

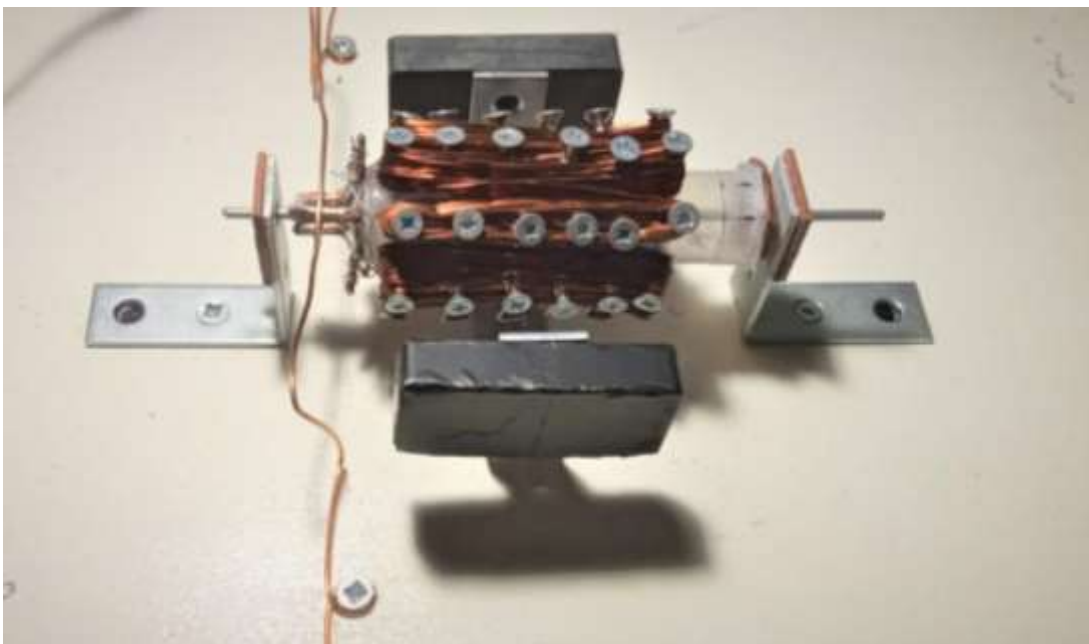
Edizione 2022

"Le domande cruciali nel fare scienza. Fenomeni, indizi,
esperimenti."

Perché il motore elettrico crea movimento?

La Siringa Rotante

Costruzione di un motorino elettrico in corrente continua con
materiale povero



Presentazione del docente

Il gruppo di lavoro è costituito da 4 studenti appartenenti alla stessa classe, con caratteristiche diverse e complementari. Molto bravi nel trovare soluzioni pratiche, hanno da consolidare le loro competenze teoriche e analitiche. In passato avevano già svolto attività laboratoriale in cui realizzare dei prototipi e si erano dimostrati sempre molto appassionati e coinvolti.

Hanno dunque accolto con entusiasmo l'idea di partecipare a questa manifestazione e subito si sono adoperati per scegliere cosa realizzare. La scelta è ricaduta sul motore elettrico, nonostante non avessi con loro ancora affrontato la parte di programma relativa all'elettromagnetismo. Ho quindi introdotto loro alcuni dei principi su cui si basa il funzionamento di un motore elettrico e ho fornito loro del materiale per approfondire.

Rimasti entusiasti da un video in rete sulla realizzazione di un motorino elettrico, hanno insistito per realizzarlo. Ho ceduto alla loro determinazione, pur consapevole della difficoltà nella realizzazione e nella misura di alcuni dei parametri caratteristici del motore stesso.

Nonostante le loro assiduità e impegno, il poco tempo a disposizione e la situazione pandemica che ha impedito talvolta di incontrarsi, le difficoltà pratiche nella realizzazione del prototipo sono state molte. Quindi il loro sforzo è stato rivolto maggiormente a trovare soluzioni per risolvere i problemi che impedivano al motore di funzionare. Alla fine, ce l'hanno fatta, ma non è stato possibile misurare la velocità del motore, verificare la sua coppia e metterla in relazione con la velocità stessa. Nella relazione che segue sono riportati, i concetti teorici affrontati, la descrizione dei materiali e strumenti utilizzati e la descrizione delle fasi di realizzazione del prototipo, infine una proposta per la determinazione della Coppia del motore a partire dai dati disponibili.

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. PRINCIPI e LEGGI FISICHE	4
1.1 Campo magnetico generato da una spira da corrente.....	4
1.2 Forza di Lorentz	4
1.3 Momento di una COPPIA di forze su una spira attraversata da Corrente in un campo magnetico B	5
1.4 Il motore elettrico in corrente continua: le sue parti e le sue caratteristiche.....	5
3. MATERIALI e STRUMENTI.....	6
4. PROCEDIMENTO di REALIZZAZIONE.....	8
5. MISURE e CALCOLI.....	10
6. COMMENTI e CONCLUSIONI.....	11
7. BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA.....	12

1. PREMESSA

Abbiamo scelto di partecipare alla manifestazione Scienza Firenze con molto interesse e dopo un confronto tra noi, è emersa la curiosità riguardo ai motori elettrici, perché ci interessava capire il loro funzionamento e cioè capire come partendo dall'energia elettrica fosse possibile produrre movimento. Il nostro interesse era inoltre legato al fatto che oltre a essere circondati da molti motori elettrici presenti nei nostri elettrodomestici, si sta sempre più parlando dell'impiego del motore elettrico nel campo dei trasporti e della mobilità come valida alternativa per ridurre l'inquinamento ambientale. A Fisica non avevamo ancora studiato la parte relativa all'elettromagnetismo e quindi inizialmente abbiamo dovuto studiare alcuni concetti per noi nuovi.

Cercando in rete ci siamo imbattuti in un video che mostrava la costruzione di un motore elettrico a partire da materiali semplici e facilmente reperibili, rimasti colpiti, abbiamo provato a raccogliere la sfida e a costruire anche noi quel motore. L'impresa si è rivelata più difficile del previsto e i parametri del motore che avremo voluto misurare o calcolare non siamo riusciti a determinarli per mancanza di tempo. Siamo però soddisfatti del nostro lavoro perché siamo riusciti a realizzarlo e a constatare che il movimento del rotore (la nostra siringa rotante) dipende dalle forze magnetiche che si generano sugli avvolgimenti, attraversati da corrente. Almeno siamo riusciti a rispondere alla nostra domanda iniziale!

2. PRINCIPI E LEGGI FISICHE

2.1. Campo magnetico generato da una spira da corrente

Un filo conduttore avvolto ad anello forma un percorso circolare che è chiamato spira. Quando una spira è percorsa da corrente essa si comporta proprio come un magnete generando attorno a sé un campo magnetico, le cui linee attraversano la superficie del piano che contiene la spira stessa. In particolare, sull'asse della spira (cioè la retta perpendicolare al piano della spira che passa per il suo centro), il campo magnetico \underline{B} risulta perpendicolare al piano stesso che contiene la spira. Per determinare il verso del campo magnetico generato da una spira si utilizza la regola della mano destra, in cui le dita seguono il verso con cui scorre la corrente, e il pollice indicherà il verso del campo magnetico. La parte di piano in cui le linee di campo entrano nel piano della spira costituirà il polo sud, mentre la parte di piano da cui esse fuoriescono sarà il polo nord. Nel centro della spira, il campo magnetico si calcola:

$$B = \frac{\mu_0}{r}$$

dove $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$ è la permeabilità magnetica nel vuoto,

i : intensità di corrente, r : raggio della spira

2.2. Forza di Lorentz

L'effetto della forza magnetica su oggetti macroscopici come i fili percorsi da corrente crea l'effetto microscopico del magnetismo, cioè degli effetti prodotti dalla forza magnetica su singole particelle di carica elettrica.

La forza magnetica applicata su singole particelle cariche ha il nome di Forza di Lorentz. Per Forza di Lorentz si intende la forza magnetica microscopica, cioè la forza magnetica applicata su singole particelle di carica elettrica. Per scoprire come agisce la Forza di Lorentz bisogna vedere come agisce un campo magnetico su di una singola carica elettrica q che si muove all'interno di un campo magnetico \mathbf{B} con velocità v .

La forza di Lorentz F_L è definita dalla seguente relazione:

$$F_L = qv \times B$$

Le grandezze F_L , B , e v sono tutte grandezze vettoriali e F_L è data dal prodotto vettoriale di qv e B e quindi il modulo della forza può essere espressa nella seguente forma:

$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$$

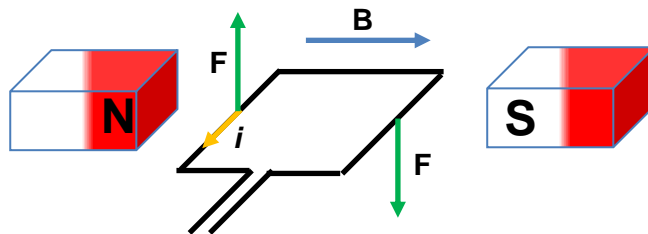
Dove α rappresenta l'angolo tra v e B . Per quanto riguarda invece la direzione, la forza è perpendicolare al piano su cui si trovano v e B ed il verso della Forza di Lorentz è definito dalla regola della mano destra, ponendo il pollice nella direzione e verso della velocità. È fondamentale osservare che la Forza di Lorentz si manifesta solo nel caso di cariche in movimento e cioè tali da avere una velocità diversa da zero.

2.3. Momento della coppia di forze su una spira attraversata da corrente in un campo magnetico B

Estendendo macroscopicamente il concetto della Forza di Lorentz su un conduttore di lunghezza l percorso da una corrente i inserito in un campo magnetico B , è possibile dimostrare che la forza agente su di esso è pari a :

$$F = il \times B$$

In particolare, se si considera una spira come mostrato nella figura che segue:



Si genererà una coppia di forze in grado di far ruotare la spira e si può dimostrare che il momento C della coppia di forze è dato da:

$$C = i \cdot A \cdot B$$

Dove A rappresenta l'area della spira.

2.4. Il motore elettrico in corrente continua: le sue parti e le sue caratteristiche

Il motore elettrico è una macchina in grado di trasformare energia elettrica in energia meccanica e in particolare in energia cinetica.

Esso è costituito da alcune parti fondamentali che ne garantiscono il funzionamento.

Lo **Statore** è l'insieme delle parti fisse. La sua funzione è quella di sostenere parzialmente la macchina e di generare il campo magnetico B . Nei motori elettrici è parte del circuito magnetico insieme al rotore e contiene gli avvolgimenti indotti o induttori. In altri casi è costituito da magneti permanenti. Lo statore, nei motori elettrici a corrente alternata è costruito da magneti ed ha superficie liscia.

Il **Rotore**, in una macchina avente parti in movimento, il rotore è l'insieme delle parti rotanti. È costituito da un cilindro di materiale ferromagnetico posizionato all'interno dello statore, ed è libero di ruotare intorno al proprio asse. Sul rotore sono allocati, in apposite cave gli avvolgimenti di armatura, detti anche avvolgimento di indotto, ai capi dei quali, con rotore in movimento, si genera una forza elettromotrice. Il tipo di rotore cambia a seconda del tipo di motore elettrico. Il rotore viene utilizzato in maggior parte nei motori, costituiti da un accoppiamento rotore-statore, dove la trasmissione di potenza è affidata alle forze elettromagnetiche che si generano fra le due parti, alimentate dalla corrente.

Il **Collettore** è montato sullo stesso albero del rotore ed ha lo scopo di fornire agli avvolgimenti la tensione di alimentazione e fare sì che la coppia generata dalla corrente che l'attraversa sia costante. Il collettore è costituito da lamelle in rame, disposte a formare un cilindro, in collegamento elettrico con i conduttori che costituiscono gli avvolgimenti di armatura.

Le **Spazzole**, strisciando a contatto sul collettore consentono di trasferire la corrente dalla sorgente di alimentazione agli avvolgimenti del rotore. Di solito si realizzano con materiali conduttori più teneri di quello con cui si realizza il collettore.

Parametri principali e caratteristici del motore sono la sua *Potenza*, misurata in W la sua *velocità* misurata in giri al minuto (rpm) la *coppia massima* misurata in Nm in quanto rappresenta il Momento generato dalla coppia di forze che si genera,

3. MATERIALI E STRUMENTI

I materiali utilizzati per la realizzazione del nostro prototipo sono molto semplice, di facile reperibilità e di uso comune.

Elenchiamo di seguito i materiali utilizzati per ciascuna parte del motore.

Parte	Materiali	Dimensioni
Rotore 	1 Siringa	Portata: 10ml, sensibilità: 0,2ml
	48 Viti a stella	Lunghezza: 1,5 cm Diametro: 0,4cm
	100m di filo di rame	Diametro: 0,25 mm
	Colla bicomponente	
	Asticella di alluminio (ricavata da una gruccia)	12 cm
	Rinforzi di cartone	spessore:3mm lunghezza: 2 cm larghezza :1,5cm
Statore 	2 magneti in ferrite	4cm x 2cm x 1cm
	Staffe ad L	4cm x 4 cm Larghezza: 1 cm
Collettore 	30 cm di filo di rame	Diametro: 1,5 mm
	Colla Bostik	
Spazzole 	60 cm di filo di rame	Diametro: 1,5 mm
Alimentazione	3 pile stilo AA	1,5 V
	Cavi elettrici	
	coccodrilli	
	3 scatole per batterie	
Struttura	Tavoletta di legno	50x60cm spessore 2cm
	Staffe ad L	4cm x 4 cm larghezza: 1 cm

Gli strumenti utilizzati per la realizzazione del motore sono stati:

cacciavite a stella, trapano, forbici, saldatore, pinze, trincetto.

Gli strumenti di misura sono stati:

Tester per la verifica delle tensioni di alimentazione

App Magnetometer per la misura del campo magnetico generato dai magneti

4. PROCEDIMENTO di REALIZZAZIONE

Abbiamo prima preparato tutti i materiali che ci occorrevano.



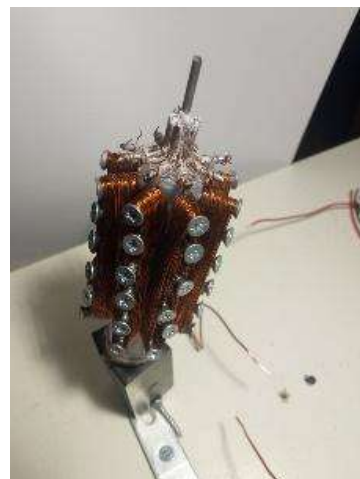
Per prima cosa abbiamo praticato 6 fori per 8 file intorno alla siringa tutti equidistanti uno dall'altro. Finito di praticare i fori abbiamo avvitato le viti nei fori per un totale di 48 viti, come mostrato in figura.

Abbiamo poi preso il filo di rame da 1,50 mm e lo abbiamo tagliato in 8 pezzi di 2 cm che sono stati poi piegati di 90° formando delle piccole L, da cui abbiamo rimosso lo smalto, da un lato, con un trincetto, in modo da eliminare la parte isolante.

Finito di rimuovere lo smalto da tutte le 8 piccole L le abbiamo incollate sul beccuccio della siringa mettendo i lati senza smalto davanti alla fila delle viti. In questo modo

abbiamo costruito il collettore.

Un'altra parte molto complessa sono stati gli avvolgimenti di rame che abbiamo realizzato con il filo di rame da 0,25mm. Per ogni fila di viti abbiamo fatto 100 avvolgimenti escludendo le piccole L in rame. Gli avvolgimenti sono stati fatti in senso antiorario e per ogni avvolgimento sono stati lasciati i fili di ingresso e di uscita raggruppandoli intorno al beccuccio della siringa. Abbiamo tolto lo smalto anche da queste terminazioni che sono state saldate. Altro passaggio determinante è stato l'avvolgimento dei fili terminali alle L. Abbiamo preso i fili di entrata e li abbiamo avvolti non alla piccola L corrispondente, ma a quella successiva situata alla sua sinistra creando un angolo di 90°, Viceversa, i fili di uscita li abbiamo avvolti non alla piccola L di rame in corrispondenza ma alla terza successiva, alla sua destra creando un angolo di 90°. Finito di avvolgere i fili di entrata e di uscita li abbiamo



saldati a stagno alle piccole L. Abbiamo così realizzato il nostro rotore, come mostrato nella figura sopra.

Abbiamo poi preso una stanghetta di metallo (ricavata da una gruccia per vestiti) e l'abbiamo inserita nella siringa, vi abbiamo incollato un pezzo di plexiglass con un buco al centro per permetterne il passaggio e l'abbiamo fissata con della colla all'estremità della siringa. La stanghetta rappresenta l'albero di rotazione.

Abbiamo poi incollato dei rinforzi in cartone alle staffe a L e una volta asciugata la colla, abbiamo forato i rinforzi in cartone, inserito la stanghetta di metallo e fissata nella tavola di legno come mostrato in figura accanto.

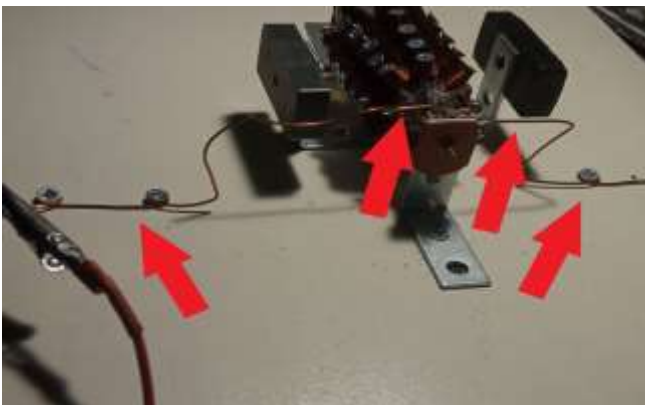


Ai lati del motore abbiamo fissato due staffe a L per l'alloggio dei due magneti permanenti che creano il campo magnetico che fa funzionare il motore.

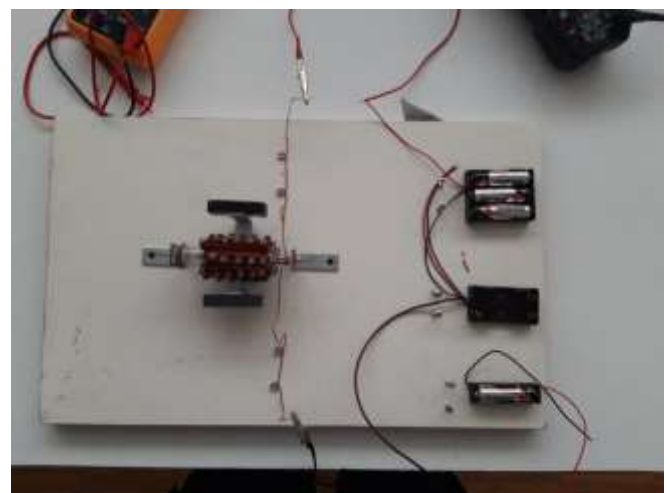
Una parte fondamentale del motore sono le spazzole, che abbiamo realizzato utilizzando il

filo da 1,50 mm. Abbiamo creato due anelli per fissare le spazzole sulla tavola e abbiamo

messo il filo a contatto con le L in rame, cioè del collettore; una delle due spazzole fa contatto sopra ed uno fa contatto sotto. In figura sotto mostriamo questo particolare.



Come alimentatore abbiamo utilizzato delle batterie stilo AA da 1.5V l'una e le abbiamo alloggiato in apposite scatole porta batterie fissate alla tavola di legno.



5. MISURE e CALCOLI

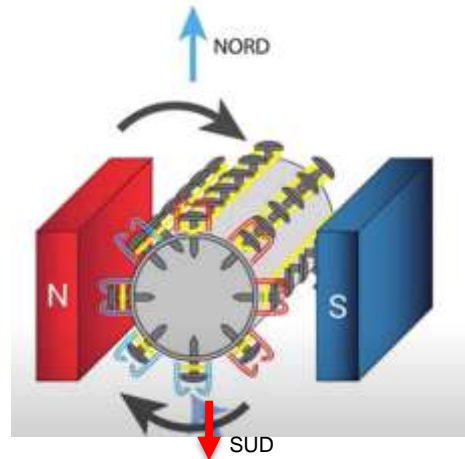
Come detto, l'obiettivo del nostro progetto era quello di valutare le caratteristiche principali di un motore elettrico sul nostro modello.

Ci siamo limitati, per motivi di tempo, a stimare il momento della coppie di forze generato.

Il motore realizzato ha 4 coppie di poli N-S.

Abbiamo fatto delle approssimazioni.

Per come abbiamo disposto i collegamenti di ogni avvolgimento, abbiamo dedotto da quanto trovato in rete sull'argomento che la corrente su ogni spira degli avvolgimenti su ogni fila di viti è pari a 1/2 di quella che abbiamo sulle spazzole. Consideriamo ognuno di questi avvolgimenti costituito da 100 spire.



<https://www.youtube.com/watch?v=R5hEg-OhqNw>

Inoltre, abbiamo stimato il campo magnetico B attraverso l'App Magnometer. Per la sua stima abbiamo eseguito 7 misure e determinato il valor medio.

Grandezza	R (Ω)	ρ (Ωm)	l_{avv} (m)	r (mm)	S (mm^2)	I (A)	ΔV (V)	L (cm)	B (μT)	r_R (cm)	C (Nm)
Valore	4,16	0,017	12	0,125	0,049	0,54	4,5	5,4	1952,5	4	$4,56 \cdot 10^{-6}$

Mostriamo di seguito i calcoli eseguiti.

Formule fisiche usate:

Il legge di Ohm: $R = \rho \cdot l / S$;

I Legge di Ohm: $I = \Delta V / R$;

Forza magnetica su una spira attraversata da corrente: $F_m = B \cdot L \cdot I$;

Momento di una coppia di forze: $C = F_m \cdot 2r_R$

LEGENDA:

R= resistenza

ρ = resistività del rame

l_{avv} = lunghezza di ogni avvolgimento

S= sezione filo

I = intensità di corrente negli avvolgimenti

ΔV = tensione generata dal generatore

F_m= Forza magnetica
B = campo magnetico uniforme generato dai magneti
L = lunghezza del rotore
r_R = raggio rotore
r= raggio filo di rame
C= momento del motore

CALCOLI

$$l_{avv} = 12\text{cm} \cdot 100 = 1200 \text{ cm} = 12\text{m} \text{ (lunghezza di ogni avvolgimento)}$$

$$r = 0,125 \text{ mm}$$

$$S = \pi r^2 = 3,14 \cdot (0,125)^2 \text{ mm}^2 = 0,049 \text{ mm}^2$$

$$R = ((0,017 \Omega \text{ mm}^2) / \text{m} \cdot 12 \text{ m}) / (0,049 \text{ mm}^2) = 4,16 \Omega$$

$$\Delta V = 4,5 \text{ V}$$

$$I = 2,25 \text{ V} / 4,16 \Omega = 0,54 \text{ A}$$

$$B = (1925 + 1962 + 1966 + 1909 + 1971 + 1968 + 1978) / 7 = 1952,5 \mu\text{T}$$

$$L = 5,4 \text{ cm}$$

Poiché abbiamo N= 100 spire si ha:

$$F_m = 1952,5 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot 100 \cdot 0,54 \text{ A} \cdot 0,054 \text{ m} = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$r_R = 4 \text{ cm} \text{ (distanza testa-testa viti)}$$

$$C = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot 2 \cdot 0,04 \text{ m} = 4,56 \cdot 10^{-6} \text{ Nm}$$

Il nostro scopo era quello di mettere in relazione la velocità del motore con C, per verificare che:

- le nostre approssimazioni per la determinazione di C fossero plausibili
- come variava la velocità cambiando l'alimentazione.

6. COMMENTI e CONCLUSIONI

L'esperienza ha fatto emergere la difficoltà realizzativa di un motore elettrico, seppur semplice. I punti più ostici sono stati quelli legati agli avvolgimenti e soprattutto nella corretta disposizione delle entrate e delle uscite degli avvolgimenti per ogni fila di viti, condizione necessaria per garantire che la coppia del motore fosse costante. Inoltre, è stato complesso l'incollaggio e la disposizione delle "L" per la realizzazione del collettore, in modo da garantire un corretto trasferimento dell'alimentazione alle spire. Non da meno è stata la difficoltà di rendere solidale la siringa con l'asticella che rappresenta il nostro albero motore.

L'obiettivo della nostra esperienza era quella di valutare alcuni parametri caratterizzanti il motore elettrico, quali potenza, velocità e coppia motrice.

Avremo voluto in particolare mettere in relazione il momento della coppia generata dal motore con la sua velocità, variando l'alimentazione (da 1,5 V; 3 V; 4,5 V) e quindi la corrente e quindi il Momento e metterlo in relazione con la velocità del motore.

Le difficoltà realizzative, probabilmente sottovalutate, congiunte alla mancanza di tempo per la situazione pandemica che ci ha impedito di effettuare misure e altre prove, ci hanno impedito di condurre un'analisi quantitativa del nostro motore.

Da l'altra abbiamo sperimentato quanto siano necessarie il rigore e l'accuratezza nella fase di analisi e comprensione del funzionamento di un fenomeno per poterlo riprodurre e quindi effettuare delle misure.

Abbiamo però sperimentato che il nostro motore varia la sua efficienza in dipendenza di:

- campo magnetico dello statore,
- corrente che scorre negli avvolgimenti in dipendenza della sezione del filo di rame e dell'alimentazione.
- numero di avvolgimenti per ogni fila di viti
- sezione del filo per la realizzazione delle spazzole

7. Bibliografia e sitografia

1. Motore elettrico homemade: [youtube:https://www.youtube.com/watch?v=R5hEg-OhqNw](https://www.youtube.com/watch?v=R5hEg-OhqNw)
2. Rotore e statore : [https://it.wikipedia.org/wiki/Rotore_\(elettrotecnica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Rotore_(elettrotecnica))
3. <https://www.chimica-online.it/fisica/campo-magnetico-di-una-spira.htm>
4. A.Poli e A.Fiorello, "Elementi di Fisica 2", ed. Etas Libri Milano
5. P.Stroppa, "Fisica intorno a te", ed. Mondadorieducation
6. Motore in corrente continua:
<http://www.istitutoamsicora.edu.it/amsicora/attachments/article/261/Motore%20in%20corrente%20continua.pdf>