

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

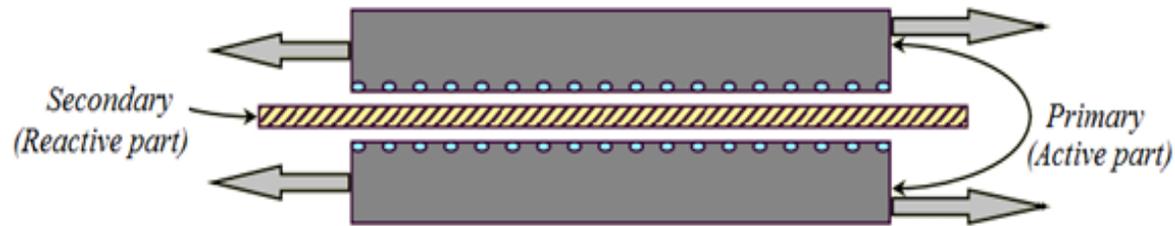
Relazione per la prova finale
«Motori ad induzione lineare: analisi
caratteristiche, proprietà ed applicazioni»

Tutor universitario: Prof. Mauro Andriollo

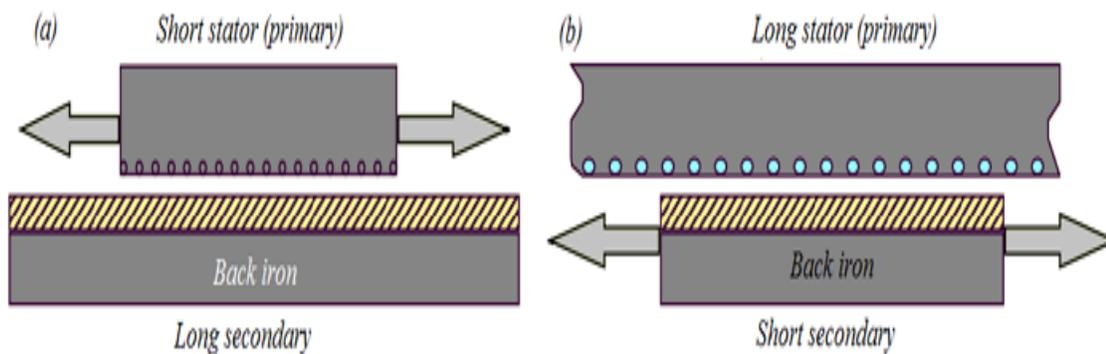
Laureando: *Celin Lorenzo*

Padova, 16/09/2024

Motore lineare ad induzione con doppio primario (DLIM)

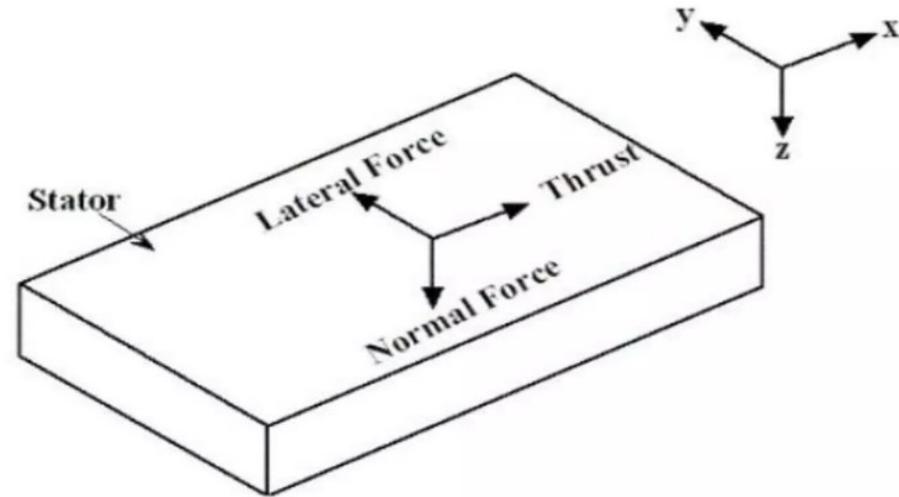


Motore lineare ad induzione con primario singolo (SLIM)



Caratteristiche:

- STATORE E MOVER
- AVVOLGIMENTI A STRATO SINGOLO O DOPPIO STRATO
- CORRELATI CON I MOTORI ROTATIVI AD INDUZIONE: $s = \frac{(v_s - v)}{v_s}$
- EFFICIENZA DI CONVERSIONE ENERGETICA CON IL FATTORE DI QUALITÀ': $G = X_m / R_2$
- FUNZIONAMENTO SIMILE AL MOTORE A GABBIA DI SCOIATTOLO



FORZA DI TRAZIONE: $F_t = \frac{P_{out}}{v}$

- Utile al movimento del traslatore
- Direttamente proporzionale alla tensione ed inversamente alla dimensione del traferro

FORZA NORMALE

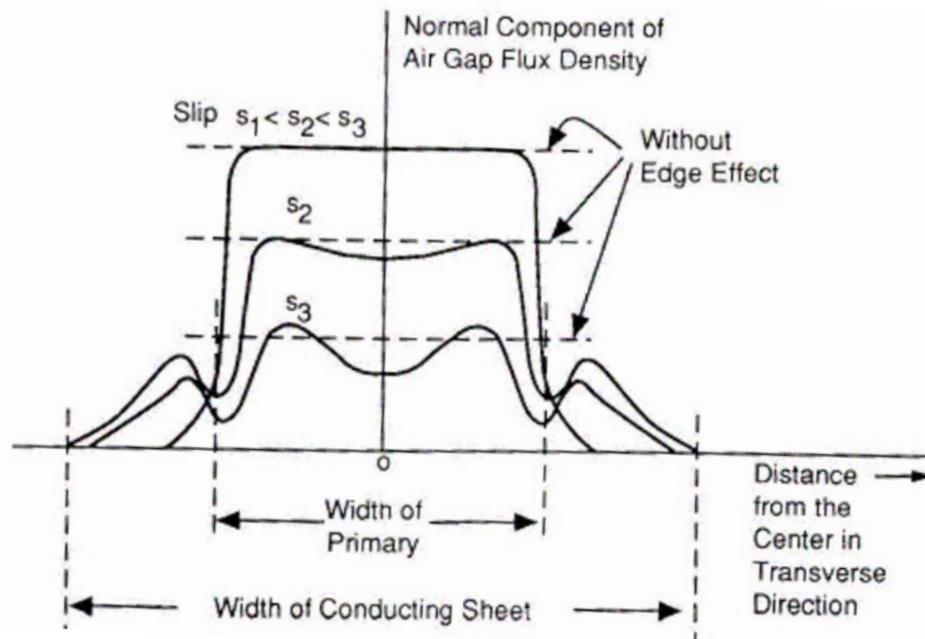
- Dipendente dalla topologia di macchina
- Di natura repulsiva o attrattiva

FORZA LATERALE

- Correlata alla posizione tra primario e secondario e proprietà dei materiali usati
- Causa instabilità
- Diverse nei DLIM e SLIM

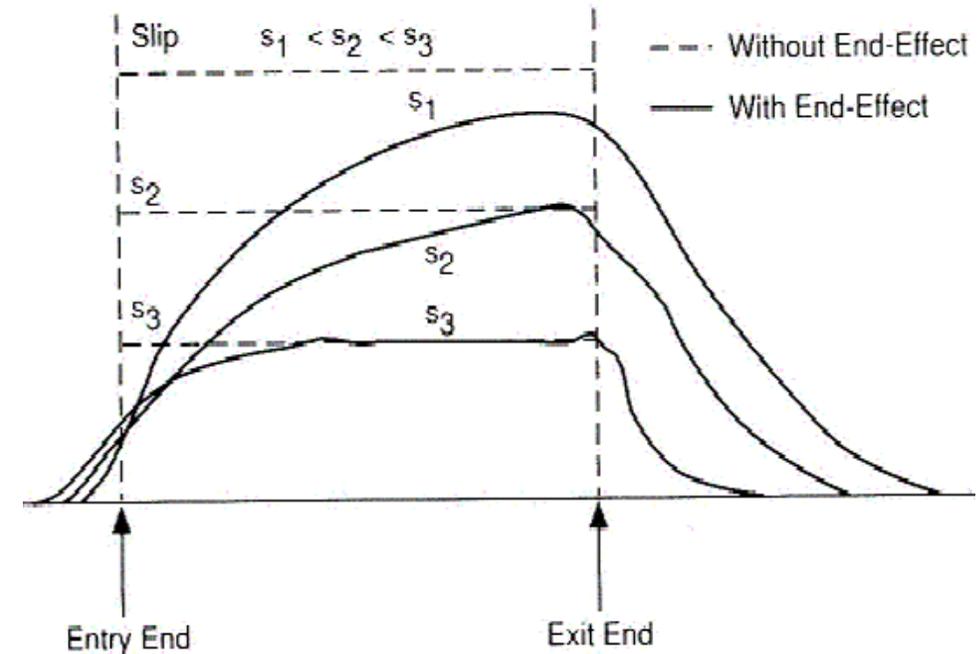
EFFETTO DI BORDO

- Distorsione correnti indotte al secondario
- Aumento resistenza secondario
- Diminuzione reattanza di magnetizzazione
- Dipendenza dal valore dello scorrimento



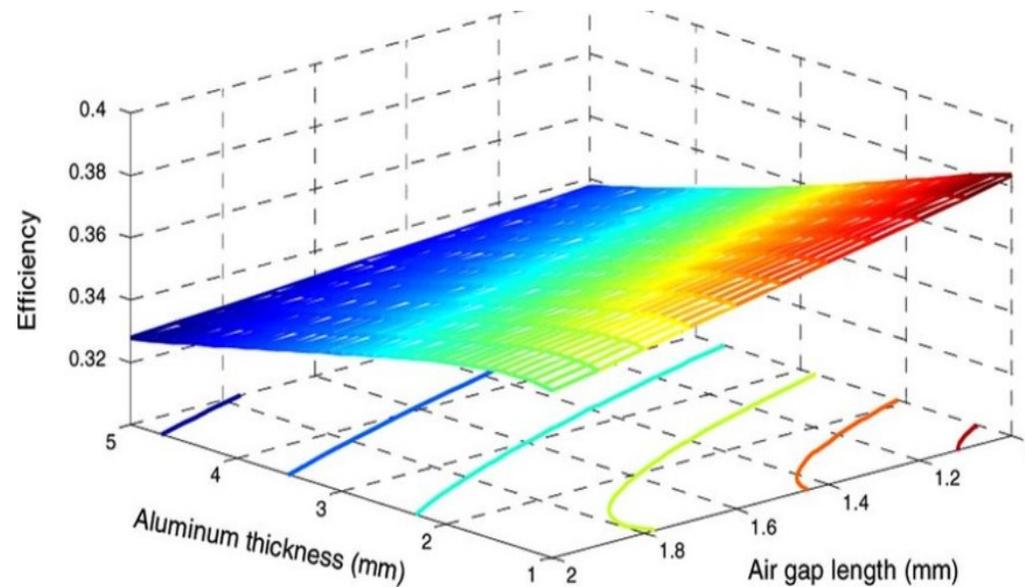
EFFETTO DI ESTREMITA

- Variazione forma di flusso lungo l'asse longitudinale
- Modifica diretta sulla forza di trazione
- Necessario sovradimensionamento a parità di prestazioni



EFFETTO DEL TRAFERRO

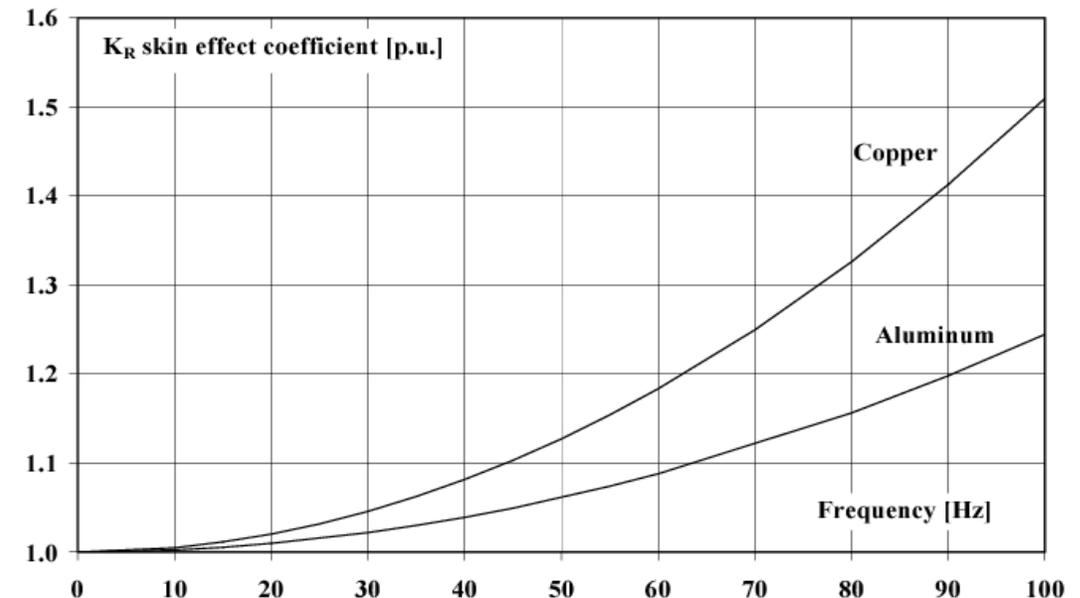
- Varia l'induzione magnetica a seconda della dimensione
- Stretto legame con lo spessore della lamina di alluminio per compensare gli effetti sul rendimento



EFFETTO PELLE

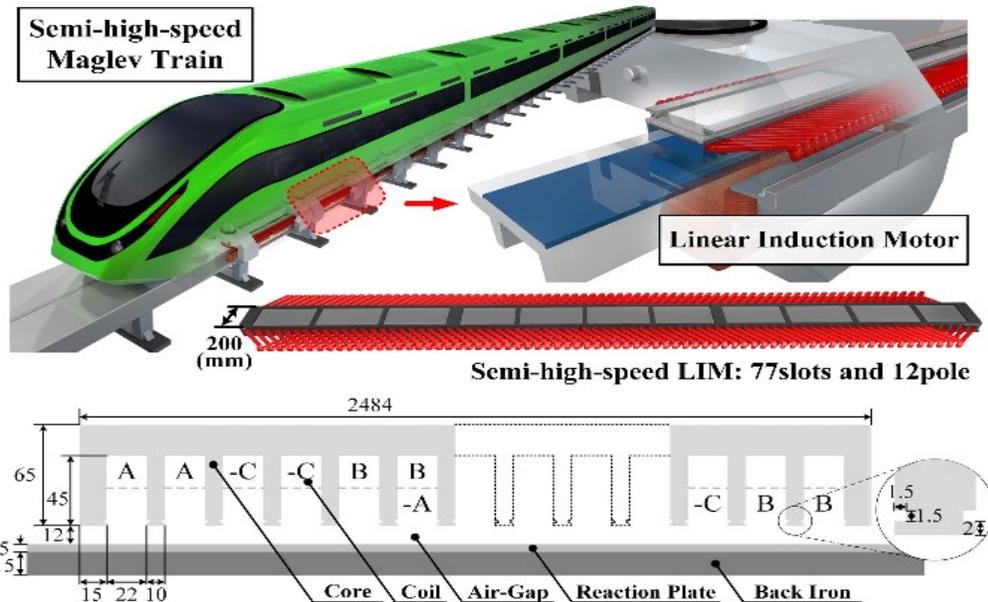
- Diminuisce la profondità di penetrazione della corrente, concentrandola in superficie
- Peggiora negli SLIM per ferro al secondario

$$\delta'_{ferro} = Re \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\pi}{\tau}\right)^2 + j * s * 2\pi * f_1 * \mu(B_{ferro}) * \sigma_{ferro}}}$$



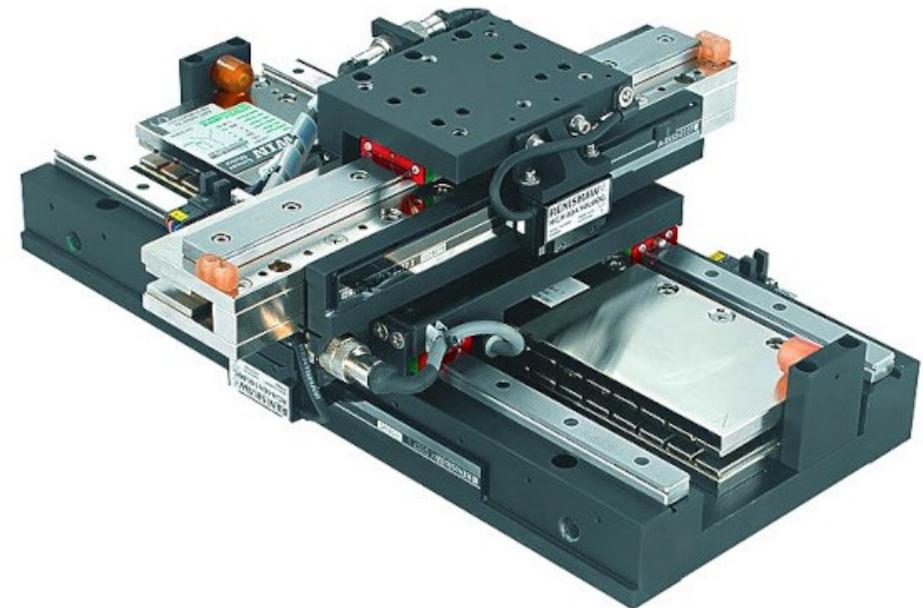
APPLICAZIONI NEL TRASPORTO

- Sistemi di trasporto urbano
- Treni a levitazione magnetica



APPLICAZIONI INDUSTRIALI

- Sistemi per il sollevamento pesi
- Automazioni industriali e movimenti di linea
- Macchine utensili per lavorazioni di materiali

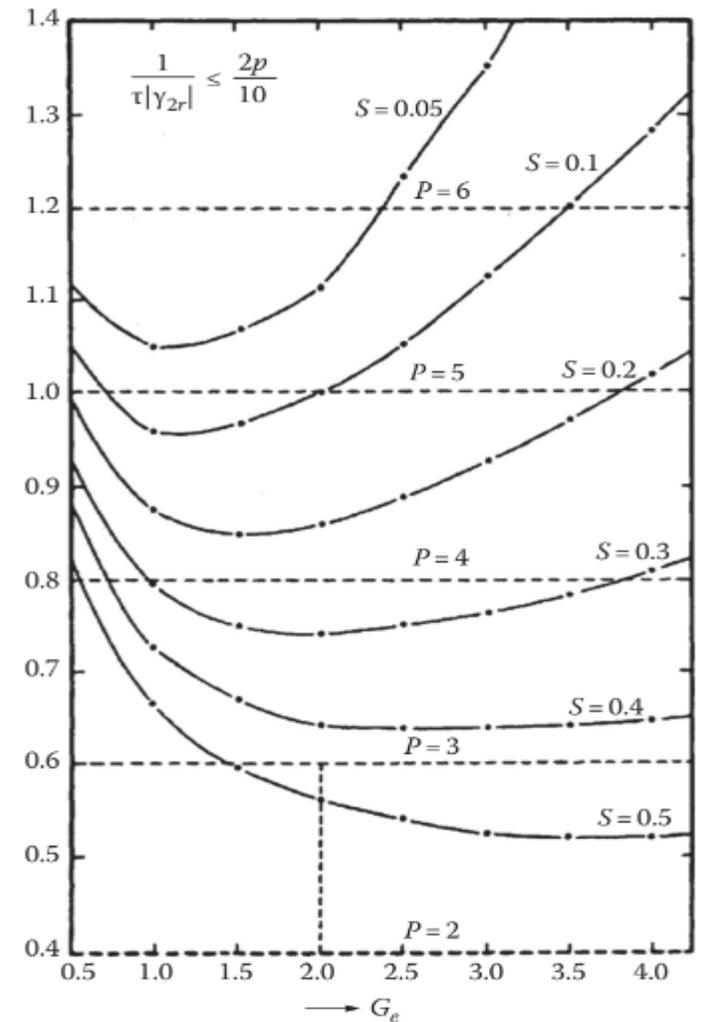
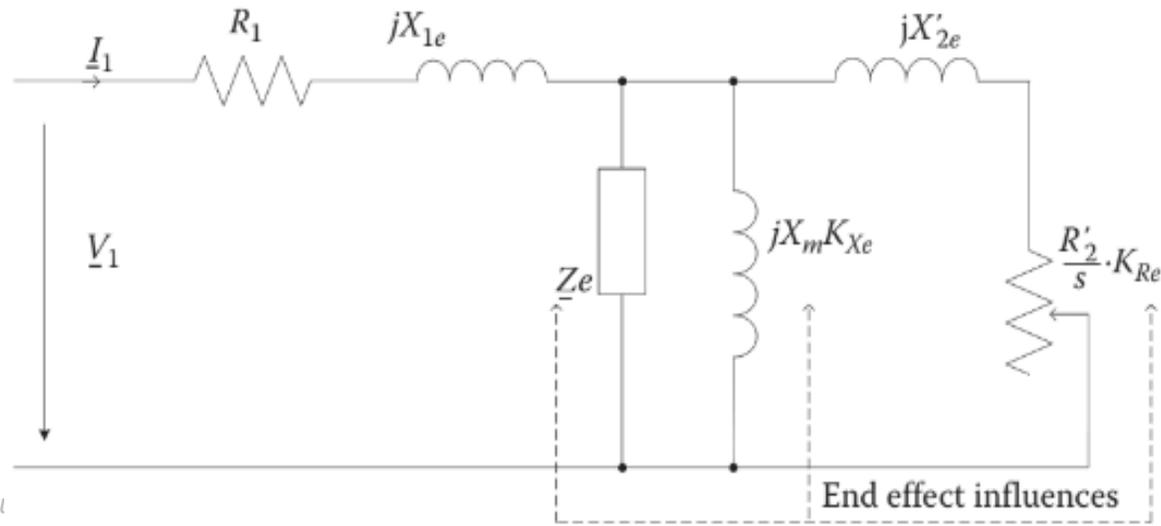


Se $\frac{1}{\gamma_{2R}} \leq \frac{2 \cdot p \cdot \tau}{10}$ allora motore a bassa velocità, altrimenti ad alta.

Ricaviamo $p \cdot \tau \cdot G_e \cdot (1 - s) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{1+b_1}{2}}\right) > 10$.

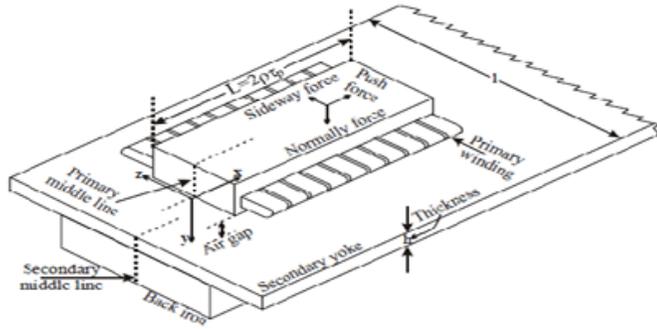
Ad alte velocità modifica dello schema circuitale:

- $Z_e = \frac{j \cdot X_m \cdot \left(\frac{R'_2}{s} + j \cdot X'_{2l}\right)}{\frac{R'_2}{s} + j(X_m + X'_{2l})} \cdot \frac{1 - k_e}{k_e}$
- $E_{se} \approx E_{ms} \cdot (1 - k_e)$
- K_{RE} ed K_{Xe}

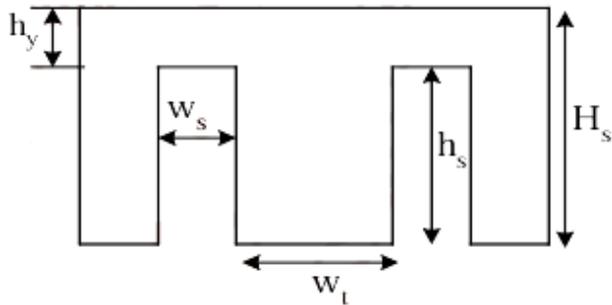


t

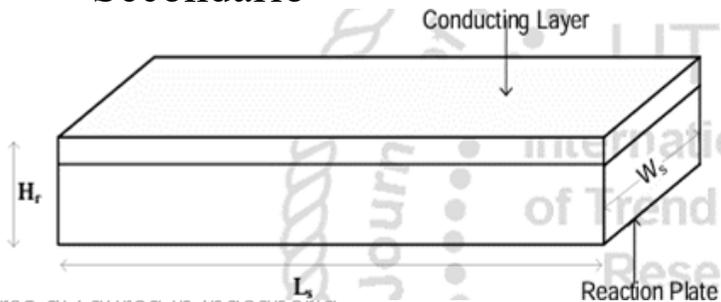
SLIM a primario corto



Statore



Secondario



Definisco:

- $\mu_o, \rho_{rame}, \rho_{alluminio}, m_{cabina}, m_{passeggeri}, B_{Maxgiogo}, v, f, q, s, p, J_1, V_1, a, W_{st}, g, \theta_p, d_{al}, Dim_{cabina}$
- $F'_s = 16 \text{ kN target}$

Processo di calcolo

1. V_s, τ, L_s ricordando avvolgimenti a strato singolo con 12 cave ad unità $W_t = 1,5 * W_s$ e $\tau = 3W_s + 3W_t$
2. Ipotizzo $\eta * \cos\Phi$ tra 0 e 1, da cui
$$I'_1 = \frac{F'_s * v}{3 * V_{fase} * \eta * \cos\Phi}$$
3. Ipotizzo $N_c = p * q * N_i$ con $N_{i,start} = 1$
4. Stimo $A_{wt}, A_s, h_s, \gamma, k_c, g_e, G_e$

5. Continuo: $l_{w1}, l_w, \alpha, k_p, k_d, k_w, W_{se}$

6. Determino i parametri circuitali X_1, X_m, R_2 da cui Z e $\cos\Phi = \frac{Re(Z)}{|Z|}$

7. I_1, I_2, I_m con cui $P_{in} = 3V_1 I_1 \cos\Phi$ e $P_{out} = P_{in} - 3R_1 I_1^2 - 3R_2 I_2^2$

8. Calcolo $\eta = P_{out}/P_{in}$, se $\eta * \cos\Phi \cong (\eta * \cos\Phi)_{calcolato}$ continuo, sennò punto 2.

9. $F_s = \frac{P_{out}}{v}$ se $F_s < F'_s$ ritorno al 3.

10. $n_{statoriche} = \frac{h_{cabina}}{1.2 * L_s}$ da cui $F_t = n_{statore} * F_s$

Parametri del primario

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Dimensione del filo di rame	-	1	SWG
Diametro del filo	-	7,62	mm
Lunghezza di statore	L_s	450	mm
Larghezza di statore	W_{st}	1000	mm
Larghezza cava	W_s	14,7	mm
Altezza cava	h_s	32,73	mm
Altezza dente	W_t	22	mm
Altezza giogo	h_y	12,51	mm

Parametri del secondario

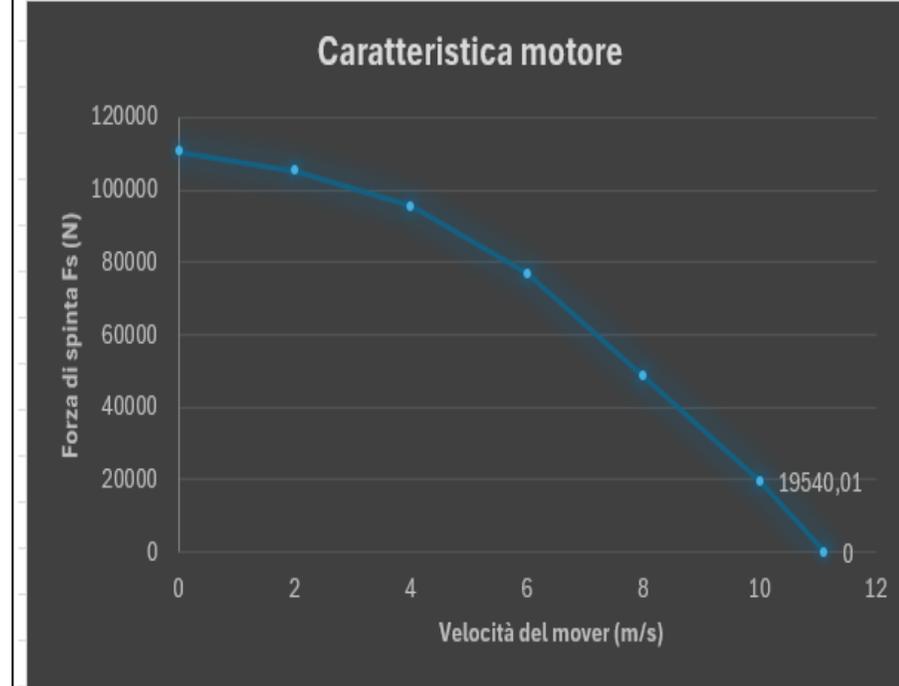
Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Lunghezza del secondario	L_{se}	-	-
Larghezza del secondario	W_{se}	1100	mm
Spessore della lamina conduttrice	d	3	mm
Spessore della piastra di reazione	-	6	mm

Parametri circuitali

Parametri	Simbolo	Valore	Unità di misura
Resistenza statorica per fase	R_1	0,00356	Ω
Reattanza di cava statorica per fase	X_1	0,1371	Ω
Resistenza di magnetizzazione per fase	X_m	1,1795	Ω
Resistenza rotorica per fase	R_2	0,2055	Ω
Corrente di alimentazione	I_1	201,605	A
Potenza in ingresso	P_{in}	62,854	kW
Potenza in uscita	P_{out}	56,211	kW
Efficienza	η	89	%
Fattore di potenza	$\cos\Phi$	0,45	-

Effetto del traferro sulla F_s

Traferro(mm)	Forza di spinta(kN)
3	21,66
5	19,54
10	15,18



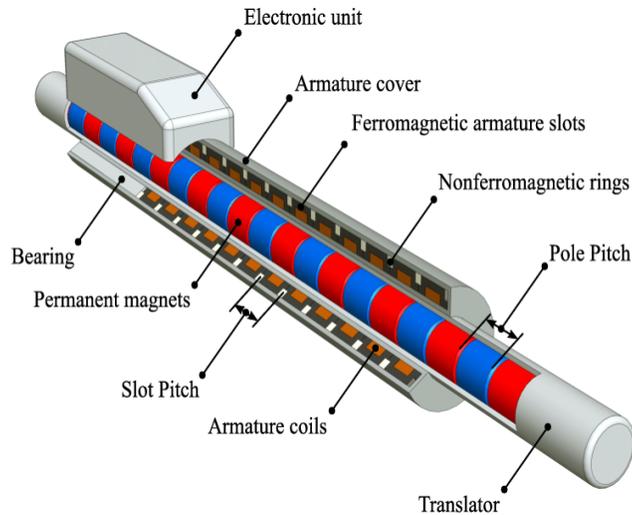
- Con $v = 10$ m/s con $N_i = 4$ s = 0,1 , $F'_s = 16$ kN
- Abbiamo ottenuto: $F_s = 19540,01$ N da cui $F_t = 22484,74$ N

VANTAGGI:

- Movimento diretto
- Bassa manutenzione
- Ottima precisione e controllo
- Forte accelerazione e decelerazione
- Applicabili per lunghe distanze
- Riduzione del rumore in fase di funzionamento

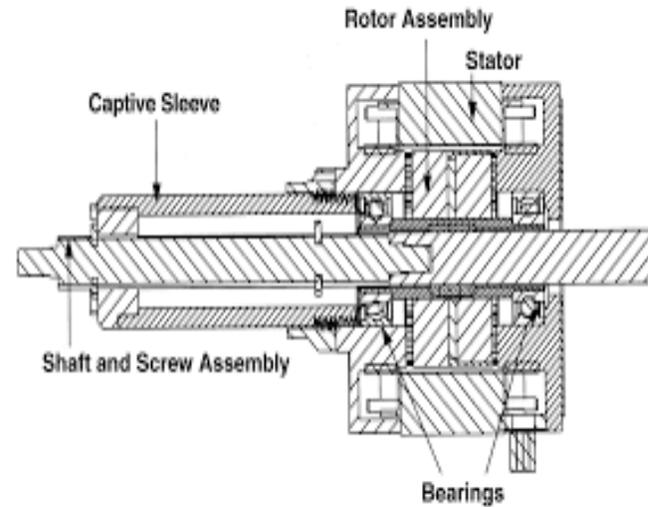
SVANTAGGI:

- Elevati costi di produzione
- Efficienza energetica inferiore
- Problemi di raffreddamento



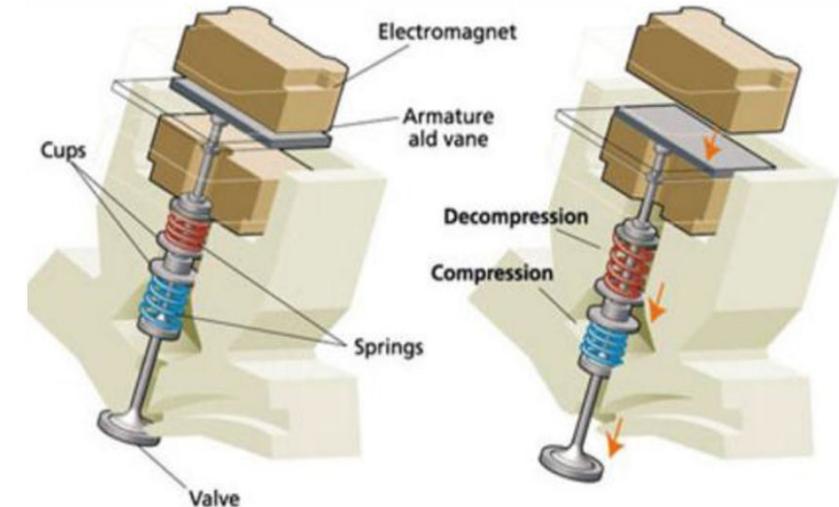
MOTORI A MAGNETI PERMANENTI LINEARI:

- Maggior forza ottenuta a parità di dimensioni
- Complessi sistemi di allineamento e materiali rari per la produzione



ATTUATORI PASSO-PASSO LINEARI:

- Maggior controllo della posizione
- Inadatti ad alte velocità



ATTUATORI LINEARI ELETTROMAGNETICI:

- Movimenti brevi e precisi
- Forze limitate

Conclusioni

Nell'elaborato si è discusso delle forze ed effetti che regolano il funzionamento dei motori ad induzione lineari nelle differenti topologie strutturali. Si è mostrato come questi siano utilizzati in differenti campi applicativi, sia in alte che in basse velocità. L'esempio portato ci ha inoltre dimostrato come si possa progettare e definire un motore LIM per un'applicazione come l'ascensore, mostrandone i relativi parametri circuitali e la forza prodotta. Tale tipologia di motori però presentano comunque degli svantaggi, rendendo dunque possibile la loro sostituzione in determinati ambiti con altre tipologie di motori.