



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria informatica e dell'automazione

Identificazione in tempo reale di configurazioni non corrette per
macchine piegatrici di acciaio da costruzione

Real-time identification of incorrect configurations reinforcement
steel bending machines

Relatore:

Prof.ssa **Silvia Maria Zanoli**

Tesi di Laurea di:

Luchetti Stefano

Correlatore:

Ing. Dott. **Luca Giulioni**

A.A. 2020 / 2021

Indice

1	Macchine piegatrici	6
1.1	Robomaster 60 EVO	7
1.2	Ciclo macchina	7
1.3	Inserimento lavorazione	9
2	Spiegazione problema	12
2.1	Scopo e lavoro di tesi	12
2.2	Identificazione casi problematici	13
2.2.1	Lavorazione conforme	14
2.2.2	Lavorazione non conforme	15
2.2.3	Collisione	16
2.2.4	Strozzamento barra	17
3	Analisi segnali	18
3.1	Definizione fasi di lavorazione	18
3.2	Comparazione segnali	19
3.3	Analisi segnale lavorazione critica	22
4	Soluzione applicata	24
4.1	Calcolo angolo di attacco teorico	24
4.2	Ricerca angolo di attacco nel segnale	27
4.3	Lavorazioni critiche	31
4.4	Riepilogo casi con soluzione applicata	32
4.5	Estensione della soluzione	33
4.5.1	Estensione al caso di più barre	34
4.5.2	Utilizzo di utensili differenti	34
5	Criticità	36
5.1	Componenti meccaniche	36
5.1.1	Camicia del perno	36
5.1.2	Mandrini ovali	36

5.1.3	Tipo di barre	36
5.1.4	Configurazione macchina	37
5.2	Difetti meccanici	37
5.2.1	Perno su pianale	37
5.3	Software	38
5.3.1	Dipendenza da corretta configurazione nell'HMI	38
5.3.2	Modellazione blocco su piegatrice fissa	39
5.4	Possibili miglioramenti al Robomaster 60 EVO	39
5.4.1	Disabilitazione controllo	39
5.4.2	Introduzione Logger	39
5.4.3	Conversione misure	39
6	Conclusioni	41

Introduzione

Oggi giorno l'impiego di macchine automatizzate rende la produzione e la trasformazione delle materie sempre più efficiente. L'evoluzione dell'automazione industriale ha portato a grandi progressi anche in termini di sicurezza. Infatti grazie all'utilizzo di macchine automatiche è possibile spostare il fattore umano dalla lavorazione diretta ad una posizione più di controllo. Questo, se da una parte migliora l'efficienza, la ripetibilità e la sicurezza della produzione, crea nuove problematiche non eliminando ad esempio i possibili errori che l'operatore può commettere nel configurare e controllare la stessa. In generale questi errori sono dovuti a distrazione oppure derivanti dalla non corretta formazione dell'operatore stesso.

Lo sviluppo di soluzioni per limitare l'errore umano è fondamentale nell'industria moderna in quanto è indispensabile per garantire la sicurezza dell'operatore ed avere l'efficienza più alta possibile del processo produttivo. Quindi è necessario progettare dei sistemi che possano ridurre al minimo l'errore introdotto dall'operatore. In ambiti dove è necessario manipolare oggetti pericolosi, generalmente, le macchine automatiche integrano sistemi per la sicurezza. Questi possono essere costituiti da laser o telecamere utilizzate per creare zone di lavoro sicure. Oppure l'utilizzo di sensori dedicati al rilevamento di utilizzo errato dei macchinari.

In questo elaborato, l'interesse è focalizzato alle problematiche di efficientamento del funzionamento dei macchinari e alla prevenzione delle rotture causate da errati settaggi e/o non corretto utilizzo. In particolare, lo scopo è progettare un sistema di monitoraggio e ausilio all'operatore per rilevare e possibilmente prevenire errati utilizzi di una macchina piegatrice di barre d'acciaio destinate alla costruzione. Attraverso uno studio approfondito del funzionamento della macchina, si vuole capire quali sono i casi in cui l'operatore effettui una configurazione errata della macchina ignorando, spesso volutamente, quelle che sono le indicazioni fornite dal software di configurazione della macchina stessa. Purtroppo è infatti prassi abbastanza comune che gli operatori cerchino "scorciatoie" che però portano alla maggior usura o alla possibile rottura della macchina operatrice e nei casi peggiori anche

alla riduzione della sicurezza sul lavoro degli operai stessi.

Queste ragioni hanno portato l'azienda Schnell, presso la quale si è svolto il presente lavoro, alla messa a punto di un sistema di monitoraggio e prevenzione.

L'organizzazione del presente elaborato è la seguente:

- Nel primo capitolo verrà dato uno sguardo generale alle macchine piegatrici e quella presa in esame all'interno dell'elaborato
- Nel secondo capitolo verrà enunciato il problema e identificati quali sono i casi problematici di funzionamento della macchina
- Nel terzo capitolo verranno analizzati i dati acquisiti dalla macchina durante la campagna acquisizioni
- Nel quarto capitolo verrà definita una metodologia per identificare i vari casi attraverso i dati acquisiti
- Nel quinto capitolo verranno espone le criticità della macchina trovate durante l'esperienza di tirocinio
- Nel sesto capitolo verranno tratte le conclusioni

Capitolo 1

Macchine piegatrici

Nel presente capitolo si descrive la macchina operatrice oggetto dello studio del presente lavoro. La macchina viene prodotta dall'azienda Schnell che è considerata tra i leader mondiale nel settore delle macchine automatiche per la lavorazione del ferro per cemento armato, per la produzione di rete elettrosaldata e software di gestione per i centri di sagomatura. In attività dal 1962, l'azienda ha come obiettivo la continua innovazione del settore attraverso la progettazione di nuovi macchinari e la continua evoluzione di quelli già esistenti.

L'esperienza di tirocinio è stata svolta all'interno dell'ufficio ricerca e sviluppo, reparto dedicato allo studio di nuove soluzioni da poter adottare nelle macchine presenti e future. In particolare il lavoro si è svolto su una classe specifica di macchine che sono le piegatrici. A questa tipologia di macchinari è richiesta:

Robustezza: piegare una o più barre simultaneamente con diametri variabili e ripetere la stessa azione migliaia di volte al giorno, richiede uno sforzo considerevole. Per una piegatrice è fondamentale poter sopportare queste sollecitazioni

Precisione: l'acciaio da costruzione richiede forme estremamente variabili. La precisione con la quale si effettua la piega consente di sagomare al meglio la barra secondo le esigenze richiesta

Schnell offre varie soluzioni per la piega dell'acciaio in base ai diametri delle barre con cui si lavora. La macchina presa in esame è il Robomaster 60 EVO.

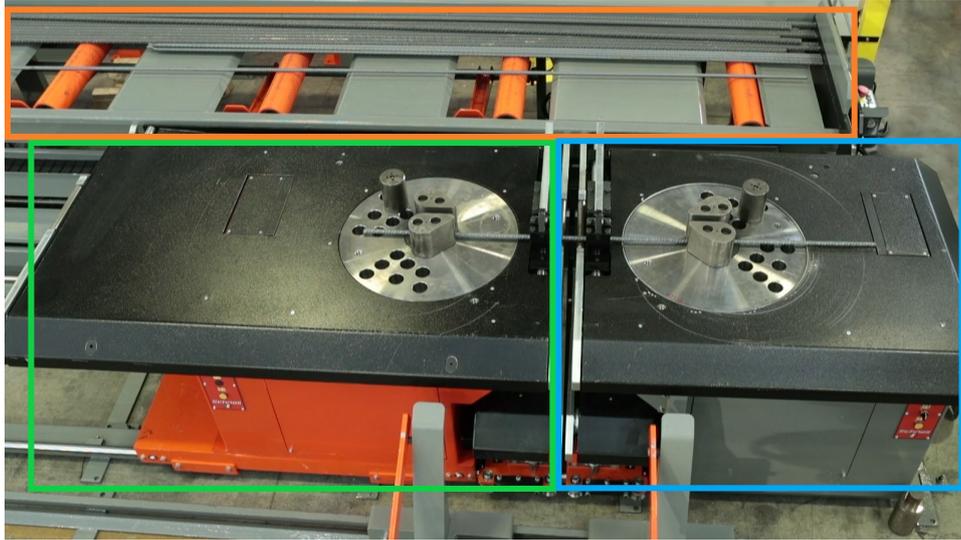


Figura 1.1: Robomaster 60 EVO, sono contornate le parti costitutive della piegatrice

1.1 Robomaster 60 EVO

Il Robomaster 60 EVO è un robot automatico di piega delle barre fino a 50mm di diametro (1.1). È dotato di una rulliera nella quale vengono depositate le barre da lavorare (contorno arancio), una piegatrice mobile in grado di spostarsi lungo dei binari in modo da poter lavorare barre di lunghezza variabile (contorno verde) e una piegatrice fissa (contorno blu). Le pieghe vengono effettuate facendo ruotare il perno piegante posto su un disco rotante. Quest'ultimo è munito di 14 fori utilizzati per fissare il perno e raggiungere i vari angoli di piega richiesti dall'operatore per effettuare la lavorazione richiesta.

Il Robomaster 60 EVO ha in dotazione vari utensili, di forma e dimensioni differenti, specifici per i vari diametri delle barre lavorati.

Nella figura 1.2 vengono evidenziate le parti costitutive del piatto rotante posto nelle piegatrici. In particolare si nota la posizione dell'utensile (in foto è montata una sagoma a goccia), il perno piegante e la zona degli alloggiamenti per i perni.

1.2 Ciclo macchina

Il ciclo di funzionamento della macchina comprende, inizialmente il carico e l'intestatura manuale di ogni fascio di barre sulla rulliera ed il taglio da parte

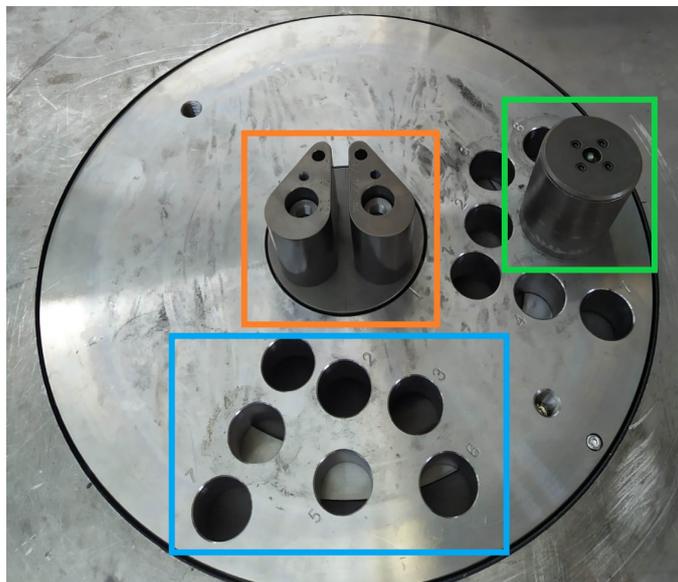


Figura 1.2: Disco rotante con alloggiamenti perno (in azzurro), perno piegante (in verde) e sagoma a goccia (in arancione)

dell'operatore dei legacci che avvolgono i fasci. Quindi si procede all'inserimento (sempre in manuale) della barra o barre già a misura sulle vasche appoggio ferro, poste tra rulliera e piegatrici.

In base alla lavorazione che si andrà ad effettuare, l'operatore procederà al posizionamento della piegatrice mobile. La barra o barre vengono inserite in posizione di lavoro dai ribaltatori (Figura 1.3). Manualmente viene intestata la barra o le barre sulla battuta della piegatrice fissa. L'avvio del ciclo, esegue la piega tramite il perno posto sul disco rotante (su entrambe le macchine), che ruotando, avvolge l'estremità della barra intorno all'utensile centrale (Figura 1.4).

La piegatrice mobile oltre ad eseguire le pieghe, pinzando e traslando la barra o le barre (aiutata anche dalla pinza della piegatrice fissa) definisce la lunghezza dei vari lati del prodotto (Figura 1.5).

Conclusa la lavorazione, vengono azionati i ribaltatori per depositare la barra o le barre nel magazzino a terra (Figura 1.6).

L'azione dei ribaltatori (sia di carico che di scarico) può essere disattivata ed effettuata dall'operatore.



Figura 1.3: Azionamento dei ribaltatori per caricare la macchina



Figura 1.4: Azionamento dei dischi rotanti per effettuare la piega delle barre

1.3 Inserimento lavorazione

Prima di caricare la barra o le barre sulle piegatrici, l'operatore inserisce tramite terminale i parametri necessari alla lavorazione. Inizialmente viene scelto un utensile (sagoma a goccia o mandrino) della dotazione disponibile alla forma che si vuole ottenere e al diametro del ferro (ogni utensile può lavorare barre con diametri che possono variare in intervalli prefissati). Successivamente l'operatore inserisce il diametro e il numero di barre che verranno piegate.

Dopo aver inserito i parametri degli utensili e delle barre, l'operatore, attraverso un editor grafico, immette le specifiche di lavorazione inserendo gli angoli di piega da effettuare e le distanze da rispettare tra i vari punti di piega. L'editor grafico fornisce sullo schermo una rappresentazione grafica del prodotto coerente con le specifiche impostate. Questa simulazione del



Figura 1.5: Riposizionamento della piegatrice mobile per consentire la piega ad una distanza differente



Figura 1.6: Azionamento dei ribaltatori per scaricare a terra le barre lavorate

risultato permette di evidenziare eventuali errori e di provvedere alle dovute correzioni.

A questo punto l'operatore avvia il ciclo di lavorazione. Il software verifica se le impostazioni inserite sono compatibili con l'utensile scelto. Se viene rilevata un'incompatibilità il ciclo viene interrotto e il software comunica il tipo di errore riscontrato. I casi di interruzione sono:

- Il diametro della barra o delle barre che si vuole piegare non è lavorabile con l'utensile scelto
- Il numero di barre inserite eccede il numero massimo lavorabile

Se non si presenta nessun errore, la lavorazione ha inizio. Però i controlli effettuati non sono sufficienti a prevenire tutti quei problemi che verranno esposti nel capitolo successivo.

Capitolo 2

Spiegazione problema

Come descritto nel capitolo precedente, la macchina necessita di un operatore non solo nella fase di configurazione (inserimento dei parametri della lavorazione), ma anche nell'inserimento dei perni pieganti nella posizione indicata e degli utensili. Inoltre la macchina non è in grado di:

- identificare l'effettiva posizione in cui viene inserito il perno dall'operatore
- verificare se la configurazione hardware del macchinario e la configurazione inserita via software siano la stessa

Se l'operatore, per distrazione o altra motivazione, inserisce il perno in una posizione diversa da quella indicata dal software oppure immette una configurazione diversa da quella effettiva, avremo dei risultati diversi da quelli attesi. Nel migliore dei casi la lavorazione non è conforme, mentre nel peggiore rischiamo una rottura meccanica. Quindi il problema principale è l'impossibilità di verificare se l'operatore ha inserito correttamente tutti i parametri che il software di controllo della macchina necessita ai fini della lavorazione e se ha rispettato le indicazioni mostrate dal software stesso nel posizionare il perno piegante.

2.1 Scopo e lavoro di tesi

Lo scopo di questa tesi è quella di progettare un sistema in grado di rilevare ed identificare in linea, durante il funzionamento della macchina, i sopracitati casi problematici attraverso l'acquisizione e analisi dei dati relativi alla lavorazione.



Figura 2.1: Collisione barra su sagoma con conseguente schiacciamento della barra

2.2 Identificazione casi problematici

Per identificare i casi problematici si sono effettuate delle lavorazioni inserendo una barra alla volta, variandone il diametro, con i vari utensili messi a disposizione dalla dotazione della stessa. Per ogni lavorazione abbiamo acquisito sia il caso di posizione perno corretto sia quello con i perni in posizione errata. I risultati sono raggruppabili in 4 casistiche:

- Lavorazione conforme
- Lavorazione non conforme
- Collisione
- Strozzamento barra

2.2.1 Lavorazione conforme

Avviene solamente nel caso in cui l'operatore abbia inserito correttamente i parametri nell'interfaccia utente e il perno nella posizione suggerita. La lavorazione è esattamente quella che ci aspettiamo.



Figura 2.2: Lavorazione barra eseguita correttamente

2.2.2 Lavorazione non conforme

Avviene quando il perno inserito non è quello indicato dal software. La lavorazione non è conforme a quella richiesta. Abbiamo pieghe errate di pochi gradi (nel caso in cui abbiamo inserito il perno ad una stessa angolazione ma con distanze differenti da quella ideale), oppure pieghe con angoli molto differenti (nel caso in cui il perno è inserito ad angolazioni diverse da quella ideale).



Figura 2.3: Lavorazione barra non conforme a quella desiderata

2.2.3 Collisione

Il perno è inserito ad una distanza minore dell'ingombro massimo della sagoma sul disco. Questo caso può accadere solo se la sagoma sfiora l'alloggiamento centrale. Il perno, collidendo, potrebbe forzare sull'alloggiamento della sagoma portandola a rottura. In fase sperimentale si è prevenuta la rottura limitando l'assorbimento massimo del servomotore.



Figura 2.4: Collisione del perno contro la sagoma

2.2.4 Strozzamento barra

Il perno è inserito ad una distanza minore rispetto quella ideale impedendo il corretto passaggio della barra tra perno e sagoma. Il servomotore è costretto ad aumentare lo sforzo per poter compiere la rotazione. Differentemente dalla collisione, il perno procede comunque schiacciando in modo anomalo la barra. Questa condizione si verifica principalmente con sagome a goccia (utensile mostrato in figura 2.5). Come nel caso della collisione, il perno potrebbe portare a rottura l'alloggiamento. Anche qui viene immesso un limite massimo di assorbimento del servomotore in fase sperimentale per evitare una reale rottura.



Figura 2.5: Strozzamento barra

Capitolo 3

Analisi segnali

In questo capitolo si analizzano i segnali acquisiti per identificare le differenze tra i vari casi citati nel capitolo precedente. Si è proceduto analizzando inizialmente una lavorazione conforme, ovvero nella quale l'operatore ha eseguito correttamente tutte le configurazioni, in modo da poter comparare le altre casistiche e rilevarne le differenze. Il segnale considerato è quello della corrente assorbita dal servomotore in base alla rotazione del perno della piegatrice fissa.

3.1 Definizione fasi di lavorazione

Dalle prime osservazioni si è notato come, a parità di utensile e diametro barra, al variare della posizione del perno piegante, si hanno diversi andamenti della corrente assorbita (si veda 3.1). Si è però notato un pattern ricorrente. A questo punto ci si è chiesto se, prendendo una singola acquisizione, fosse possibile dividere il segnale in base allo stato di avanzamento della lavorazione stessa.

Si prenda come esempio la lavorazione di una barra da 32 mm. Dall'osservazione della figura 3.2 si nota che si può dividere il segnale in varie fasi corrispondenti allo stato di avanzamento della lavorazione:

Fase 1: La corrente aumenta velocemente per poi diminuire portandosi ad un valore stabile. In questa fase il disco (e il perno posto su di esso) raggiunge la velocità di rotazione stabilita dalla macchina. L'aumento di corrente corrisponde alla fase di accelerazione mentre la diminuzione alla fase di decelerazione alla velocità desiderata;

Fase 2: La corrente rimane stabile. Questo è dovuto al movimento libero del perno a velocità costante;

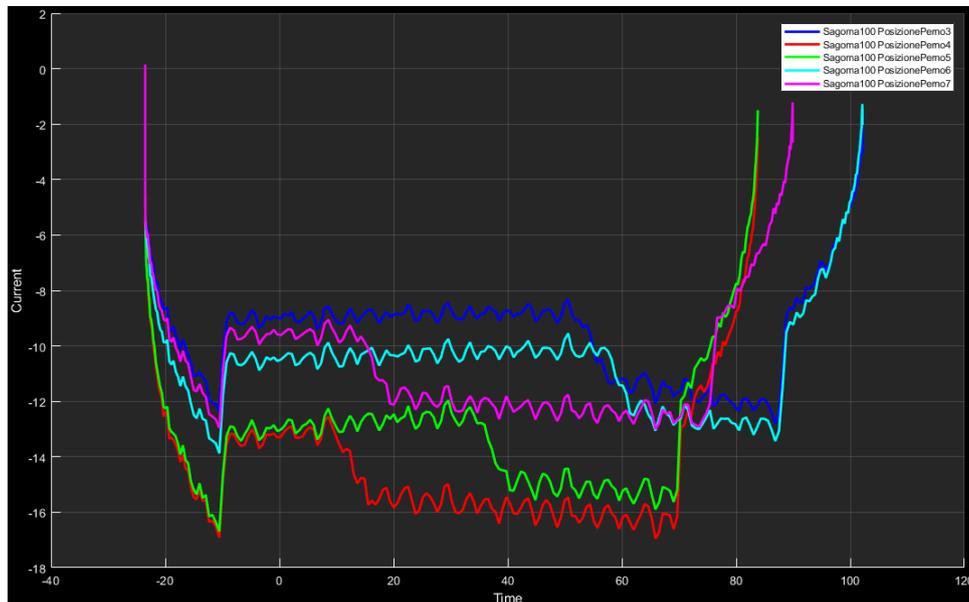


Figura 3.1: Acquisizioni in stesse condizioni con variazione perno

Fase 3: La corrente aumenta ad una certa angolazione, poi continua ad aumentare ma senza avere un fronte di salita ripido come l'aumento precedente;

Fase 4: La corrente ha una brusca diminuzione. Il perno rallenta la sua corsa fino a fermarsi.

Se questa suddivisione del segnale è replicabile su ogni acquisizione si può cercare, in ognuno di essi, il fronte di salita della fase 3.

3.2 Comparazione segnali

Analizzando i comportamenti di tutti i segnali di corrente delle lavorazioni non critiche si nota che:

1. Seppure il trend dei segnali è molto simile, per ogni acquisizione i valori assoluti sono sempre differenti anche nelle fasi apparentemente identiche
2. È possibile dividere le lavorazioni in base al diametro della barra inserita (grande o piccola)

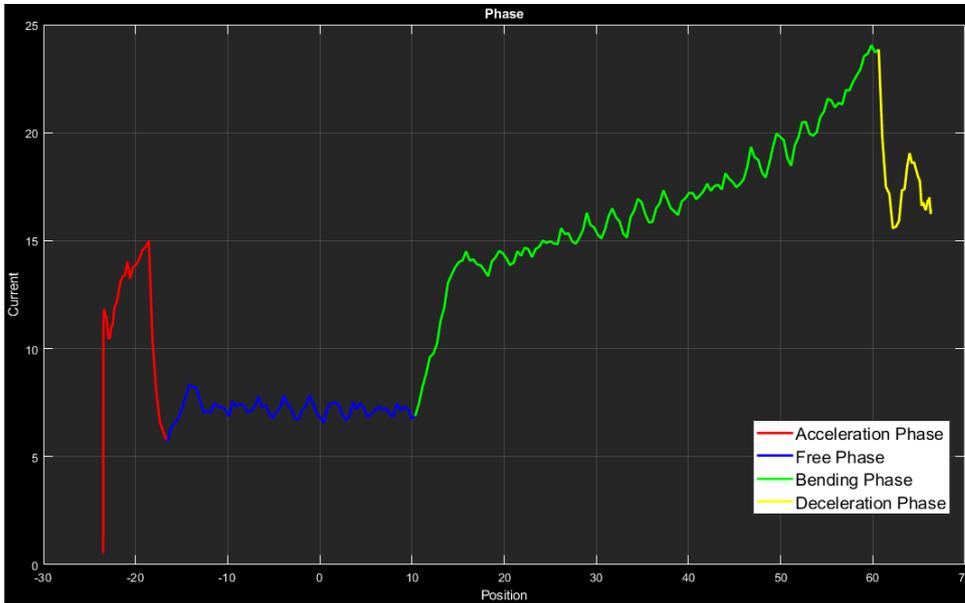


Figura 3.2: Fasi lavorazione con diametro 32mm

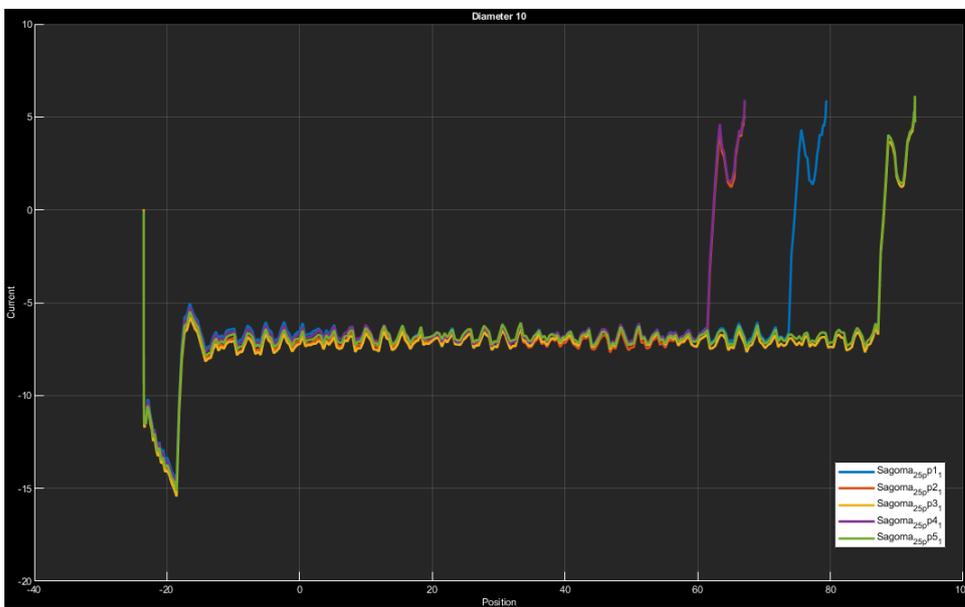


Figura 3.3: Lavorazione diametro 10mm con perni diversi

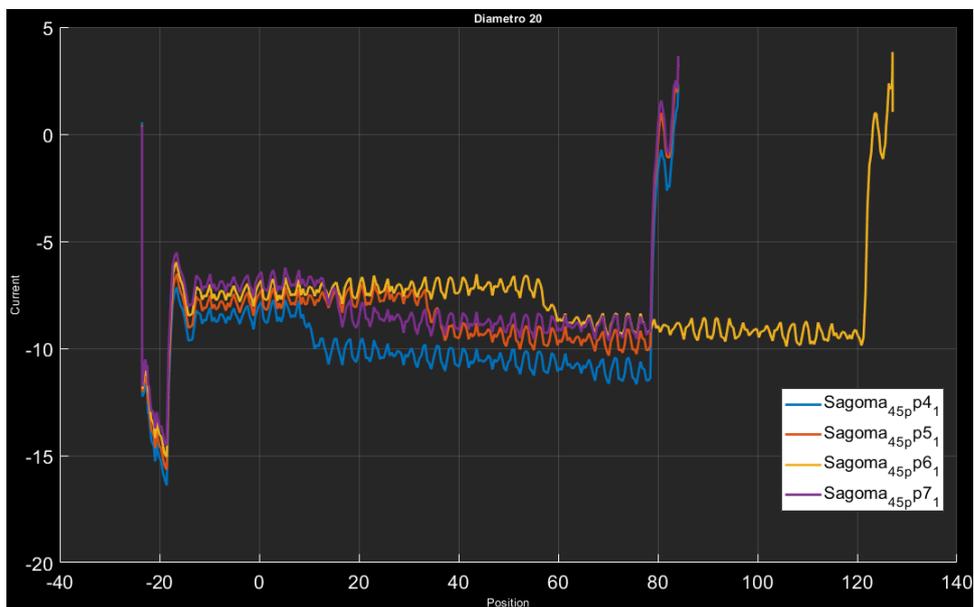


Figura 3.4: Lavorazione diametro 20mm con perni diversi

La distinzione dei segnali in due gruppi era prevedibile perché il servomotore dovrà compiere uno sforzo maggiore per poter effettuare la lavorazione all'aumentare del diametro. Però la variazione assoluta degli assorbimenti (notabile in figura 3.1 guardando le prime fasi) è ambigua. Considerando il funzionamento meccanica della macchina si è capito che questo fenomeno è riconducibile alla temperatura dell'olio idraulico. Infatti in base alle condizioni operative di quest'ultimo avremo delle prestazioni differenti nelle prime lavorazioni fintantoché non si raggiunge la temperatura ottimale.

Questo comportamento è stato validato attraverso l'acquisizione di 100 lavorazioni consecutive fatte a "vuoto", cioè senza caricare la macchina e inserire il perno piegante (il software non è in grado di rilevare la presenza di questi due elementi). Nella figura 3.5 i segnali sono numerati in ordine cronologico. Si nota una progressiva diminuzione di assorbimento corrente da parte del servomotore. Visionando altri segnali di lavorazioni non critiche si nota che le fasi 1, 2 e 4 non hanno differenze significative, ma nella fase 3 notiamo un cambiamento sia nella posizione di inizio fase che nella salita stessa della corrente. L'angolo nel quale inizia la fase corrisponde all'angolo di incontro del perno con uno ostacolo e varia in base alla posizione stessa del perno sul disco rotante. Mentre il grado di salita della corrente è legata allo sforzo che il servomotore compie per poter effettuare la piega. Ci aspettiamo che per una barra di piccole dimensioni lo sforzo sia minimo e talvolta impercettibile (è evidente nel caso di barra da 10mm), al contrario di una barra di grandi

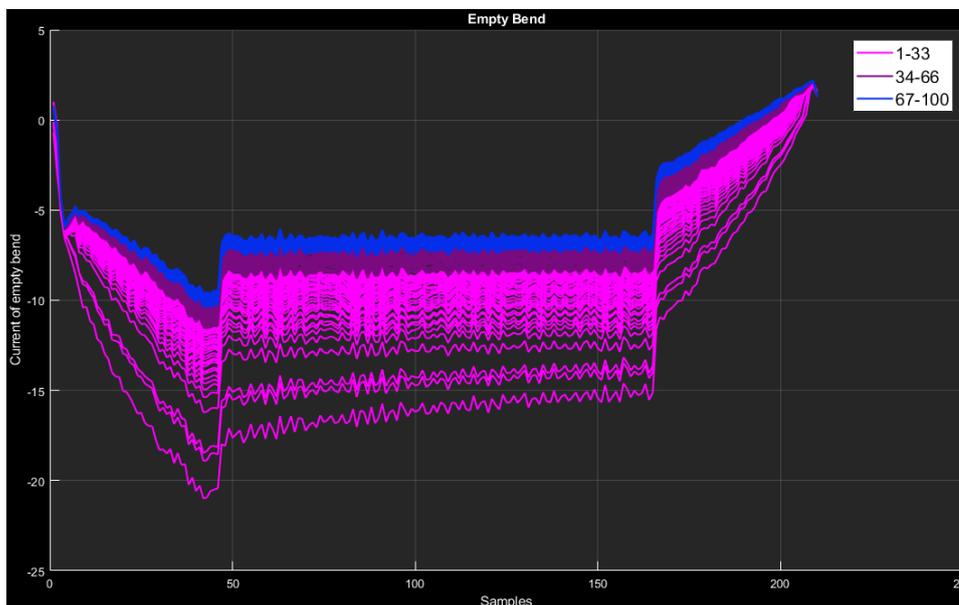


Figura 3.5: Acquisizioni a vuoto in ordine cronologico

dimensioni (figura 3.2).

3.3 Analisi segnale lavorazione critica

A differenza dal segnale analizzato precedentemente si nota un andamento diverso rispetto a quello relativo alle lavorazioni non critiche (vedi definizione delle 4 fasi). Infatti si nota un aumento di corrente ad angoli di rotazione del perno anomali oppure oltre i valori che solitamente ci si aspetta. In fase di set-up sperimentale si sono impostati dei limiti di corrente, per evitare una rottura della macchina. Questo accorgimento, che verrà affrontato nel capitolo successivo, non consente acquisizioni veritiere dell'assorbimento che il servomotore avrebbe avuto. Invece nel caso di strozzamento barra la lavorazione viene comunque effettuata ma troviamo un aumento di assorbimento ad una posizione anomala. La figura 3.6 compara due lavorazioni portate a termine ma con andamenti degli assorbimenti diversi. Il segnale blu rappresenta una lavorazione con posizione del perno corretta mentre il segnale rosso mostra il caso di strozzamento della barra. Anche se entrambe le lavorazioni sono portate a compimento è evidente che nel segnale in rosso si ha un aumento anomalo dell'assorbimento. Questo è la diretta conseguenza dello strozzamento della barra, da parte del perno, sull'utensile centrale. Dalle

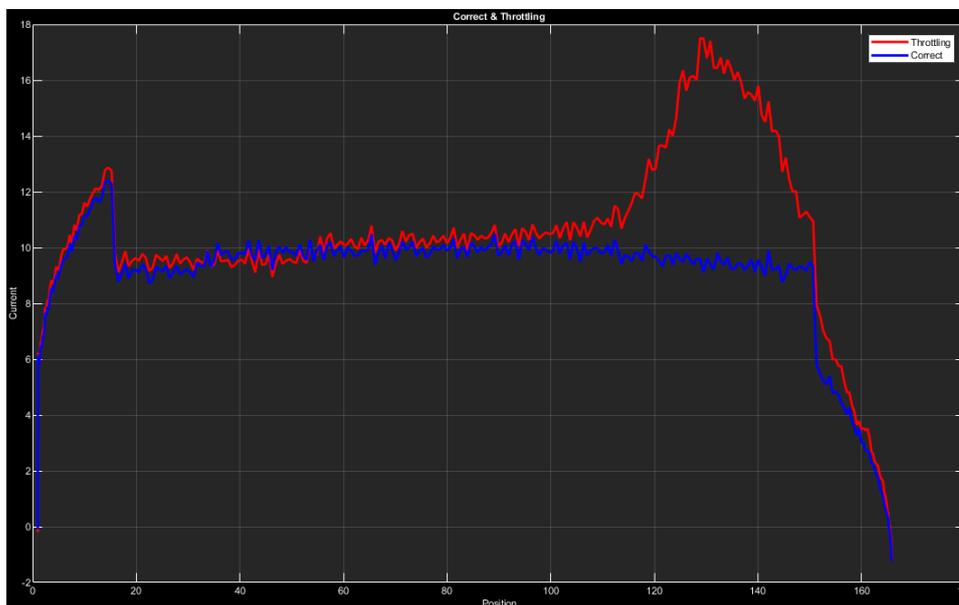


Figura 3.6: Lavorazione diametro 10mm con perno in posizione corretta (blu) e errata (rosso)

analisi del paragrafo precedente e da tutte le osservazioni precedenti possono essere fatte le seguenti distinzioni:

Diametro della barra: L'assorbimento del motore varia a seconda degli sforzi effettuati nella piega, per diametri piccoli gli sforzi sono molto piccoli o praticamente impercettibili mentre per diametri grandi si notano degli aumenti importanti di assorbimento

Casi di lavorazione: Possiamo dividere i casi affrontati in due gruppi semplicemente analizzando il segnale. Le lavorazioni non critiche rispettano l'andamento definito dalle 4 fasi mentre le lavorazioni critiche hanno dei picchi o andamenti diversi

Nel prossimo capitolo si andrà ad ipotizzare una possibile soluzione al problema sopracitato facendo riferimento a queste prime distinzioni.

Capitolo 4

Soluzione applicata

Si prenda come riferimento la lavorazione di una barra sufficientemente grande per rilevarne le 4 fasi. In tutte le lavorazioni non critiche (vedi 3.1) abbiamo delle fasi nella lavorazione costanti (1, 2 e 4) ed una sola fase variabile (3). A questo punto ci si è chiesti se fosse possibile calcolare l'angolo in cui inizia la piega e, successivamente, poter individuare se al raggiungimento di quell'angolo di rotazione ci sia un effettivo aumento di assorbimento dovuto al maggior sforzo. Nei successivi paragrafi si andrà a definire una formulazione per il calcolo teorico per l'angolo di ricerca e un possibile metodo di ispezione del segnale.

4.1 Calcolo angolo di attacco teorico

Analizzando in dettaglio il funzionamento della piegatrice Robomaster 60 EVO si è visto che utilizzando le dimensioni del perno, dell'utensile, della barra e del disco è possibile ricavare l'angolo di attacco teorico del perno sulla barra rispetto all'asse ferro centrato con il disco.

Questo angolo lo si trova calcolando l'arcoseno del rapporto tra distanza del perno-ferro e distanza tra perno e centro disco piegante.

$$\alpha = \arcsin \frac{\frac{\varnothing_{perno}}{2} + \frac{\varnothing_{ferro}}{2} - \frac{Cava-\varnothing_{ferro}}{2}}{DistanzaPerno}$$

... convertiamo α da radianti in gradi ...

Nella formula si deve considerare uno spostamento dato dalle dimensioni della cava di alloggiamento barre. Il perno, appoggiandosi, sposterà la barra

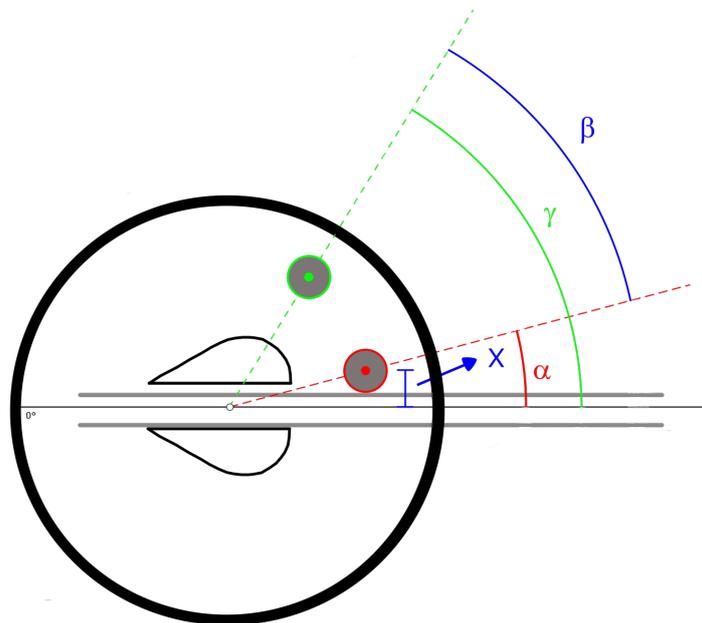


Figura 4.1: Movimento del perno con relative distanze e angoli di riferimento

in direzione del suo movimento quindi l'asse della barra e dell'utensile non saranno sovrapposti ma scostati di qualche millimetro. È fondamentale considerare questa differenza perché avvicina, seppur di poco, l'angolo teorico che stiamo calcolando.

Questo dato non misura quanta corsa dovrà effettuare il perno per poter incontrare la barra, quindi sottraiamo α alla distanza, in gradi, tra perno e asse 0 (γ):

$$\text{Corsa perno al punto di attacco } \beta = \gamma - \alpha$$

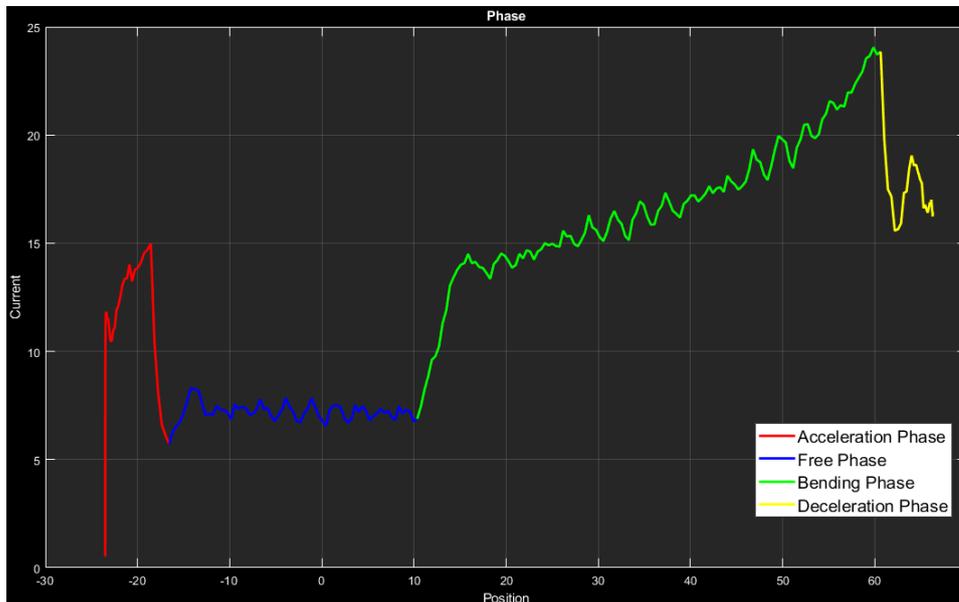


Figura 4.2: Fasi lavorazione con diametro 32mm

Esempio, si consideri le dimensioni relative alla figura 3.2:

- Diametro ferro = 32 mm;
- Diametro perno = 90 mm;
- Cava di alloggiamento = 36 mm;
- Distanza perno dal centro = 270 mm;
- Distanza perno dall'asse = 23.5°;

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \arcsin \frac{\frac{90}{2} + \frac{32}{2} - \frac{36-32}{2}}{270} \\
 &= \arcsin \frac{45 + 16 - 2}{270} \\
 &= \arcsin 0.2185 \\
 &= 0.2203
 \end{aligned}$$

... convertiamo α in gradi ...

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 12.622^\circ \\
 \beta &= \gamma - \alpha = 23.5^\circ - 12.622^\circ = 10.878^\circ
 \end{aligned}$$

L'angolo di rotazione del disco in cui si incontra il ferro è 10.878°, quindi è in quella posizione che ci si aspetta un aumento della corrente ed osservando

la figura 3.2 è così.

Lo stesso approccio può essere fatto con le altre acquisizioni. Infatti, calcolando tutti gli angoli di attacco, si nota l'aumento di corrente al punto da noi calcolato, ma la quantità di variazione della corrente è strettamente legata al diametro della barra lavora.

4.2 Ricerca angolo di attacco nel segnale

Calcolato l'angolo teorico e verificata la sua esattezza, è necessario trovare un metodo per identificare i fronti di aumento d'assorbimento della corrente del servomotore.

Come detto ad inizio capitolo, nei casi di lavorazioni non critiche, si ha un'unica fase variabile nel segnale della corrente, quindi si va a cercare l'angolo in cui varia la corrente all'interno di essa. In figura 4.3 vediamo la fase 2 e 3 della corrente assorbita dal servomotore nel caso di lavorazione di una singola barra.

Isolata la porzione di segnale d'interesse, si ipotizza il metodo migliore

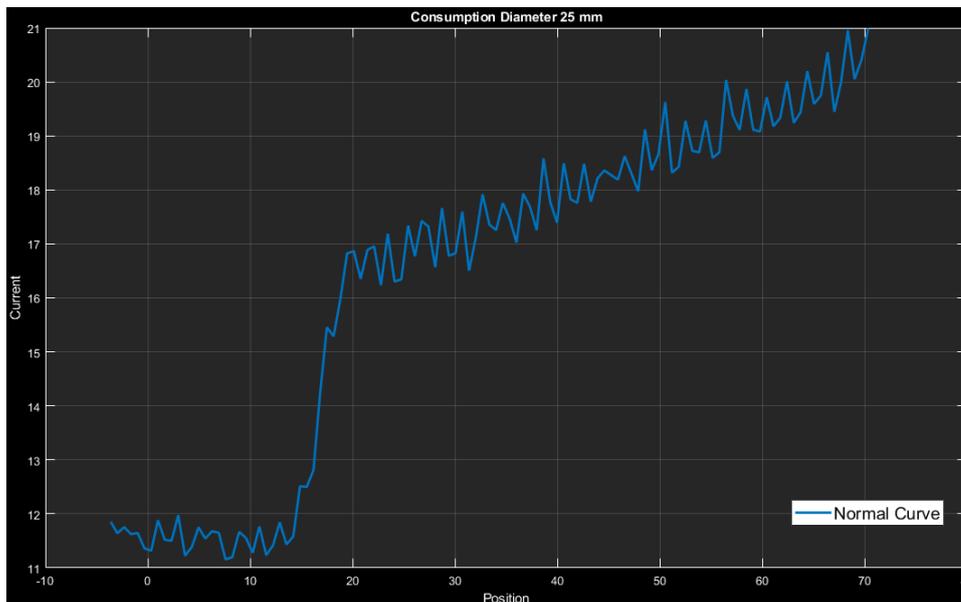


Figura 4.3: Fase 2 e 3 della corrente, lavorazione barra 25 mm

per poter rilevare l'angolo di attacco. La prima soluzione è stata quella di impostare soglie di corrente per la ricerca ma questa soluzione non è applicabile. I motivi sono legati alla variabilità degli assorbimenti assoluti dati dalla temperatura della macchina (questione dell'olio affrontata in 3.2), dal tipo

di servomotore (in base alle esigenze del cliente può essere implementato un servomotore con potenza maggiore) e, in generale, dai cambiamenti dovuti all'usura e condizioni operative.

Si è quindi passati all'analisi della derivata del segnale in base all'angolo di rotazione del servomotore. Analiticamente il punto in cui la derivata di una funzione è nulla corrisponde ad minimo o massimo locale della funzione. La presenza di continue fluttuazioni dei valori di corrente, anche se limitati, hanno richiesto l'introduzione di un filtro. L'effetto di quest'ultimo è visibile in figura 4.4.

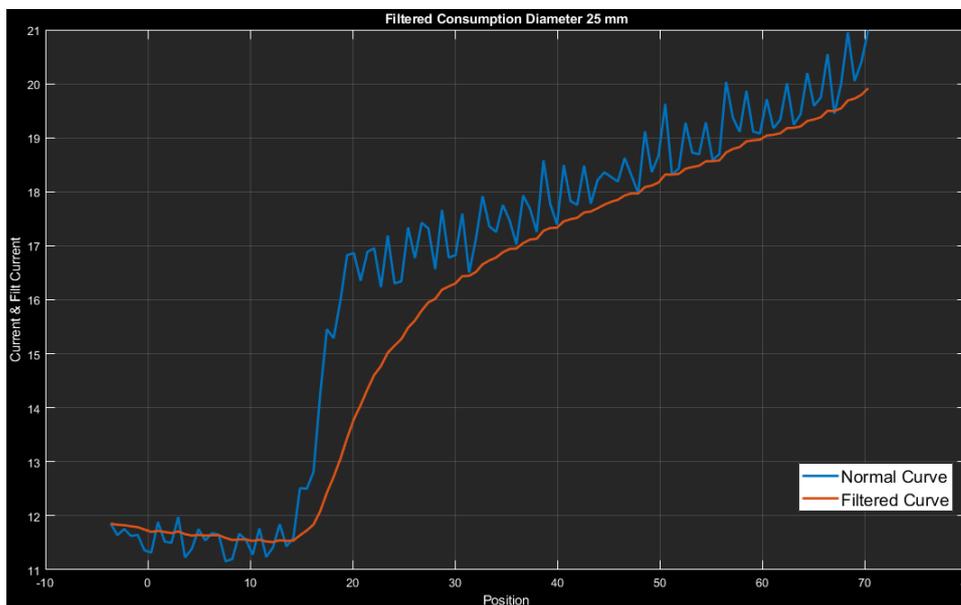


Figura 4.4: Comparazione segnale corrente non filtrato (blu) e filtrato (rosso)

Nonostante l'applicazione del filtro non si avrà la derivata nulla nel punto desiderato ma oscillerà intorno al valore nullo. La soluzione adottata è quella di impostare una soglia opportuna che indica quando l'assorbimento inizia ad aumentare. In questo modo viene introdotto un ritardo di rilevazione dovuto all'attesa di superamento della soglia.

L'applicazione di questa soluzione è notevole in figura 4.5.

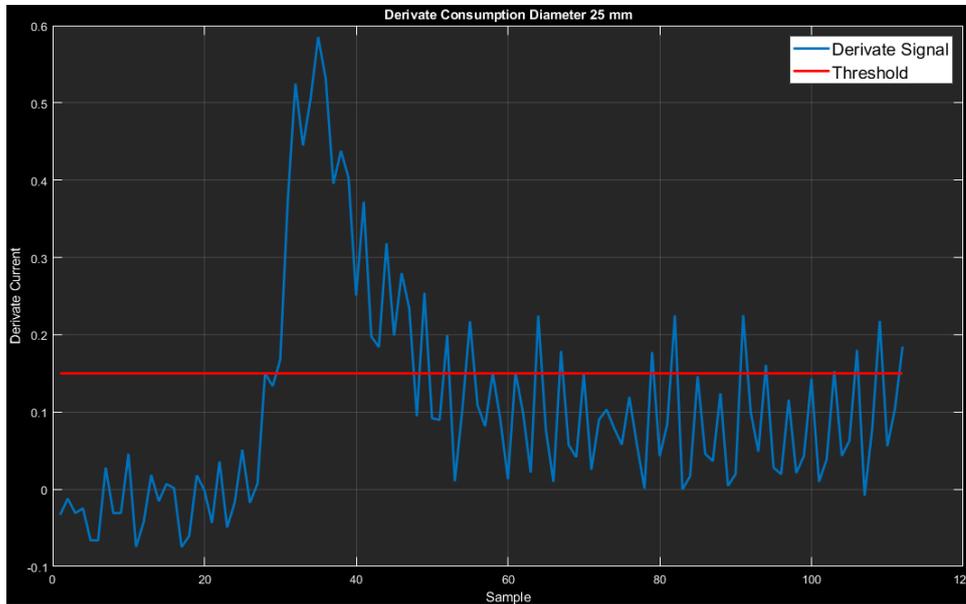


Figura 4.5: Derivata segnale filtrato (blu) e soglia (rosso)

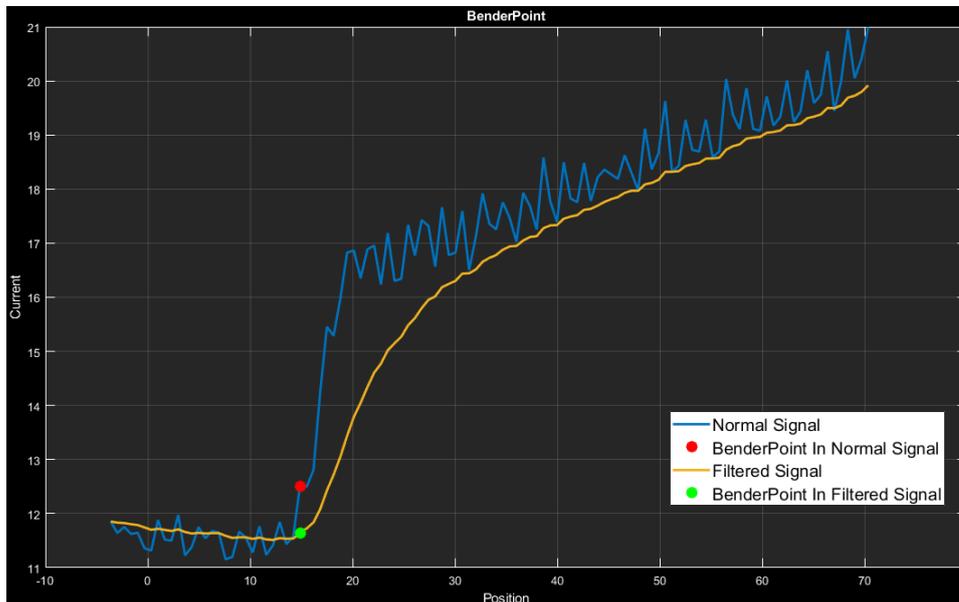


Figura 4.6: Ricerca punto attacco teorico

Il calcolo della derivata è stato implementato tramite l'uso del rapporto incrementale con differenza in avanti:

$$f'(x_0) = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

La il valore di soglia scelto per la derivata è pari a 0.15. Ad esempio, nel caso raffigurato nelle figure 4.4 e 4.5 che si riferisce alla lavorazione di una barra di diametro 25mm abbiamo che il punto identificato è 14.21°. Ora ricalcoliamo l'angolo di attacco teorico di questa configurazione:

$$\alpha = \arcsin \frac{\frac{90}{2} + \frac{25.4}{2} - \frac{31.75 - 25.4}{2}}{250}$$

$$\alpha = 0.2199$$

... conversione di α in gradi ...

$$\alpha = 12.5975^\circ$$

$$\beta = \gamma - \alpha = 26.5^\circ - 12.5975^\circ = 13.9025^\circ$$

Confrontando la posizione teorica e quella rilevata abbiamo uno scarto di 0.3075°. Questo errore di rilevazione rispetto al valore teorico è accettabile in quanto sufficientemente tempestivo nella segnalazione della correttezza o meno del perno impiegato.

4.3 Lavorazioni critiche

Tutte le considerazioni precedenti sono valide sulle acquisizioni in cui è possibile rilevare l'angolo di salita della corrente dovuto allo sforzo. Quindi, ad ora, la soluzione è limitata solo ai casi in cui il diametro della barra lavorata è tale che la sua lavorazione comporti un aumento di assorbimento del servomotore rilevabile. Ciò esclude tutte le lavorazioni con barra media-piccola (≤ 20 mm). Nel caso di collisioni o strozzamenti abbiamo comunque un aumento notevole di corrente assorbita. Al fine di evitare almeno le lavorazioni critiche, si andrà a controllare gli andamenti della corrente anche in questi casi. Nei casi in cui le lavorazioni non risultino critiche non si potrà identificare, attraverso il segnale di corrente, la differenza tra lavorazione conforme e non nei casi in cui la barra ha diametro ≤ 20 mm.

Questa soluzione non copre quei casi in cui le collisioni avvengano in altre fasi diversa dalla 2 e 3. Il riferimento è alle fase 1 (il disco accelera alla velocità di riferimento) e 4 (fase di decelerazione dovuto alla fine della lavorazione). Dai dati in nostro possesso non si notano casi critici nell'ultima fase perché si arriva a questo punto solo se precedentemente non è successo niente di inatteso quindi solamente nel caso in cui la configurazione della macchina è esatta. Mentre le collisioni in fase di accelerazioni sono possibili. L'unico modo per impedire questo tipo di collisioni è quello di impostare un controllo a soglia sulla corrente che non neghi operatività alla macchina ma allo stesso tempo, nel caso la soglia venga superata, non consenta la rotazione del disco.

Nelle figure 4.7 e 4.8 vediamo l'acquisizione relativa alla collisione.

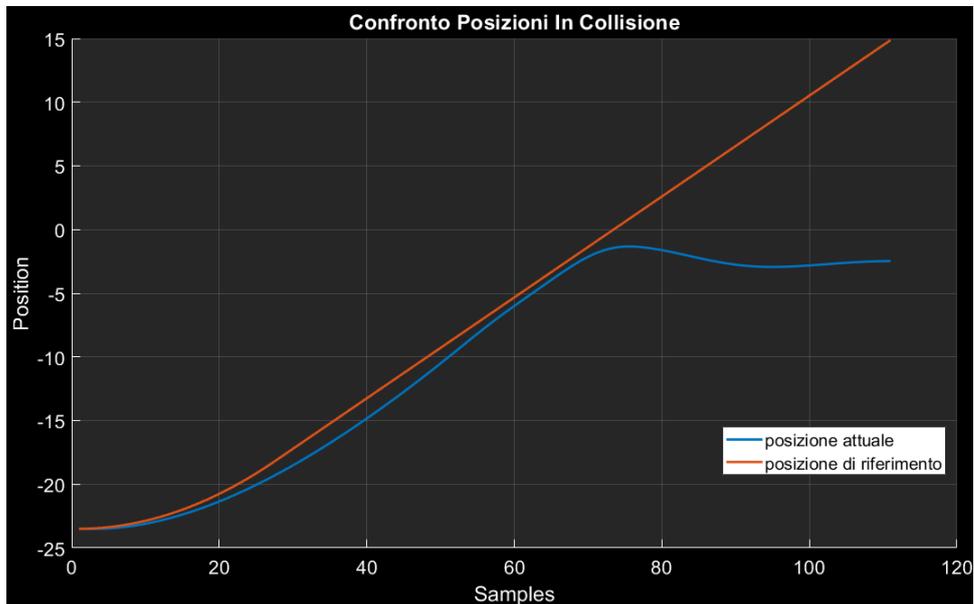


Figura 4.7: Comparazione segnale posizione di riferimento (rosso) e attuale (blu)

4.4 Riepilogo casi con soluzione applicata

Di seguito si elencano tutti i casi riscontrati, differenziando i vari critici e associando l'azione di controllo che verrà implementata:

- Configurazione esatta: come risultato si ha la corretta lavorazione della barra. Verrà controllato il corretto inserimento del perno attraverso il calcolo del punto di attacco. Riscontrato il corretto inserimento si smetterà di monitorare la piega senza fermare la lavorazione perché se il perno è stato alloggiato nel correttamente non si incorre mai in altri tipi di lavorazioni se non quella esatta. Di conseguenza rilevata il corretto inserimento è inutile continuare l'acquisizione e analisi del segnale;
- Configurazione errata:
 - Collisione perno, i due casi ciò può avvenire sono:
 - * Durante la fase di accelerazione: per evitare ciò verrà inserito un limite di corrente che non impedisca la corretta accelerazione ma eviti la rottura meccanica;
 - * Successivamente alla fase di accelerazione: in base all'angolo teorico e la soglia sulla derivata della corrente (variabili che

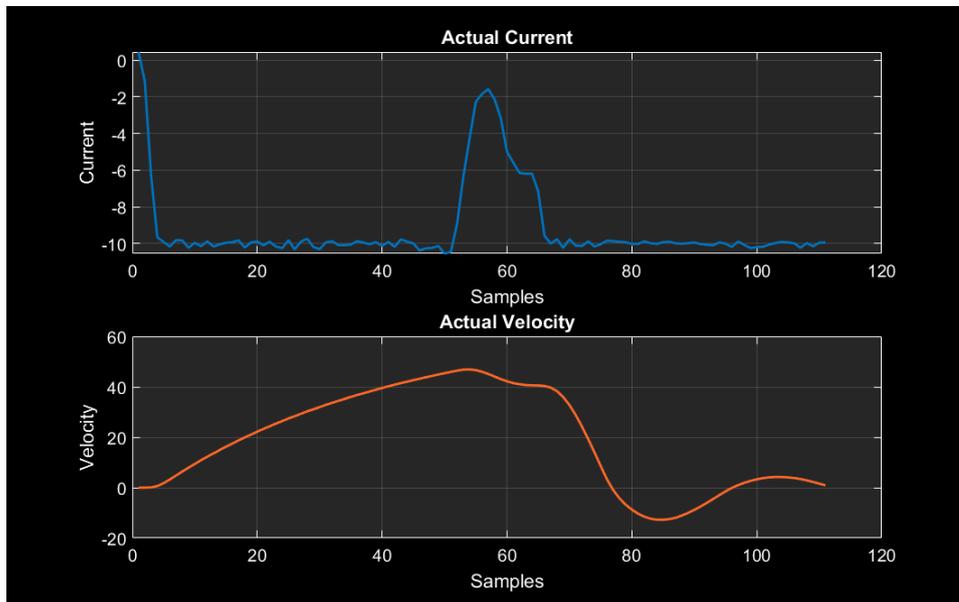


Figura 4.8: Comparazione segnale corrente limitata a 10 A (blu) e velocità attuale del perno (rosso)

dipendono dal diametro della barra in lavorazione) la lavorazione verrà fermata se si nota un aumento della corrente ad angoli inattesi;

- Strozzamento barra: adottando lo stesso controllo per le collisioni successive alla fase di accelerazione, si impedisce questo evento bloccando la lavorazione;
- Lavorazione non conforme: questo caso non comporta rischi per la meccanica della macchina. La soluzione adottata è capace di rilevarlo solo se si lavorano barre >20 mm.

4.5 Estensione della soluzione

Le precedenti analisi sono state fatte considerando lavorazioni a singola barra e sulle sagome (di dimensioni appropriate al tipo di barra), mentre il Robomaster 60 EVO consente di lavorare più barre alla volta basando il numero massimo in base al loro diametro e usando altri due tipi di utensili. In questo paragrafo si estende la soluzione trovata sopra a tutte le modalità di lavorazione.

4.5.1 Estensione al caso di più barre

Per barre superiori a 20 mm, l'applicazione della metodologia descritta nei paragrafi precedenti se applicata al caso di lavorazione di una sola barra permette già di stimare se il perno è esatto o no. Aumentandone il numero si hanno valori di assorbimento maggiore ma la metodologia rimane valida, quindi ci siamo concentrati sulle misure inferiori.

Si è già discusso nei paragrafi precedenti che utilizzando barre di diametro inferiore ai 20 mm la metodologia sviluppata non fosse applicabile. Si è quindi voluto verificare se all'aumentare del numero delle barre lavorate, e quindi all'aumentare dei relativi assorbimenti di corrente, la metodologia potesse estendersi a diametri inferiori. Il risultato delle sperimentazioni ha dimostrato che mantenendo la stessa soglia per la derivata, è possibile stimare con esattezza l'angolo di attacco utilizzando un minimo di tre barre alla volta a partire da un diametro minimo di 16 mm. Con misure di diametro inferiori o un numero di barre inferiori a tre, non è possibile individuare un fronte di salita del segnale tale da oltrepassare la soglia della derivata.

Quindi, ricapitolando, l'applicazione della metodologia proposta consente di verificare la posizione esatta del perno mediante stima dell'angolo nei seguenti casi:

- Diametro >20 mm;
- Diametro tra 20÷16 mm e numero barre lavorate ≥ 3 ;

Mentre negli altri casi si andrà a stimare l'angolo d'attacco per controllare se abbiamo un aumento di assorbimento ad angolazioni anomale.

4.5.2 Utilizzo di utensili differenti

Utilizzando un utensile differente dalle sagome cambia il luogo di alloggiamento delle barre. Se prima l'asse 0° del disco e l'asse della barra erano sovrapposti ora sono distanziati in base al raggio dell'utensile utilizzato. Questo porterà inevitabilmente a dover cambiare la formula dell'angolo teorico:

$$\alpha = \arcsin \frac{\frac{\phi_{perno}}{2} + \phi_{ferro} - \frac{\phi_{utensile}}{2}}{DistanzaPerno}$$

Applicato questa variazione nel calcolo dell'angolo teorico, la parte di stima rimane invariata.

Effettuando dei test si nota che:

- In certe condizioni anche se la configurazione è giusta, non è possibile rilevare correttamente l'angolo di salita. Questo è dovuto alla creazione di una curvatura del ferro (detta "pancia") tra le pinze stringi barra. Per questo si è pensato di adottare un intervallo di tolleranza maggiore rispetto alle lavorazioni con sagome;
- All'aumentare del diametro lavorato, c'è una maggiore difficoltà nell'inserire il perno errato perché i fori di alloggiamento sono parzialmente occupati dalla barra e dall'utensile. Quindi i casi critici sono meno frequenti;
- La piega può essere effettuata solo in direzione dello scarico, quindi non si hanno problemi nei calcoli delle corse in base alla lavorazione inserita.

Quindi nel caso di utilizzo di mandrini apportiamo le modifiche spiegate qui sopra.

Capitolo 5

Criticità

Durante l'esperienza sul Robomaster 60 EVO sono state portate alla luce delle criticità della macchina. Alcune di queste è stato possibile risolverle tramite l'implementazione della soluzione precedentemente esposta mentre altre sono state portate all'attenzione dei tecnici. Di seguito vengono spiegate quali sono le criticità incontrate durante lo sviluppo della soluzione.

5.1 Componenti meccaniche

5.1.1 Camicia del perno

Il perno piegante può essere rivestito con una camicia per poter eseguire certe lavorazioni volute dall'operatore. Ad ora non ci sono modi per rilevare se nel perno vengono effettivamente montate e questo risulta un problema nel calcolo teorico dell'angolo. Considerando un grandezza errata del perno si avranno angoli stimati differenti.

5.1.2 Mandrini ovali

La dotazione a disposizione non prevede l'uso di questi utensili quindi non sono state fatte acquisizioni in merito.

5.1.3 Tipo di barre

Non abbiamo conoscenza di come si comporta il servomotore al variare delle caratteristiche costitutive delle barre. Consigliamo di acquisire dei dati in merito alla lavorazione di esse per validare le scelte fatte.

5.1.4 Configurazione macchina

Come detto in precedenza, in base alle esigenze del cliente, la macchina viene adattata in termini di:

1. Tipo di utensili
2. Configurazione standard o mirror (la macchina può essere costruita in modalità specchiata)
3. Potenza dei servomotori (standard o rinforzato)

Il controllo è stato sviluppato su una configurazione mirror con i servomotori standard. LA variazione dei parametri sopra elencati potrebbe implicare la necessità di effettuare modifiche soprattutto per il filtro usato e la soglia nella derivata.

5.2 Difetti meccanici

5.2.1 Perno su pianale

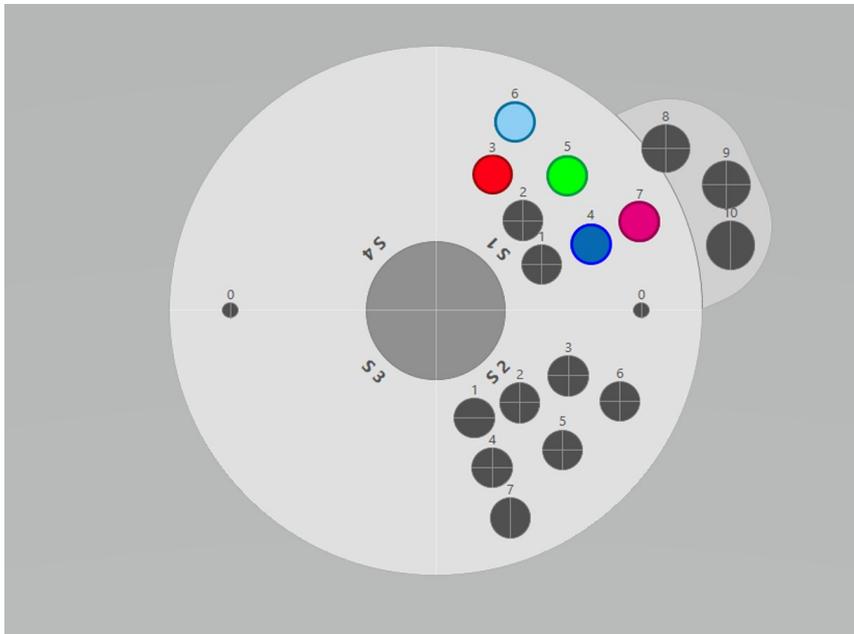


Figura 5.1: Disco rotante con relativi alloggiamenti dei perni pieganti

Inserendo il perno nei fori più esterni (posizione 7, in figura 5.1), si è riscontrato uno strisciamento e/o accavallamento del perno stesso sul pannello esterno al disco. Questo implica una variazione maggiore nella corrente mentre il perno è in movimento. Queste variazioni di corrente sono notabili anche nel segnale filtrato.

5.3 Software

5.3.1 Dipendenza da corretta configurazione nell'HMI

Il programma di controllo delle lavorazioni della piegatrice è estremamente dipendente dall'inserimento di diametro e numero di barre lavorate. Se questi due dati vengono inseriti errati potremo evolvere in stati della macchina non desiderati. Di seguito verrà esposto cosa succede se le barre caricate sono differenti, in numero e diametro, rispetto ai parametri inseriti tramite l'interfaccia uomo-macchina (HMI) di cui la macchina piegatrice è corredata. Indicheremo con "HMI" le impostazioni effettuate e con "macchina" le reali condizioni di caricamento:

- **HMI: mono barra >20 mm, macchina: mono barra <20 mm:**
Il controllo impone il calcolo dell'angolo teorico e il controllo della derivata nel punto desiderato. Se la soglia della derivata sale prima del dovuto o non viene mai superata, la lavorazione viene interrotta. Essendo la barra troppo piccola per causare un assorbimento tale da superare la soglia di controllo avremo sempre l'interruzione della piega. Inoltre eventuali picchi di assorbimento causati da una collisione possono accedere solo ad angoli inattesi e anche in quel caso la piega viene interrotta.
- **HMI: mono barra <20 mm, macchina: mono barra >20 mm:**
Il controllo impone un limite di corrente e il calcolo della derivata per monitorare se c'è un picco di corrente fuori da un intervallo in cui ci aspettiamo l'angolo di attacco. Essendo la barra di una dimensione tale da creare un aumento di assorbimento notevole, se questo accade nell'intorno del punto teorico la piega non viene fermata. Se invece viene utilizzato un perno errato, questo viene rilevato e la lavorazione viene interrotta. Inoltre, essendoci un limite di corrente modellato sugli assorbimenti di pieghe su barre <20 mm, la lavorazione potrebbe comunque essere interrotta.
- **HMI: 3 barre di 16 mm, macchina: mono barra da 16 mm:**
Si ricade in condizioni analoghe al primo caso analizzato.

- **HMI: mono barra di 16 mm, macchina: 3 barre da 16 mm:**
Si ricade in condizioni analoghe al secondo caso analizzato.

Quindi inserendo parametri errati potremo avere delle lavorazioni non conformi (angoli sbagliati) ma preserviamo in ogni caso l'integrità della macchina.

5.3.2 Modellazione blocco su piegatrice fissa

Tutte le acquisizioni sono state fatte mediante l'utilizzo della piegatrice fissa. Quindi per implementare il controllo sulla piegatrice mobile andranno fatte delle correzioni nella scelta dei parametri costitutivi dei perni e nel verso di rotazione positivo.

5.4 Possibili miglioramenti al Robomaster 60 EVO

Viste le criticità affrontate nel modellare la soluzione, si è ritenuto opportuno segnalare ai tecnici degli sviluppi da apportare al software di Robomaster 60 EVO.

5.4.1 Disabilitazione controllo

Ci sono dei casi in cui l'operatore potrebbe richiedere la disabilitazione del controllo come, ad esempio, una prova a vuoto per capire l'evoluzione del perno. In questo momento inserendo tramite interfaccia software HMI dei parametri che rientrano nei casi di stima esatta del perno (>20 mm o $16 \div 20$ mm con 3 barre), non è possibile farlo. Potrebbe essere utile definire una funzione per abilitare/disabilitare il controllo a discrezione dell'operatore.

5.4.2 Introduzione Logger

È consigliabile introdurre un Logger (funzione all'interno del codice per acquisire e salvare i vari dati) in modo da poter eseguire una diagnosi a posteriori dei dati relativi a lavorazioni che il controllo sviluppato in questa tesi definisce come errate.

5.4.3 Conversione misure

Usando dotazioni con sistemi di misura Imperiali (dotazione USA) si hanno degli errori di troncamento introdotti nel passaggio dei valori da HMI a PLC

(quest'ultimo opera in sistema metrico decimale). Questo introduce un errore che non incide pesantemente sulle prestazioni ma potrebbe falsare alcune rilevazioni. Si consiglia di adottare misure univoche in entrambi gli ambienti.

Capitolo 6

Conclusioni

Questo lavoro ha riguardato la messa a punto di un sistema per il rilevamento online di errate configurazioni di una macchina piegatrice o il caricamento di pezzi diversi da quanto programmato. La macchina piegatrice analizzata è la Robomaster 60 EVO prodotta dall'azienda Schnell. Il problema sostanziale che si è affrontato sul Robomaster 60 EVO è stato quello di limitare il più possibile l'errato posizionamento del perno piegante sul disco di piega da parte dell'operatore. Attraverso l'implementazione di una modifica software, quindi evitando modifiche meccaniche o l'aggiunta di sensori, si è riusciti ad evitare che l'operatore possa compromettere l'integrità della macchina e, dove possibile, evitare le lavorazioni errate.

La soluzione sviluppata ha un'ottima efficacia per quanto riguarda tutte le situazioni critiche legate alla posizione del perno, inoltre è in grado di impedire tutte le lavorazioni critiche nel caso in cui l'operatore inserisca parametri errati nell'HMI. Questa criticità, inizialmente, non era stata osservata e poterla risolvere senza dover apportare cambiamenti sostanziali alla soluzione consente un maggior controllo e affidabilità della stessa.

Implementare questa applicazione non richiede sforzi eccessivi perché:

- Non richiede modifiche meccaniche alla macchina
- Non richiede l'aggiunta di sensori
- Attraverso la modifica dei parametri delle soglie è possibile implementarla su altre configurazioni (previo collaudo)
- La soluzione è pronta all'uso e facilmente implementabile ed allo stesso tempo rimovibile essendo un semplice function block

In conclusione, l'implementazione del sistema sviluppato consente efficacemente la prevenzione di rotture, usure anomale dei componenti oltre a limitare la produzione di pezzi non conformi. Inoltre, come valore aggiunto a

questo lavoro, si sono evidenziate delle criticità al software di controllo in parte risolte dall'uso della soluzione sviluppata.