



**UNIVERSITÀ DI PISA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Gestione delle non conformità nel processo di  
cladding***

**SINTESI**

Relatore:

**Michele Lanzetta**

Candidato:

**Nicola Giaconi**

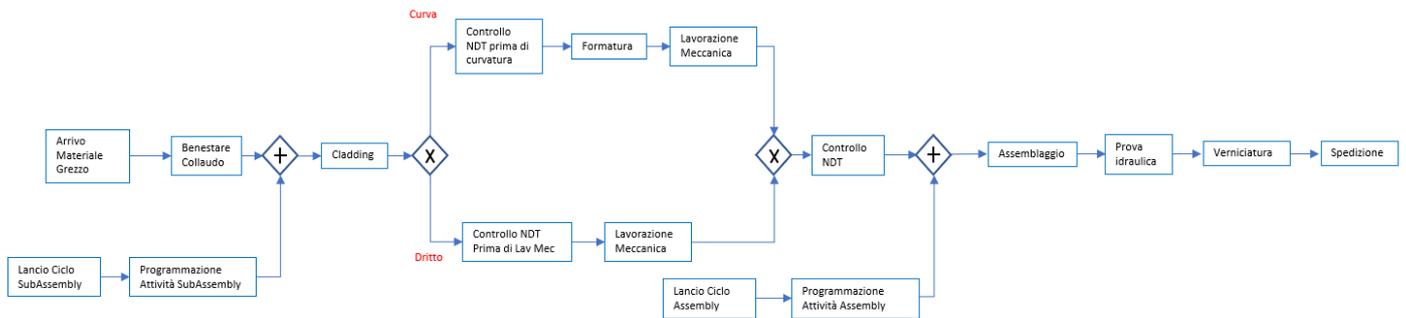
Sessione di Laurea Magistrale del 25/11/2020

## Sommario

L'obiettivo di questa tesi è quello di risolvere uno stop the line all'interno di un'azienda manifatturiera attraverso la modifica del processo produttivo e dimostrare come le soluzioni applicate abbiano vantaggi per il proseguimento della produzione. All'interno dello scritto viene messo in luce tutto il processo operativo di produzione, le procedure utilizzate e le singole attività, andando a dettagliare in particolare modo i controlli NDT (non destructive testing) che hanno delineato la formazione di un problema, che ha portato alla lievitazione dei costi e ad uno slittamento delle date di consegna del prodotto finale. Il processo principale di produzione è il processo di cladding, un processo di saldatura automatico che ha lo scopo di depositare un riporto di materiale nobile su un componente grezzo con una qualità inferiore; il caso studio preso in considerazione prevede di riportare inconel 625 su dei comuni tubi in carbon steel API 5L X65. In fase di produzione dei pipe sono emerse difettologie da UT (ultrasonic testing) su tutti i primi pipe prodotti portando ad uno stop the line e una successiva analisi di risoluzione dei problemi per permettere di proseguire la produzione. Il primo step del caso studio è stato quello di dare una definizione e classificazione dei difetti emersi, attraverso la letteratura corrispondente, e successivamente è stata effettuata un'analisi sulle cause dei difetti. Il lavoro di questo caso ha permesso un ripensamento del processo produttivo inserendo dei cambiamenti, che sono stati analizzati da un punto di vista di impatto economico e slittamento dei piani di produzioni, con lo scopo di portare avanti la produzione. I cambiamenti del processo hanno determinato anche un cambiamento del layout di officina per permettere agli operatori di non commettere errori di lavorazione ed avere una continuità produttiva durante tutta la giornata di lavoro. Il presente lavoro si conclude sintetizzando i risultati ottenuti dopo aver applicato i vari cambiamenti adottati cercando di mettere in evidenza il defect rate emerso dopo le modifiche rispetto al defect rate prima dell'analisi; inoltre viene mostrato come si è ottenuto risparmio economico intercettando prima della fine del cladding i componenti non conformi.

## Abstract

The goal of this thesis is to solve a stop the line inside manufacturing company with some changes in production process and demonstrate how the solutions have advantages for the continuation of production. First step is to make a state of art about operational production process, procedures and activities, and more focus for NDT (non destructive testing) controls that outlined the problem, which rising costs and postponement of delivery dates for the final product. The main production process is cladding process, an automatic welding process that has the scope of make a coating of noble material on raw component with a lower quality; in this case study material used are Inconel 625, for coating, and carbon steel pipes API 5L X65 as raw material. In production phase of the pipes emerged UT (ultrasonic testing) defects on all pipes produced, leading to a stop the line with problem solving analysis to allow production to continue. The first analysis step is to define and classify defects found, through the literature, and the second is make an analysis about the causes of the defects. With this study and the literature, we can make a rethinking of the production process by changes; drivers of these changes are economic impact and postponement of production plans, with the aim of continuing production. The changes in the process have also led to a change in layout of the workshop to allow operators to work well and have production continuity during working day. This study concludes by summarizing the results obtained after applying the various changes, trying to highlight the defect rate that emerged after the changes compared to the defect rate before the analysis; it show also how savings were obtained by intercepting non conformity components before the end of cladding.



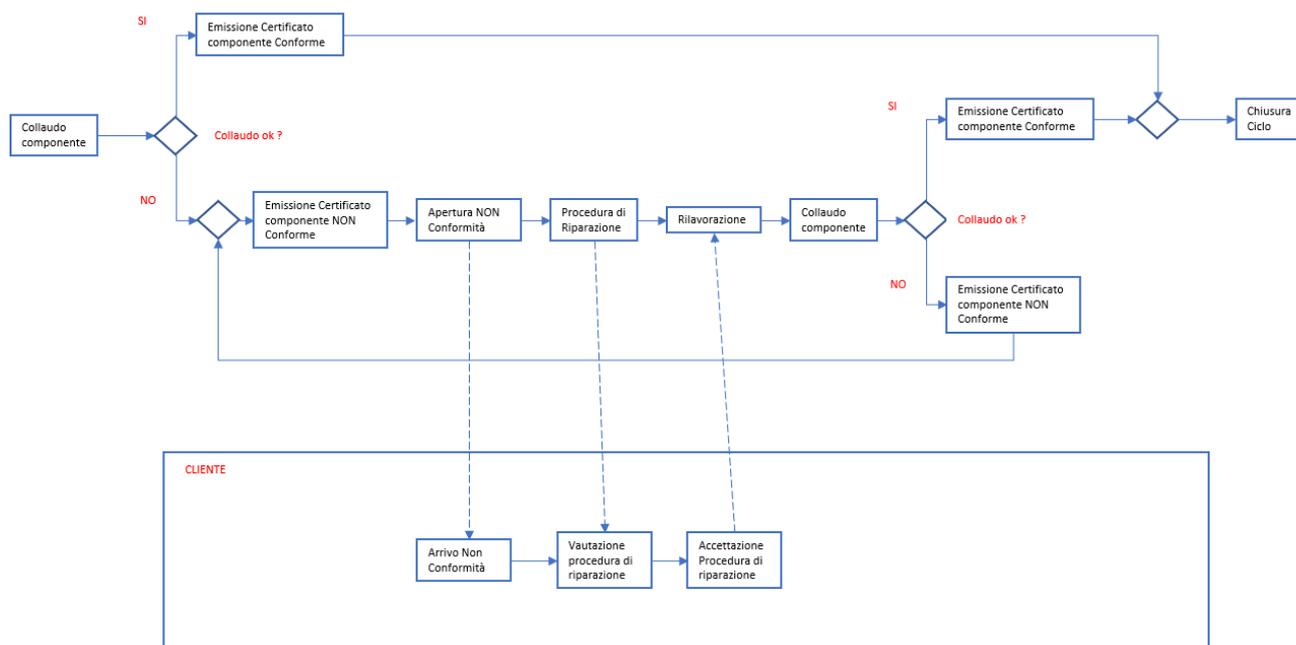
**Figura 0: Processo di Produzione**

## 1 Introduzione e stato dell'arte

Attraverso gli articoli di “Istituto Italiano della saldatura” è stato analizzato il processo di cladding e le metodologie dei controlli NDT, in particolar modo il controllo UT, quello che ha evidenziato le non conformità dei pipe claddati. La produzione consiste nel lavorare 2 tipologie di pipe, i pipe per curva (6,33 pipe grezzi suddivisi in 19 spezzoni di lunghezza 666mm) e i pipe per dritto (6 pipe grezzi suddivisi in 20 spezzoni di lunghezza variabile) che vengono lavorati su 2 macchine automatiche orizzontali, ognuna destinata per una tipologia di pipe; in totale dovranno essere prodotti 14 kit di pipe. Queste non conformità, definite dal controllo UT, hanno determinato uno stop the line con il controllo dei primi 6 pipe prodotti e hanno determinato un'analisi e una classificazione delle non conformità emerse evidenziando quali difetti sono stati riscontrati sui componenti. Il controllo NDT su tutti i componenti viene definito da un documento condiviso tra l'azienda e il cliente, il QCP (quality control plan), che definisce per quali controlli si debba avere la presenza di un ispettore cliente che prende parte fisicamente al controllo e segnala le non conformità tramite la procedura del red flag; questa procedura segnala al cliente la non conformità del pezzo. Il red flag impone l'apertura di un report della non conformità dove viene inserita la documentazione che descrive il difetto e viene allegata anche una procedura di riparazione per risolvere la non conformità, che dovrà essere accettata dal cliente prima di riparare il componente. Il primo problema che si evidenzia è quindi quello dello slittamento dei piani di produzione dovuti all'attesa di una risposta dal cliente sul report della non conformità e i tempi tecnici per la riparazione dei componenti una volta ricevuta l'approvazione a procedere con la riparazione; il secondo problema emerso è quello, ovviamente, di un aumento dei costi dovuto alle riparazioni da effettuare sui componenti che hanno delle indicazioni e quindi non conformi.

Il lavoro effettuato ha lo scopo di definire il difetto emerso sui componenti e successivamente interpretare in maniera differente, rispetto a prima, la non conformità in modo da contenere gli slittamenti del piano di produzione e ridurre i costi dovuti alle riparazioni. L'articolo con approfondimento sulle metodologie di controllo ultrasonoro di B.Chassignolea<sup>1</sup> ha permesso di classificare il tipo di difetto e di definirne la gravità dei difetti emersi in fase produttiva; la tipologia di difetti che sono emersi sono il difetto da disbonding, quando si trova tra lo strato del grezzo e il primo strato del riporto, e il difetto nel volume, indicazioni tra strati successivi al primo strato, che a loro volta sono classificabili in indicazioni puntiformi, indicazioni lineari e indicazioni lineari a più strati. I componenti impattati da non conformità, come mostrato nella figura 1, non sono scartati ma vengono gestiti tramite una procedura di riparazione, definita di rework, in quanto il componente viene splaccato del riporto per mezzo di una molatura manuale o di una lavorazione

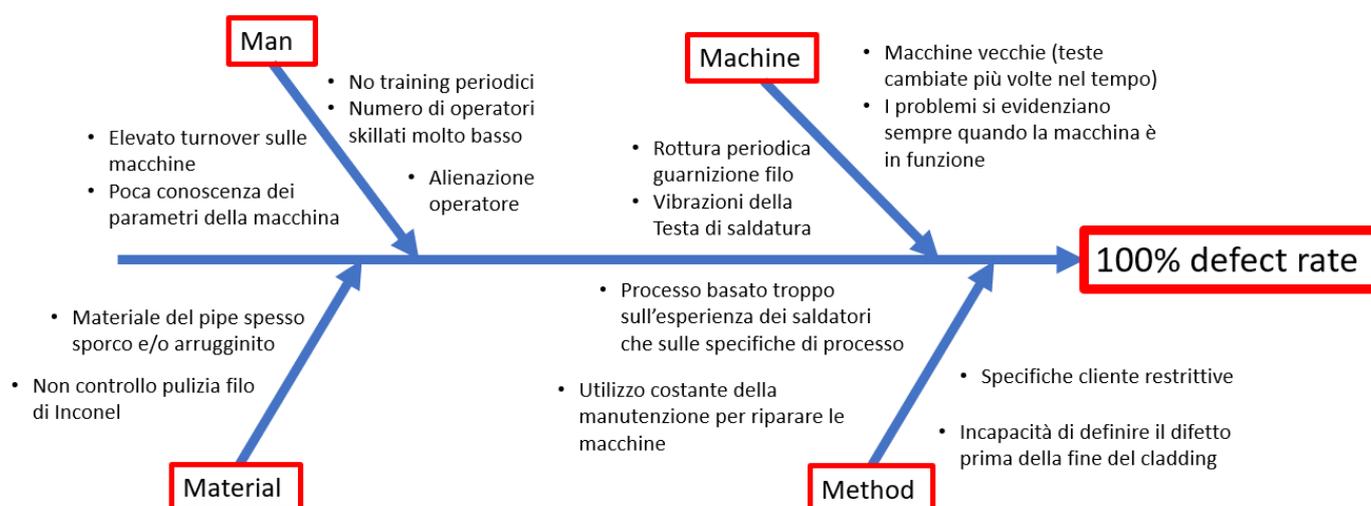
<sup>1</sup>Ultrasonic and structural characterization of anisotropic austenitic stainless steel welds: Towards a higher reliability in ultrasonic non-destructive testing



**Figura 1: Procedura di gestione di una non conformità**

meccanica volta a ripristinare il componente allo stato grezzo e successivamente rilavorato per ripristinare lo strato di riporto previsto dalla specifica. La riparazione da effettuare sul componente viene definita dal tipo di indicazione presente, quando siamo di fronte ad un'indicazione puntiforme la riparazione è manuale, mentre se le indicazioni sono lineari o lineari a più strati il tipo di riparazione da effettuare è automatica. La riparazione automatica prevede l'utilizzo del tornio per la splaccatura del riporto e il successivo ripristino del riporto tramite la macchina di cladding, quella manuale invece prevede che un operatore tolga lo strato di riporto, attraverso l'asportazione con mola, e la successiva saldatura TIG manuale.

Riprendendo vari studi che descrivono il processo di qualità durante le attività di cladding<sup>2</sup> si è cercato di capire le cause delle non conformità riscontrate utilizzando il diagramma a lisca di pesce e il metodo delle 4M. Il diagramma in figura 2 è stato costruito osservando le attività degli operatori, analizzando nel



**Figura 2: Diagramma a lisca di pesce**

<sup>2</sup> Analysis of Quality Control Weld Cladding at Cladtek BI-Metal Manufacturing

dettaglio le specifiche dei componenti e utilizzando brevi sedute di brainstorming con gli operatori stessi. Lo step successivo è stato quello di definire su quali attività agire, in base al budget del progetto e a tempi rapidi di risoluzione del problema, si è deciso di agire su questi 3 punti definiti dal diagramma a lisca di pesce.

- Eliminazione di sporcizia e ruggine sulla superficie interna del pipe attraverso la sabbiatura di tutti i componenti prima del cladding
- Le specifiche restrittive comportano il fermo dell'intero pipe, che contiene più spezzoni, anche se è presente una sola indicazione di pochi millimetri; si è pertanto deciso di tagliare il pipe grezzo in modo da isolare gli spezzoni impattati da difetto e far proseguire la produzione degli spezzoni conformi che non presentavano indicazioni
- Identificare prima della fine del cladding il difetto attraverso un controllo preliminare

## 2 Taglio dei pipe prima di cladding

La prima soluzione adottata è quella del taglio del pipe grezzo prima di cladding in modo da permettere di non bloccare gli spezzoni conformi, all'interno del pipe grezzo; come riporta la specifica, tutti i componenti sono bloccati nel momento in cui si evidenzia una non conformità nei controlli NDT. Tornando sul caso studio specifico dei primi 6 pipe controllati si è passati da un defect rate del 100%, dovute ad un controllo per i 6 pipe grezzi, ad un defect rate del 36,8% poichè 12 dei 19 spezzoni sarebbero stati conformi, in caso di taglio anticipato, e quindi potevano proseguire la produzione andando a completare il kit. In termini di tempi di produzione questo avrebbe comportato che solo il 36,8% (7 spezzoni) sarebbe stato lavorato una seconda volta, utilizzando gli spezzoni del kit successivo. Lo svantaggio che si ha con questa applicazione è l'aumento dei tempi di set up del processo in quanto il tempo di set up di 6 pipe grezzi sarà sicuramente inferiore ai tempi di set up di 19 spezzoni singoli. La figura 3 riassume come l'applicazione del taglio dei pipe prima di cladding ha un risparmio di tempo rispetto alla produzione del primo kit di pipe prodotti tenendo conto anche dell'aumento dei tempi di produzione causato da 30 minuti di set up in più per ogni spezzone.

$$\text{Tempo di produzione}_{\text{prima}} = N^{\circ}_{\text{Pipe per curva}} \cdot 63 \text{ ore} + N^{\circ}_{\text{Pipe per dritto}} \cdot 50 \text{ ore}$$

$$\text{Tempo di produzione}_{\text{dopo}} = \text{Tempo di produzione}_{\text{prima}} + N^{\circ}_{\text{spezzoni}} \cdot 0,5 \text{ ore} - N^{\circ}_{\text{pipe}} \cdot 0,5 \text{ ore}$$

Prima	Dopo
❖ Tempo di produzione di 1 kit ➤ 399 ore + 295 ore = 694 ore	❖ Tempo di produzione di 1 kit ➤ 405 ore + 302 ore = 707 ore
❖ Defect rate 100%	❖ Defect rate 36,8%
❖ Tempo di sostituzione medio spezzoni non conformi ➤ $T_{S1} = 694 \text{ ore}$	❖ Tempo di sostituzione medio spezzoni non conformi ➤ $T_{S2} = 260,1 \text{ ore}$

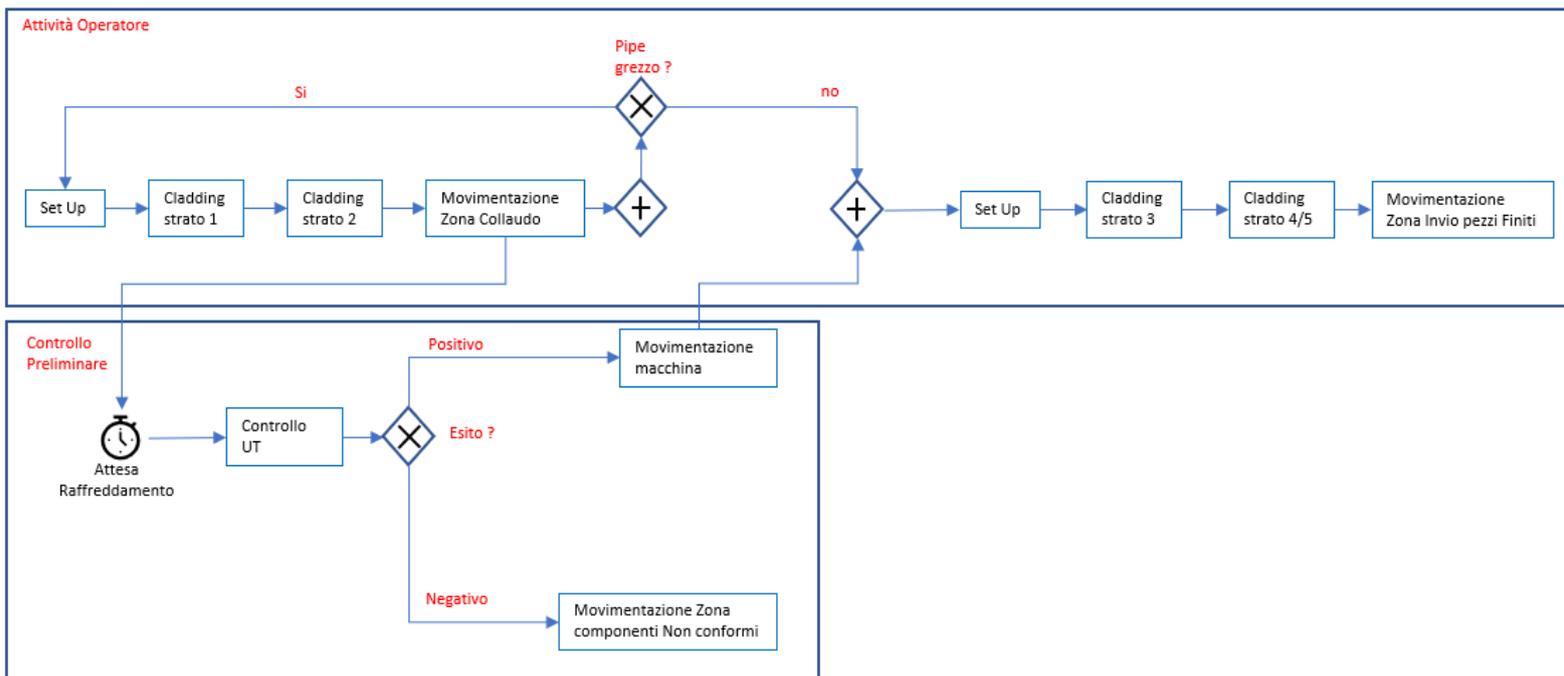
**Figura 3: Tempi di produzione prima vs dopo**

Con questa applicazione si nota che i pipe non tagliati prima di cladding hanno un tempo di sostituzione pari a 694 ore, che rappresenta il totale delle ore per produrre nuovamente 6 pipe grezzi della lunghezza di 2 metri presi dal kit successivo; mentre nel caso in cui i pipe fossero stati tagliati prima del cladding si avrebbe un tempo di sostituzione degli spezzoni non conformi (presi dal kit successivo) pari a 260,1 ore. Il  $\Delta$  di 439.9 ore, da ripartire sulle due macchine automatiche, deriva dal fatto che, nel primo caso si lavora nuovamente il pipe per l'intera lunghezza di 2 metri, mentre nel secondo caso si lavora solamente lo spezzone sostitutivo del kit successivo.

### 3 Controllo preliminare

La seconda soluzione adottata è stata quella di introdurre un controllo UT preliminare a metà dell'attività di cladding al completamento del secondo strato di riporto in modo da evidenziare prima i difetti da UT. In questo controllo è possibile evidenziare solamente i difetti da disbonding, tra il materiale base e il primo strato di inconel, e solo parzialmente i difetti nel volume in quanto si controllano solamente i primi 2 strati prodotti sullo spezzone grezzo. Questo controllo è stato inserito perchè durante la produzione dei primi 6 pipe la percentuale dei difetti da disbonding è stata del 57% rispetto ai difetti emersi e quindi il 57% dei difetti sui primi 6 pipe di produzione poteva essere intercettato prima del completamento degli strati di cladding, comportando quindi un risparmio in termini di tempi e costi.

L'introduzione del controllo preliminare comporta anche una modifica sostanziale del processo produttivo, come è possibile osservare in figura 4, in quanto gli spezzoni, terminata la saldatura, dovranno attendere il loro raffreddamento per eseguire il controllo UT da parte di un collaudatore; in questo modo l'operatore anzichè aspettare che il collaudo preliminare sia completato continuerà a saldare un successivo spezzone grezzo o uno spezzone parzialmente claddato. Questo nuovo processo avrà anche conseguenze sul layout produttivo con l'introduzione di buffer intermedi a supporto dell'operatore. È evidente che il controllo preliminare comporterà un aumento dei tempi di set up perchè si preparerà la macchina al cladding due volte: la prima volta per iniziare il cladding mentre la seconda per completare gli strati di cladding; complessivamente si avrà 1 ora di set up aggiuntiva per ogni spezzone prodotto.



**Figura 4: Nuovo processo introdotto con il controllo preliminare**

Utilizzando il controllo preliminare abbiamo il vantaggio di contenere i costi in 2 modi: il primo è quello di avere un risparmio di ore di cladding per tutti gli spezzoni che hanno un indicazione di tipo disbonding e che quindi vengono intercettati con il controllo preliminare prima di completare tutti gli strati di riporto previsti. In questo modo si ha un risparmio del 50% di ore di cladding per i pipe per dritto e un risparmio del 60% di ore di cladding per i pipe per curva.

$$\forall i, \text{Dritto con difetto disbonding}$$

$$\text{Risparmio}_{\text{Dritto}} = \sum \frac{2}{4} \text{ ore Dritto}_i \cdot C_{\text{orario}}$$

$$\text{Risparmio}_{\text{Curva}} = n^{\circ} \text{ spezzoni con Disbonding} \cdot \frac{3}{5} \text{ ore curva} \cdot C_{\text{orario}}$$

Il secondo vantaggio è quello di avere un costo minore delle riparazioni; infatti per tutti i componenti impattati da difetto da disbonding il costo della splaccatura corrisponde al 50% in meno rispetto a prima in quanto il materiale da asportare ha uno spessore di circa il 50% inferiore rispetto al cladding completo. È possibile dunque definire un  $\Delta_{(+)}$  tra il costo delle riparazioni senza il controllo preliminare e il costo delle riparazioni con il controllo preliminare.

$$\Delta_{(+)} = C_{\text{Splaccatura}} \cdot 0,5 + \text{Risparmio}_{\text{Curva}} + \text{Risparmio}_{\text{Dritto}}$$

Come lato negativo  $\Delta_{(-)}$ , possiamo definire dei costi sorgenti come l'aumento dei tempi di set up e l'aumento dei costi di collaudo perchè il controllo UT viene eseguito 2 volte.

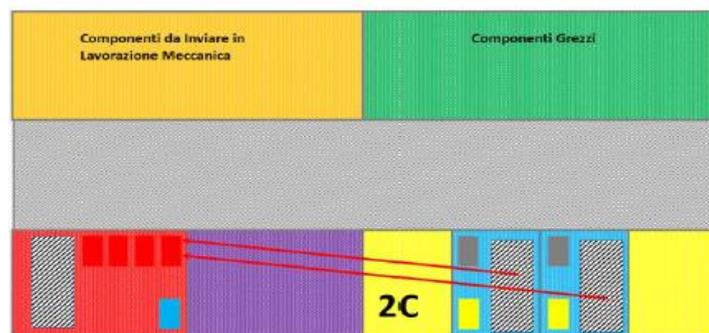
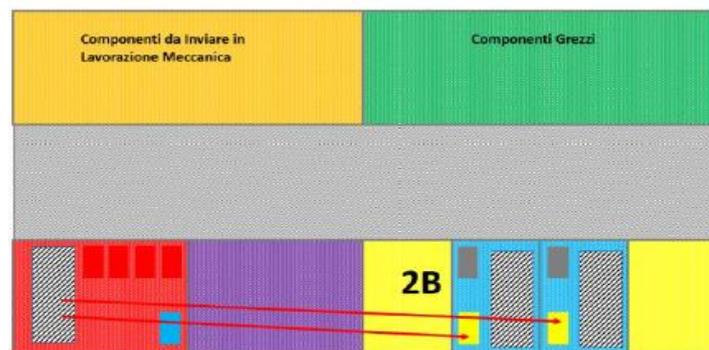
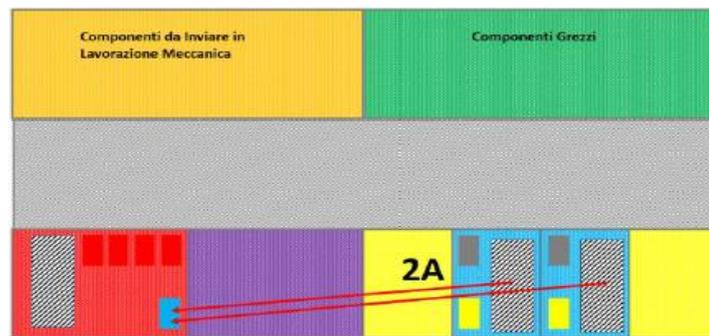
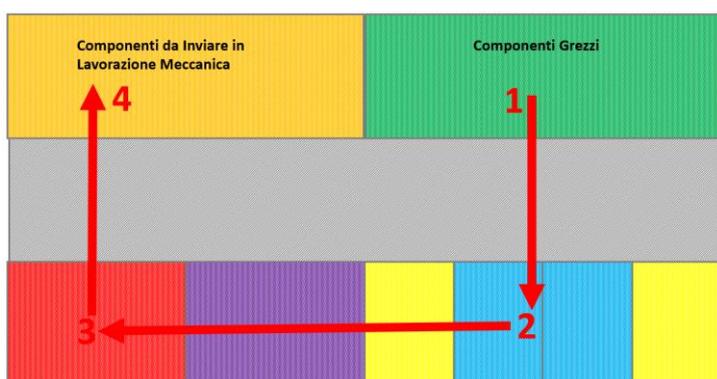
$$\Delta_{(-)} = N^{\circ} \text{ spezzoni kit} \cdot [C_{\text{UT}} + C_{\text{orario}} \cdot 0,5 \text{ ore}]$$

Con l'introduzione della seconda soluzione possiamo calcolare un  $\Delta$  come la differenza tra i vantaggi e gli svantaggi del controllo preliminare

$$\Delta = C_{\text{Splaccatura}} \cdot 0,5 + \text{Risparmio}_{\text{Curva}} + \text{Risparmio}_{\text{Dritto}} - N^{\circ} \text{ spezzoni kit} \cdot [C_{\text{UT}} + C_{\text{orario}} \cdot 0,5 \text{ ore}]$$

#### 4 Modifica del Layout

Le 2 soluzioni proposte precedentemente hanno comportato un cambiamento del layout di officina con lo scopo di non indurre in errore gli operatori, creando dei buffer di lavorazione intermedia all'interno delle zone di lavorazione e controllo. Il percorso iniziale previsto era di tipo semicircolare in modo da permettere ai componenti di seguire un flusso di completamento che rappresenta e descrive lo stato di avanzamento del pezzo dall'ingresso all'uscita, dove seguiranno le successive attività di trasformazione. Il lavoro che è stato fatto è di modificare il flusso di completamento con l'introduzione di stazioni intermedie, aventi lo scopo di descrivere l'avanzamento del componente con un impatto visivo. Sono stati inseriti dei pancali fissi e colorati che hanno proprio questo scopo: il componente all'interno del pancale è in uno stato di completamento definito e la prossima attività che deve compiere viene definita dal colore del pancale. L'introduzione dei pancali colorati è una logica conseguenza dell'introduzione del controllo preliminare che



**Figura 5: Modifica Layout**

modifica profondamente il processo produttivo e genera ulteriori step intermedi che possono generare confusione e ritardi fra gli operatori. Dunque per evitare le problematiche emergenti dal controllo preliminare si è pensato di adottare questa soluzione: introdurre dei pancali nelle apposite aree coinvolte che determinino lo stato di avanzamento del componente. Gli step intermedi sono all'interno delle zone di cladding e di controllo poichè è possibile trovare 2 tipi di componenti: i componenti grezzi in attesa di essere claddati e i componenti in attesa di completare gli strati di riporto nella zona delle macchine di cladding; nella zona controlli possiamo trovare i componenti in attesa di effettuare il controllo preliminare e quelli in attesa di effettuare il controllo finale presenziato con l'ispettore.

Per informare tutti gli operatori dei cambiamenti effettuati sono stati affissi dei cartelloni all'interno dell'officina con la rappresentazione della nuova logica interna e il significato dei pancali colorati. Oltre a ciò è stato indicato chi dovesse effettuare le movimentazioni in modo da non creare incomprensioni o attriti fra gli operativi come riportato in figura 6.

Attività	Descrizione	Owner
1	Trasferimento componenti grezzi presso bordo macchina nel pancale colore Grigio	Officina
2A	Trasferimento componenti per controllo preliminare nel pancale colore Azzurro	Officina
2B	Trasferimento componenti per fine attività di cladding nel pancale colore Giallo	Collaudo
2C	Trasferimento componenti per controllo finale nel pancale colore Rosso	Officina
3	Trasferimento componenti nella zona invio componenti in lavorazione meccanica	Collaudo
4	Preparazione Invio Componenti	Officina

**Figura 6: Owner Attività di Movimentazioni**

## 5 Risultati

Lo studio dei risultati ottenuti in merito alle 2 soluzioni adottate riguarda solamente i primi 3 kit prodotti: gli spezzoni prodotti per ogni kit sono 19 per i pipe per curva e 20 per i pipe per dritto quindi in totale il volume prodotto per i 3 kit è di 117 spezzoni; i primi 6 pipe prodotti del kit 1 sono stati considerati come spezzoni già tagliati per calcolare il defect rate finale dei 3 kit. Il defect rate tiene conto di un qualunque difetto, come riporta la specifica, che abbia un diametro maggiore di 1.6mm all'interno del riporto, quindi il defect rate per come è stato definito non va a classificare gli spezzoni per gravità del difetto, ma evidenzia solamente quei pipe che hanno un'indicazione definita non conforme nella specifica e che quindi non possono proseguire la produzione fino a quando non saranno riparati.

Kit	Tipo	Pipe Impattati	Difetto da Disbonding	Difetto nel Volume	Defect Rate
1	Pipe per dritto	8	5	3	40%
1	Pipe per Curva	7	6	1	35%
2	Pipe per dritto	5	2	3	25%
2	Pipe per Curva	9	7	2	45%
3	Pipe per dritto	5	1	4	25%
3	Pipe per Curva	9	3	6	45%
	<b>Tot</b>	<b>43</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>36%</b>

Tipo	Pipe Impattati	Difetto da Disbonding (%)	Difetto nel Volume	% sul Tot per Tipo
Pipe per dritto	18	8 (44,4%)	10	30%
Pipe per Curva	25	16 (64%)	9	43,8%
<b>Tot</b>	<b>43</b>	<b>55,8%</b>	<b>44,2%</b>	

**Figura 7: Defect rate rispetto il tipo di difetto**

Il defect rate calcolato su 117 spezzoni dei primi 3 kit è stato del 36% come riportato in figura 7. Significa che il 36% degli spezzoni prodotti è stato bloccato perchè non conformi e per sostituire questi spezzoni è stato fatto il cladding dello spezzone sostitutivo del kit successivo in modo da proseguire la produzione. La seconda analisi che è stata fatta è quella di evidenziare come variano i tempi di produzione prendendo in considerazione le soluzioni adottate ovvero il taglio anticipato e il controllo preliminare. La figura 8 riassume i tempi di produzione prima e dopo e, ipotizzando che vengano prodotti solamente spezzoni conformi, la tabella ha lo scopo di evidenziare la differenza di tempo generata dall'aumento dei tempi di set up sul processo.

Prima	Dopo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 + 1/3 tubi da 2 metri</li> <li>• 6 tubi da 2 metri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 19 Spezzoni di 666 mm</li> <li>• 20 spezzoni di lunghezza variabile</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 399 ore</li> <li>• 295 ore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 399 ore + 16 ore = 415 ore</li> <li>• 295 ore + 17 ore = 312 ore</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\frac{399 \text{ ore}}{16 \text{ ore/giorno}} = 24,9 \text{ giorni}</math></li> <li>• <math>\frac{295 \text{ ore}}{16 \text{ ore/giorno}} = 18,4 \text{ giorni}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\frac{415 \text{ ore}}{16 \text{ ore/giorno}} = 25,9 \text{ giorni}</math></li> <li>• <math>\frac{312 \text{ ore}}{16 \text{ ore/giorno}} = 19,5 \text{ giorni}</math></li> </ul>

**Figura 8 – Tempi di Produzione Prima e Dopo**

L'introduzione del taglio anticipato dei pipe e dei controlli preliminari comporta uno slittamento del piano di produzione di 1 giorno lavorativo per entrambe le tipologie di pipe prodotti ipotizzando che tutti gli spezzoni sia conformi. Per completare l'analisi sui tempi di produzione si è definita una formula per evidenziare lo slittamento del piano di produzione tenendo conto dei difetti emersi sugli spezzoni; è stato calcolato il tempo di lavorazione degli spezzoni dei kit successivi per sostituire quelli impattati da difetto secondo le seguenti formule

$\forall i$  dritto con difetto da disbonding ,  $\forall j$  dritto sostitutivo,

$$OreTot_{Dritto} = 3 \cdot Ore_{kit\ Dritti} + \sum (Ore\ dritto\ j)_{Sostituzione} - \sum \frac{2}{4} \cdot ore\ dritto\ i$$

$$OreTot_{Curva} = 3 \cdot Ore_{kit\ Curva} + N^{\circ}_{spezzoni\ Sostituzione} \cdot Ore_{Curva} - N^{\circ}_{spezzoni\ Disbonding} \cdot \frac{3}{5} \cdot Ore_{Curva}$$

Prima	Dopo
<b>STOP THE LINE</b>	$OreTot_{Curva} = 1152.3\ ore$ $\Delta_{ore} = 1580,7 - 3 \cdot 399 = 383,7\ ore$ $\Delta_{Giorni} = \frac{383,7\ ore}{16\ ore/giorno} = 23,9\ giorni$  $OreTot_{Dritto} = 1152.3\ ore$ $\Delta_{ore} = 1152,3 - 3 \cdot 295 = 267,3\ ore$ $\Delta_{Giorni} = \frac{263,3\ ore}{16\ ore/giorno} = 16,45\ giorni$

**Figura 9 – Slittamento del pianodi produzione in base alle soluzioni proposte**

Come evidenziato in figura 9 abbiamo uno slittamento del piano sostanzioso, di circa 24 giorni per la macchina destinata alla produzione delle curve e di 16,5 giorni per la macchina destinata ai dritti. L'introduzione del controllo preliminare prevede anche un risparmio generato dall'intercettazione di tutti gli spezzoni aventi difetti da disbonding; è possibile dunque quantificare il risparmio di costo delle lavorazioni degli spezzoni bloccati utilizzando le percentuali di defect rate in figura 7. È bene precisare che gli spezzoni dei pipe per curva hanno tutti una lunghezza uguale e quindi è possibile definire precisamente il risparmio ottenuto basandoci sulle sole percentuali; non è possibile invece quantificare in maniera esatta il risparmio di costo per gli spezzoni dei pipe per dritto. Infatti all'interno di un kit di dritti la lunghezza degli spezzoni è variabile, perciò possiamo fare solamente una valutazione media dei costi emersi: per calcolare il costo esatto dobbiamo basarci sulla formula  $Risparmio_{Dritto} = \sum \frac{2}{4} ore\ Dritto_i \cdot C_{orario}$  in quanto tiene conto delle ore specifiche di uno spezzone per eseguire la lavorazione.

$$Risparmio_{Dritti} = \frac{1}{2} \cdot (\%Difetti\ Dritti \cdot \%Difetti\ Disbonding\ Dritti \cdot 3 \cdot Ore_{kit\ Dritti}) \cdot C_{orario}$$

$$Risparmio_{Curva} = \frac{3}{5} \cdot (\%Difetti\ Curva \cdot \%Difetti\ Disbonding\ Curva \cdot 3 \cdot Ore_{kit\ Curva}) \cdot C_{orario}$$

## 6 Conclusioni

Lo scopo di questa tesi non è quello di eliminare i difetti da UT presenti sui componenti ma è quello di continuare la produzione cercando di limitare gli slittamenti del piano di produzione e i costi dovuti alle riparazioni. Il lavoro che è stato fatto va nella direzione di creare un sistema nel quale si continui la produzione facendo andare avanti gli spezzoni conformi e limitare lo slittamento del piano di produzione e i costi sorgenti dovuti alle riparazioni da effettuare; sostanzialmente è stato creato un sistema che permette di produrre i pipe, interrompendo lo stato di stop the line, convivendo con le specifiche restrittive del progetto e cercando di mantenere al minimo i costi di produzione che inevitabilmente aumenteranno rispetto ad una produzione con un defect rate pari a zero. La logica di anticipare il taglio ha lo scopo di non bloccare gli spezzoni conformi all'interno del pipe di 2 metri, che alla luce di un red flag devono attendere il benessere del cliente per procedere con la riparazione; dunque questa prima modifica va ad impattare in maniera positiva sul tempo di produzione di un kit di pipe, sia dritti che curve. La seconda modifica adottata, quella di introdurre un controllo preliminare UT, unita ad anticipare il taglio dei pipe, ha lo scopo di intercettare prima della fine del cladding gli spezzoni che presentano indicazioni da disbonding non conformi. Questa seconda logica va ad agire sul tempo di produzione del kit perchè una volta intercettato lo spezzone non conforme, attraverso il controllo UT sul secondo strato di cladding, si continua la produzione con lo spezzone successivo permettendo di risparmiare ore nel claddare strati che successivamente dovranno essere splaccati; il controllo preliminare permette inoltre di evitare sprechi di ore di lavorazione generando un risparmio del tempo di produzione, questo risparmio di ore è chiaramente collegato anche al risparmio di costo per le riparazioni in quanto la riparazione è proporzionale al costo orario. In conclusione il sistema creato ha avuto l'obiettivo di proseguire la produzione e interrompere lo stato di stop the line; oltre a ciò è stato dimostrato come si sia minimizzato l'aumento dei tempi di produzione e dei costi grazie all'introduzione del controllo preliminare. Parallelamente all'analisi svolta in questa tesi è stato creato un team all'interno dell'azienda per risolvere alla radice i problemi emersi durante il controllo UT che ha coinvolto il project manager, l'ingegneria della saldatura e il responsabile qualità dello stabilimento con lo scopo di modificare i parametri di saldatura del processo di cladding e modificare la procedura di controllo UT. Questo lavoro parallelo ha tempi di risoluzione lunghi rispetto alle modifiche di anticipare il taglio dei pipe e di introdurre il controllo preliminare. Quindi la tesi in oggetto si colloca nell'arco temporale antecedente alla modifica dei parametri di saldatura e alla modifica della procedura del controllo UT; infatti queste 2 ulteriori modifiche devono essere giustificate con la creazione di nuove PQR(Procedure Qualification Report) e WPS (Welding Procedure Specification) e successivamente dovranno essere accettate dal cliente, allungando ulteriormente i tempi di risoluzione. La modifica dei parametri di saldatura e la richiesta di modificare la procedura di controllo UT permettono di ridurre notevolmente il defect rate attuale e conseguentemente ripristinare il processo produttivo originario del progetto.