

**ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
Sede di Forlì**

**Corso di Laurea in  
INGEGNERIA MECCANICA  
Classe L-9**

**ELABORATO FINALE DI LAUREA  
in Comportamento Meccanico dei Materiali**

**Studio e controllo della velocità di fasciatura di  
balle cilindriche in avvolgitori per agricoltura**

**CANDIDATO  
Francesco Fenati**

**RELATORE  
Giorgio Olmi**

**Anno Accademico 2014/2015  
Sessione III**



*“A zio Paolo  
e a nonna Luisa.”*

# INDICE

<b>ELENCO FIGURE E TABELLE</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>9</b>
<b>2. AVVOLGITORE BW2600</b>	<b>12</b>
2.1 ORGANI PRINCIPALI	13
2.2 CICLO DI FUNZIONAMENTO	14
2.3 TAVOLA ROTANTE	15
2.4 GRUPPO DI TAGLIO	20
2.5 GRUPPO DI STIRO	23
<b>3. OBIETTIVO DELLA TESI</b>	<b>27</b>
<b>4. STUDIO DELLA DINAMICA DI AVVOLGITURA</b>	<b>31</b>
<b>5. TEST DI VELOCITA' DI AVVOLGIMENTO A DIVERSI RAPPORTI DI PRE-STIRO DEL FILM</b>	<b>41</b>
5.1 PRE-STIRO 75%	44
5.2 PRE-STIRO 100%	46
5.3 PRE-STIRO 125%	48
5.4 RISULTATI E VALUTAZIONI	50
<b>6. SCELTA DI UNA SOLUZIONE</b>	<b>57</b>
<b>7. TEST DI VELOCITA' DI AVVOLGIMENTO CON L'AZIONE DEI MOTORI ELETTRICI</b>	<b>64</b>
7.1 FUNZIONAMENTO SENZA MOTORE	65
7.2 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO ELVI M61	67
7.3 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO OSLV M76	73
7.4 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO OSLV M90	76
7.5 RISULTATI E VALUTAZIONI	79
<b>8. CONCLUSIONI</b>	<b>87</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</b>	<b>89</b>
<b>10. RINGRAZIAMENTI</b>	<b>90</b>

## ELENCO FIGURE E TABELLE

<i>Figura 1.1</i>	Kverneland Group Logo;	pag. 9
<i>Figura 2.1</i>	Avvolgitore BW2600 Vicon;	pag. 12
<i>Figura 2.1.1</i>	Organi principali dell'avvolgitore;	pag. 13
<i>Figura 2.2.1</i>	Operazione di carico;	pag. 14
<i>Figura 2.2.2</i>	Operazione di avvolgitura;	pag. 14
<i>Figura 2.2.3</i>	Operazione di scarico;	pag. 14
<i>Figura 2.3.1</i>	Diagramma di funzionamento motore Idraulico MR160;	pag. 15
<i>Figura 2.3.2</i>	Sezione dell'avvolgitore ortogonale al Piano di avvolgitura;	pag. 15
<i>Figura 2.3.3</i>	Sezione dell'avvolgitore sul piano di Avvolgitura;	pag. 16
<i>Figura 2.3.4</i>	Rotismo per la rotazione di tavola e rulli;	pag. 17
<i>Figura 2.4.1</i>	Martinetto di taglio;	pag. 20
<i>Figura 2.4.2</i>	Giunto girevole del circuito di taglio;	pag. 21
<i>Figura 2.4.3</i>	Pompa e camma del circuito di taglio;	pag. 21
<i>Figura 2.4.4</i>	Circuito idraulico per il taglio;	pag. 22
<i>Figura 2.5.1</i>	Gruppo di stiro;	pag. 23
<i>Figura 2.5.2</i>	Ruote dentate per lo stiro;	pag. 24
<i>Figura 2.5.3</i>	Dinamica di stiro;	pag. 24
<i>Figura 2.5.4</i>	Dinamica di avvolgimento;	pag. 25
<i>Figura 3.1</i>	Avvolgitore Fast Bale per l'applicazione Finale;	pag. 29
<i>Figura 4.1</i>	Posizioni della tavola rotante;	pag. 31
<i>Figura 4.2</i>	Sistemi di riferimento;	pag. 31
<i>Figura 4.3</i>	Avvolgimento con gruppo di stiro mobile;	pag. 32
<i>Figura 4.4</i>	Velocità di rullo e di srotolamento del film;	pag. 32

<i>Figura 4.5</i>	Velocità di rullo e di srotolamento del film Con l'angolo $\alpha$ ;	pag. 33
<i>Figura 4.6</i>	Analisi posizioni progressive (a,b,c);	pag. 34
<i>Figura 4.7</i>	Analisi posizioni progressive (d,e,f);	pag. 34
<i>Figura 4.8</i>	Zone di accelerazione e decelerazione;	pag. 38
<i>Figura 5.1</i>	Sensore per il rilevamento di velocità Del rullo;	pag. 41
<i>Figura 5.2</i>	Sensore per il rilevamento di velocità E posizione della tavola;	pag. 41
<i>Figura 5.3</i>	Sostituzione della palla con il telaio;	pag. 42
<i>Figura 5.4</i>	Interfaccia del programma Debug&Plot;	pag. 43
<i>Figura 5.5</i>	Posizione zero della tavola;	pag. 43
<i>Figura 5.1.1</i>	Pre-stiro 75%, 30 rpm;	pag. 44
<i>Figura 5.1.2</i>	Pre-stiro 75%, 50 rpm;	pag. 45
<i>Figura 5.1.3</i>	Pre-stiro 75%, 60 rpm;	pag. 45
<i>Figura 5.2.1</i>	Pre-stiro 100%, 30 rpm;	pag. 46
<i>Figura 5.2.2</i>	Pre-stiro 100%, 50 rpm;	pag. 47
<i>Figura 5.2.3</i>	Pre-stiro 100%, 60 rpm;	pag. 47
<i>Figura 5.3.1</i>	Pre-stiro 125%, 30 rpm;	pag. 48
<i>Figura 5.3.2</i>	Pre-stiro 125%, 50 rpm;	pag. 49
<i>Figura 5.3.3</i>	Pre-stiro 125%, 60 rpm;	pag. 49
<i>Figura 5.4.1</i>	Variazione del range di velocità al variare Della velocità di rotazione della tavola;	pag. 52
<i>Figura 6.1</i>	Motore elettrico ELVI M61;	pag. 58
<i>Figura 6.2</i>	Motore elettrico OSLV M76;	pag. 58
<i>Figura 6.3</i>	Motore elettrico OSLV M90;	pag. 58
<i>Figura 6.4</i>	Coppia necessaria per il trascinamento Del film;	pag. 59
<i>Figura 6.5</i>	Piastra di sostegno motore;	pag. 60
<i>Figura 6.6</i>	Boccola la per trasmissione;	pag. 60
<i>Figura 6.7</i>	Ruota libera per la trasmissione;	pag. 60

<i>Figura 6.8</i>	Gruppo di stiro motorizzato;	pag. 61
<i>Figura 6.9</i>	Sezione del gruppo di stiro motorizzato;	pag. 62
<i>Figura 6.10</i>	Retta di funzionamento del motore;	pag. 63
<i>Figura 7.1</i>	Esempio di acquisizione dei dati dal grafico;	pag. 64
<i>Figura 7.1.1</i>	Funzionamento senza motore, 30 rpm;	pag. 65
<i>Figura 7.1.2</i>	Funzionamento senza motore, 40 rpm;	pag. 65
<i>Figura 7.1.3</i>	Funzionamento senza motore, 50 rpm;	pag. 66
<i>Figura 7.1.4</i>	Funzionamento senza motore, 60 rpm;	pag. 66
<i>Figura 7.2.1</i>	ELVI M61, 30 rpm, 60% motore;	pag. 67
<i>Figura 7.2.2</i>	ELVI M61, 30 rpm, 80% motore;	pag. 67
<i>Figura 7.2.3</i>	ELVI M61, 30 rpm, 100% motore;	pag. 68
<i>Figura 7.2.4</i>	ELVI M61, 40 rpm, 60% motore;	pag. 68
<i>Figura 7.2.5</i>	ELVI M61, 40 rpm, 80% motore;	pag. 69
<i>Figura 7.2.6</i>	ELVI M61, 40 rpm, 100% motore;	pag. 69
<i>Figura 7.2.7</i>	ELVI M61, 50 rpm, 60% motore;	pag. 70
<i>Figura 7.2.8</i>	ELVI M61, 50 rpm, 80% motore;	pag. 70
<i>Figura 7.2.9</i>	ELVI M61, 50 rpm, 100% motore;	pag. 71
<i>Figura 7.2.10</i>	ELVI M61, 60 rpm, 60% motore;	pag. 71
<i>Figura 7.2.11</i>	ELVI M61, 60 rpm, 80% motore;	pag. 72
<i>Figura 7.2.12</i>	ELVI M61, 60 rpm, 100% motore;	pag. 72
<i>Figura 7.3.1</i>	OSLV M76, 30 rpm, 60% motore;	pag. 73
<i>Figura 7.3.2</i>	OSLV M76, 30 rpm, 80% motore;	pag. 73
<i>Figura 7.3.3</i>	OSLV M76, 30 rpm, 100% motore;	pag. 74
<i>Figura 7.3.4</i>	OSLV M76, 40 rpm, 60% motore;	pag. 74
<i>Figura 7.3.5</i>	OSLV M76, 40 rpm, 80% motore;	pag. 75
<i>Figura 7.3.6</i>	OSLV M76, 40 rpm, 100% motore;	pag. 75
<i>Figura 7.4.1</i>	OSLV M90, 30 rpm, 60% motore;	pag. 76
<i>Figura 7.4.2</i>	OSLV M90, 30 rpm, 80% motore;	pag. 76
<i>Figura 7.4.3</i>	OSLV M90, 30 rpm, 100% motore;	pag. 77
<i>Figura 7.4.4</i>	OSLV M90, 40 rpm, 60% motore;	pag. 77
<i>Figura 7.4.5</i>	OSLV M90, 40 rpm, 80% motore;	pag. 78

<i>Figura 7.4.6</i>	OSLV M90, 40 rpm, 100% motore;	pag. 78
<i>Figura 7.5.1</i>	Dimostrazione di riduzione del range Di velocità del rullo;	pag. 82
<i>Figura 7.5.2</i>	Dimostrazione dell'incremento del valore Dei punti di massima e minima velocità;	pag. 86
<i>Tabella 2.5.1</i>	Rapporti di pre-stiro – rapporto di Ingranamento;	pag. 26
<i>Tabella 5.4.1</i>	Risultati range di velocità e posizioni di Minima velocità;	pag. 50
<i>Tabella 5.4.2</i>	Media delle posizioni di velocità minima;	pag. 51
<i>Tabella 5.4.3</i>	Range di velocità;	pag. 52
<i>Tabella 7.5.1</i>	Risultati range di velocità;	pag. 79
<i>Tabella 7.5.2</i>	Scostamenti rispetto al funzionamento Normale;	pag. 80
<i>Tabella 7.5.3</i>	Risultati massimi e minimi di velocità;	pag. 83
<i>Tabella 7.5.4</i>	Scostamenti rispetto al funzionamento Normale;	pag. 84

# 1. INTRODUZIONE



*Figura 1.1*

Questo lavoro si è svolto all'interno di Kverneland Group Ravenna s.r.l. Kverneland Group Ravenna s.r.l. è situata a Russi, in provincia di Ravenna. L'azienda è leader nello sviluppo, produzione e distribuzione di macchine e servizi per l'agricoltura da quasi un secolo e produce diverse tipologie di prodotti che consentono di accelerare le diverse fasi dell'attività agricola con la meccanizzazione di tutto il ciclo produttivo, dalla semina fino alla raccolta. I macchinari sono destinati principalmente alla raccolta di prodotti da foraggio quali fieno, paglia ed erba medica. Il processo di raccolta di questi prodotti è chiamato "fienagione" ed a seconda del periodo dell'anno cambia la tipologia del prodotto imballato. In particolare, la differenza sostanziale è il contenuto di acqua che conferisce caratteristiche diverse per la raccolta e la stagionatura. A livello generale possiamo identificare tre diverse tipologie di foraggio:

- Foraggio verde (concentrazione d'acqua 70-80%)
- Foraggio affienato in campo (concentrazione d'acqua 18-25%)
- Foraggio semi-affienato (concentrazione d'acqua 40-50%)

L'umidità del foraggio al momento della raccolta è molto importante. Infatti un alto contenuto della stessa è pregiudizievole per il prodotto stesso, poiché potrebbe portarlo a marcire e deteriorarsi più facilmente.

È inoltre dannoso dal punto di vista meccanico in quanto, se il tasso di umidità supera il 25-28%, aumentando in modo considerevole gli attriti e le sollecitazioni agli organi interni delle macchine con una conseguente limitazione della capacità di lavoro e dell'affidabilità

Un'altra problematica rilevante che deriva dall'elevato tasso di umidità, è la possibilità di autocombustione delle balle.

Operando infatti con un tasso di umidità del 30% la palla subisce un alto fattore di compressione. Possono nascere di conseguenza dei fenomeni di fermentazione interni, accompagnati da temperature anche superiori a 70°C, che possono provocare l'autocombustione della palla.

Le principali macchine prodotte nel sito di russi sono la rotopressa e l'avvolgitore.

**ROTOPRESSA:** i diversi modelli prodotti possono lavorare vari tipi di materiali e realizzano balle di forma cilindrica con la possibilità di variare peso, diametro e densità.

Le rotopresse possono essere a camera fissa o a camera variabile.

Quelle a camera fissa consentono di ottenere balle a sezione circolare di dimensioni fisse, differenti a seconda del modello.

Quelle a camera variabile si differenziano strutturalmente dalle altre per la composizione della parte mobile, non più formata da rulli e catene ma da cinghie in gomma piatte e parallele, azionate da una serie di rulli disposti alla periferia della camera. Con questo tipo di rotopresse si ha un controllo della densità della palla che è mantenuta costante per tutta la durata della formazione.

**AVVOLGITORE:** Gli avvolgitori operano nella fase successiva alla pressatura. Consentono di avvolgere la palla, precedentemente legata dalla rotopressa, con materiale plastico, in modo da conservarla in maniera ottimale fino all'utilizzo. I due principali tipi di avvolgitori sono: a tavola rotante e a braccio rotante.

Il lavoro di tesi è consistito nello *studio e analisi* della velocità del film plastico nel processo di avvolgitura di balle cilindriche negli avvolgitori per l'agricoltura e ricerca di una possibile soluzione per il controllo di tale velocità ai fini di ridurre tensioni e prevenire ulteriore rottura.

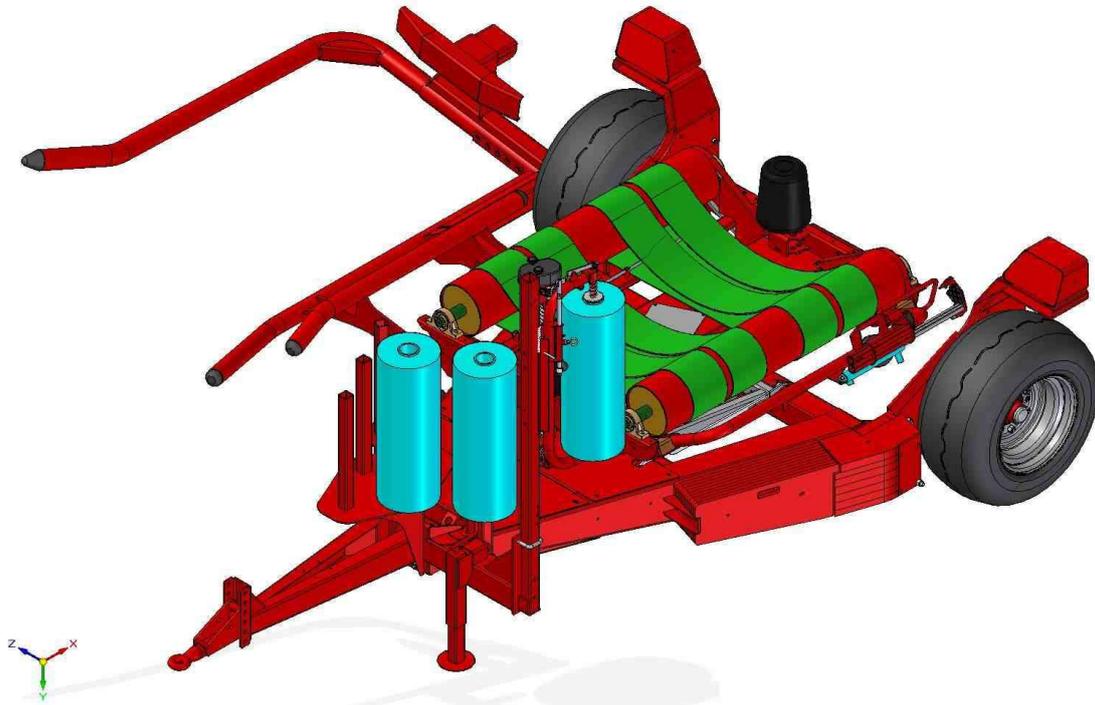
Per tale studio si è avuto a disposizione l'avvolgitore BW2600 Vicon a tavola rotante sul quale sono state svolte diverse prove e testate differenti soluzioni con lo scopo di ottenere risultati positivi sul controllo della velocità.

Per l'illustrazione più dettagliata degli obiettivi di questo lavoro è necessario quanto meno conoscere la macchina e la sua dinamica di funzionamento.

In seguito verranno quindi descritti l'avvolgitore, il suo funzionamento, le problematiche e le soluzioni studiate.

Questi ci introdurranno in maniera più completa alla comprensione dei risultati ottenuti e delle soluzioni utilizzate.

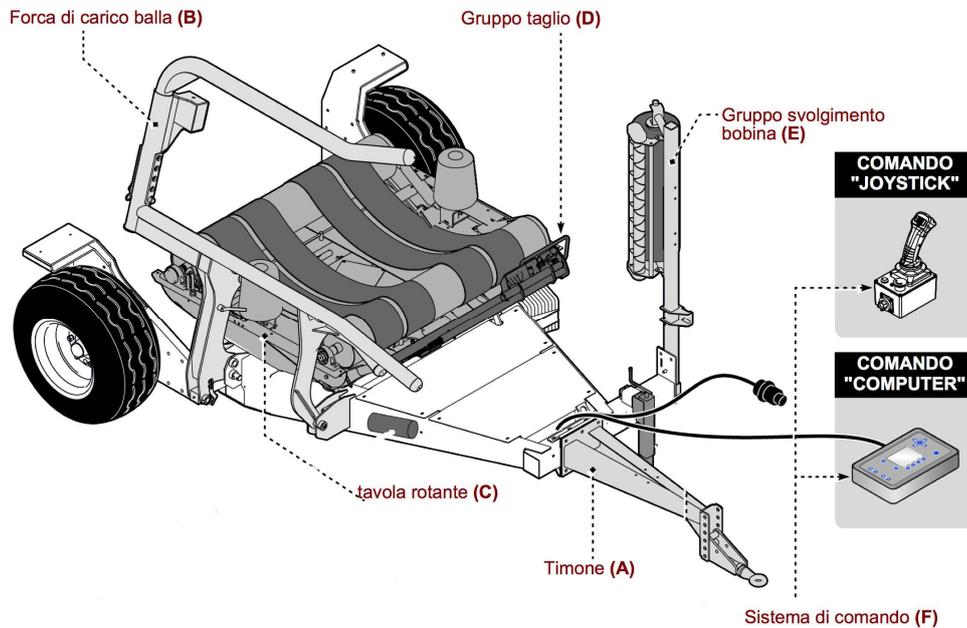
## 2. AVVOLGITORE BW2600



*Figura 2.1*

L'avvolgitore è una macchina trainata, progettata e costruita per effettuare l'avvolgitura con film plastico di balle cilindriche di insilato e prodotti umidi. Tutte le fasi di carico, avvolgitura e scarico vengono gestite da un sistema di comando elettronico, attivato (in modalità automatica o semiautomatica) dal conducente, direttamente dal posto di guida della trattrice.

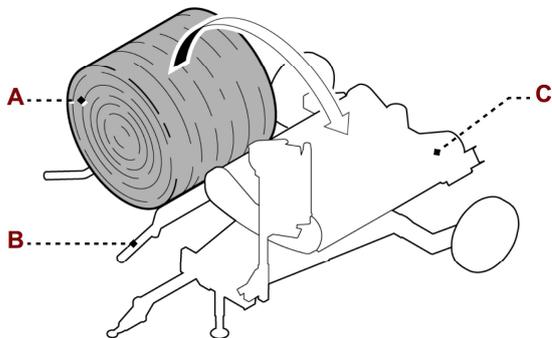
## 2.1 ORGANI PRINCIPALI



*Figura 2.1.1*

- a) **TIMONE:** collega la macchina alla trattrice ed è regolabile in altezza per adattarsi al gancio di traino della trattrice.
- b) **FORCA DI CARICO:** serve per caricare la palla sulla tavola rotante della macchina.
- c) **TAVOLA ROTANTE:** ruota la palla durante la fase di avvolgimento.
- d) **GRUPPO DI TAGLIO:** taglia il film (nella fase di scarico palla) e lo trattiene per iniziare l'avvolgimento della palla successiva.
- e) **GRUPPO DI STIRO:** supporta la bobina di film. Il gruppo è equipaggiato con un sistema di rulli di prestiro per mantenere costante la tensione del film durante l'avvolgimento.
- f) **SISTEMA DI COMANDO:** serve per programmare i parametri di avvolgimento e per attivare gli azionamenti oleodinamici della macchina.

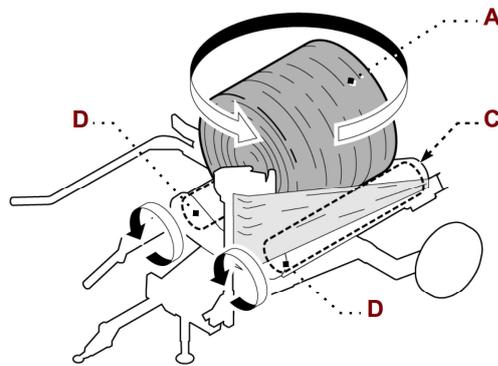
## 2.2 CICLO DI FUNZIONAMENTO



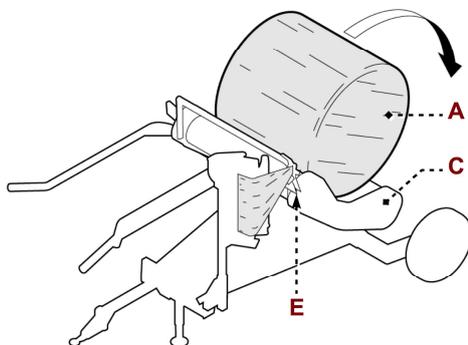
La macchina avanza fino a centrare la palla (A) sulla forca di carico (B), che preleva la palla e la posiziona sulla tavola rotante (C).

*Figura 2.2.1*

La tavola rotante (C) e i rulli (D) iniziano a ruotare simultaneamente per effettuare l'avvolgitura della palla (A).



*Figura 2.2.2*



*Figura 2.2.3*

La tavola rotante (C) scarica a terra la palla (A) al termine della fase di avvolgitura. Durante lo scarico della palla, il film viene tagliato e trattenuto dal gruppo di taglio (E) per l'avvolgitura successiva.

## 2.3 TAVOLA ROTANTE

La rotazione della tavola è azionata dal motore idraulico MR160.

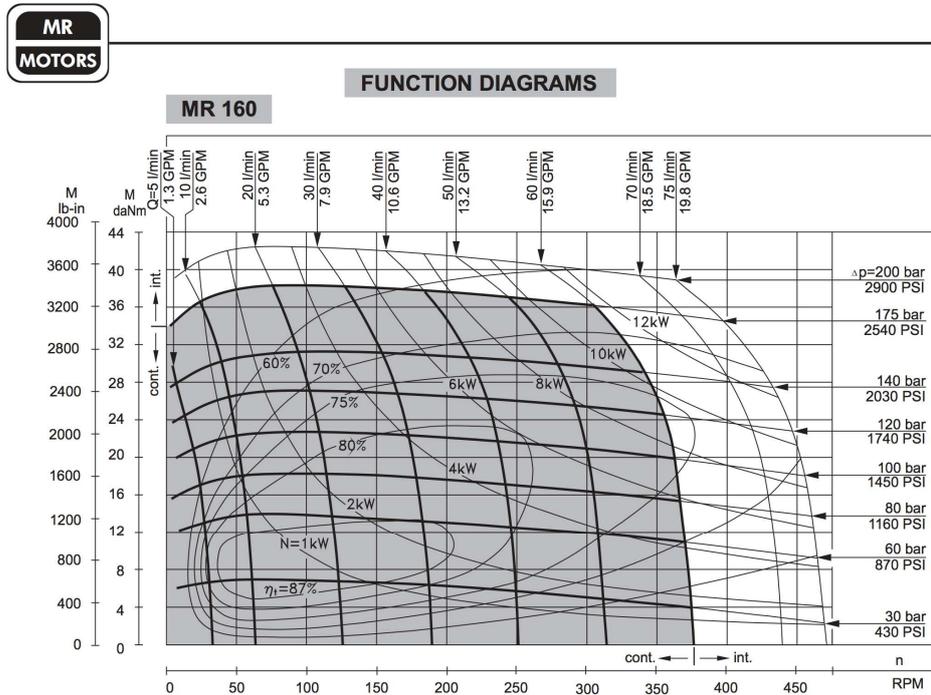


Figura 2.3.1

La rotazione dei rulli è connessa a quella della tavola tramite un sistema di rotismi e trasmissioni a catena, per cui la tavola e i rulli ruotano simultaneamente e una certa velocità di rotazione dell'albero motore corrisponde ad una precisa velocità di rotazione di tavola e rulli.

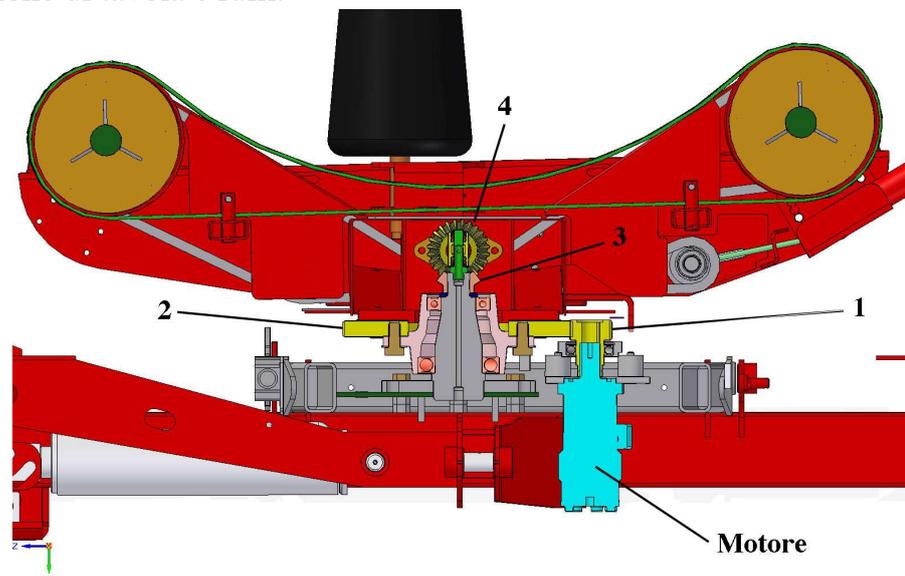


Figura 2.3.2

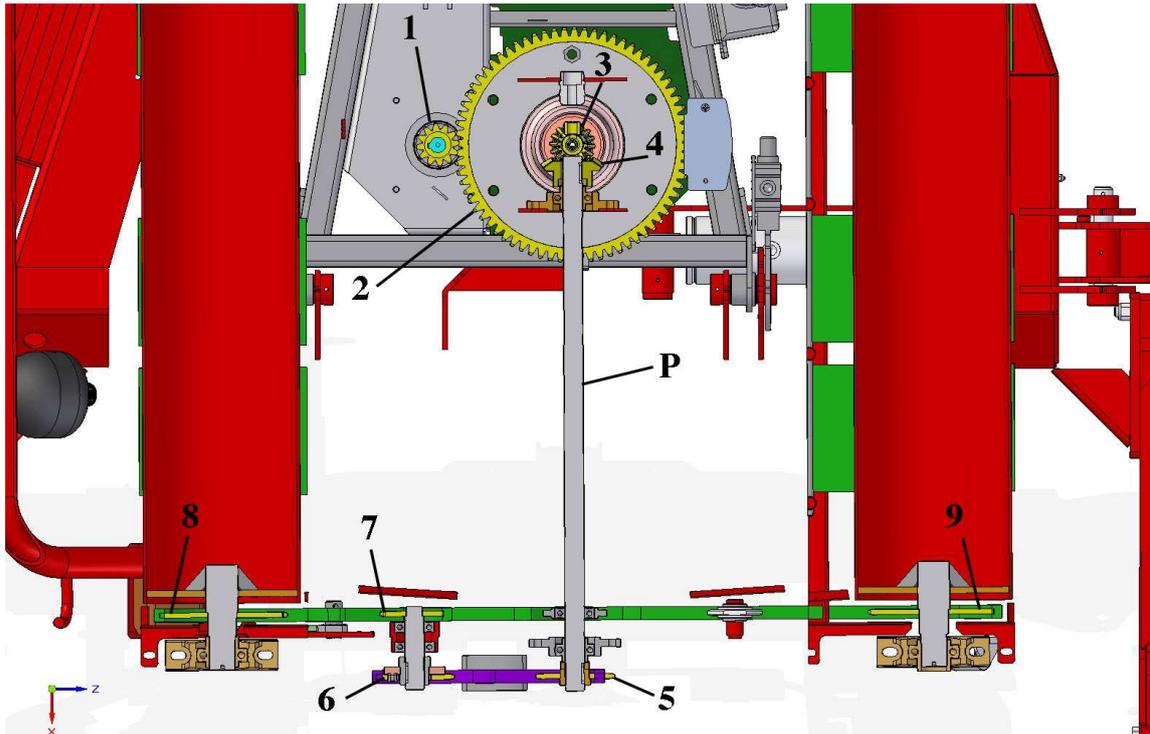


Figura 2.3.3

La ruota 1 messa in rotazione dal motore, ingrana con la ruota 2 fissa alla tavola.

Quest'ultima ruotando, trascina l'albero P attorno all'asse A (rotazione tavola) e inoltre, l'ingranamento tra le ruote 3 e 4, permette la sua rotazione attorno al proprio asse B. Tale rotazione attorno a B comporta la rotazione della ruota 5 perché solidale a P. La ruota 5 trasmette il moto alla ruota 6 tramite una catena. La ruota 6 è solidale con la ruota 7 che a sua volta movimentata le ruote 8 e 9 (direttamente connesse ai rulli) con un'ulteriore trasmissione a catena.

Facciamo una considerazione ai fini del calcolo del rapporto di trasmissione tra la ruota 1 e le ruote 8 e 9 (solidali ai rulli).

L'attuale dinamica può essere semplificata semplicemente passando da un rotismo epicicloidale a uno ordinario. Questo sarà possibile ponendo:

$$\omega_1^o = \omega_2^o = 0 \quad \text{e} \quad \omega_3^o = \omega_2^e$$

dove con l'apice 'o' si intende *ordinario* ( $\omega_1 = \omega_2 = 0$ , caso semplificato), mentre con l'apice 'e' si intende *epicicloidale* ( $\omega_1 \neq 0$ ,  $\omega_2 \neq 0$ , cioè reale funzionamento).

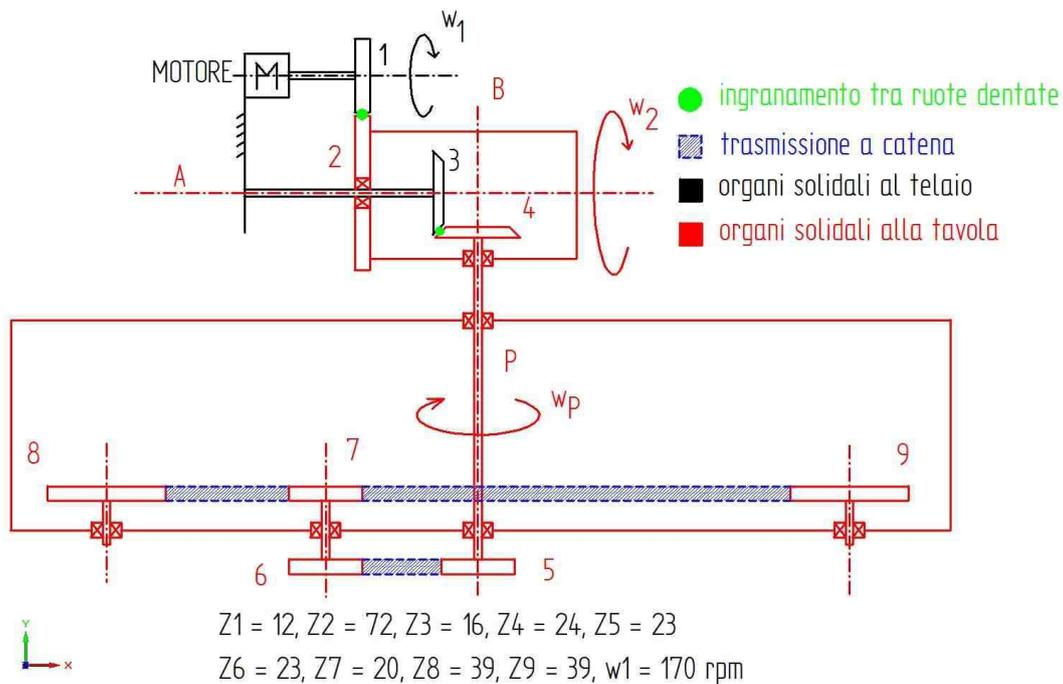


Figura 2.3.4

Il rapporto di trasmissione ( $\tau$ ) nei rotismi ordinari si calcola come rapporto tra i raggi delle primitive delle ruote dentate:

$$\tau = \frac{R_2}{R_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

Si definisce passo ( $p$ ), l'arco di primitiva di lunghezza:

$$p = 2\pi \frac{R_1}{z_1} = 2\pi \frac{R_2}{z_2}$$

Si definisce modulo ( $m$ ) di una ruota dentata, il rapporto tra il passo e  $\pi$ :

$$m = \frac{p}{\pi} = 2 \frac{R_1}{z_1} = 2 \frac{R_2}{z_2}$$

Questo rapporto pone in relazione il raggio della circonferenza primitiva della ruota dentata ed il numero di denti della ruota stessa, quindi il rapporto di trasmissione è esprimibile come:

$$\tau = \frac{R_2}{R_1} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

dove:

- Pedice 1: ruota conduttrice
- Pedice 2: ruota condotta
- $Z$  = numero di denti

- $D$  = diametro primitivo
- $\omega$  = velocità angolare delle ruote

Sono noti il numero dei denti di tutte le ruote e le dimensioni.

Attualmente la velocità angolare di funzionamento del motore è 170rpm.

Si ha:

$$\frac{\omega_2^e}{\omega_1^e} = \frac{z_1}{z_2} \rightarrow \omega_2^e = \frac{z_1}{z_2} \omega_1^e = \frac{12}{72} \times 170 = 28,33rpm$$

Passando dal sistema *epicicloidale* a quello *ordinario* si ha:

$$\omega_3^o = \omega_2^e = 28,33rpm$$

La ruota 3 ingrana con la ruota 4 quindi:

$$\omega_4^o = \frac{z_3}{z_4} \omega_3^o = \frac{16}{24} 28,33 = 18,88rpm$$

La ruota 4 è solidale con la ruota 5

$$\omega_5^o = \omega_4^o = 18,88rpm$$

La ruota 5 ha gli stessi numero di denti della ruota 6

$$\omega_6^o = \omega_5^o = 18,88rpm$$

La ruota 6 e la ruota 7 sono solidali

$$\omega_7^o = \omega_6^o = 18,88rpm$$

La ruota 8 e la ruota 9 hanno lo stesso numero di denti per cui, tramite la trasmissione a catena si ha:

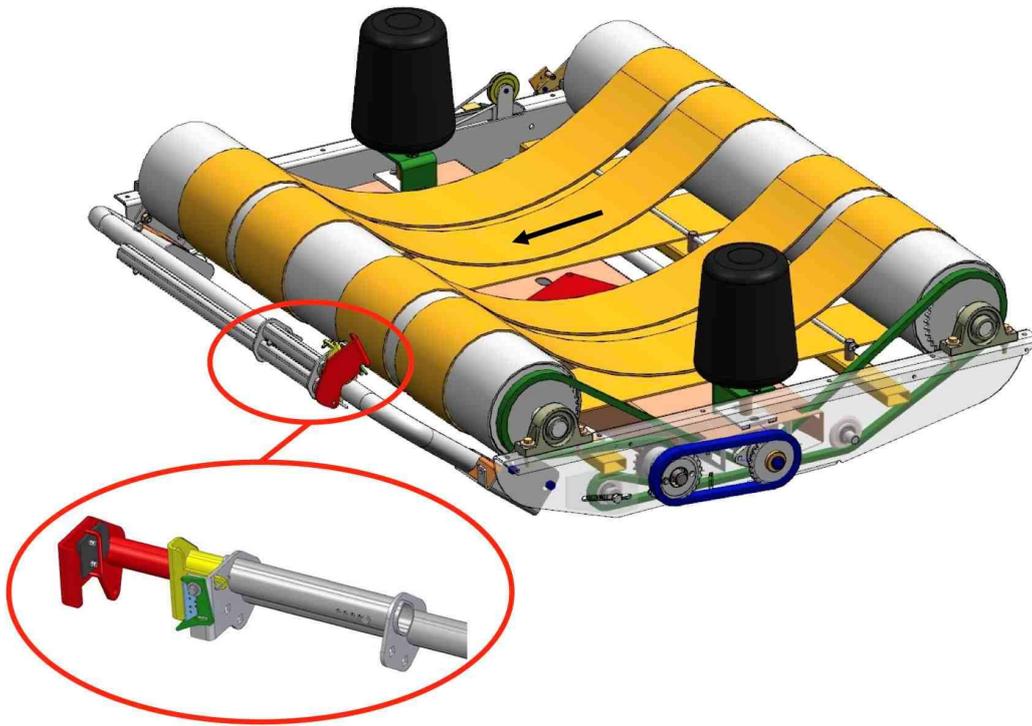
$$z_8 = z_9$$

$$\omega_8^o = \omega_9^o = \frac{z_7}{z_8} \omega_7^o = \frac{20}{39} \times 18,88 = 9,68rpm$$

Possiamo concludere che con il seguente rotismo, da una velocità iniziale del motore di 170rpm, si ottiene una velocità angolare della tavola di 28,33rpm e una velocità dei rulli di 9,68rpm.

Inoltre il motore idraulico MR160 aziona due martinetti, uno che movimentata la forca di carico della palla e l'altro che opera l'inclinazione della tavola per lo scarico della palla avvolta.

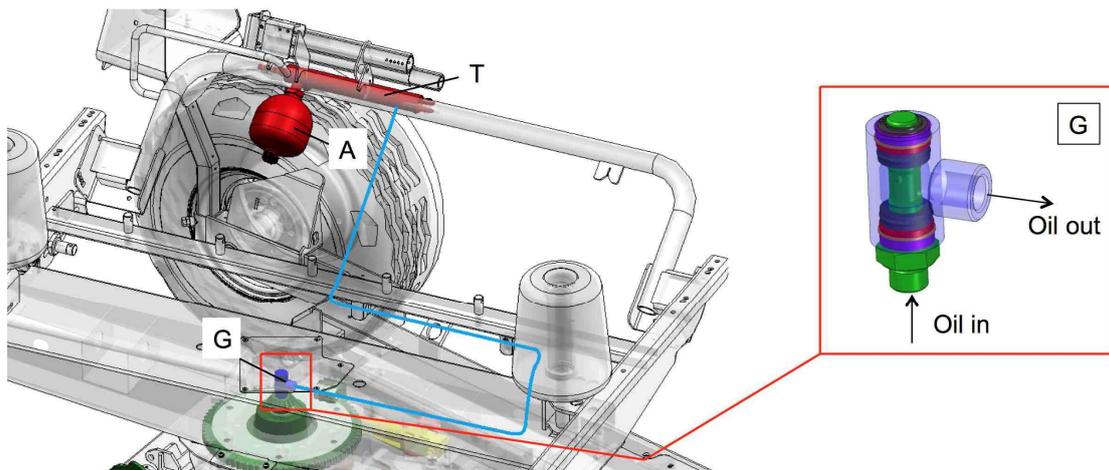
## 2.4 GRUPPO DI TAGLIO



*Figura 2.4.1*

Il gruppo di taglio è dotato di un circuito idraulico indipendente ed è costituito dai seguenti componenti:

- valvola a 3 vie
- accumulatore
- martinetto di taglio
- pompa oleodinamica
- valvola di massima pressione
- giunto girevole
- serbatoio e filtro dell'olio

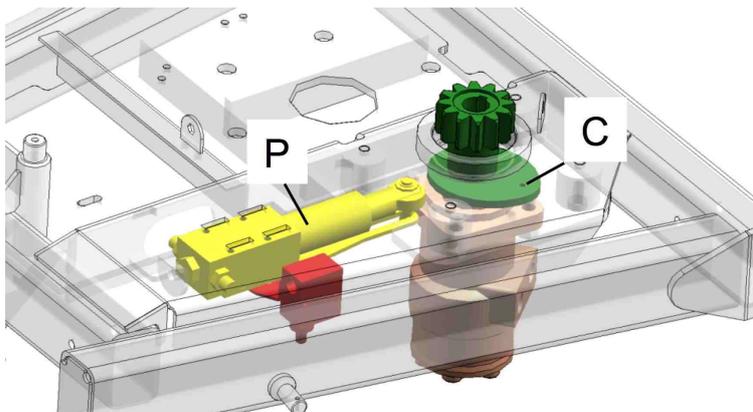


*Figura 2.4.2*

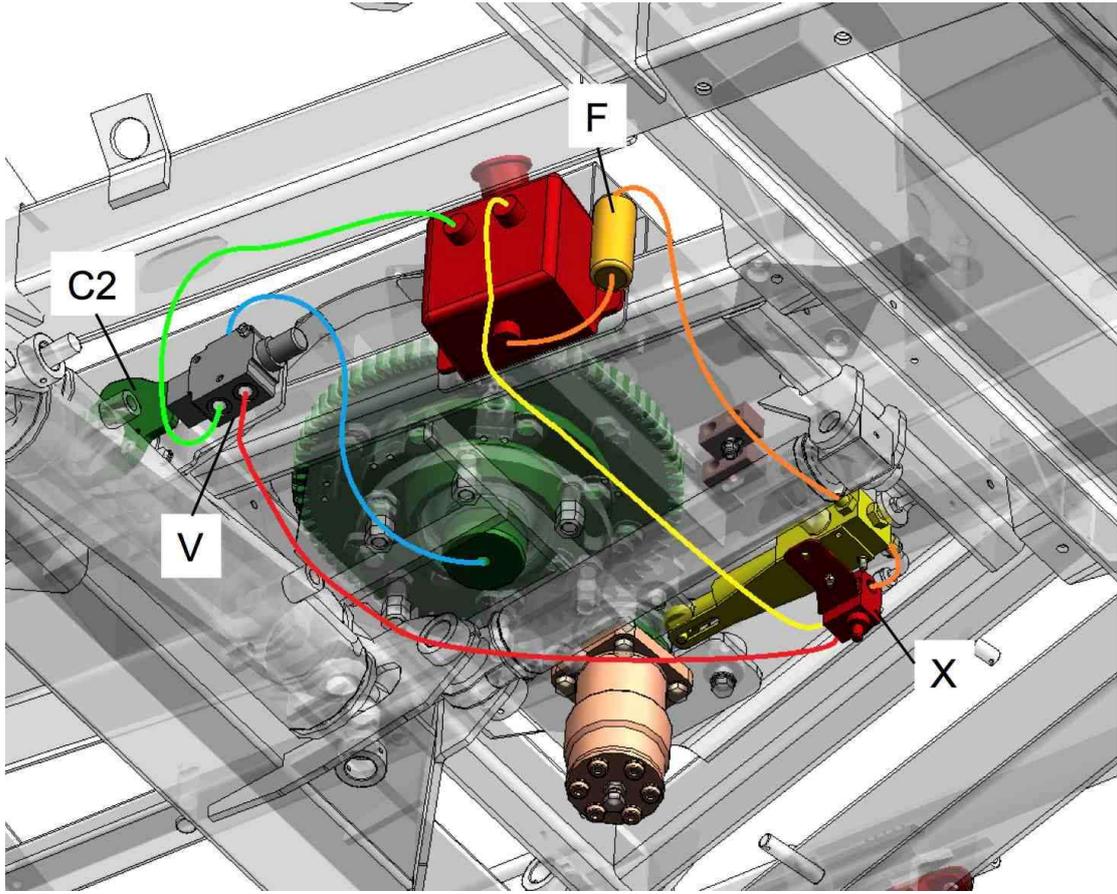
L'ingranaggio motore (fisso sul motore MR160) è provvisto di una camma (C) removibile che aziona una pompa (P) posta sotto il telaio. Il flusso d'olio viene inizialmente filtrato (F), passa attraverso la valvola di massima (X), la valvola a 3 vie (V) e il giunto girevole (G) fino al martinetto di taglio (T).

Una volta che il cilindro raggiunge la sua massima corsa, la pressione aumenta e fa scattare la valvola di massima che porta l'olio in eccesso direttamente in scarico al serbatoio (linea gialla).

Una volta eseguita la fasciatura della balla e portata la tavola in posizione di scarico, viene azionata la valvola a 3 vie tramite una camma (C2) che permette il ritorno dell'olio al serbatoio e, grazie all'azione dell'accumulatore (A), il martinetto si richiude consentendo il taglio della pellicola.



*Figura 2.4.3*

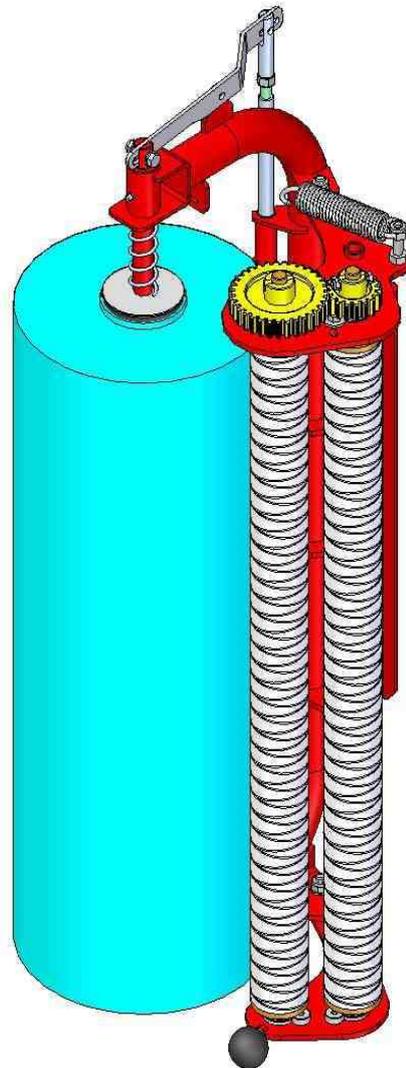


*Figura 2.4.4*

## 2.5 GRUPPO DI STIRO

È la parte della macchina che sostiene la bobina di film plastico e i due rulli di alluminio per la fase di pre-stiro.

Sulla sommità di ognuno dei due rulli è fissa una ruota dentata di differenti dimensioni: la ruota 1 ha diametro maggiore della ruota 2. L'azione di ingranamento l'uno con l'altro tramite le due ruote fa sì che il rullo 1 ruoti più lento del rullo 2.



*Figura 2.5.1*

Si ha per definizione di rapporto di trasmissione:

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

Ciò comporta che, affinché i due rapporti siano uguali, se il diametro della ruota 1 è maggiore del diametro della ruota 2, allora la velocità angolare della ruota 2 è maggiore della velocità angolare della ruota 1, ovvero: se  $D_1 > D_2$  allora  $\omega_2 > \omega_1$ .

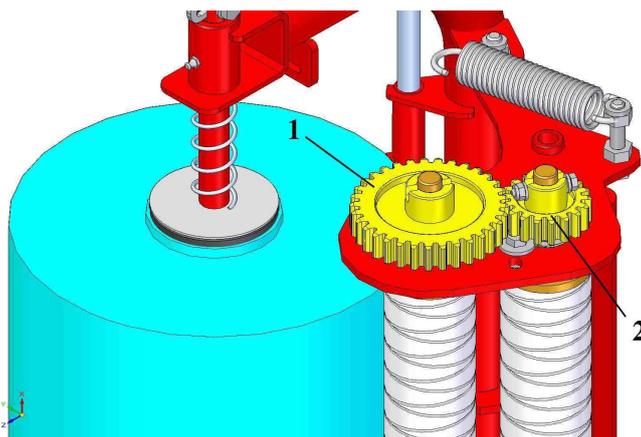


Figura 2.5.2

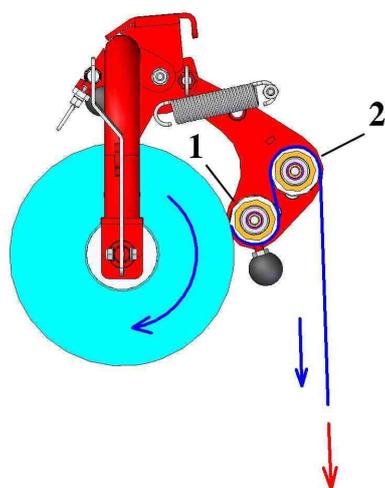


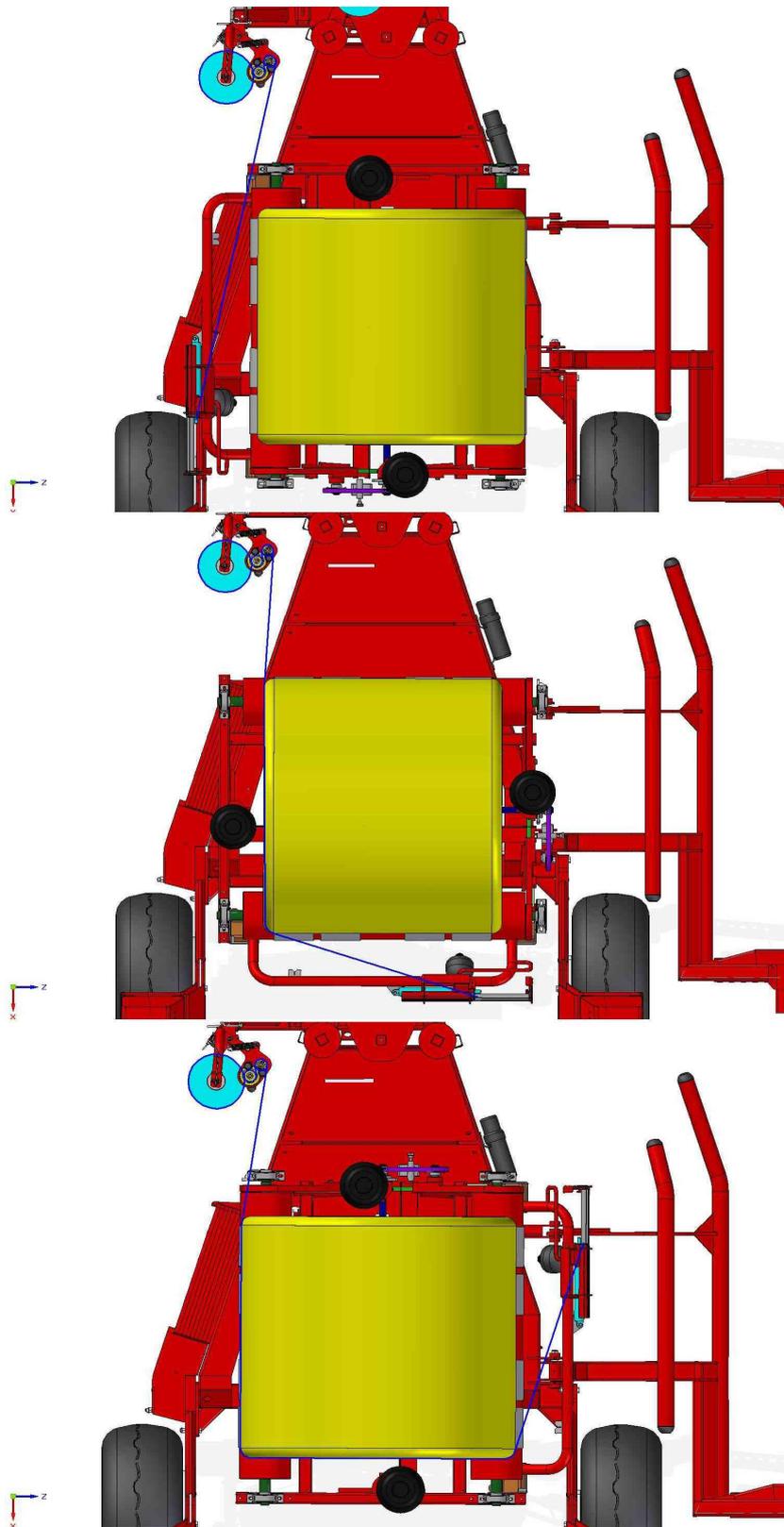
Figura 2.5.3

L'azione di trattenuta del film è svolta dal martinetto di taglio mentre la rotazione della tavola lo traina fuori dalla bobina attraverso il gruppo di stiro.

Sfruttando le sue proprietà elastiche, il film viene stirato a freddo tra i due rulli e avvolto attorno alla palla.

Non appena cessa la forza di stiro, il ritorno elastico del film determina una forza di serraggio sulla palla.

L'operazione di scarico innesca la chiusura del martinetto di taglio e la simultanea trattenuta del film per la successiva avvolgitura.



*Figura 2.5.4*

Sono disponibili 3 valori di pre-stiro corrispondenti alle seguenti ruote dentate:

rapporto di pre-stiro (%)	Numero denti	
	Ruota 1	Ruota 2
50	31	20
60	32	19
75	33	18

*Tabella 2.5.1*

Il film plastico utilizzato ha spessore 25  $\mu\text{m}$  ed è costituito da:

- polietilene
- gomma isobutene – isoprene
- etilene vinil acetato

La bobina nuova presenta un'altezza di 750 mm, diametro 240 mm e un peso di 28 kg.

### 3. OBIETTIVO DELLA TESI

La situazione di funzionamento attuale prevede una velocità di rotazione della tavola di circa 25/30 rpm ed un rapporto di pre-stiro, tra i rulli del gruppo di stiro, del 75%.

L'obiettivo di questo lavoro è stato riuscire ad aumentare la velocità di rotazione della tavola, quindi di avvolgimento della balla, senza incorrere nella rottura del film, con la finalità di ottimizzare i tempi di lavoro.

A tale scopo si è studiato un dispositivo che potesse agire direttamente sui rulli di pre-stiro per evitare il sovratensionamento.

Lo studio ha consistito nelle seguenti fasi:

1. Studio analitico delle velocità nella fase di avvolgitura per effettivamente accertarsi che la forma rettangolare della balla provochi accelerazioni e decelerazioni del film, quindi zone dove si ha una velocità massima e zone dove si ha una velocità minima, ovviamente in un giro di tavola (360°). Questa analisi inevitabilmente tiene in considerazione il materiale come se fosse rigido in quanto sarebbe impossibile includere ogni suo comportamento elastico.
2. Rilevamenti di velocità sull'avvolgitore tramite l'installazione di sensori in grado di registrare:
  - Posizione progressiva della tavola
  - Velocità della tavola
  - Velocità dei rulli

In questo caso si possono ottenere grafici che mostrano le relazioni tra la velocità di rulli e la posizione della tavola. Si potrà quindi dedurre il comportamento dinamico del film in corrispondenza di ogni posizione della tavola.

3. Raccolta dei dati e ricerca di una soluzione.

Gli obiettivi devono essere:

- Riduzione di tensione sul film
- Eliminare il rischio alla rottura
- Ottimizzazione dei tempi di lavoro
- Risparmio economico

Dobbiamo trovare una soluzione che ci permette di soddisfare quello che ci chiede il progetto.

A tale scopo, si utilizzeranno:

- Differenti motori elettrici
- Differenti coppie di ruote dentate con i corrispondenti rapporti di pre-stiro.

4. Test sull'avvolgitore con 4 coppie di ruote dentate corrispondenti a 4 rapporti di pre-stiro differenti, per osservare se questa soluzione possa contribuire a produrre un effetto utile sulle tensioni del film:

- 100%       $z_1 = 36$        $z_2 = 15$        $m = 3$
- 125%       $z_1 = 58$        $z_2 = 19$        $m = 2$
- 150%       $z_1 = 61$        $z_2 = 16$        $m = 2$
- 180%       $z_1 = 63$        $z_2 = 14$        $m = 2$

5. Scelta di 3 motori elettrici (1 ELVI e 2 OSLV) da installare sul rullo di alluminio in modo che la loro azione possa aiutare la tavola a sfilare il film dalla bobina.

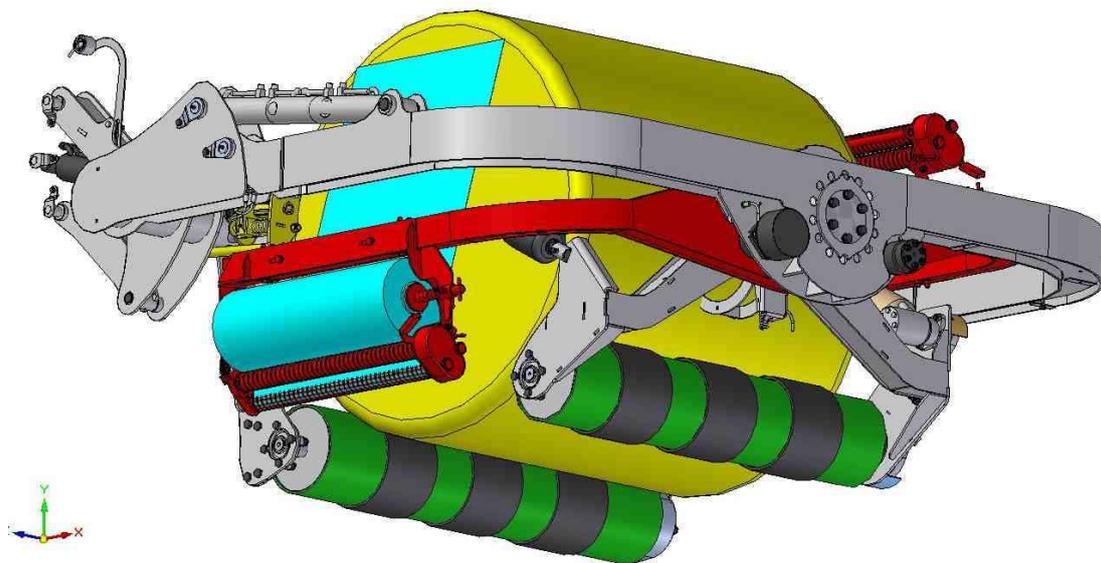
6. Progettazione sostegni, trasmissioni e applicazione dei motori.

7. Test sull'avvolgitore con i motori elettrici, registrazione dei dati e redazione dei relativi grafici con le relative considerazioni e risultati ottenuti.

L'avvolgitore BW2600, utilizzato per i test, non rispecchia perfettamente le caratteristiche e dimensioni dell'avvolgitore sul quale verrà poi installata l'applicazione finale.

Possiamo dire che con i test svolti sul BW2600 non è stato possibile raggiungere la tensione di rottura del film perché:

- Durante l'operazione di avvolgitura, la distanza tra lo spigolo della palla e il gruppo di stiro è relativamente elevata (60 – 70 cm) mentre sull'applicazione finale si avrà una distanza molto ridotta (20 cm). Questo fatto riduce notevolmente la probabilità di rottura in quanto il tratto di film è di lunghezza maggiore e di conseguenza occorrerebbero sollecitazioni maggiori per romperlo.
- Non è stato possibile raggiungere velocità di rotazione tali che potessero eguagliare quelle che verranno poi utilizzate per l'applicazione finale.



*Figura 3.1*

In rosso è raffigurato il satellite, comprensivo di due gruppi di stiro, che avvolge la balla ruotandoci attorno. In verde i rulli che ruotano simultaneamente al satellite e permettono alla balla di essere completamente ricoperta e sigillata, mentre in azzurro la bobina di film che si svolge.

Nonostante tutto, l'avvolgitore BW2600 è risultato un modello soddisfacente ai fini dei test in quanto ci ha fornito dati molto interessanti ed essenziali sul comportamento del film, che risultano essere un ottimo punto di partenza per l'ottimizzazione dell'applicazione finale.

L'obiettivo di aumentare la velocità comporta, come abbiamo detto, maggiori sollecitazioni sul film plastico, che nel caso studiato, anche se non conducono a rottura (a causa del tratto lungo), potrebbero causare plasticizzazione, portando il materiale oltre il suo limite elastico.

A fronte di queste pericolose tensioni si è studiato un sistema che, durante la fase di avvolgitura, agisca direttamente sul gruppo di stiro quindi sul rilascio del film fuori dalla bobina e di conseguenza sulla problematica delle sollecitazioni (motore elettrico).

Tutti i test che faremo e le soluzioni che proveremo sono state svolte per trovare una soluzione al controllo della velocità, per ridurre il sovratensionamento del film.

Eseguiamo una prima analisi della dinamica di avvolgitura per capire come può variare la velocità.

## 4. STUDIO DELLA DINAMICA DI AVVOLGITURA

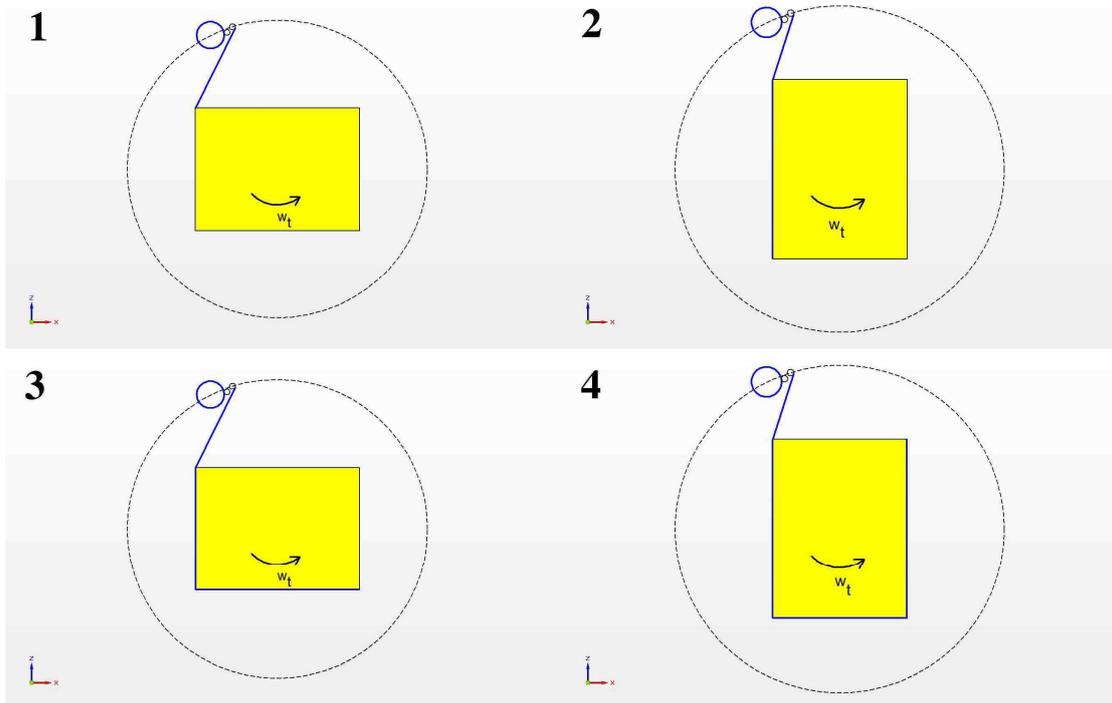


Figura 4.1

La rotazione a velocità costante della tavola trascina il film trattenuto.

Il sistema può essere semplificato considerando, invece che la tavola in movimento e il gruppo di stiro fermo, la tavola ferma e il gruppo di stiro in movimento (per una rappresentazione grafica più comoda).

Quindi se prima la tavola ruotava con una velocità angolare  $w_t$ , adesso il gruppo di stiro ruota attorno alla tavola con la stessa velocità  $w_t$ .

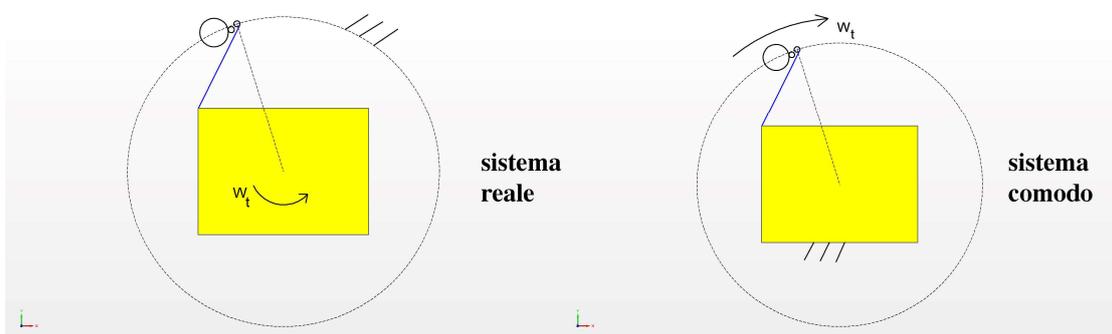
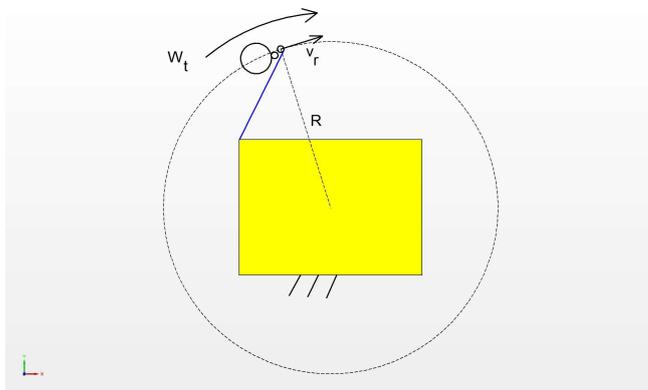


Figura 4.2

Cambia la dinamica ma le velocità rimangono le stesse.

Se ci poniamo nel sistema comodo possiamo dire che:

$$w_t = \frac{V_r}{R}, \quad \text{quindi:} \quad V_r = w_t \times R$$



Essendo, abbiamo detto, costante la velocità di avvolgitura  $w_t$ , allora è costante anche la velocità  $V_r$ .

Figura 4.3

Vediamo come si comporta il gruppo di stiro:

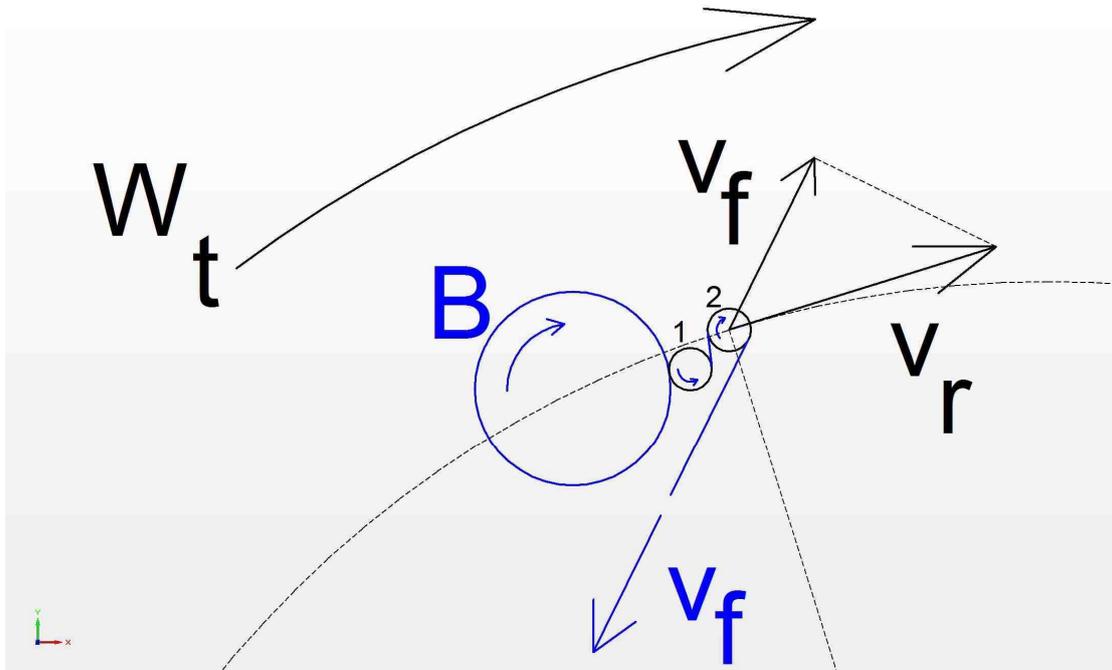


Figura 4.4

La bobina B e i rulli 1 e 2 ruotano solidali l'uno con l'altro a velocità  $V_r$  lungo una traiettoria circolare (sistema comodo).

La velocità  $V_f$  è la componente di  $V_r$  lungo la direzione di svolgimento del film. Questa può essere definita anche come la velocità di srotolamento del film plastico dalla bobina. Ovviamente le velocità sono calcolate considerando il

materiale come rigido in quanto risulterebbe molto difficile tenere conto anche del suo comportamento elastico e delle perdite per attrito.

Il nostro obiettivo quindi è quello di analizzare questa componente in diversi punti della tavola e osservare se varia oppure rimane costante.

Ai fini di questo calcolo è necessario conoscere l'angolo  $\alpha$  compreso tra  $V_f$  e  $V_r$ . Questo è possibile in quanto sono note tutte le dimensioni degli organi coinvolti.

Per cui la velocità  $V_f$  nelle diverse posizioni si calcola come:

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha)$$

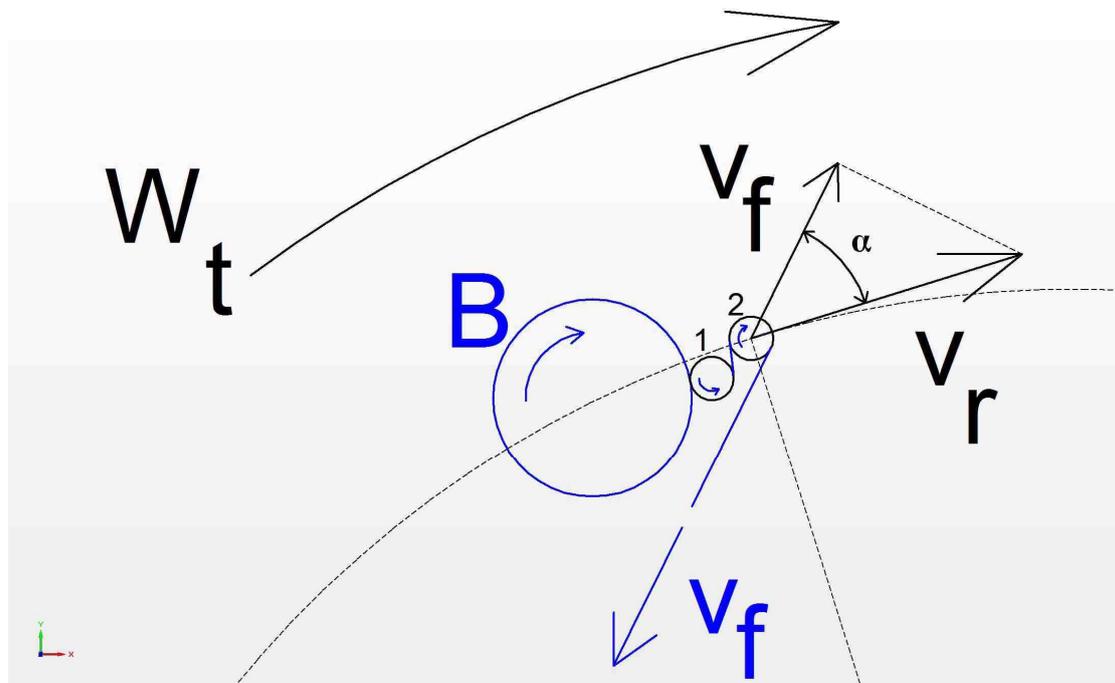


Figura 4.5

Prendiamo in esame uno schema che ci mostri progressive posizioni del gruppo di stiro attorno alla palla ed esaminiamo le velocità e l'angolo compreso in ognuna di esse ( $V_r, V_f, \alpha$ ).

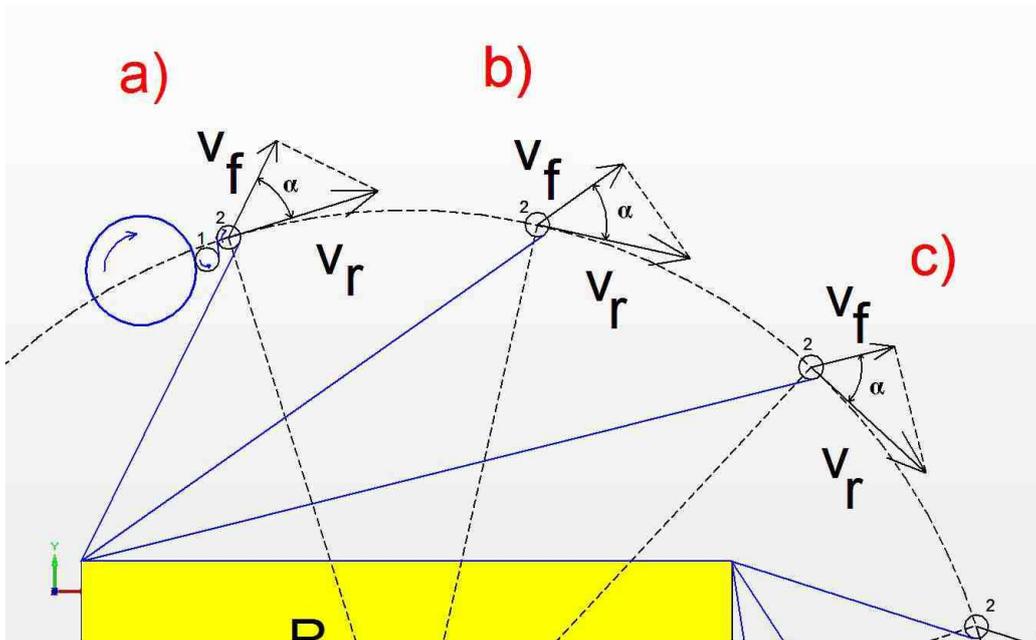


Figura 4.6

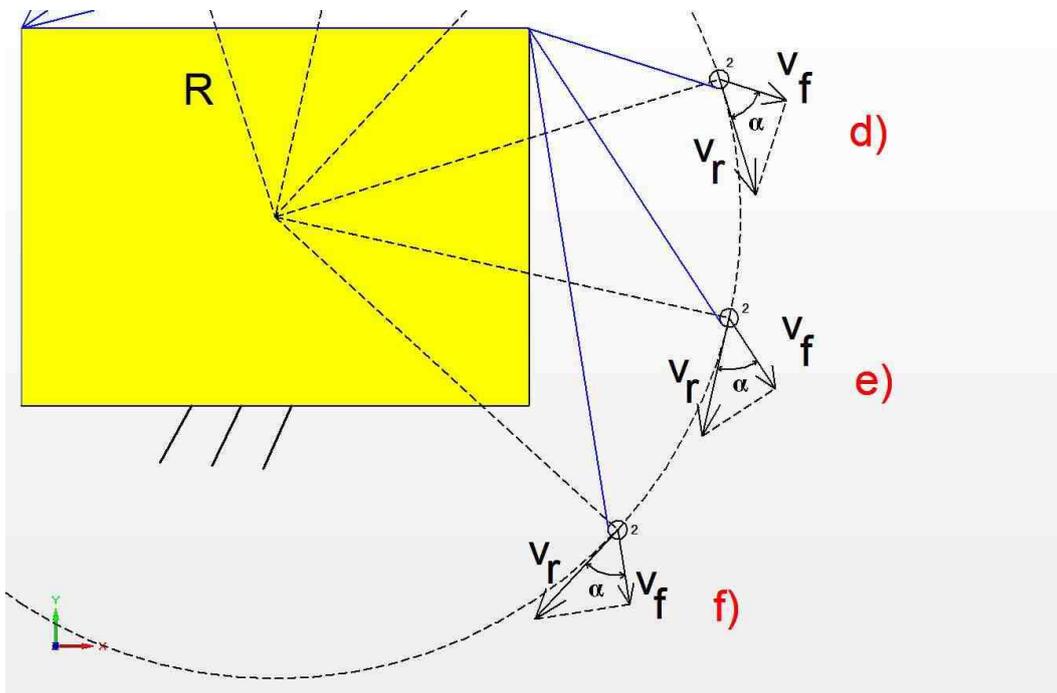


Figura 4.7

Calcoliamo i valori di  $V_f$  prendendo come dato di partenza la velocità di rotazione attuale della tavola  $w_t = 25$  rpm e il raggio della traiettoria circolare  $R = 1469,25$  mm = 1,46925 m

Si ha:

$$w_t = 25 \text{ rpm} = 2,618 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

quindi:

$$w_t = \frac{V_r}{R} \rightarrow V_r = w_t \times R = 2,618 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 1,46925 \text{ m} = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

L'angolo  $\alpha$  è noto perché facilmente ricavabile dal disegno, quindi possiamo dire che:

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha)$$

e per ciascun caso si ha:

a)  $V_r = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \alpha = 46,44^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,650 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b)  $V_r = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \alpha = 48,03^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,572 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c)  $V_r = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \alpha = 56,73^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,110 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d)  $V_r = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \alpha = 54,87^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,213 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

e)  $V_r = 3,846 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \alpha = 45,62^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,690 \frac{m}{s}$$

f)  $V_r = 3,846 \frac{m}{s}$ ,  $\alpha = 51,57^\circ$

$$V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,391 \frac{m}{s}$$

Possiamo notare dai risultati che effettivamente la velocità di srotolamento  $V_f$  varia di intensità a seconda della posizione in cui si trova il gruppo di stiro/tavola.

Questa variazione di velocità è diretta conseguenza del processo di avvolgitura. Se proiettiamo la palla cilindrica sul piano di avvolgitura possiamo notare una forma rettangolare. L'avvolgimento di tale forma fa sì che il tratto di film vari in continuazione la sua lunghezza e direzione e di conseguenza anche la sua velocità.

Per definizione sappiamo che l'accelerazione di un punto materiale è la variazione della sua velocità rispetto al tempo. L'accelerazione media è il rapporto tra la variazione di velocità  $\Delta v = v_2 - v_1$ , al tempo finale  $v_2 = v(t_2)$  e iniziale  $v_1 = v(t_1)$ , posseduta dall'oggetto, e l'intervallo finito di tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$  di durata del moto:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Un modo preciso per caratterizzare l'accelerazione si ottiene considerando la velocità in ogni istante di tempo, ovvero esprimendo la velocità in funzione del tempo e, ove la funzione è continua, calcolandone la derivata.

Si definisce accelerazione istantanea:

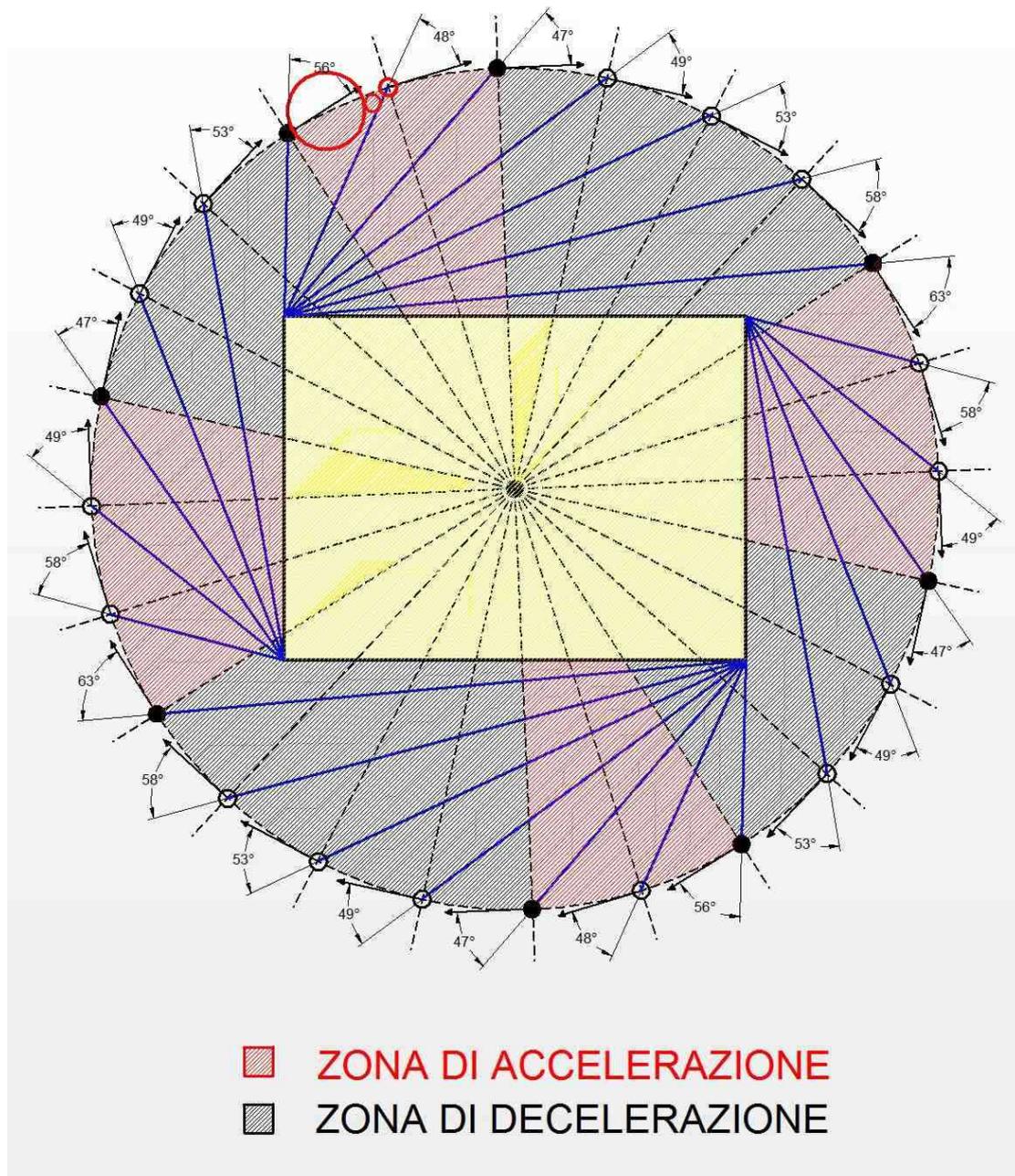
$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}$$

Possiamo quindi idealmente suddividere il nostro schema in zone in cui il film accelera e altre in cui decelera, corrispondenti rispettivamente a incrementi e decrementi di velocità. Queste zone sono definite e variano a seconda della forma che viene avvolta.

Se  $\Delta v > 0$  , allora  $a > 0$  mentre se  $\Delta v < 0$  , allora  $a < 0$ .

Suddividendo la nostra traiettoria circolare in 24 posizioni si possono ottenere informazioni più dettagliate riguardo la variazione di velocità. Si può capire che essa aumenta perché l'angolo  $\alpha$  diminuisce e viceversa:

- Se  $\alpha$  aumenta allora  $\cos(\alpha)$  diminuisce e  $V_f$  diminuisce.
- Se  $\alpha$  diminuisce allora  $\cos(\alpha)$  aumenta e  $V_f$  aumenta.



*Figura 4.8*

Questa analisi più accurata mostra, a partire dalla posizione di partenza evidenziata in rosso e sempre da una velocità di rotazione di 25 rpm, la variazione di  $V_f$ :

- 1)  $\alpha = 48,38^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,554 \frac{m}{s}$
- 2)  $\alpha = 47,21^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,613 \frac{m}{s}$
- 3)  $\alpha = 49,26^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,510 \frac{m}{s}$
- 4)  $\alpha = 52,98^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,316 \frac{m}{s}$
- 5)  $\alpha = 57,63^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,059 \frac{m}{s}$
- 6)  $\alpha = 62,85^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 1,755 \frac{m}{s}$
- 7)  $\alpha = 57,63^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,059 \frac{m}{s}$
- 8)  $\alpha = 48,72^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,537 \frac{m}{s}$
- 9)  $\alpha = 47,15^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,616 \frac{m}{s}$
- 10)  $\alpha = 49,01^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,523 \frac{m}{s}$
- 11)  $\alpha = 52,62^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,335 \frac{m}{s}$
- 12)  $\alpha = 56,43^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,127 \frac{m}{s}$
- 13)  $\alpha = 48,38^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,554 \frac{m}{s}$
- 14)  $\alpha = 47,21^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,613 \frac{m}{s}$
- 15)  $\alpha = 49,26^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,510 \frac{m}{s}$
- 16)  $\alpha = 52,98^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,316 \frac{m}{s}$
- 17)  $\alpha = 57,63^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,059 \frac{m}{s}$
- 18)  $\alpha = 62,85^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 1,755 \frac{m}{s}$
- 19)  $\alpha = 57,63^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,059 \frac{m}{s}$
- 20)  $\alpha = 48,72^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,537 \frac{m}{s}$
- 21)  $\alpha = 47,15^\circ$        $V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,616 \frac{m}{s}$

$$22) \alpha = 49,01^\circ \quad V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,523 \frac{m}{s}$$

$$23) \alpha = 52,62^\circ \quad V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,335 \frac{m}{s}$$

$$24) \alpha = 56,43^\circ \quad V_f = V_r \times \cos(\alpha) = 2,127 \frac{m}{s}$$

In conclusione possiamo quindi dire che l'andamento della velocità di srotolamento del film dalla bobina ( $V_f$ ) è definito da:

- velocità del gruppo di stiro/tavola ( $w_t$ )
- forma della balla

## 5. TEST DI VELOCITA' DI AVVOLGIMENTO A DIVERSI RAPPORTI DI PRE-STIRO DEL FILM

Ai fini di uno studio più dettagliato non si è potuto fare a meno di procedere ai rilevamenti veri e propri delle velocità di rullo e tavola.

Lo scopo è quello di ottenere risultati precisi e affidabili che riflettano il comportamento reale del film plastico durante il funzionamento.

Quello che ci interessa veramente osservare è la velocità dei rulli del gruppo di stiro in relazione alla posizione della tavola, affinché ci aiuti a capire come intervenire con una soluzione.

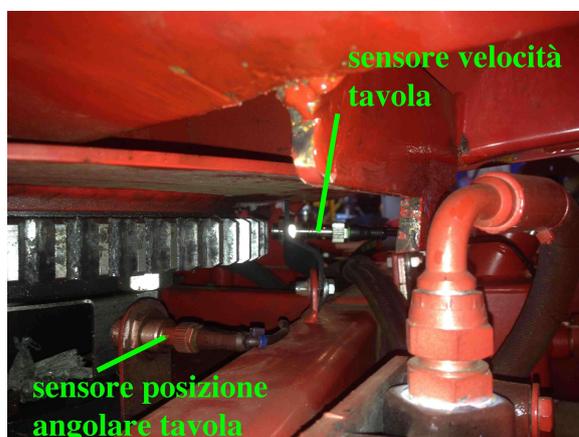
Sull'avvolgitore BW2600 sono stati applicati tre sensori per rilevare i seguenti parametri:

- Velocità del rullo più veloce nel gruppo di stiro



*Figura 5.1*

- Velocità di rotazione della tavola
- Posizione angolare della tavola



*Figura 5.2*

Per la buona riuscita delle prove, si ha inoltre provveduto a sostituire la palla con un telaio in acciaio fissato sulla tavola, che ne potesse simulare circa le dimensioni. Questo perché, a velocità di rotazione superiori al normale (50, 60 rpm), la palla rischierebbe di fuoriuscire dalla propria sede, per il semplice motivo che il suo baricentro non sarà e non rimarrà mai allineato con l'asse di rotazione, quindi l'innescò di forze inerziali ne causerebbe un non corretto funzionamento.

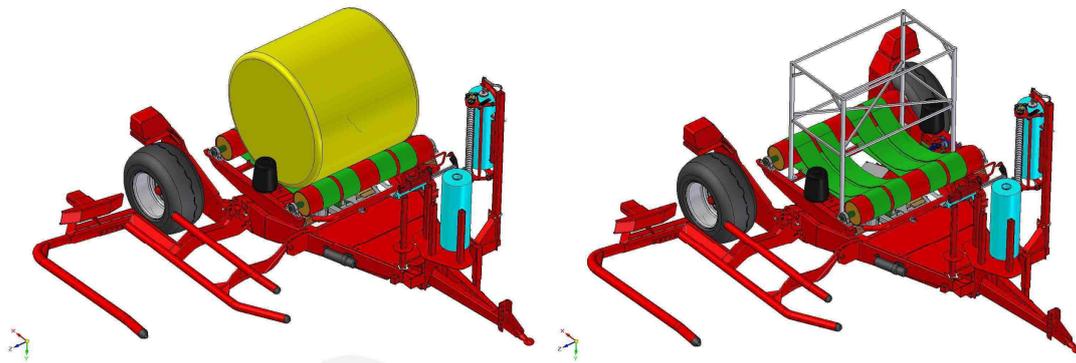


Figura 5.3

Il rilevamento avviene grazie ad un software creato appositamente e caricato sul sistema dell'avvolgitore (PCB: printed circuit board).

L'azienda che fornisce il software, fornisce anche un file che serve al programma *Debug&Plot* per trovare in memoria i nomi delle variabili interessate.

Una volta impostate le variabili si è pronti per le misurazioni in fase di avvolgimento e la successiva redazione dei grafici con il programma *Matlab*.

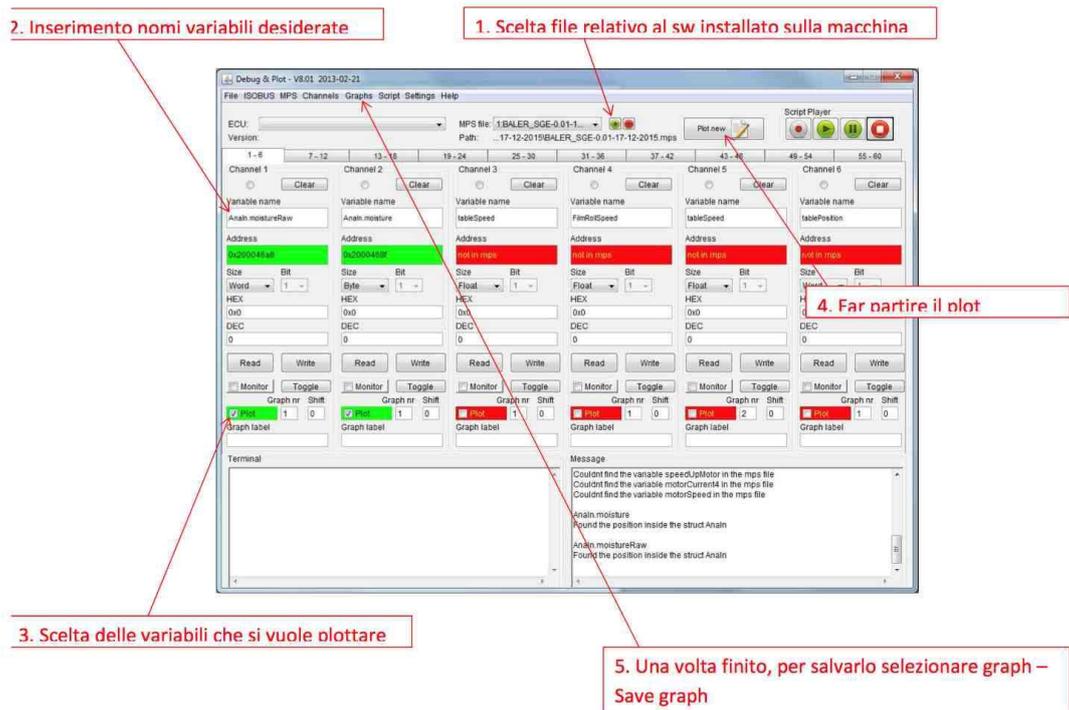


Figura 5.4

I risultati ottenuti mostrano chiaramente l'andamento delle velocità di rullo e velocità di tavola in funzione della sua posizione angolare.

Distinguiamo tre grafici relativi alle velocità di tavola di 30 RPM, 50 RPM, 60 RPM e rapporto di pre-stiro del 75%, 100%, 125%.

Indichiamo inoltre con  $\Delta_{roll\_speed}$  la differenza tra velocità massima e minima del rullo.

La posizione angolare della tavola varia da 0° a 360° e nei grafici è descritta da una linea blu. L'immagine sottostante mostra la posizione di partenza di 0°.

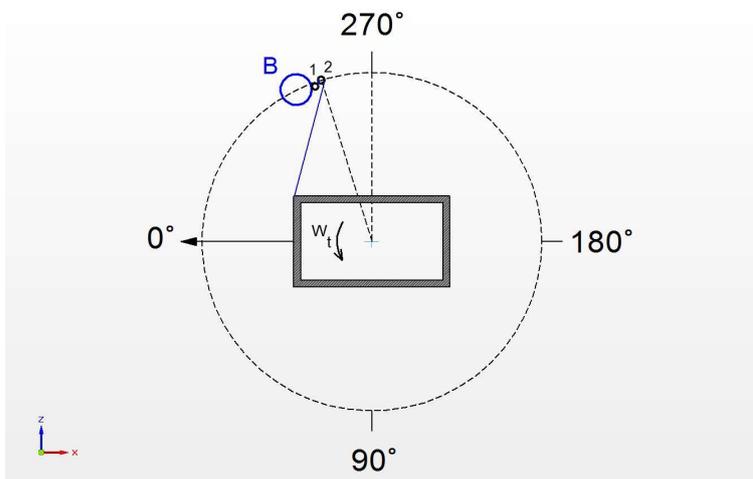


Figura 5.5

## 5.1 PRE-STIRO 75%

Come già menzionato precedentemente, la percentuale di pre-stiro del film è data dalle caratteristiche delle due ruote dentate che ingranano tra loro e ognuna solidale a un rullo. Abbiamo inoltre aggiunto che il rapporto del 75% è ricavato dall'ingranamento di due ruote aventi numero di denti  $z_1 = 33$  e  $z_2 = 18$  con modulo  $m = 3$ . Dalle quali, si sono ottenuti i seguenti risultati:

**Pre-stiro 75%**, velocità tavola 30 RPM

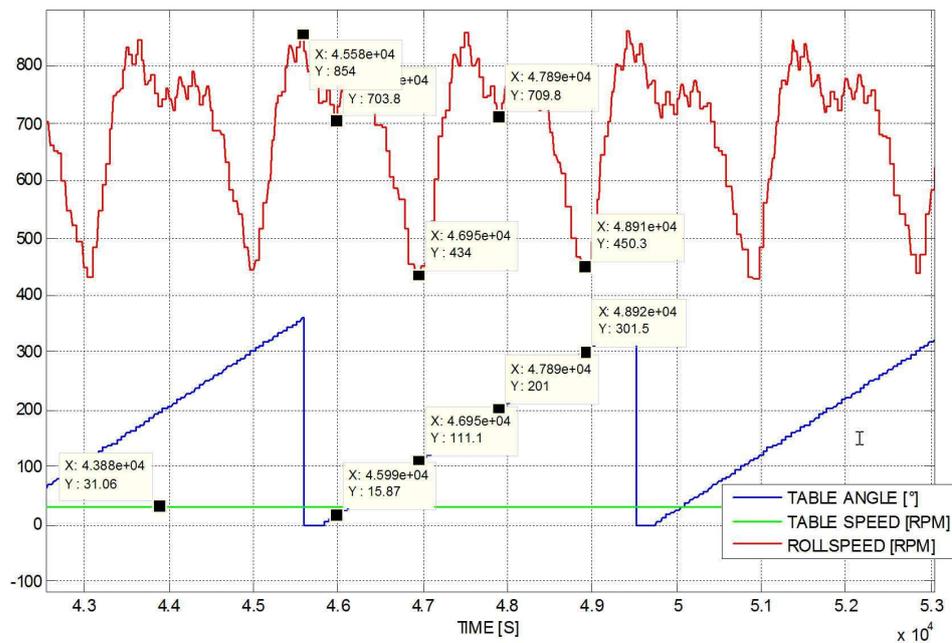


Figura  
5.1.1

$$\Delta_{roll\_speed} = 751 - 399 = 352 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 15°, 111°, 201°, 301°

**Pre-stiro 75%, velocità tavola 50 RPM**

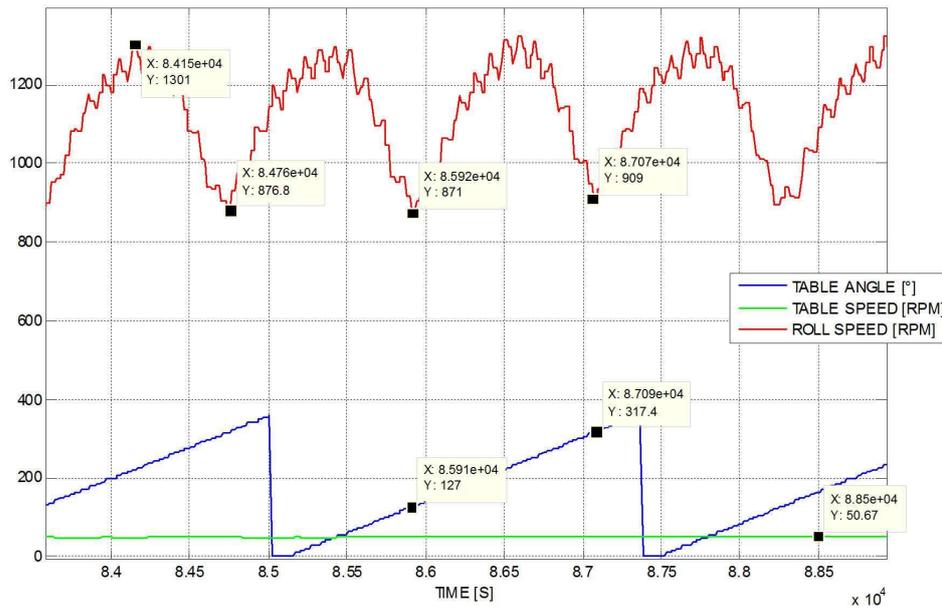


Figura 5.1.2

$$\Delta_{roll\_speed} = 1282 - 755 = 527 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 127°, 317°

**Pre-stiro 75%, velocità tavola 60 RPM**

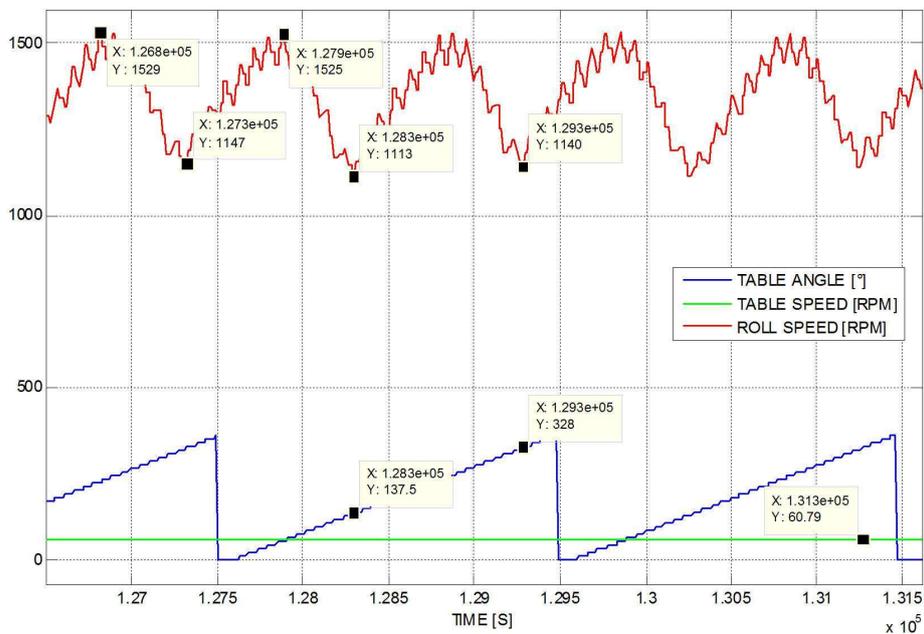


Figura 5.1.3

$$\Delta_{roll\_speed} = 1511 - 970 = 541 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 137°, 328°

## 5.2 PRE-STIRO 100%

Il seguente rapporto di pre-stiro è stato ottenuto da due ruote dentate aventi numero di denti  $z_1 = 36$  e  $z_2 = 15$ , con modulo  $m = 3$ .

Dalle quali si ha ricavato i seguenti grafici:

**Pre-stiro 100%**, velocità tavola 30 RPM

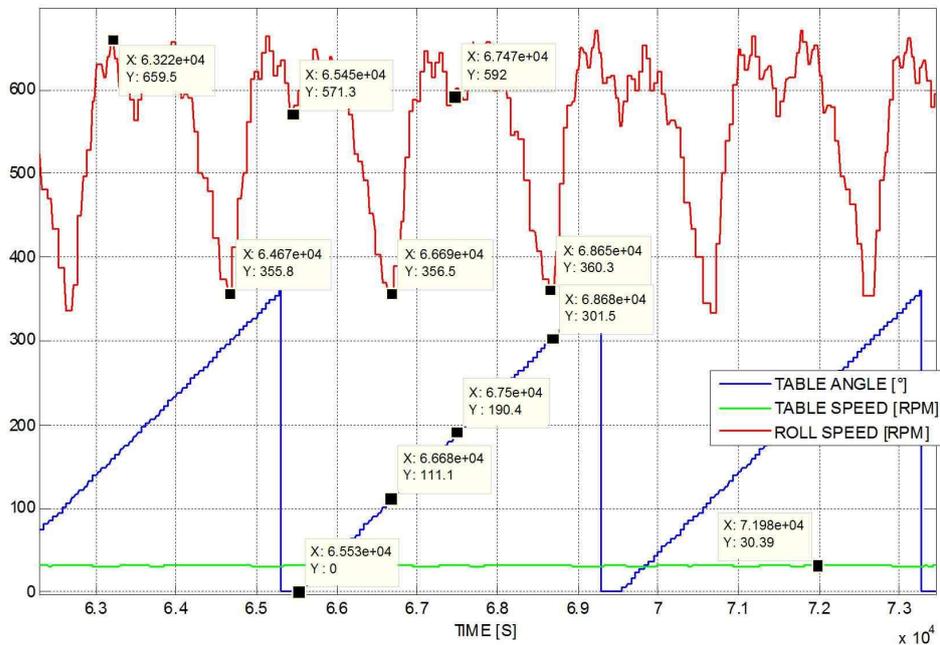


Figura  
5.2.1

$$\Delta_{roll\_speed} = 659 - 355 = 304 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità:  $0^\circ$ ,  $111^\circ$ ,  $190^\circ$ ,  $301^\circ$

**Pre-stiro 100%,** velocità tavola 50 RPM

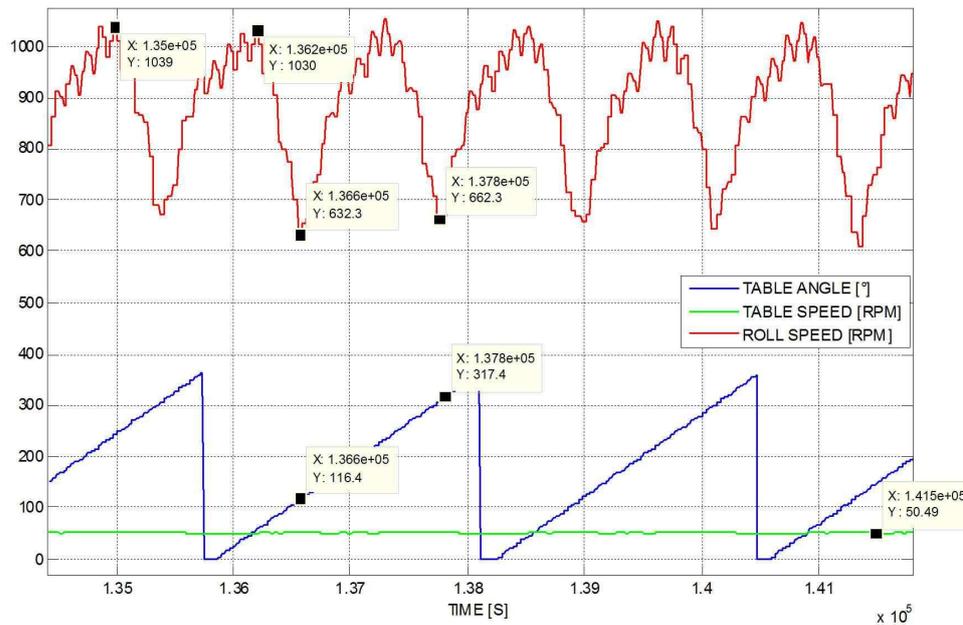


Figura  
5.2.2

$$\Delta_{roll\_speed} = 1030 - 632 = 398 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 116°, 317°

**Pre-stiro 100%,** velocità tavola 60 RPM

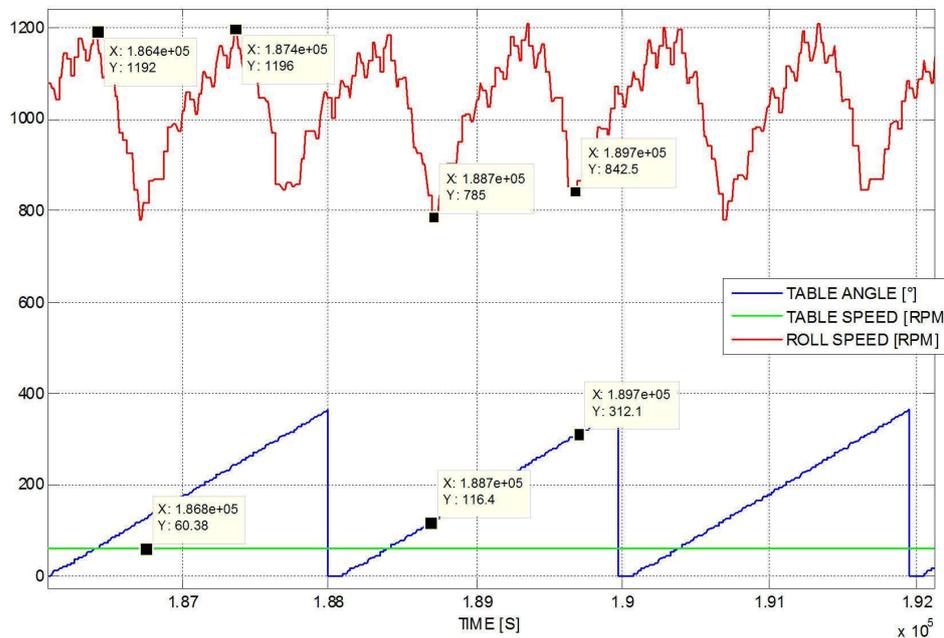


Figura  
5.2.3

$$\Delta_{roll\_speed} = 1196 - 785 = 411 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 116°, 312°

### 5.3 PRE-STIRO 125%

Il seguente rapporto di pre-stiro è stato ottenuto da due ruote dentate aventi numero di denti  $z_1 = 58$  e  $z_2 = 19$ , con modulo  $m = 2$ .

Dalle quali si ha ricavato i seguenti grafici:

**Pre-stiro 125%**, velocità tavola 30 RPM

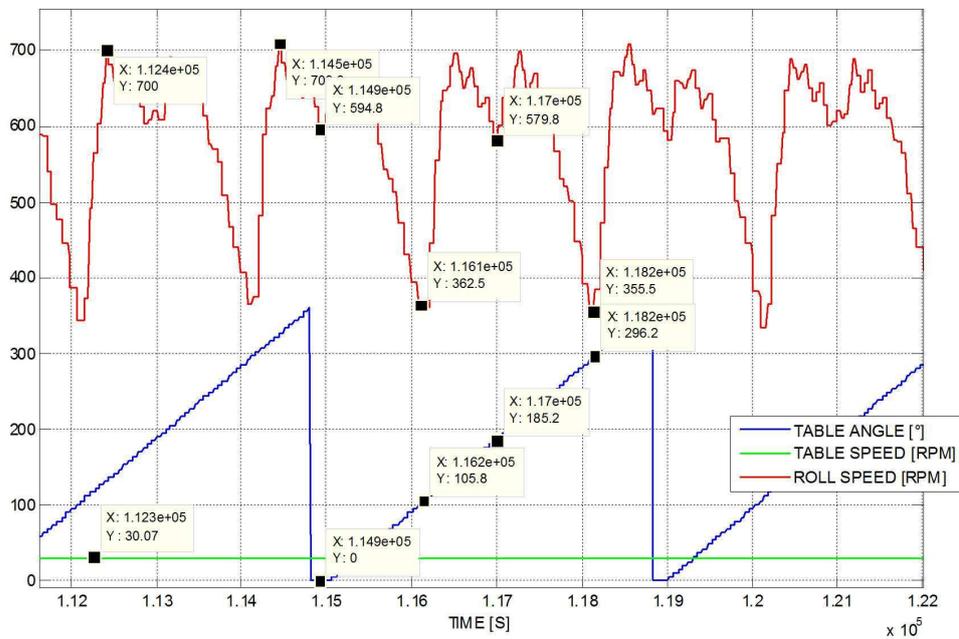


Figura  
5.3.1

$$\Delta_{roll\_speed} = 700 - 362 = 338 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità:  $0^\circ$ ,  $105^\circ$ ,  $185^\circ$ ,  $296^\circ$

**Pre-stiro 125%, velocità tavola 50 RPM**

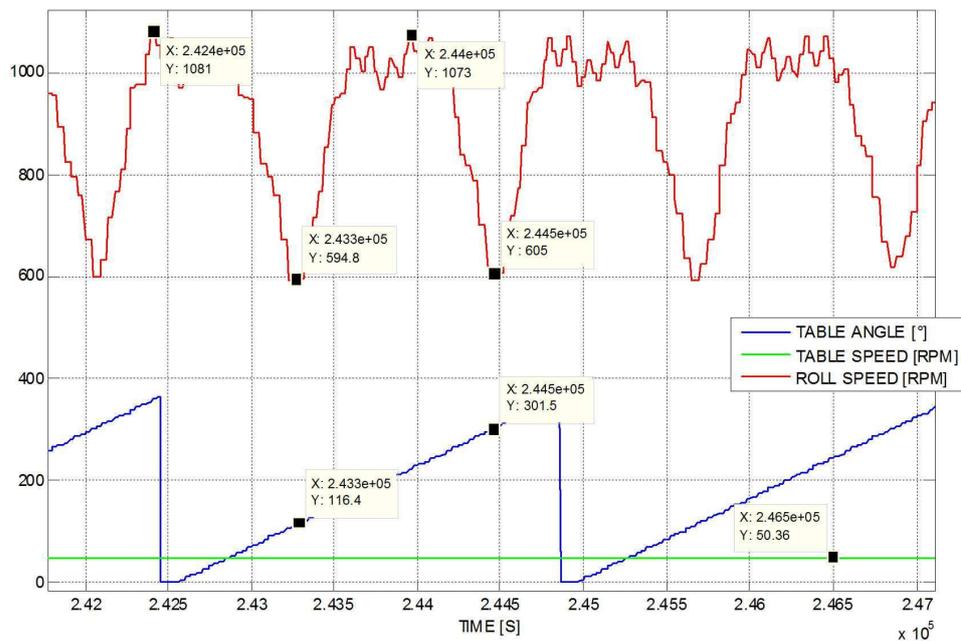


Figura 5.3.2

$$\Delta_{roll\_speed} = 1081 - 594 = 487 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 116°, 301°

**Pre-stiro 125%, velocità tavola 60 RPM**

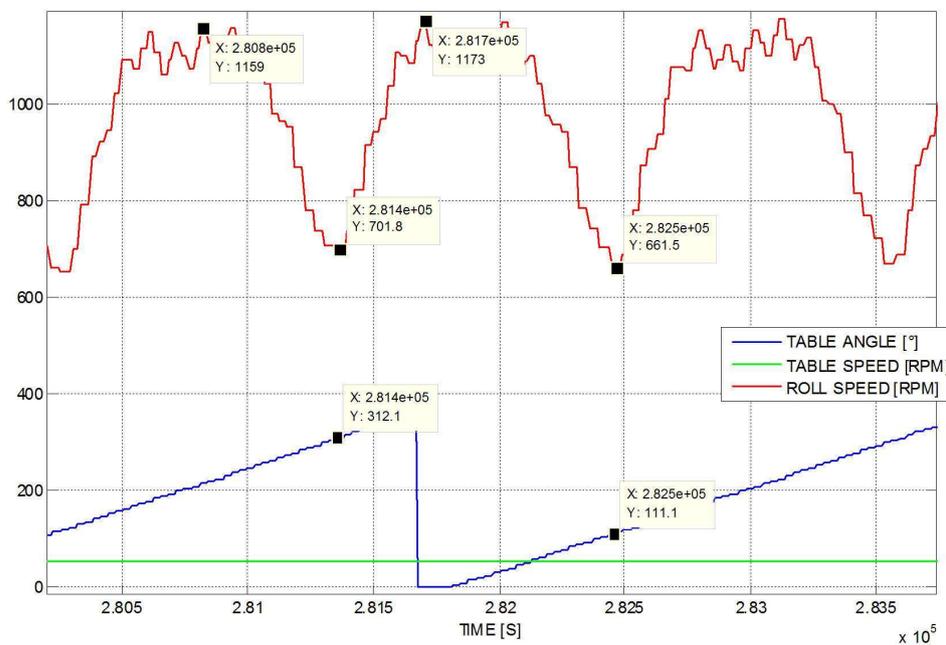


Figura 5.3.3

$$\Delta_{roll\_speed} = 1173 - 661 = 512 \text{ RPM}$$

Minimi di velocità: 111°, 312°

## 5.4 RISULTATI E VALUTAZIONI

Riassumiamo i risultati ottenuti nella seguente tabella:

<i>pre-stiro</i> [%]	<i>Velocità</i> <i>tavola</i> [RPM]	$\Delta_{roll\_speed}$ [RPM]	<i>Min 1</i> [°]	<i>Min 2</i> [°]	<i>Min 3</i> [°]	<i>Min 4</i> [°]
75	30	352	15	111	201	301
75	50	527	/	127	/	317
75	60	541	/	137	/	328
100	30	304	0	111	190	301
100	50	398	/	116	/	317
100	60	411	/	116	/	312
125	30	338	0	105	185	296
125	50	487	/	116	/	301
125	60	512	/	111	/	312

*Tabella 5.4.1*

Possiamo notare dai dati (e anche dai grafici) che quando la velocità di tavola aumenta da 30 rpm fino a 50 rpm e 60 rpm, è possibile notare solamente due posizioni di minimo della velocità.

A giudicare da tali valori pressochè costanti, queste posizioni possono essere considerate indipendenti dal rapporto di pre-stiro e dalla velocità di tavola.

<i>Pre-stiro [%]</i>	<i>Velocità tavola [RPM]</i>	<i>Min 2 [°]</i>	<i>Min 4 [°]</i>	<i>Media 2 [°]</i>	<i>Media 4 [°]</i>
75	30	111	301	125	315
75	50	127	317		
75	60	137	328		
100	30	111	301	114	310
100	50	116	317		
100	60	116	312		
125	30	105	296	110	303
125	50	116	301		
125	60	111	312		

**MEDIA**

**116°**

**309°**

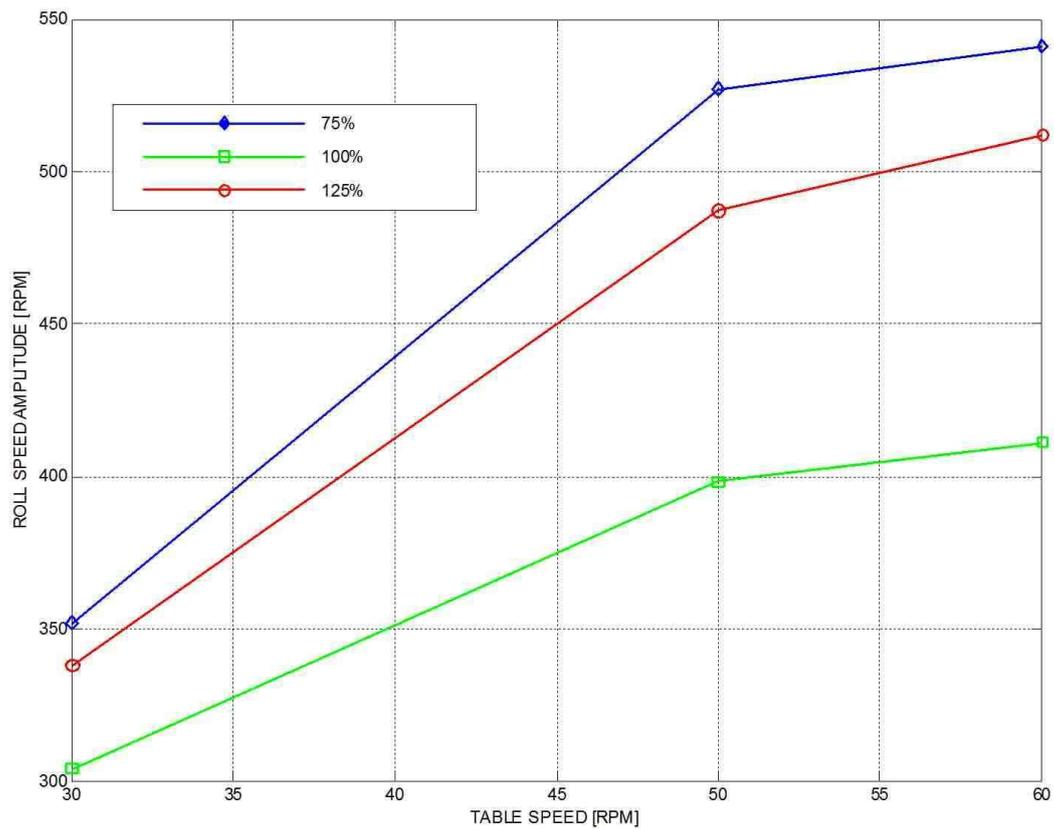
*Tabella 5.4.2*

Possiamo quindi assumere che, nei rulli del gruppo di stiro, la variazione più significativa di velocità, definita come il passaggio da una fase di decelerazione a una di accelerazione, avviene quando la tavola si trova nelle posizioni angolari di 116° e 309°.

Ora concentriamoci invece sulla differenza tra velocità massima e minima dell'oscillazione della curva corrispondente alla velocità del rullo.

<i>Pre-stiro [%]</i>	<i>Velocità tavola [RPM]</i>	<i>Range di velocità [RPM]</i>
75	30	352
75	50	527
75	60	541
100	30	304
100	50	398
100	60	411
125	30	338
125	50	487
125	60	512

*Tabella 5.4.3*



*Figura 5.4.1*

*Si può chiaramente osservare che l'incremento del rapporto di pre-stiro (75% → 100% → 125%) fa a sua volta aumentare la differenza tra velocità massima e minima del rullo, quando la velocità di tavola aumenta (30 RPM → 50 RPM → 60 RPM).*

Quindi le oscillazioni saranno più ampie se si utilizzano valori alti di rapporto di pre-stiro e di velocità di tavola.

#### PERCHE' SI ANALIZZA L'AMPIEZZA E LO SVILUPPO DELLA CURVA?

Considerando che le posizioni di minimo rimangono pressochè invariate (116°, 309°), quindi il tempo impiegato rimane costante ad una data velocità di tavola, la differenza tra velocità massima e minima ci fornisce informazioni riguardo all'accelerazione.

*Dunque nel funzionamento normale, ovvero di traino del film, più l'ampiezza è grande e più è grande anche l'accelerazione.*

Prendiamo un esempio:

- velocità tavola: 50 RPM,
- tempo impiegato per compiere una rotazione:  $\frac{60 \text{ sec}}{50 \text{ giri}} = 1,2 \text{ secondi}$ .
- Consideriamo un angolo percorso dalla tavola di 60°

Il tempo impiegato per percorrerlo è di  $\frac{1,2 \text{ sec}}{360^\circ} \times 60^\circ = 0,2 \text{ secondi}$

- DUE CASI:

a) Ampiezza curva = 400 RPM =  $41,88 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

L'accelerazione è  $\frac{41,88 \text{ rad/sec}}{0,2 \text{ sec}} = 209 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}$

b) Ampiezza curva = 500 RPM =  $52,35 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

L'accelerazione è  $\frac{52,35 \text{ rad/sec}}{0,2 \text{ sec}} = 262 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}$

Possiamo dunque osservare che, quando il film è trainato dalla tavola attraverso i rulli di pre-stiro, ad una elevata differenza di velocità (ampiezza dell'oscillazione) corrisponde una elevata accelerazione.

#### COSA INNESCA LA ROTTURA DEL FILM?

Il pre-stiro esercita un'azione frenante sullo scorrimento del film. Questa nasce perché serve una certa forza da applicare per stirare la plastica. Più il rapporto è alto, più la differenza di velocità tra i due rulli è alta e di conseguenza occorre più forza per ottenere la deformazione. *(vedi ultimo grafico)*

La sezione rettangolare della balla comporta una variazione di velocità del film durante l'operazione di avvolgitura. Questo quindi accelera e decelera attraverso i due rulli, a seconda della posizione in cui si trova la tavola.

La sollecitazione da trazione potenzialmente dannosa, nasce proprio nella fase di accelerazione.

L'aumento istantaneo di velocità fa sì che, la non immediata risposta dei rulli all'incremento progressivo del tiro dovuto ad accelerazione, provochi un eccessivo tensionamento che possa condurre poi a rottura. Più è elevata l'accelerazione e più è elevata la sollecitazione.

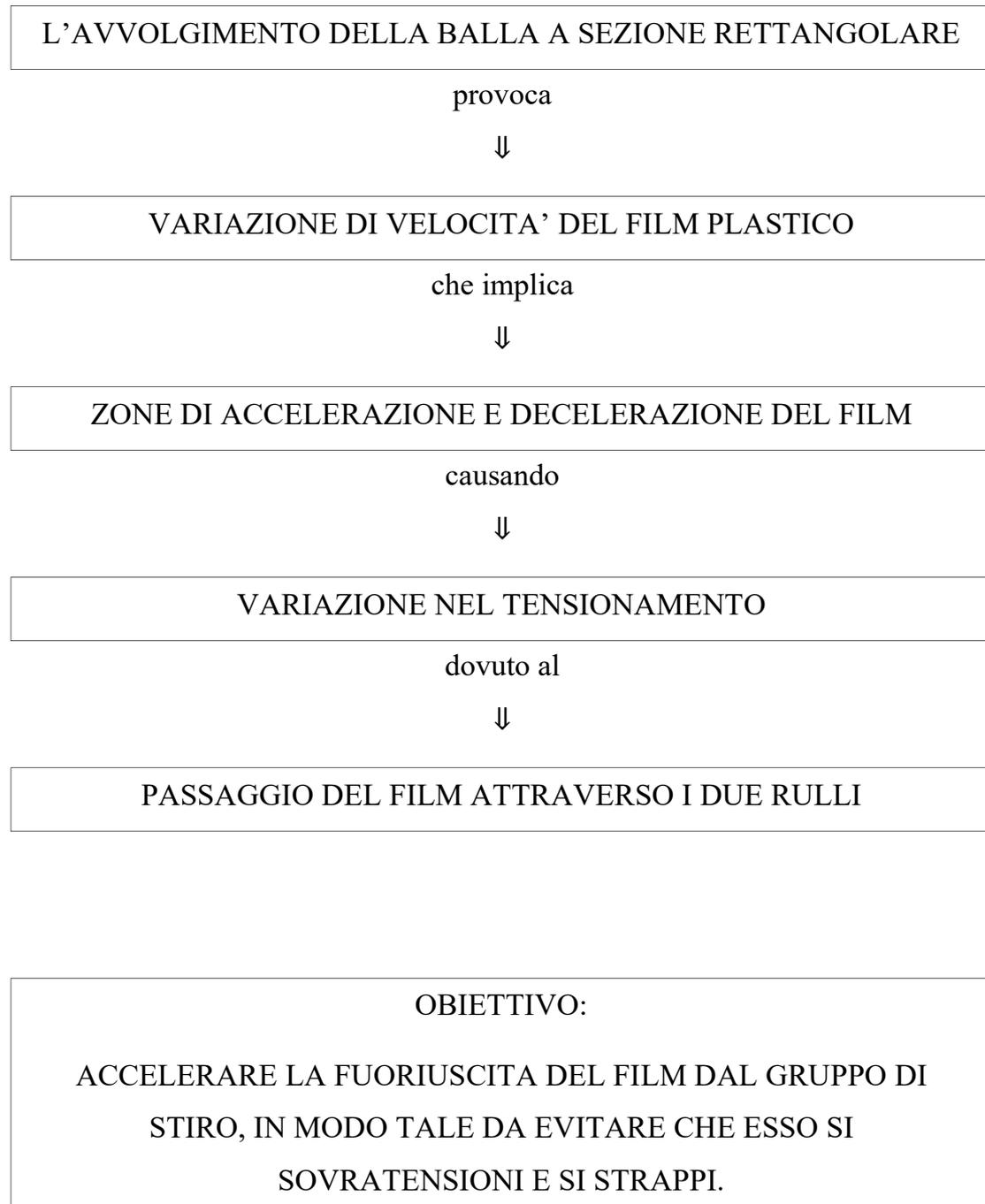
Entro un certo limite, il tensionamento istantaneo viene compensato con il cedimento elastico del film mentre, se si va oltre, la conseguenza potrebbe essere la rottura.

I motivi principali possono essere:

- Accelerazione troppo elevata (osservabile graficamente dall'ampiezza della curva rossa corrispondente alla velocità del rullo)
- Tratto libero del film troppo corto (il materiale non è abbastanza per contenere la tensione quindi si passa da uno stato elastico a uno plastico fino alla rottura)

Ovviamente intervenire sulla lunghezza del tratto di film significherebbe modificare tutta la geometria della macchina perciò, si studierà una soluzione in grado di ridurre l'accelerazione del film e di conseguenza ridurre il suo tiro.

Riassumiamo la dinamica:



*OSSERVAZIONE:*

*il sensore rileva la velocità del rullo di pre-stiro, non del film, quindi:*

*Più accelera il rullo e meno tensione ci sarà sul tratto libero di plastica*

Siccome tutti e tre i rapporti testati provocano un incremento della differenza tra velocità massima e minima della curva, si decide di stabilire il valore del 75% come rapporto migliore perché più pratico e facile da testare.

Il programma prevedeva due ulteriori test con i rapporti di 150% e 180% ma non si è riusciti in quanto il film si strappava non appena la tavola iniziava il suo moto di rotazione.

## 6. SCELTA DI UNA SOLUZIONE

Per ottenere l'accelerazione nella fuoriuscita del film attraverso i rulli di pre-stiro è necessario e inevitabile dover agire direttamente sul gruppo di stiro. Lo studio svolto fa pensare che una ipotetica motorizzazione dei rulli, con rotazione concorde allo sfilamento del film dalla bobina, potrebbe rilassare e allentare la tensione, ed evitare che questa raggiunga valori critici.

La soluzione ragionata, ha consistito nell'installazione di un motore elettrico sulla sommità di un rullo in grado di intervenire attivamente sullo srotolamento, rendendo possibile un ulteriore rilascio di film rispetto a quello realmente estratto da un'avvolgitura ordinaria.

Fino ad ora sono state citate due accelerazioni, da non confondere:

- Accelerazione del film: dovuta all'avvolgimento di una forma rettangolare nel caso in cui esso venga trascinato. (funzionamento normale)
- Accelerazione dei rulli di pre-stiro: dovuta all'applicazione di un motore elettrico. (funzionamento studiato)

### QUALE MOTORE ELETTRICO E' PIU' ADATTO PER TALE COMPITO?

La scelta del motore elettrico è risultata abbastanza obbligata in quanto la batteria del trattore può erogare 12 Volt mentre il chip che controlla le uscite della scheda (PCB) può fornire un massimo di 15 Ampère per ogni uscita.

In realtà, il motore potrebbe assorbire anche di più, quando è sotto sforzo, ma in tal caso si brucerebbe il fusibile da 30 Ampère che c'è sulla scheda.

Dunque si è giunti all'acquisto di tre motori elettrici, ognuno con le seguenti caratteristiche:

ELVI M61



Tensione nominale: 12 Volt  
Velocità: 2800 RPM  
Potenza nominale: 40 W  
Coppia di spunto: 1.1 Nm  
Coppia nominale: 0.15 Nm

*Figura 6.1*

OSLV M76



Tensione nominale: 12 Volt  
Velocità: 1400 RPM  
Potenza nominale: 58 W  
Coppia di spunto: 1.3 Nm  
Coppia nominale: 0.4 Nm

*Figura 6.2*

OSLV M90



Tensione nominale: 12 Volt  
Velocità: 1900 RPM  
Potenza nominale: 79 W  
Coppia di spunto: 2 Nm  
Coppia nominale: 0.4 Nm

*Figura 6.3*

Dal progetto del gruppo di stiro sappiamo che con un rapporto del 75%, la forza minima da applicare per consentire al film di uscire è di 150 N. Considerato che il raggio di un rullo è di 30 mm, la corrispondente coppia necessaria è quindi:

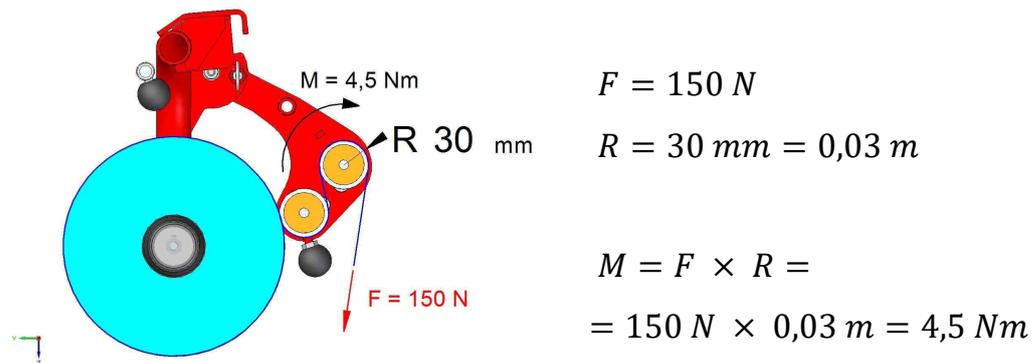


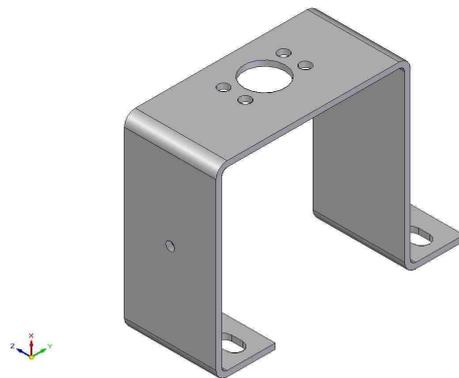
Figura 6.4

Ora, la coppia di ciascun motore elettrico non è abbastanza per riuscire a compiere interamente il lavoro di traino del rullo, per cui si procederà gradualmente sperando che il suo lavoro si traduca almeno in un piccolo aiuto, al fine di accelerare il rullo e ridurre la tensione nel film.

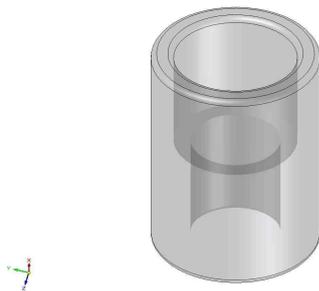
Il motore andrà posizionato sopra il rullo da motorizzare e, siccome questo è stato studiato per lavorare ad alte velocità di rotazione, verrà installato sopra il rullo più veloce. Lo stesso da cui è stata rilevata la velocità dal sensore e su cui è fissata la ruota dentata più piccola.

È stato progettato un supporto e la modalità di trasmissione del moto tra albero motore e rullo. Tale sistema è costituito da:

- **PIASTRA DI SOSTEGNO:**  
fissata sul gruppo di stiro,  
sostiene il motore e garantisce  
l'allineamento tra i due assi di  
rotazione.



*Figura 6.5*



- **BOCCOLA:**  
è saldata direttamente sulla  
testa della ruota dentata fissa  
al rullo.

*Figura 6.6*

- **RUOTA LIBERA:**  
è posta nella sede interna della  
boccola. L'anello esterno è solidale  
alla boccola mentre nell'anello  
interno viene inserito a pressione  
l'albero motore.

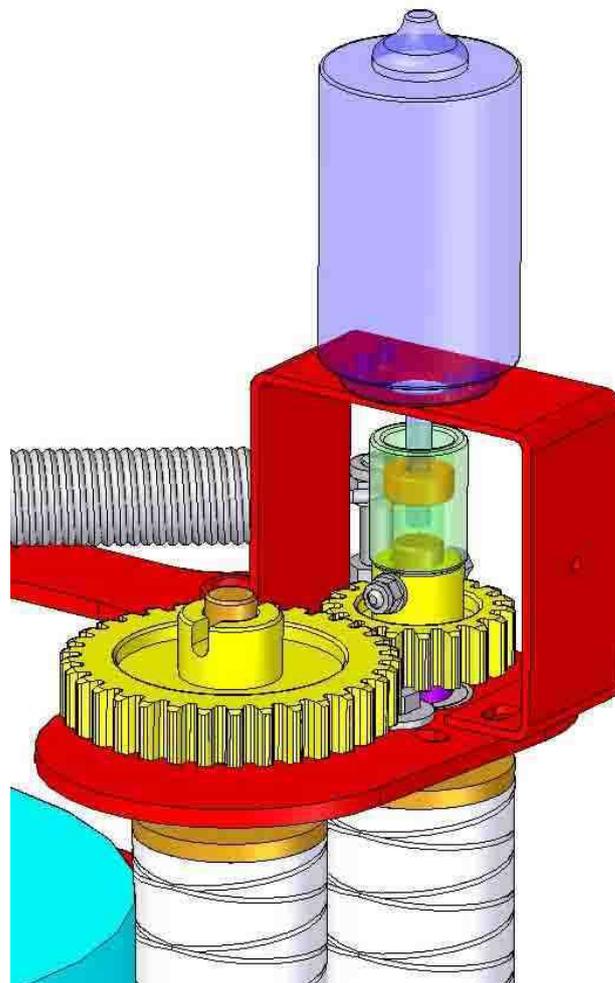


*Figura 6.7*

La ruota libera permette al motore di entrare in azione solamente quando la velocità del rullo scende di intensità fino ad eguagliare quella di rotazione dell'albero motore.

Il moto relativo di un anello rispetto all'altro è permesso solamente in un'unica direzione. Nell'altro senso di rotazione il moto non può avvenire.

Grazie a questo meccanismo, quando la velocità di rotazione dell'albero motore, solidale all'anello interno, supera quella del rullo, solidale invece alla boccia quindi all'anello esterno, avviene il traino da parte del motore elettrico.



*Figura 6.8*

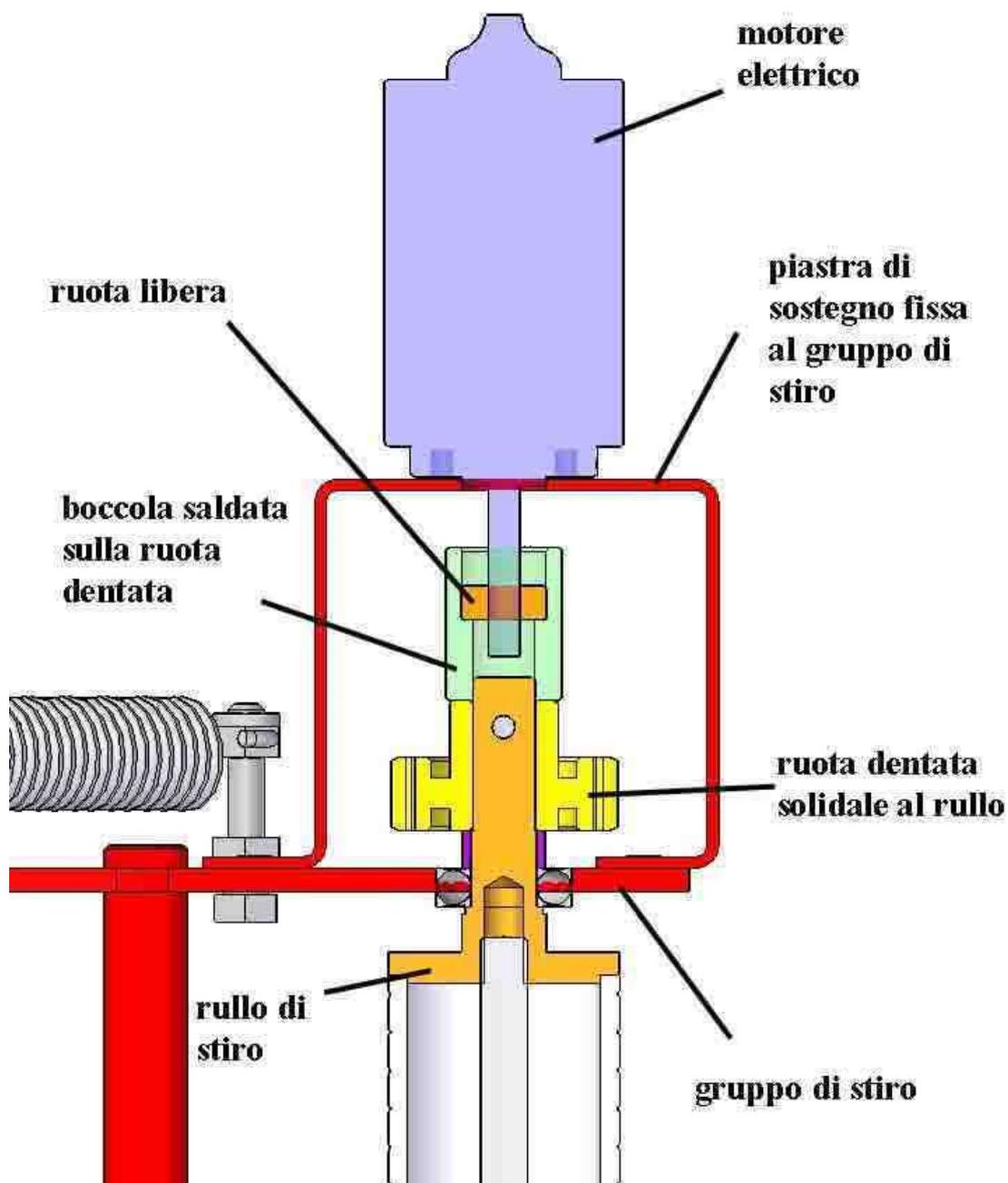


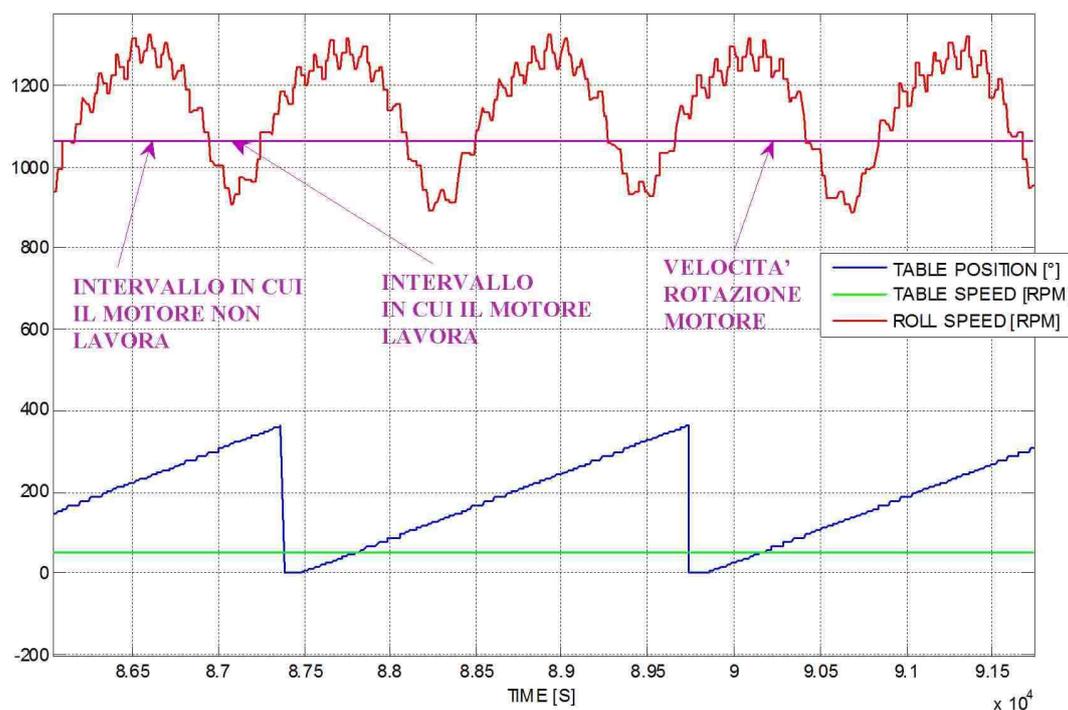
Figura 6.9

## COME PROGRAMMARE IL FUNZIONAMENTO DEL MOTORE?

La potenza e dunque la velocità di rotazione è regolabile in tensione.

Si ha ritenuto utile procedere con test di funzionamento al 60%, 80% e 100% ognuna a velocità di rotazione costante.

Figura 6.10



## COME PUO' TRASFORMARSI LA CURVA DI VELOCITA' DEL RULLO COME PROVA DEL FUNZIONAMENTO DEL MOTORE?

Il funzionamento del motore ha il compito di accelerare i rulli in modo tale da poter velocizzare il passaggio del film attraverso di essi.

L'espressione grafica dell'intervento del motore può essere ipotizzata in base alla percentuale di potenza alla quale esso lavora.

Gli effetti utili possono essere:

- Incremento del valore dei punti di minima velocità, quindi riduzione del range di velocità, dovuto ad un funzionamento a bassi rpm.
- Incremento sia del valore dei punti di minimo che di massimo, quindi uno spostamento in alto dell'intera curva, dovuto ad un funzionamento ad alti rpm.

## 7. TEST DI VELOCITA' DI AVVOLGIMENTO CON L'AZIONE DEI MOTORI ELETTRICI

Siccome la coppia erogabile dal motore non è sufficiente per compiere il completo traino del rullo, il motore verrà testato gradualmente al 60%, 80% e 100% con un rapporto di pre-stiro stabilito del 75%.

Da ogni grafico verranno estrapolati i dati necessari che saranno poi paragonati a quelli relativi al funzionamento normale.

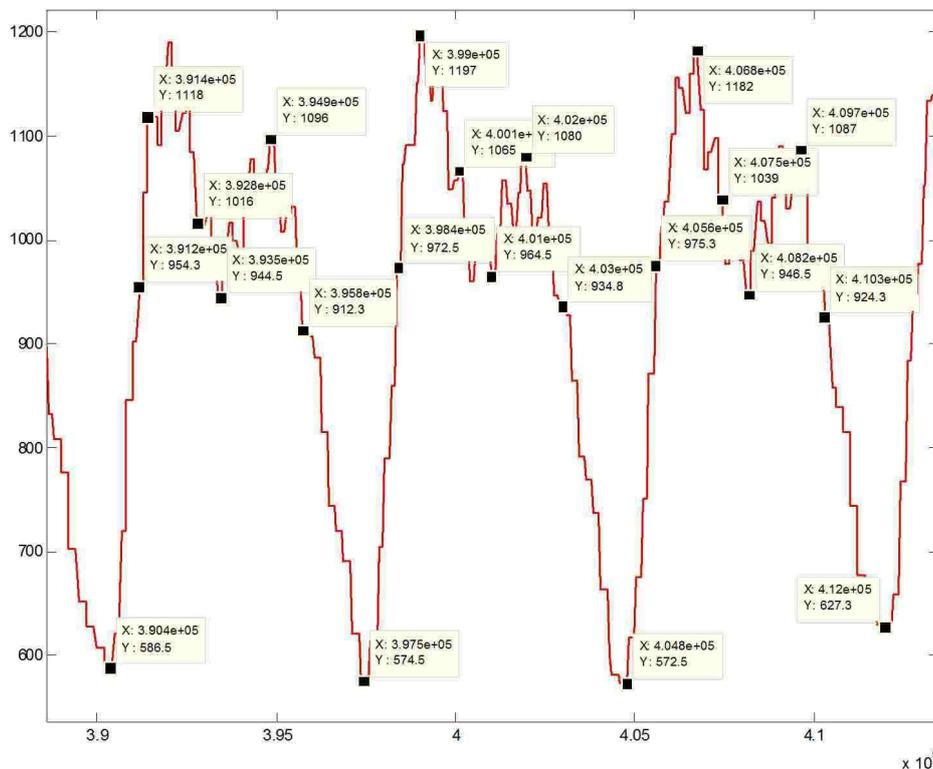


Figura 7.1

Il procedimento consiste in:

- Calcolo della media aritmetica dei valori massimi e la media aritmetica dei valori minimi.
- Calcolo del range di velocità ottenibile dalla differenza tra valore massimo medio e valore minimo medio.
- Comparazione dei risultati ottenuti con l'uso del motore con quelli ottenuti dal normale funzionamento

## 7.1 FUNZIONAMENTO SENZA MOTORE

I rilevamenti effettuati sull'avvolgitore in assenza del motore alle velocità 30, 40, 50 e 60 rpm hanno prodotto i seguenti risultati:

### 30 RPM

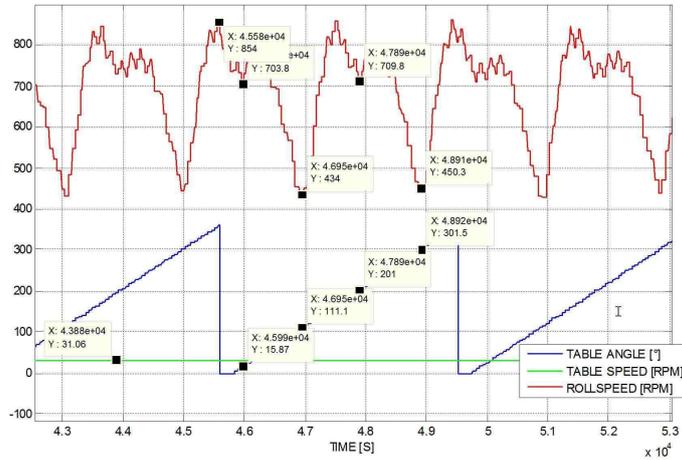


Figura 7.1.1

Valore massimo medio = 751 rpm

Valore minimo medio = 399 rpm

Range di velocità = 751 – 399 = 352 rpm

### 40 RPM

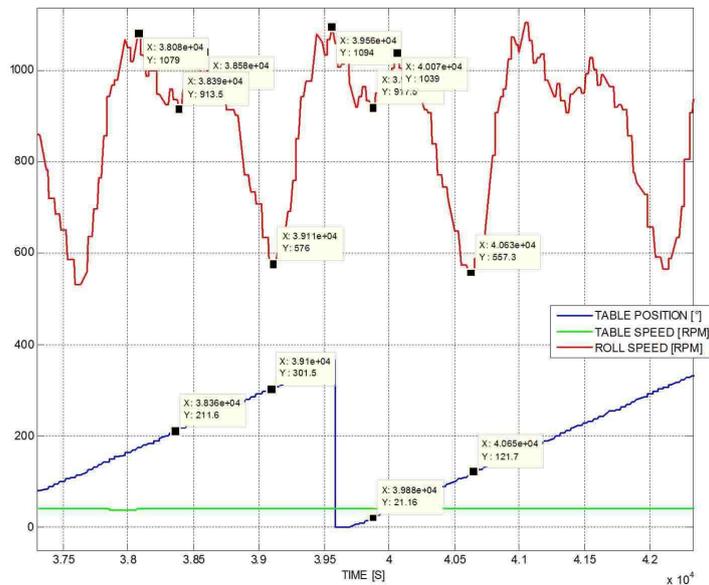


Figura 7.1.2

Valore massimo medio = 1030 rpm

Valore minimo medio = 556 rpm

Range di velocità = 1030 – 556 = 474 rpm

### 50 RPM

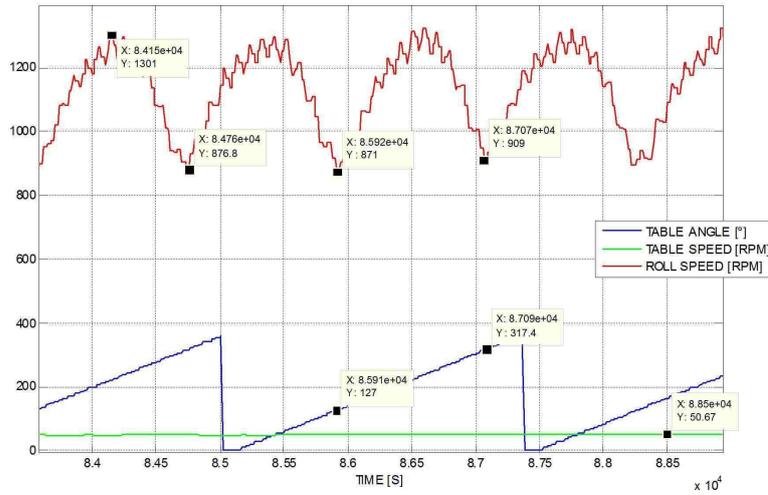


Figura 7.1.3

Valore massimo medio = 1282 rpm

Valore minimo medio = 755 rpm

Range di velocità = 1282 – 755 = 527 rpm

### 60 RPM

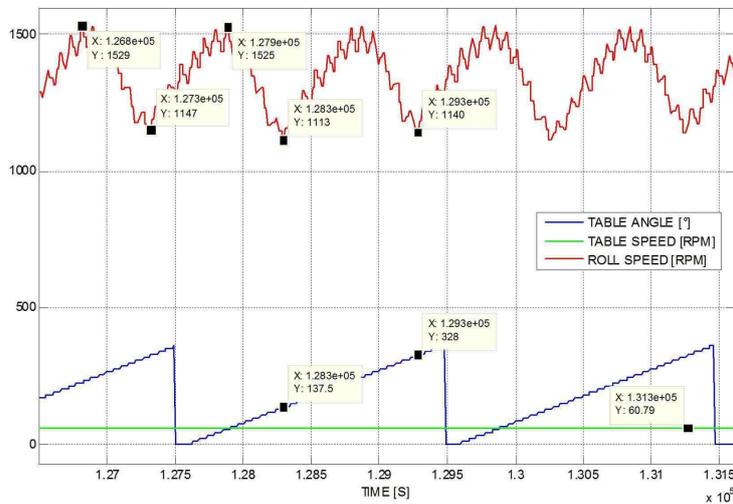


Figura 7.1.4

Valore massimo medio = 1511 rpm

Valore minimo medio = 970 rpm

Range di velocità = 1511 – 970 = 541 rpm

## 7.2 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO ELVI M61

I rilevamenti effettuati sull'avvolgitore con l'azione del motore ELVI M61, alle velocità di 30, 40, 50 e 60 rpm, ognuno testato alle percentuali di potenza del 60%, 80% e 100%, hanno prodotto i seguenti risultati:

### 30 RPM

#### 60% motore

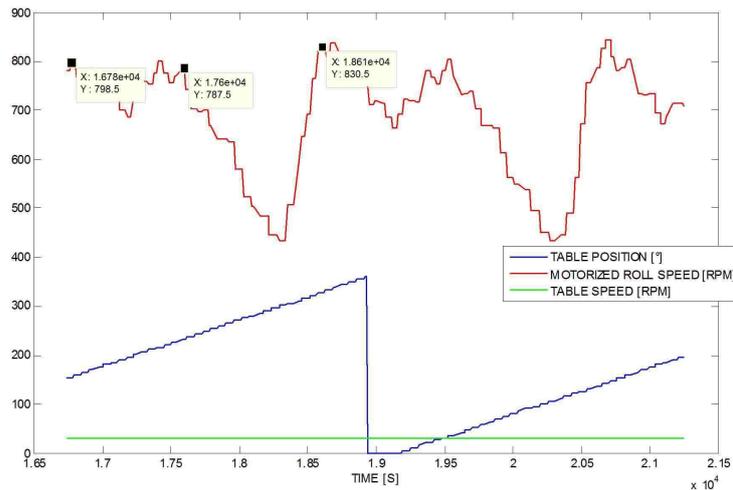


Figura 7.2.1

Valore massimo medio = 746 rpm

Valore minimo medio = 402 rpm

Range di velocità =  $746 - 402 = 344$  rpm

#### 80% motore

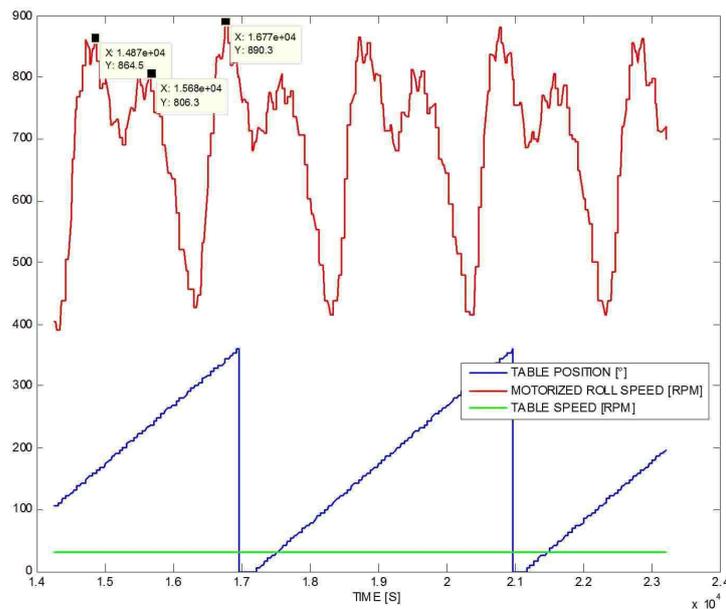


Figura 7.2.2

Valore massimo medio = 770 rpm

Valore minimo medio = 413 rpm

Range di velocità =  $770 - 413 = 357$  rpm

### 100% motore

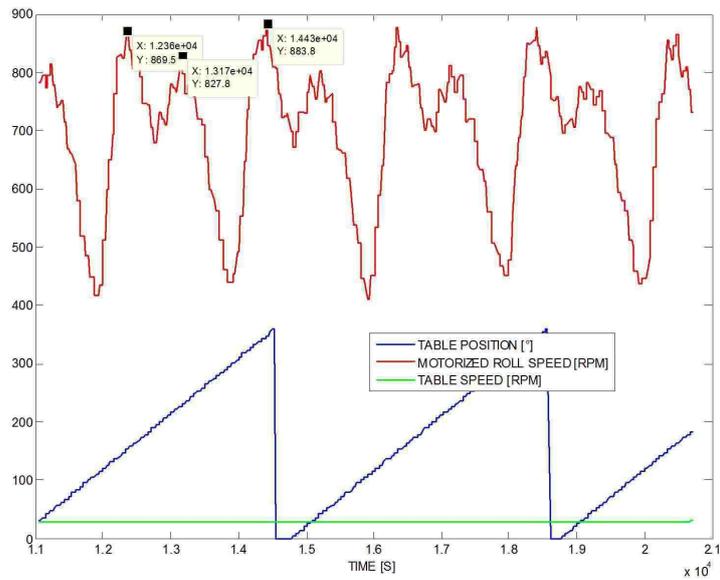


Figura 7.2.3

Valore massimo medio = 779 rpm      Valore minimo medio = 432 rpm

Range di velocità =  $779 - 432 = 347$  rpm

### 40 RPM

### 60% motore

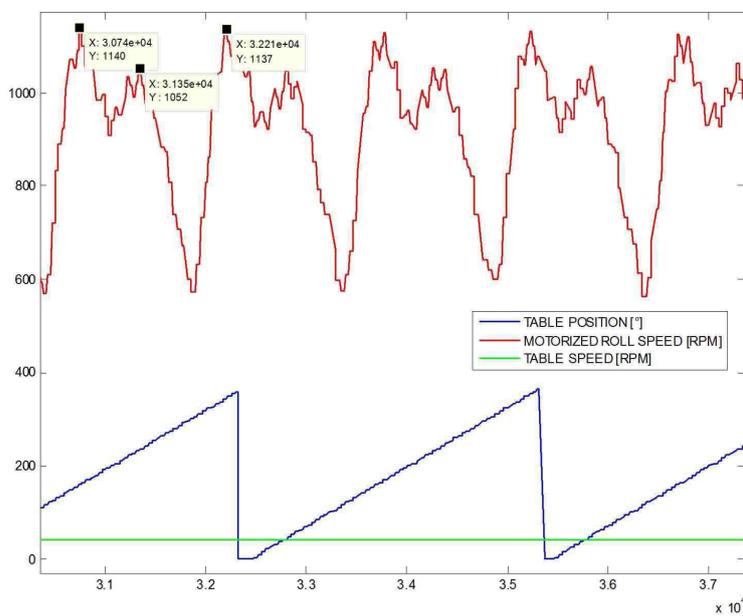


Figura 7.2.4

Valore massimo medio = 1015 rpm      Valore minimo medio = 579 rpm

Range di velocità =  $1015 - 579 = 436$  rpm

### 80% motore

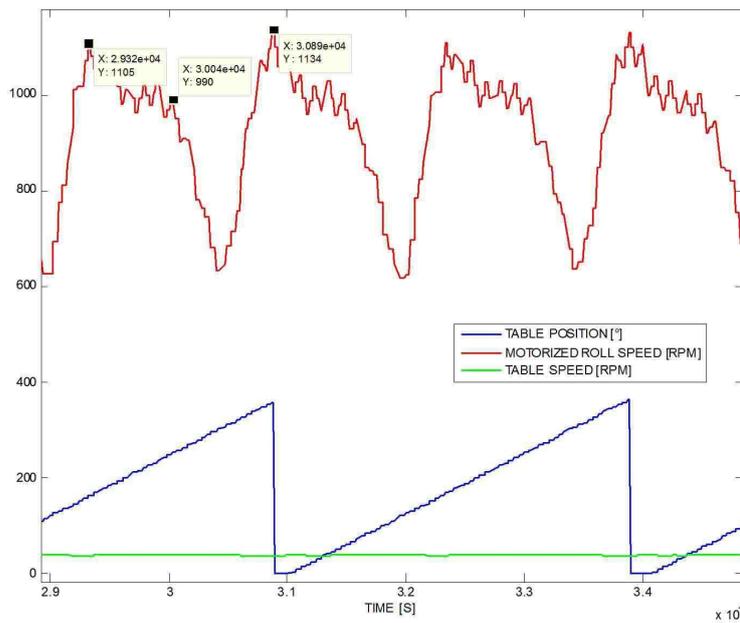


Figura 7.2.5

Valore massimo medio = 1019 rpm

Valore minimo medio = 631 rpm

Range di velocità =  $1019 - 631 = 388$  rpm

### 100% motore

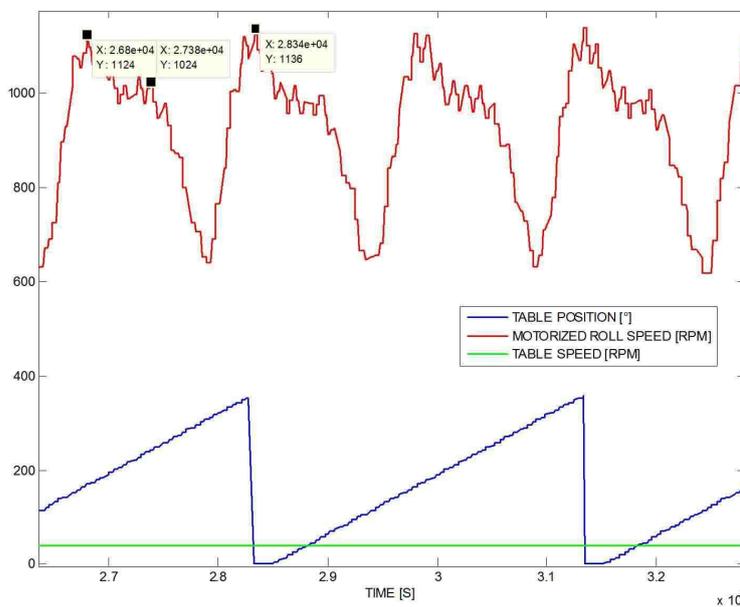


Figura 7.2.6

Valore massimo medio = 1066 rpm

Valore minimo medio = 635 rpm

Range di velocità =  $1066 - 635 = 431$  rpm

## 50 RPM

### 60% motore

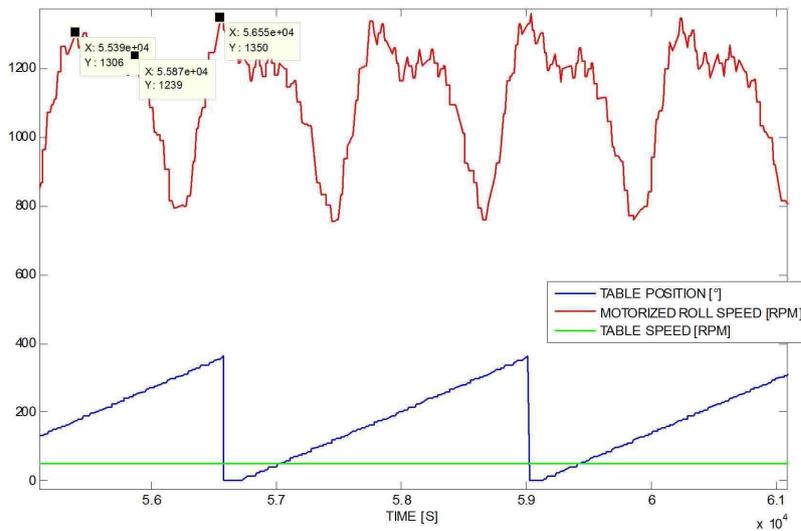


Figura 7.2.7

Valore massimo medio = 1235 rpm

Valore minimo medio = 766 rpm

Range di velocità = 1235 – 766 = 469 rpm

### 80% motore

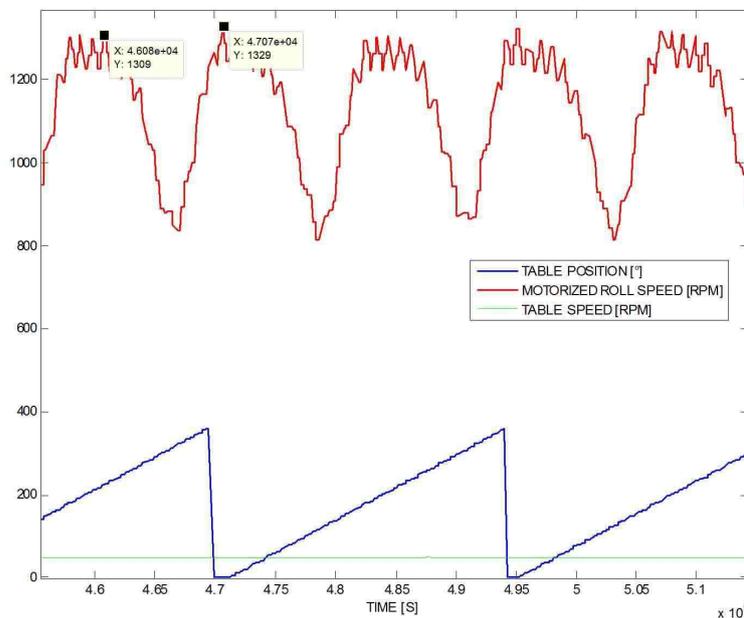


Figura 7.2.8

Valore massimo medio = 1243 rpm

Valore minimo medio = 834 rpm

Range di velocità = 1243 – 834 = 409 rpm

### 100% motore

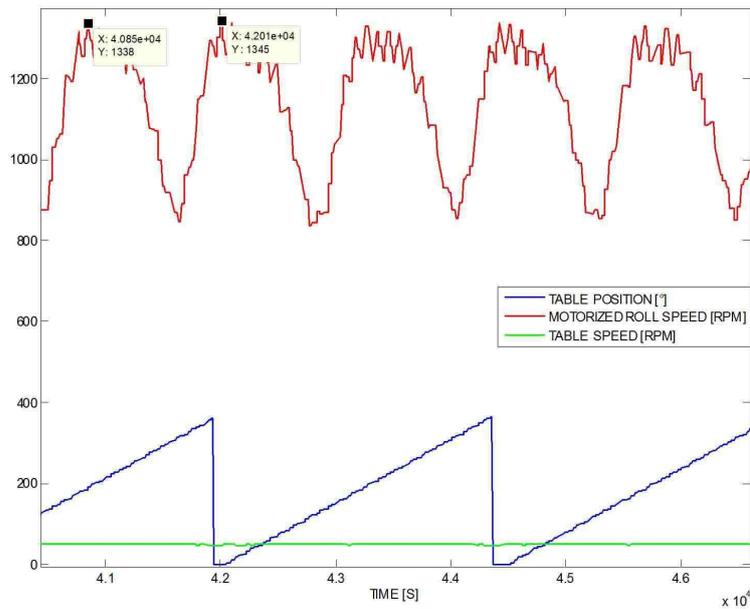


Figura 7.2.9

Valore massimo medio = 1308 rpm

Valore minimo medio = 848 rpm

Range di velocità =  $1308 - 848 = 460$  rpm

### 60 RPM

### 60% motore

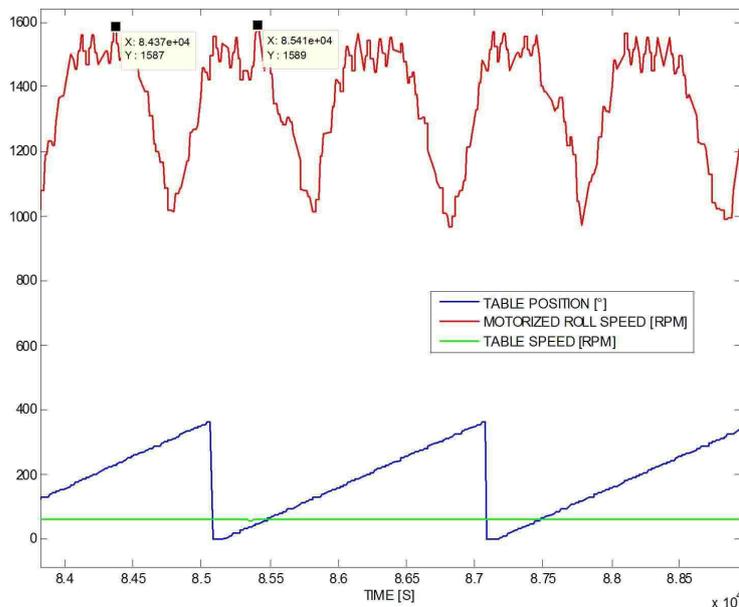


Figura 7.2.10

Valore massimo medio = 1491 rpm

Valore minimo medio = 982 rpm

Range di velocità =  $1491 - 982 = 509$  rpm

### 80% motore

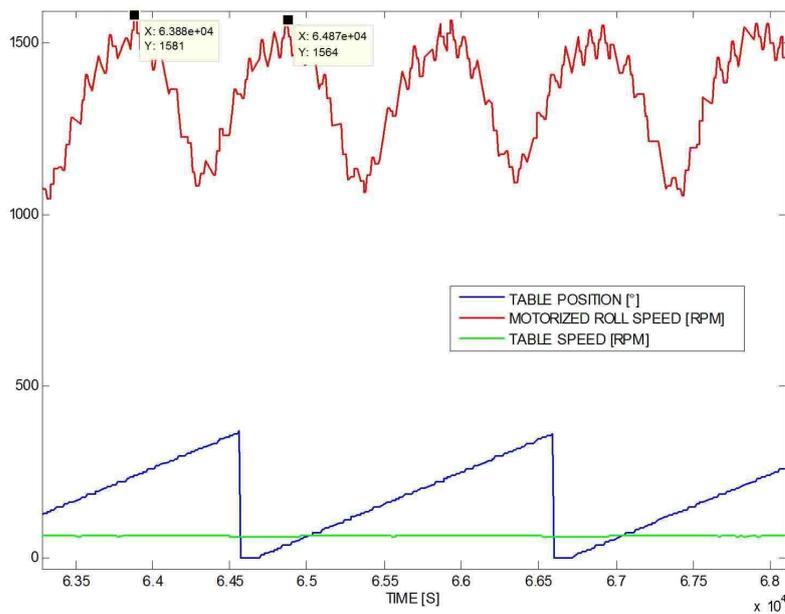


Figura 7.2.11

Valore massimo medio = 1475 rpm

Valore minimo medio = 1065 rpm

Range di velocità =  $1475 - 1065 = 410$  rpm

### 100% motore

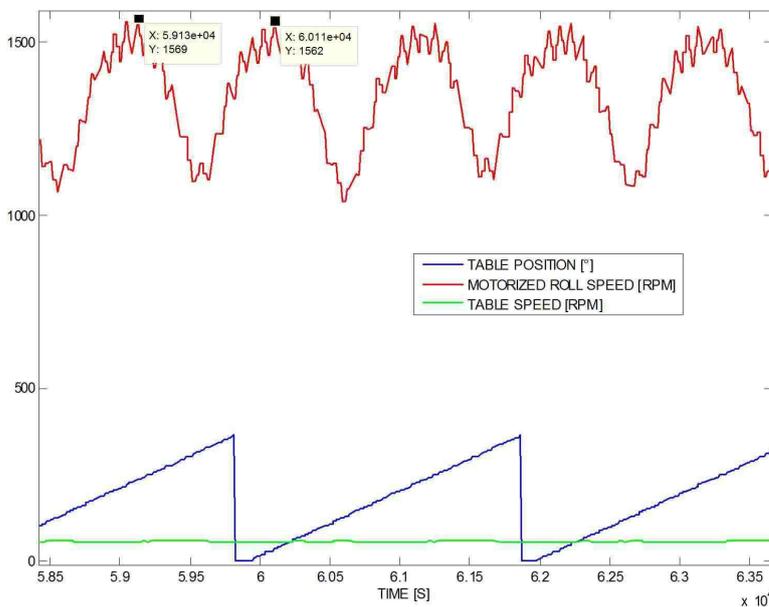


Figura 7.2.12

Valore massimo medio = 1517 rpm

Valore minimo medio = 1081 rpm

Range di velocità =  $1517 - 1081 = 436$  rpm

### 7.3 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO OSLV M76

I rilevamenti effettuati sull'avvolgitore con l'azione del motore OSLV M76, alle velocità di 30 e 40 rpm, ognuno testato alle percentuali di potenza del 60%, 80% e 100%, hanno prodotto i seguenti risultati:

#### 30 RPM

##### 60% motore

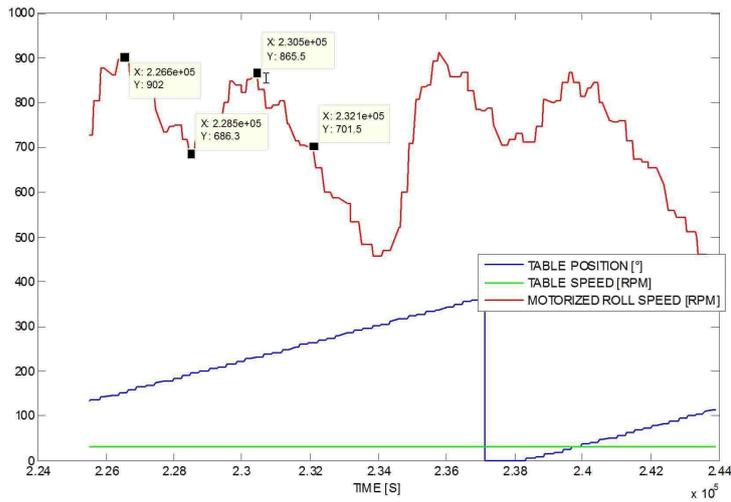


Figura 7.3.1

Valore massimo medio = 787 rpm

Valore minimo medio = 428 rpm

Range di velocità = 787 – 428 = 359 rpm

##### 80% motore

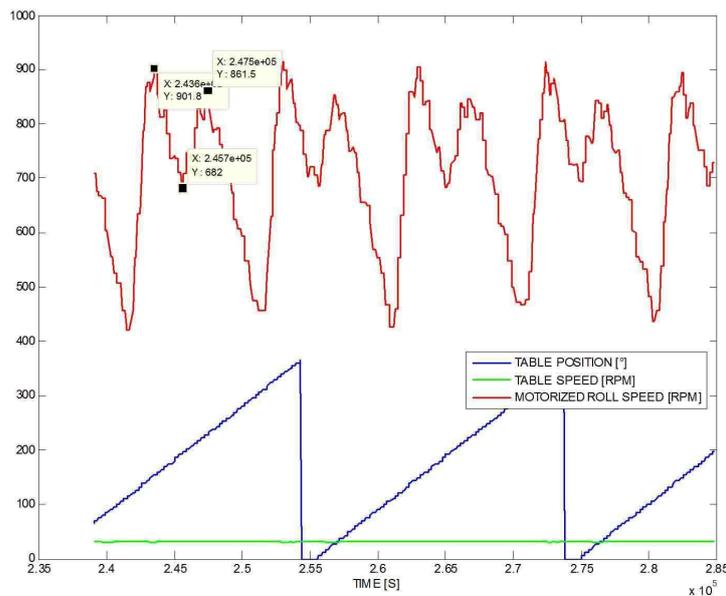


Figura 7.3.2

Valore massimo medio = 775 rpm

Valore minimo medio = 436 rpm

Range di velocità = 775 – 436 = 339 rpm

### 100% motore

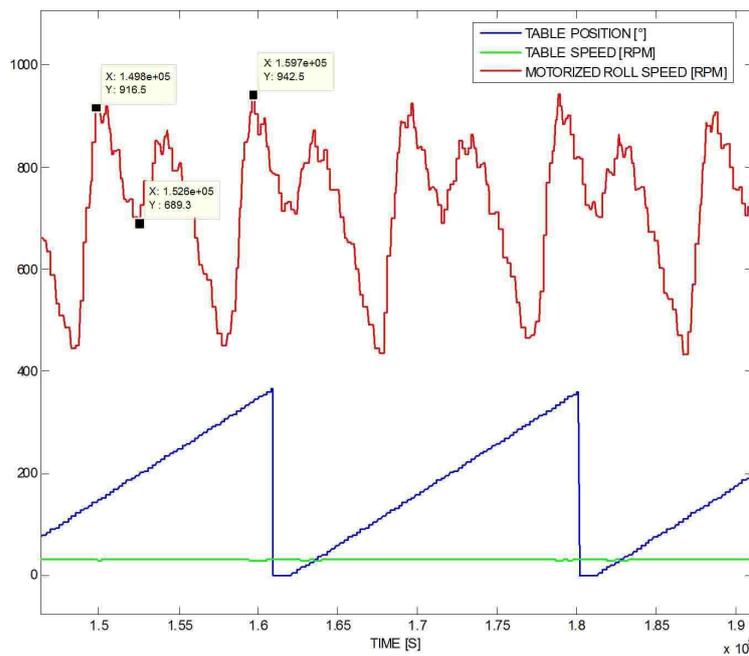


Figura 7.3.3

Valore massimo medio = 779 rpm

Valore minimo medio = 443 rpm

Range di velocità =  $779 - 443 = 336$  rpm

### 40 RPM

### 60% motore

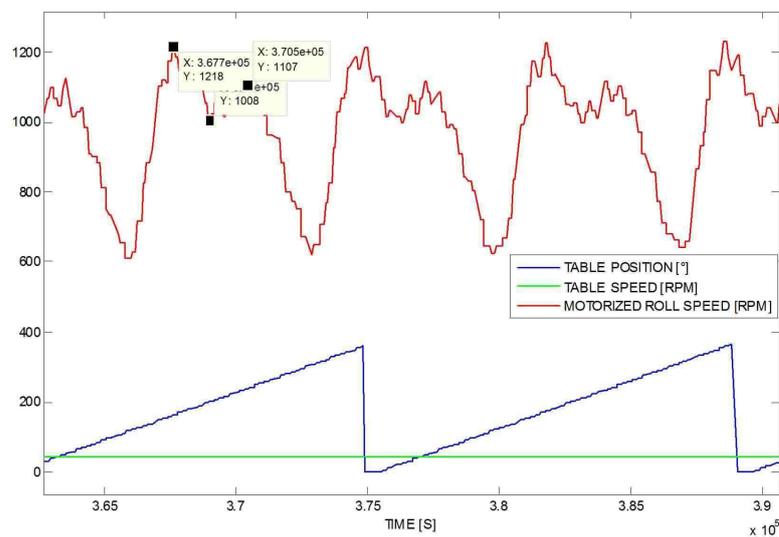


Figura 7.3.4

Valore massimo medio = 1063 rpm

Valore minimo medio = 630 rpm

Range di velocità =  $1063 - 630 = 433$  rpm

### 80% motore

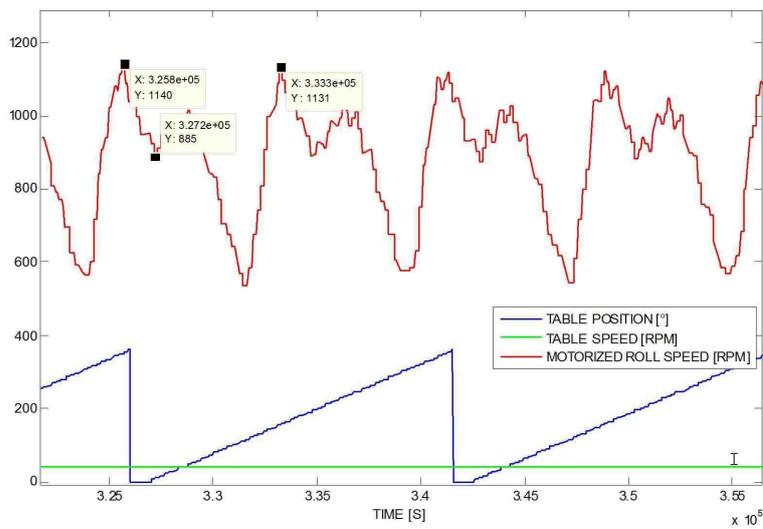


Figura 7.3.5

Valore massimo medio = 992 rpm

Valore minimo medio = 560 rpm

Range di velocità = 992 – 560 = 432 rpm

### 100% motore

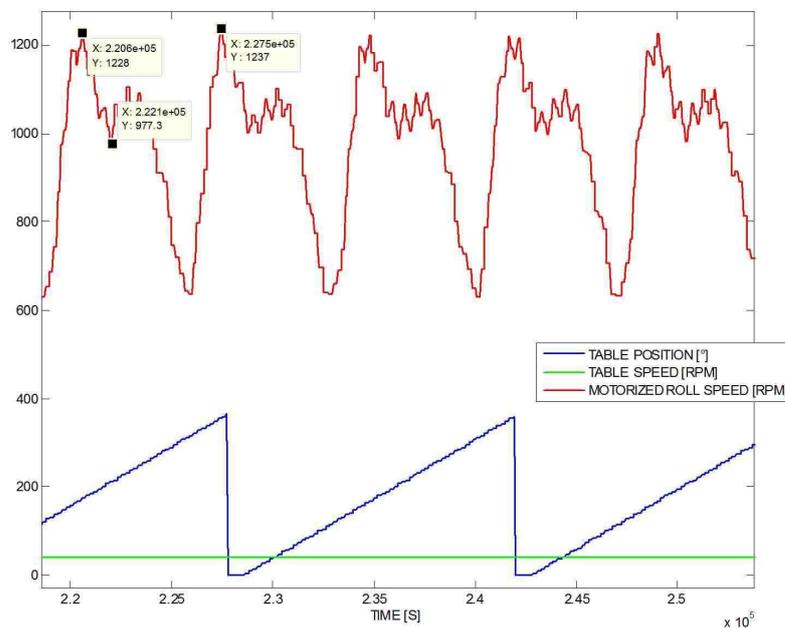


Figura 7.3.6

Valore massimo medio = 1035 rpm

Valore minimo medio = 635 rpm

Range di velocità = 1035 – 635 = 400 rpm

## 7.4 FUNZIONAMENTO CON MOTORE ELETTRICO OSLV M90

I rilevamenti effettuati sull'avvolgitore con l'azione del motore OSLV M90, alle velocità di 30 e 40 rpm, ognuno testato alle percentuali di potenza del 60%, 80% e 100%, hanno prodotto i seguenti risultati:

### 30 RPM

#### 60% motore

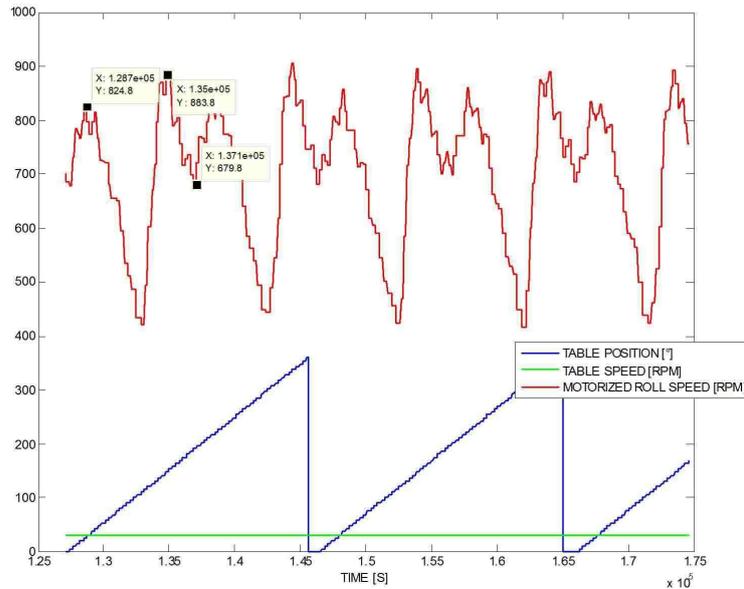


Figura 7.4.1

Valore massimo medio = 773 rpm

Valore minimo medio = 428 rpm

Range di velocità = 773 – 428 = 345 rpm

#### 80% motore

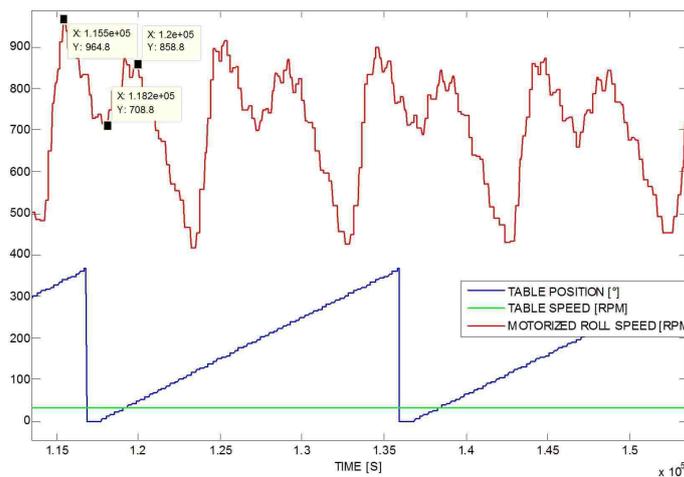


Figura 7.4.2

Valore massimo medio = 745 rpm

Valore minimo medio = 424 rpm

Range di velocità = 745 – 424 = 321 rpm

### 100% motore

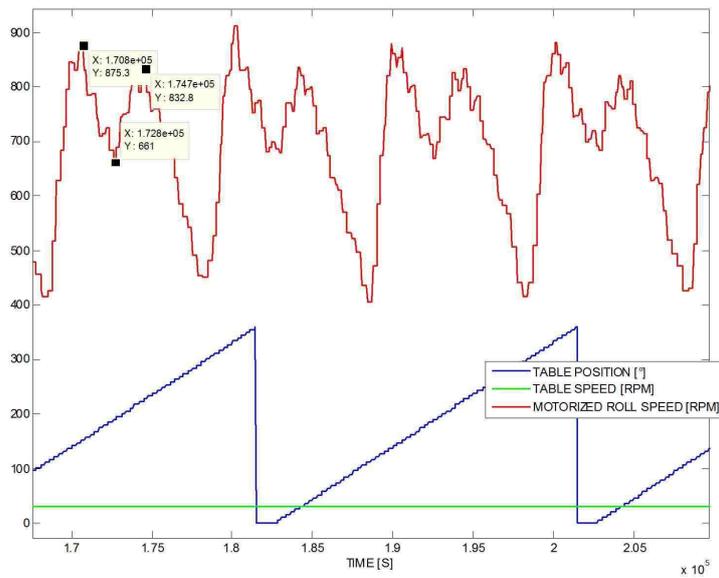


Figura 7.4.3

Valore massimo medio = 757 rpm

Valore minimo medio = 423 rpm

Range di velocità =  $757 - 423 = 334$  rpm

### 40 RPM

### 60% motore

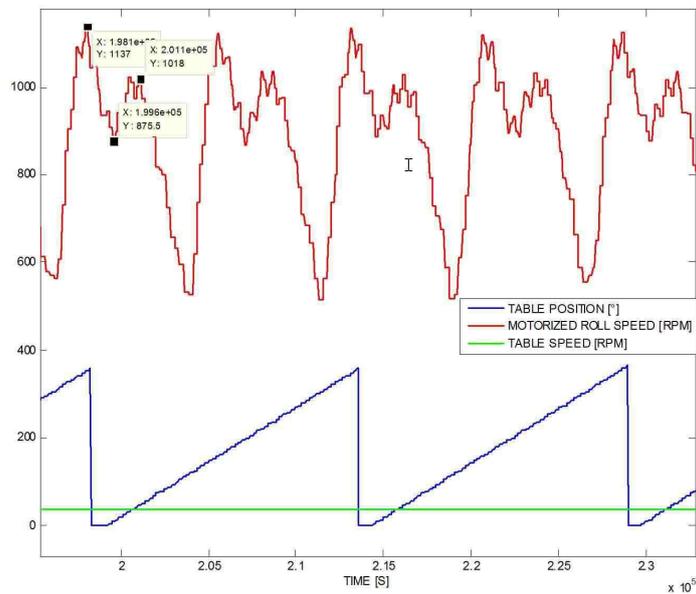


Figura 7.4.4

Valore massimo medio = 967 rpm

Valore minimo medio = 546 rpm

Range di velocità =  $967 - 546 = 421$  rpm

### 80% motore

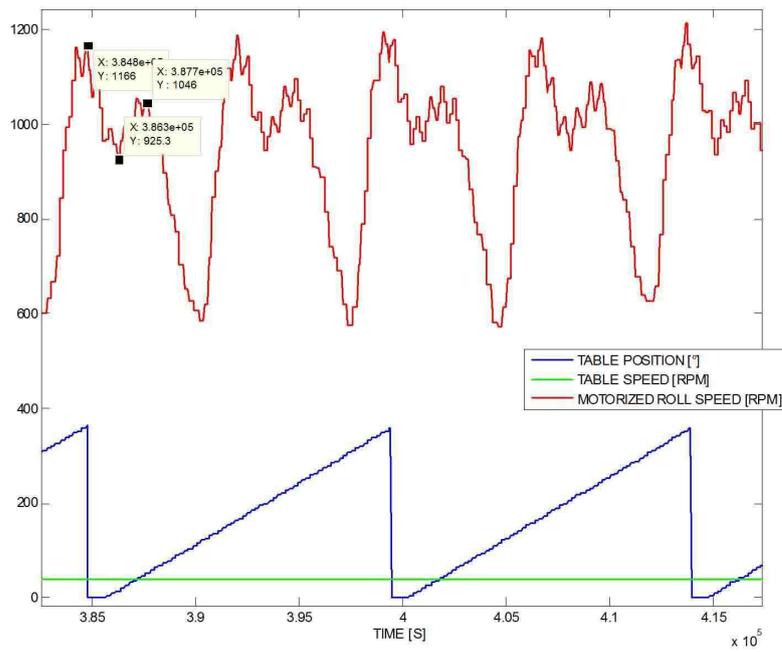


Figura 7.4.5

Valore massimo medio = 1014 rpm

Valore minimo medio = 590 rpm

Range di velocità = 1014 – 590 = 424 rpm

### 100% motore

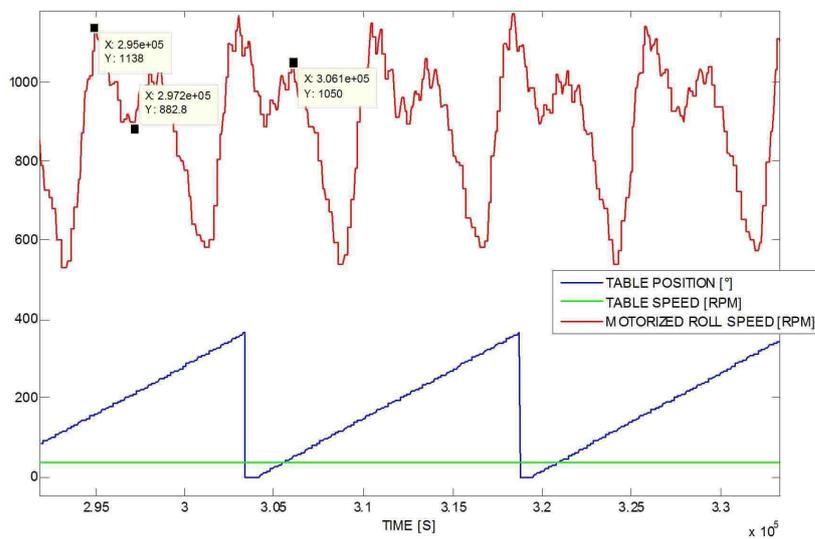


Figura 7.4.6

Valore massimo medio = 982 rpm

Valore minimo medio = 571 rpm

Range di velocità = 982 – 571 = 411 rpm

## 7.5 RISULTATI E VALUTAZIONI

Riassumiamo i risultati ottenuti in quattro tabelle. Due inerenti alla differenza tra velocità massima e minima (range di velocità) e due inerenti ai valori massimi e minimi di velocità.

RANGE DI VELOCITA`		VELOCITA` ROTAZIONE TAVOLA [RPM]			
		30	40	50	60
ELVI M61	NO MOTORE	352	474	527	541
	60%	344	436	469	509
	80%	357	388	409	401
	100%	347	431	460	436
OSLV M76	NO MOTORE	352	474	527	541
	60%	359	433	/	/
	80%	339	432	/	/
	100%	336	400	/	/
OSLV M	NO MOTORE	352	474	527	541
	60%	345	421	/	/
	80%	321	424	/	/
	100%	334	411	/	/

*Tabella 7.5.1*

DI QUANTO VIENE RIDOTTA L'OSCILLAZIONE DELLA CURVA  
GRAZIE ALL'APPLICAZIONE DEL MOTORE?

(con il + e il – indichiamo rispettivamente le riduzioni e gli aumenti  
dell'ampiezza di oscillazione rispetto ai dati relativi all'assenza del motore)

I valori evidenziati in verde indicano un riscontro positivo mentre quelli in rosso indicano un riscontro negativo.

SCOSTAMENTI NEL RANGE DI VELOCITA'		VELOCITA' ROTAZIONE TAVOLA [RPM]			
		30	40	50	60
ELVI M61	60%	+8	+38	+58	+32
	80%	-5	+86	+118	+140
	100%	+5	+43	+67	+105
OSLV M76	60%	-7	+41	/	/
	80%	+13	+42	/	/
	100%	+16	+74	/	/
OSLV M90	60%	+7	+53	/	/
	80%	+31	+50	/	/
	100%	+18	+63	/	/

Tabella 7.5.2

Il funzionamento dei motori OSLV M76 e M90 alle velocità di rotazione di 50 rpm e 60 rpm non è stato testato in quanto al momento non era disponibile il trattore per l'alimentazione elettrica e i tre mesi disponibile per il tirocinio si erano conclusi.

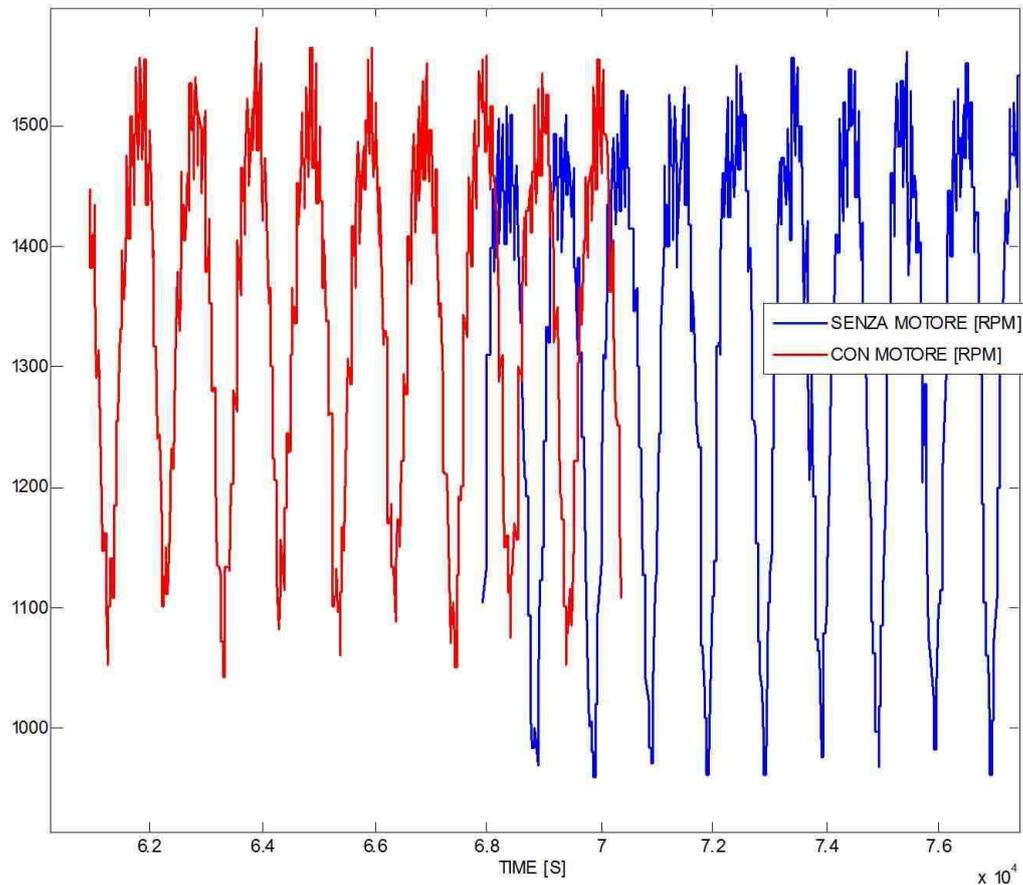
Nonostante questo, i test effettuati hanno prodotto risultati positivi.

È possibile notare, per quanto riguarda l'ampiezza di oscillazione della curva di velocità del rullo, che in media:

1. Più è alta la velocità di rotazione della tavola e più è efficiente l'azione del motore sul rullo e quindi sulla riduzione del range.
2. Nel motore ELVI M61 la riduzione avviene con un funzionamento all'80%
3. Nei motore OSLV M76 e M90 le riduzioni maggiori avvengono con un funzionamento al 100%.  
Non ci sono comunque abbastanza dati per dare valutazioni precise.
4. Alla velocità di rotazione di 30 rpm l'azione dei motori è quasi irrilevante. Infatti questi sembrano non generare nessun tipo di aiuto. A prova di questo vi è la variazione dei valori tra +8, -5, +5.

L'assenza di azione motrice è più evidente nel motore ELVI M61, poi a diminuire fino al motore OSLV M90 dove è chiaramente visibile che la riduzione subisce un incremento del suo valore. Questo è plausibile in quanto quest'ultimo presenta 79 W di potenza a confronto dei 40 W del primo.

Il grafico sottostante riporta gli andamenti di velocità del rullo sia nel caso di funzionamento senza motore a 60 rpm di rotazione che nel caso con l'azione motrice del motore ELVI M61 all'80% a 60 rpm di rotazione.



*Figura 7.5.1*

È chiaramente visibile dal grafico l'intervento del motore nella riduzione del range di velocità (differenza tra velocità massima e minima) e nell'incremento del valore dei punti di minimo e di massimo.

VELOCITA' MASSIME E MINIME		VELOCITA' ROTAZIONE TAVOLA [RPM]							
		30		40		50		60	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
ELVI M61	NO MOTORE	399	751	556	1030	755	1282	970	1511
	60%	402	746	579	1015	766	1235	982	1491
	80%	413	770	631	1019	834	1243	1065	1475
	100%	432	779	635	1066	848	1308	1081	1517
OSLV M76	NO MOTORE	399	751	556	1030	755	1282	970	1511
	60%	428	787	630	1063	/	/	/	/
	80%	436	775	560	992	/	/	/	/
	100%	443	779	635	1035	/	/	/	/
OSLV M90	NO MOTORE	399	751	556	1030	755	1282	970	1511
	60%	428	773	546	967	/	/	/	/
	80%	424	745	590	1014	/	/	/	/
	100%	423	757	571	982	/	/	/	/

Tabella 7.5.3

COME VARIANO I MINIMI E I MASSIMI DI VELOCITA'?

(con il + e il – indichiamo rispettivamente gli incrementi e diminuzioni rispetto ai dati relativi all'assenza del motore)

I valori evidenziati in verde indicano un riscontro positivo mentre quelli in rosso indicano un riscontro negativo.

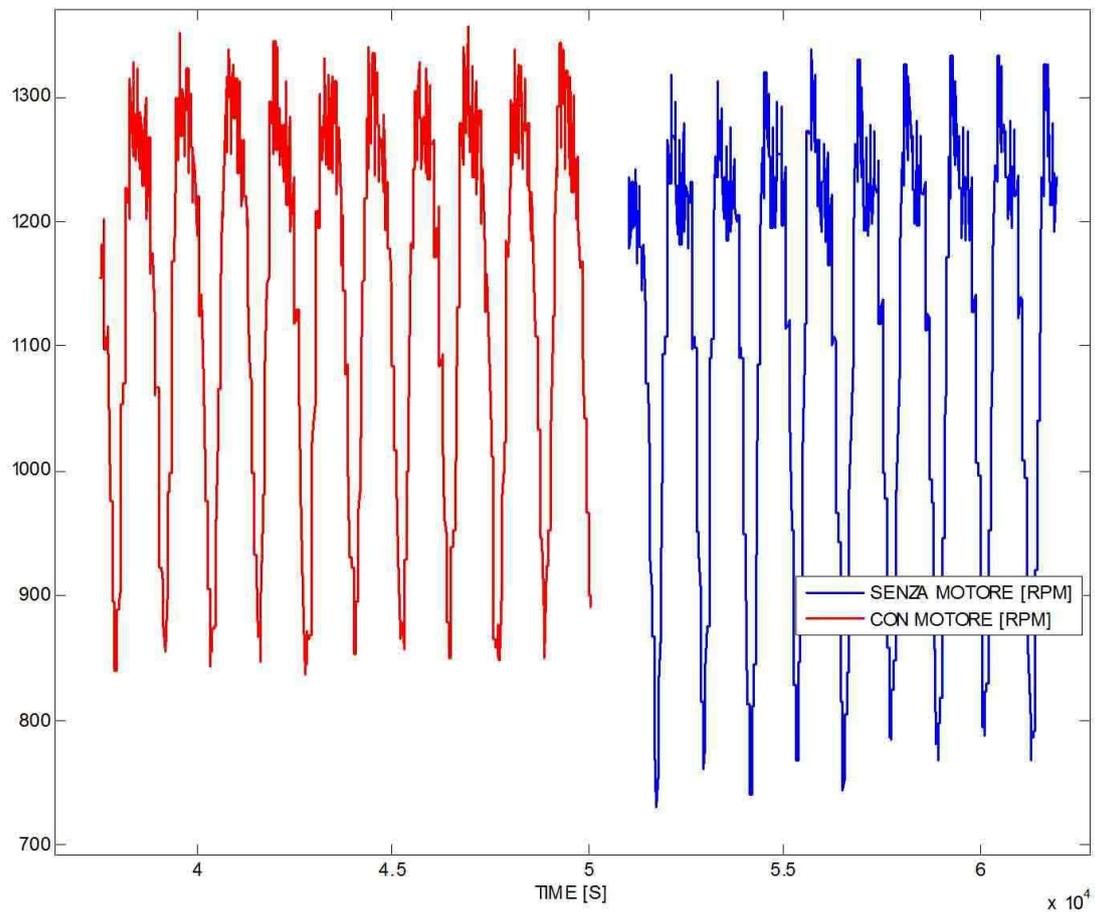
SCOSTAMENTI NELLE VELOCITA' MASSIME E MINIME		VELOCITA' ROTAZIONE TAVOLA [RPM]							
		30		40		50		60	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
ELVI M61	60%	+3	-5	+23	-15	+11	-47	+12	-20
	80%	+14	+19	+75	-11	+79	-39	+95	-36
	100%	+33	+28	+79	+36	+93	+26	+111	+6
OSLV M76	60%	+29	+36	+74	+33	/	/	/	/
	80%	+37	+24	+4	-38	/	/	/	/
	100%	+44	+28	+79	+5	/	/	/	/
OSLV M90	60%	+29	+22	-10	-63	/	/	/	/
	80%	+25	-6	+34	-16	/	/	/	/
	100%	+24	+6	+15	-48	/	/	/	/

Tabella 7.5.4

In generale si osserva che:

1. Più aumenta la percentuale di potenza, più il valore dei massimi e dei minimi aumenta.
2. Il motore ELVI M61 risulta più efficiente quando lavora al 100%.
3. Il motore OSLV M76 risulta più efficiente quando lavora al 60% e al 100%
4. Il motore OSLV M90 risulta più efficiente quando lavora al 100%
5. Se si analizza più dettagliatamente possiamo dire che i punti di massimo non subiscono sempre un aumento. È plausibile il fatto che la percentuale di potenza del motore possa incidere in questo, perché più il motore gira veloce e più è probabile che la sua velocità vada a eguagliare quella massima del rullo e quindi a modificare anche i punti di massimo.
6. Evidentemente però, in alcuni casi, il motore innesca proprio un rallentamento del rullo che, rispetto al funzionamento normale, ne abbassa lievemente i punti di massimo.

Il grafico sottostante mostra la variazione dei punti di minimo e di massimo tra il caso senza motore a 50 rpm di rotazione e il caso invece con motore ELVI M61 al 100% a 50 rpm di rotazione.



*Figura 7.5.2*

Si può osservare chiaramente che i punti di massimo e minimo si spostano più in alto rispetto al caso senza motore.

## 8. CONCLUSIONI

Il risultato che si è cercato di ottenere è stata la realizzazione e progettazione di un meccanismo, da installare sul gruppo di stiro, in grado di motorizzare i rulli indipendentemente dalla loro normale rotazione, composto da un motore elettrico e dagli elementi necessari al suo fissaggio, centraggio e trasmissione del moto, con lo scopo di ridurre la tensione nel film plastico là dove un normale funzionamento potrebbe provocarne la rottura, durante la fase di avvolgimento della balla cilindrica.

Il rilevamento delle velocità, durante le prove pratiche, hanno fornito informazioni essenziali ai fini dello studio.

Per quanto riguarda il pre-stiro, si ha deciso di utilizzare il valore del 75% perché anche se non è costante, è stato comunque più pratico da testare rispetto agli altri rapporti.

Purtroppo le limitazioni imposte dall'alimentazione elettrica della batteria del trattore (12V) e dalle uscite della scheda (30A) hanno costretto l'utilizzo di motori proporzionati a tali possibilità.

Successivamente, gli ulteriori test svolti e i dati prodotti sono risultati scarsi ma positivi. Quindi, in generale, l'azione del motore ha contribuito, anche se minimamente ad accelerare i rulli.

Si è rivelato positivo notare che il suo intervento appariva più significativo con alte velocità di rotazione della tavola.

Nonostante la positività dei risultati però, il motore elettrico non può essere scelto come la soluzione finale, proprio perché non possiede coppia a sufficienza.

Nel caso in questione, esso è portato a condurre un carico troppo elevato per le sue possibilità e di conseguenza subisce degli sforzi che, in tempi di lavoro prolungati, potrebbero portarlo alla rottura.

Se analizziamo il funzionamento dal punto di vista del controllo, la non riuscita nella conduzione totale del carico, manca sicuramente di precisione.

Con un motore in grado di erogare la coppia sufficiente invece (4,5 Nm), sarebbe possibile, tramite una programmazione elettronica accurata, farlo intervenire solamente nelle posizioni di maggiore stress del film, ed essere certi che questo garantisca una conduzione sicura del carico.

Purtroppo il tempo a disposizione non è stato sufficiente per proseguire la ricerca di soluzioni più efficienti, tuttavia il lavoro svolto e le informazioni raccolte costituiscono le basi per la ricerca di alternative al controllo della velocità. Di certo si è constatato che la motorizzazione diretta fornisce risultati positivi ma sicuramente non affidabili.

Se ci fosse stato più tempo a disposizione, indubbiamente l'attenzione si sarebbe rivolta alla ricerca di un motoriduttore in grado di mantenere elevati numeri di giri ma erogando una coppia superiore.

Inoltre, la presenza del motore idraulico, responsabile principalmente della rotazione della tavola, potrebbe essere sfruttata progettando un circuito in grado di agire sul gruppo di stiro.

Una volta definita e stabilita la soluzione finale si potrà pensare ad incrementare il valore del rapporto di stiro ai fini di un risparmio economico sulla quantità di film utilizzata.

La velocizzazione dell'avvolgitura contribuisce invece alla riduzione dei tempi di lavoro aumentando così la produttività.

## 9. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Funaioli E., Maggiore A., Meneghetti U., *Lezioni di meccanica applicata alle macchine*, Bologna, Patròn Editore, 2005.
- Manfè G., Pozza R., Scarato G., *Disegno meccanico*, Milano, Principato Editore, 1992.
- Croccolo D., Vincenzi N., *Lezioni di fondamenti e tecnica della progettazione meccanica*, Bologna, Esculapio, 2011.
  
- [http://www.crocco.com/pdf/estensibile\\_automatICO\\_IT.pdf](http://www.crocco.com/pdf/estensibile_automatICO_IT.pdf)
- <http://www.ms-hydraulic.com/en/component/k2/item/45-mr.html>
- <http://www.gerit.it/pdf/CrlStieb.pdf>
- <http://www.materieplastiche.eu/images/documenti/schede-tecniche-pe300-pe500-pe1000.pdf>
- <http://www1.unipa.it/giovanni.petrucci/Disp/Ruote.pdf>
- <http://www.b2bind.com/resourcecenter/articles/The-Benefits-of-Pre-Stretched-Stretch-Film.pdf>
- <http://www.phoenixwrappers.com/learning/stretch-abc.php>

## 10. RINGRAZIAMENTI

In primo luogo un ringraziamento particolare va ai miei genitori Davide ed Elena e ai miei fratelli Giacomo, Eugenio, Simone e Maria che mi hanno sempre sostenuto e accompagnato moralmente durante questo cammino e, dai quali, non ho mai sentito mancare l'affetto.

Un grazie speciale va a mio zio Giuseppe che in questi cinque anni si è sempre interessato ai miei studi e in parte ha contribuito affinché questi potessero avvenire.

Chiaramente un grazie dovuto e sincero al curatore di questa tesi, il professore Giorgio Olmi e soprattutto alla sua disponibilità e comprensione.

Vorrei ringraziare inoltre i ragazzi dell'ufficio tecnico in Kverneland Group con cui ho collaborato per sviluppare la tesi: Emiliano, Valerio, Cosimo, Davide, Lucia, Francesco, Elisa, Massimo Senior, Daniele, Angelo, Damiano, Massimo, Rossano e Maurizio, che in più mi hanno sopportato e supportato con grande pazienza.

Infine un grande grazie a tutti i miei parenti e amici che mi hanno accompagnato lungo la via.