	-	-	-	-

LEGENDA:



Pezzo non lavorato per mancanza di materiale



Saldature NG per sfondamento del cordone

-

Misura non rilevata

Tabella 6.22 – Condizione di *overlapping* nell'accoppiamento *rear frame – main pipe*.

È importante precisare che con il giudizio NG in maschera di controllo sta a significare che non si ha il passaggio della spina nel lato destro del foro d'attacco serbatoio, mentre la mancanza di giudizio significa che il passaggio della spina è al limite della tolleranza e quindi il pezzo non è risultato perfettamente OK (esito incerto). Anche questo aspetto evidenzia uno slittamento delle due facce del pezzo.

Nella tabella, come da legenda, sono stati evidenziati i pezzi che non sono stati lavorati a causa della mancanza di materiale (nella parte inferiore della zona di accoppiamento) e le saldature che sono risultate non conformi agli standard di qualità. Inoltre, sono state cerchiare in rosso le misure minime di *overlapping*, che si sono dimostrate ulteriore causa di taglio del cordone di saldatura.

Dalla raccolta di questi dati, si nota come in percentuale i pezzi risultati NG (24%) o dall'accoppiamento incerto (28%) sono quelli di stampo 2. Mentre quelli risultati maggiormente conformi sono di stampo 1 (84%), come si vede dalla tabella 6.23.

STAMPO	Q.TA'	OK		NG		INCERTI	
1	25	21	84,0%	2	8,0%	2	8,0%
2	25	12	48,0%	6	24,0%	7	28,0%
3	25	10	40,0%	5	20,0%	10	40,0%

Tabella 6.23 – Valori percentuali ottenuti dalle misure di *overlapping*.

Questo rilevamento sta a dimostrare che il problema del taglio durante il processo di saldatura è imputabile alla sovrapposizione dei due componenti telaio. Infatti, come si nota dalla tabella 6.22, sette *rear* sono stati scartati per mancanza di materiale nel lembo inferiore.

# Conclusioni

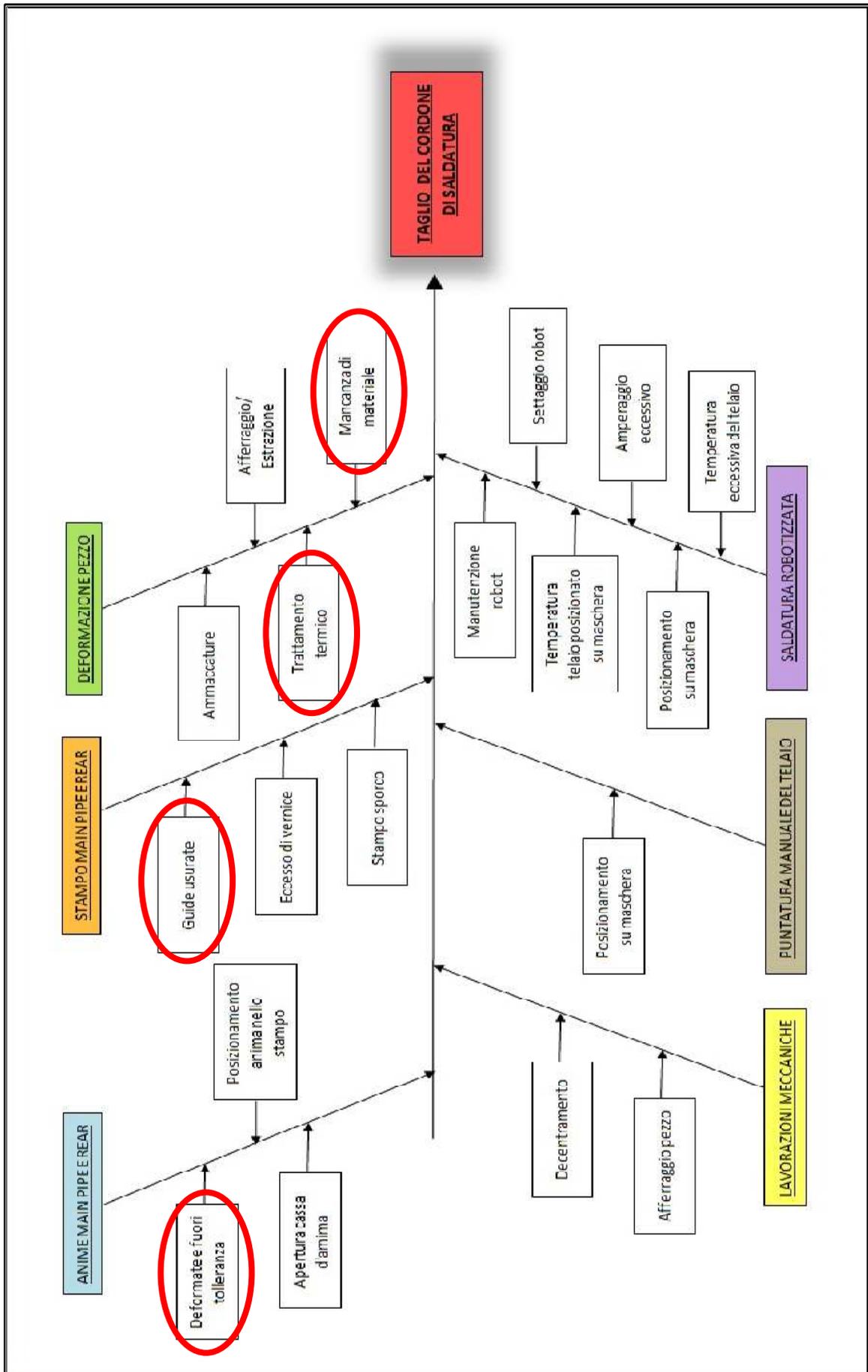
A conclusione dell'attività sperimentale, incentrata sulla determinazione della/e causa/e che determinano il taglio del cordone di saldatura, e che si è svolta sulla base del diagramma di Ishikawa; osservando i risultati dei vari test effettuati, si è potuto osservare che la larghezza delle anime del componente *main pipe* tendono al limite superiore di tolleranza, ossia possono essere più larghe del necessario. Questo è infatti visibile dalle curve gaussiane riportate nel capitolo 7. Tale tendenza rende il processo *non capace*, come si nota anche dal relativo calcolo degli indici di processo  $C_p$  e  $C_{p_k}$ . Pur non essendo variabile (il  $C_p$  è maggiore del valore *target* pari a 1,33), il processo non risulta centrato (il  $C_{p_k}$  ha addirittura valori negativi); per migliorarlo sarà quindi necessario variare il valore della deviazione standard e avvicinarlo al valore *target*.

Si inoltre constatato che un ruolo importante è assunto anche dalla fase di trattamento termico, il quale infatti è causa di deformazioni sia sui pezzi *main pipe* sia sui *rear frame*.

Un'altra causa del problema considerato è il disallineamento della faccia destra rispetto alla faccia sinistra, verificato dal controllo dell'*offset* del foro di attacco telaietto. Dalle analisi effettuate si è constatato come i valori, presi rispetto agli assi cartesiani, presentino uno slittamento del foro lavorato rispetto al grezzo. Inoltre il processo di lavorazione risulta essere molto variabile e non centrato, evidenziato anche dai valori di  $C_p$  e  $C_{p_k}$  minori del valore obiettivo; per cui, anche per quest'aspetto il processo non è né idoneo né capace. Il disallineamento delle due facce del *rear frame* è stato evidenziato anche dal controllo tridimensionale (CTR) effettuato in fonderia e dal passaggio della spina nel foro di attacco serbatoio, durante il controllo in maschera.

Inoltre dallo studio del campione di componenti *rear frame* preso in esame, si è riscontrato che in più del 96% dei pezzi, il profilo dell'imbocco risultava fuori tolleranza, in quanto minore del limite minimo. Da un'analisi visiva dei pezzi, si è notato che i profili apparivano privi di materiale perché sbavati. Queste non conformità dei *rear* campioni agli standard di qualità, determinano una condizione minima o insufficiente di *overlapping*, causa anch'essa del taglio dei cordoni di saldatura.

È utile individuare sul diagramma di Ishikawa le cause del problema preso in esame.



A termine dell'attività di ricerca e analisi delle cause del problema in studio, è stato indetto un *meeting* tra i rappresentanti della TFC Galileo e i responsabili dei reparti Honda Italia interessati.

Durante l'incontro è stata descritta l'attività svolta e sono state rese note le cause che determinano i tagli sui cordoni di saldatura. Al fine di migliorare l'attuale situazione, sono state presentate le seguenti proposte di intervento.

- 1) Riduzione manuale della sezione delle anime *main pipe*, riducendo quindi il campo di tolleranza da  $70_0^{+0.8}$  a  $70_0^{+0.5}$ . In questo modo si cerca di avvicinare lo scarto quadratico medio al valore *target*. L'azione di modifica si dovrà avere su una campionatura di 200 pezzi, costituiti da:
  - 100 pezzi di stampo 1
  - 100 pezzi di stampo 2.
  
- 2) Ripristino delle spine di scorrimento degli stampi del *rear frame*, causa del disallineamento delle due facce del pezzo. A seguito di ciò si dovrà emettere il C.I.P., ossia il “Cartellino di Inizio Produzione”, per identificare i lotti di produzione successivi alla manutenzione degli stampi.
  
- 3) Ristabilire gli standard operativi per la fase di sbavatura dei componenti *rear frame*, evitando in questo modo l'eccessiva mancanza di materiale e stabilendo buone condizioni di *overlapping* tra i due componenti. Per un maggior controllo, gli operatori della sezione Machining verificheranno visivamente l'integrità dell'imbocco di ogni singolo pezzo.

Sarà poi importante riscontrare la bontà delle proposte di miglioramento, effettuando opportuni controlli e verificando la capacità di processo mediante il calcolo degli indici  $C_p$  e  $C_{pk}$ .

Nel caso in cui i miglioramenti apportati non fossero sufficienti all'eliminazione o riduzione degli scarti, si andrà ad agire opportunamente sulla fase di trattamento termico, modificando eventualmente la disposizione dei pezzi o le ceste utilizzate, al fine di ridurre o eliminare le deformazioni dei componenti.

# Bibliografia

- [1] G. Dellacasa, S. Moncini, *Oltre la qualità totale*, F. Angeli, Milano, 2002.
- [2] K. Ishikawa, *Che cos'è la qualità totale*, Il Sole 24 Ore, 1992.
- [3] *Il cuore della filosofia Honda*, Honda Motor Europe (Inghilterra).
- [4] S. Di Lorenzo, *Innovazione, cultura d'impresa e territorio*, 2004.
- [5] *Abruzzo impresa*, Rivista mensile sull'economia abruzzese.
- [6] M. Conserva, F. Bonollo, G. Donzelli. *Alluminio, manuale degli impieghi*. Edimet S.p.A.
- [7] A. Manente, *La fonderia di alluminio nella pratica quotidiana*, Edimet S.p.A.
- [8] Appunti del corso del prof. L.Tomesani. Tecnologia meccanica L. Università degli studi di Bologna. AA 2006/2007.
- [9] Appunti del corso del prof. L.Tomesani. Tecnologia meccanica LS. Università degli studi di Bologna. AA 2007/2008.
- [9] D. Veschi, *L'alluminio e le leghe leggere*, Hoepli, 2003.
- [10] John R. Brown, *The Foseco foundryman's handbook*. Butterworth Heinemann.
- [11] S. Shankar, M. Makhlof, *Evolution of the Eutectic Microstructure During Solidification of Hypoeutectic Aluminum-Silicon Alloys*, WPI Metal Processing Institute - Worcester Polytechnic Institute, 2003.
- [12] S.G. Shabestari, F. Shahri *Influence of modification, solidification conditions and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminium alloy*, 2004.
- [13] M. Santochi, F. Giusti. *Tecnologia meccanica e studi di fabbricazione*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 2000.
- [14] Manuali d'uso, installazione, manutenzione. Mori Seki.
- [15] C. Reverdy, *Le tecniche di saldatura TIG-MIG e ad arco plasma*. Criteri di scelta, applicabilità, confronti. La meccanica italiana. No. 167, nov. 1982.
- [16] Manuali d'uso, installazione, manutenzione. Motoman Robotics.
- [17] Gemba Kaizen, *A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*, Masaaki Imai.
- [18] K.Ishikawa, *Guida al controllo di qualità*, Franco Angeli.
- [19] M. Scagliarini, *Indici di capacità*, Serie strumenti per la didattica 1998, n.3, Dipartimento di Scienze Statistiche, Università degli studi di Bologna.