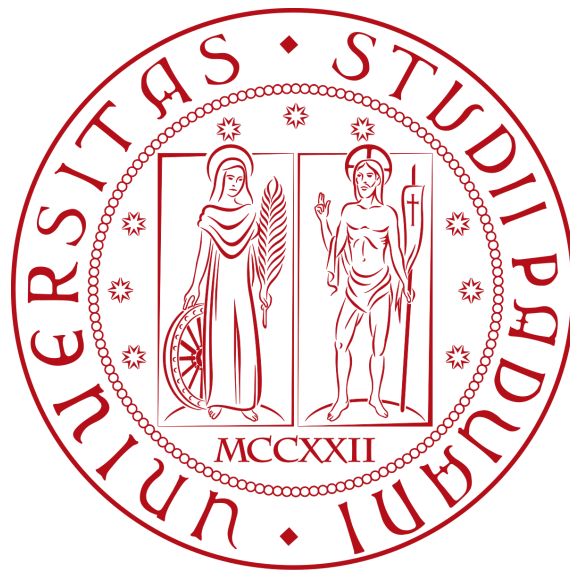


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di laurea in Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto

Tesi di Laurea triennale:

Progettazione e realizzazione di un kit per la conversione di una bicicletta muscolare in elettrica, mediante applicativi di Generative Design

Relatore: **Prof. Roberto Meneghello**

Laureandi:

Andriolo Davide matricola 1224091

Cappellaro Daniele matricola 1195415

Panato Tommaso matricola 1195487

Romano Carlo matricola 1191951

Anno Accademico: 2023-2024

Sommario

L'obiettivo di questa ricerca è quello di riuscire a convertire una bicicletta muscolare in una elettrica, fornendo una guida pratica ad un pubblico generico senza particolari conoscenze e capacità. In questo caso si analizza l'adattamento di un motore di hoverboard a componente motrice della bici. Verrà presentata una panoramica generale sulle e-bike, percorrendo la loro storia con le principali tappe di sviluppo fino ad arrivare alla situazione attuale.

Cercando sul web esperienze di trasformazioni simili e studiando kit già presenti in commercio si possono raccogliere svariate soluzioni possibili e procedere poi ad un'analisi relativa al caso; sono stati utilizzati software di disegno sia per lo studio sia per la progettazione di alcuni componenti prodotti poi tramite stampa 3D. Per alcuni elementi della parte elettrica ed elettronica, si è proceduto invece all'acquisto.

Il progetto finale vede il motore inserito al mozzo della ruota anteriore ed un portapacchi posteriore contenente batteria e centralina; i cavi saranno nascosti all'interno di un supporto posto nella parte inferiore del palo orizzontale del telaio.

Saranno descritte tutte le operazioni eseguite, corredate da foto e disegni, dallo smontaggio dell'hoverboard, alle lavorazioni di carpenteria, i disegni dei pezzi stampati e l'assemblaggio finale. Si finirà poi con il test del mezzo.

Indice

Introduzione	1
CAPITOLO 1: GENERALITÀ SULLE BICICLETTE ELETTRICHE	2
1.1 Storia dell'e-bike	2
1.2 Le bici al giorno d'oggi	4
1.3 Componenti di una e-bike	4
1.3.1 Il motore	4
Collocazione del motore	5
1.3.2 La batteria	5
Collocazione della batteria	6
1.3.3 La centralina	6
1.3.4 I sensori	6
1.4 Legislazione	7
1.5 Costo d'acquisto	7
CAPITOLO 2: TRATTAZIONE E SVILUPPO	9
2.1 Progettazione concettuale	9
2.2 Progettazione preliminare	9
2.2.1 Posizionamento motore:	10
2.2.2 Posizionamento batteria:	12
2.2.3 Centralina, sensori, comandi:	13
2.2.4 Analisi prime soluzioni	13
2.3 Progettazione di dettaglio	16
2.3.1 Lavorazioni sul motore per il fissaggio alla forcella	16
2.3.2 La creazione delle flange	20
2.3.3 L'utilizzo della stampa 3D	22
2.3.4 Sequenza di assemblaggio	30
2.3.5 Riprogettazione concettuale	33
Conclusioni	34
Bibliografia	36
Allegati	37

Introduzione

Mai come oggi il tema dell'ecologia ci è stato così vicino; temi quali inquinamento e riciclo sono all'ordine del giorno.

Affiancando a ciò il boom del momento delle e-bike, nasce l'idea di questa prova, ossia cercare, studiare ed ottimizzare un metodo per applicare ad una bici muscolare, una propulsione elettrica ricavata da un apparecchio in disuso, dotato di motore a batteria funzionante. Questo dovrà essere adattato attraverso il minor numero di lavorazioni meccaniche e il più basilari possibili rendendo il processo eseguibile facilmente e senza un elevato dispendio economico. In prima battuta è stata fatta una raccolta dati sul web per recuperare tutte le possibili soluzioni di conversione già presenti, le varie possibilità sono state poi analizzate andando ad evidenziare i punti forti e le criticità di ognuna di esse pensando a come risolvere eventuali problematiche o sfruttando caratteristiche di più idee per arrivare a una soluzione più efficiente.

In particolare, si lavorerà su una mountain bike di taglia piccola, ma l'obiettivo resta comunque un uso cittadino, non sportivo su sentieri dissestati, con l'obiettivo futuro di renderla a norma per l'uso stradale.

CAPITOLO 1: GENERALITÀ SULLE

BICICLETTE ELETTRICHE

In questo primo capitolo si vuole ripercorrere brevemente lo sviluppo delle biciclette a pedalata assistita, dalla nascita dei primi prototipi, arrivando ai mezzi dei giorni d'oggi. Questi saranno descritti più dettagliatamente per cominciare ad entrare nel cuore della situazione dando quindi al lettore concetti utili a capire le successive scelte. Infine, si uscirà dal mezzo vero e proprio e si affronterà la situazione attuale, in termini di regolamentazione e della situazione del mercato.

1.1 Storia dell'e-bike

Alla fine degli anni '80 partiva una ricerca, su grande scala, di carburanti alternativi al predominante carbone per l'alimentazione dei mezzi di trasporto.

Qualche anno dopo, a rivoluzionare il mondo dei trasporti era presente Henry Ford, con le sue vetture con motore a combustione interna, lanciate alcuni anni prima, in cerca di far rendere sempre più popolare la sua Model T.

Mezzo che però non era alla portata di tutti, quindi, grazie ad alcuni ingegneri dell'epoca, sono avanzate ricerche di propulsioni alternative. Tra questi Thomas Edison che ebbe un ruolo fondamentale nella storia, soprattutto in ambito dell'elettricità.

Viene infatti brevettato da lui il primo "Generatore Piromagnetico", ossia un alternatore utilizzato in modo inverso.

Edison, in seguito, fu anche uno degli inventori della prima auto elettrica, con batteria alcalina, in grado di percorrere fino a 170 km ad una velocità di 40 km/h.

Il problema di allora, non ancora risolto al giorno d'oggi, riguarda il costo e l'efficienza delle batterie.

Come le auto, anche le biciclette elettriche non sono un'invenzione degli ultimi anni.

Già alla fine dell'800 risale il primo prototipo di bicicletta con un motore elettrico annesso alla ruota posteriore; tra i primi studi a tal proposito si riconosce quello dell'inventore americano Ogden Bolton Junior nel 1895 (figura 1.1). Un interessante esperimento fu portato a termine da Howard Hughes che, a soli 13 anni riuscì a posizionare il motore dietro al triangolo del telaio che movimentava la ruota tramite attrito con il copertone (figura 1.2).

Questi dovrebbero essere definiti più motocicli che bici a pedalata assistita in quanto non erano presenti i pedali, ma il motore era l'unico organo che permetteva il movimento.

Svariati tentativi a seguito cercarono di collocare il motore in varie posizioni ma, soltanto più avanti, un accoppiamento ad ingranaggi che permetteva quindi una libera scelta al pilota di pedalare o meno.

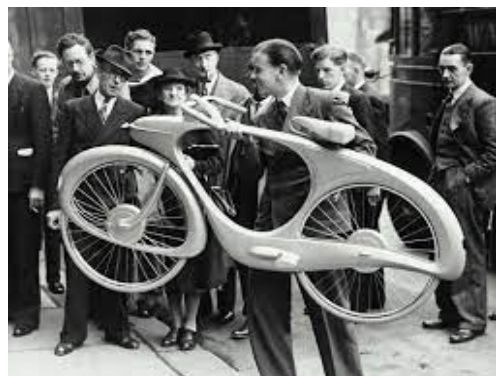
Uno dei primi brevetti rilasciati fu dell'ingegnere britannico Benjamin Bowden 1946 che propose la Spacelander (figura 1.3), con una forma aerodinamica e futurista, e dotata di un motore in grado di ricaricare le batterie in discesa; la caratteristica che la distingueva era la presenza di una trasmissione ad albero e non a catena. Il prototipo fu però un flop poiché non riscosse interesse nel mercato, ma fu notato e perfezionato da molte altre aziende a livello mondiale. Da allora ci fu una continua evoluzione, in ambito di ottimizzazione delle pesanti e ingombranti batterie e all'inserimento, più recente, di numerosi sensori che collaborano con la centralina al fine di un funzionamento più dolce e naturale e con un occhio di riguardo alla sicurezza.



(figura 1.1)



(figura 1.2)



(figura 1.3)

1.2 Le bici al giorno d'oggi

Lo scopo di allora rispetto ad oggi è un po' cambiato grazie all'innovazione tecnologica e industriale. Proprio in questi anni si è verificato, e continua a verificarsi, il boom di vendite delle bici elettriche raggiungendo ogni campo di applicazione.

Un primo ambito è quello relativo allo sport: la pedalata assistita ha raggiunto le mountain-bike aiutando gli utenti a compiere percorsi più adrenalinici senza però una richiesta eccessiva di energia; è utilizzata dai ciclisti non più in grado di tenere attività ad alta intensità, ma anche da neofiti che vogliono avvicinarsi a questo sport.

Non da meno viene l'utilizzo in città: è diventato un importante mezzo di trasporto per tragitti medio-brevi, molto apprezzato per risolvere problemi logistici riguardanti blocchi del traffico o difficoltà nel reperire parcheggio o per sostituire l'utilizzo della macchina contribuendo alla diminuzione dell'inquinamento.

Ultimo ma non per importanza, ha raggiunto anche le hand-bike sia per un utilizzo da parte dei paratleti sia per ambito medico in fase di riabilitazione.

1.3 Componenti di una e-bike

Rispetto ad una normale bicicletta un'e-Bike presenta ulteriori componenti quali motore elettrico, batteria, comandi e sensori che, tramite la centralina, si interfacciano con il motore. La collaborazione tra questi, infatti, genera l'assistenza alla pedalata.

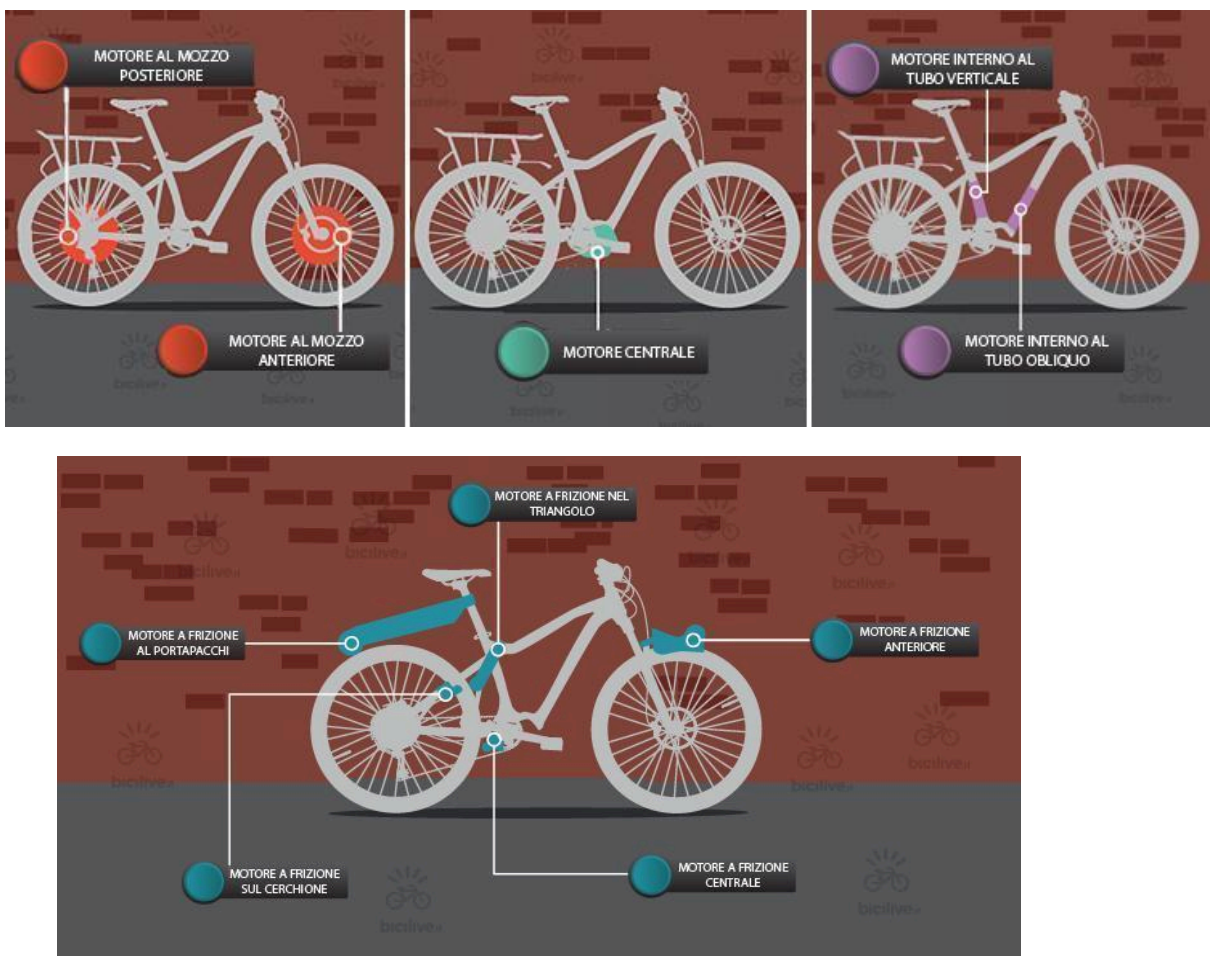
1.3.1 Il motore

Il motore elettrico è l'ausilio muscolare dell'utente. In commercio ne esistono due diverse tipologie: il brushed e il brushless. La differenza tra i due sta nell'alimentazione del circuito secondario: nei primi sono presenti delle spazzole che richiedono il contatto con il rotore per portare corrente agli avvolgimenti, creando così diversi poli magnetici; nei secondi invece il rotore è costituito da dei magneti permanenti che non necessitano quindi di alimentazione elettrica. La conseguenza delle spazzole è maggior rumore e minor rendimento del motore a causa del calore prodotto dall'attrito tra spazzole e collettore. Nei Brushless non si hanno parti in movimento a contatto tra di loro e ciò li rende migliori: il mercato ha preferito questo tipo di motori, presenti infatti su tutte le bici elettriche.

Collocazione del motore

L'integrazione del motore con la bicicletta, al giorno d'oggi, vede principalmente tre realizzazioni:

- motore nel mozzo, della ruota anteriore o posteriore;
- motore nel movimento centrale;
- motore a contatto con la ruota anteriore o posteriore, chiamato motore a rullo o a frizione;



1.3.2 La batteria

La batteria è la fonte di energia del motore. Essa non compie alcun movimento durante la marcia, perciò può essere posizionata ovunque si voglia; presenta però massa e dimensioni non trascurabili che possono disturbare la naturale pedalata. Come noto, l'immagazzinamento dell'energia elettrica è un problema importantissimo: se lo confrontiamo, a parità di peso, con

l'energia resa disponibile da un combustibile fossile, si nota che quest'ultimo ne può rilasciare 10 volte di più. Questo significa che per trasportare la stessa quantità di energia, le batterie saranno molto più ingombranti e pesanti, fatto sicuramente negativo. Al giorno d'oggi le batterie principalmente usate nelle biciclette elettriche sono quelle agli ioni di litio ma in presenza minore si possono trovare anche le NiMH, nichel e metallo idruro, LiFePO, litio ferro-fosfato, o litio polimeri: tutte queste hanno lo stesso funzionamento ma vanno a variare i materiali dei poli o dell'elettrolita presente all'interno.

Collocazione della batteria

Solitamente essa può essere posta:

1. in corrispondenza del porta borraccia;
2. nel portapacchi;
3. nel sottosella;
4. sul manubrio;
5. fra ruota posteriore e telaio;
6. integrata nel telaio;
7. nello zaino.

1.3.3 La centralina

La centralina è l'elemento di collegamento tra sensori ed il motore. I dati ricavati dai primi, uscendo come impulsi elettrici, raggiungono la centralina che li elabora e, sempre attraverso i cavi, gestirà quando e con che potenza azionare o meno il motore. Può essere a sé stante oppure accoppiata con il motore o con la batteria. L'integrazione con altri componenti porta però problemi legati ad una eventuale manutenzione, nonché alla dissipazione del calore che può risultare insufficiente.

1.3.4 I sensori

I sensori permettono di offrire il miglior confort, quando siamo in sella. Analizzano la situazione che verrà poi gestita dalla centralina. I principali sensori presenti su di una bici a pedalata assistita sono:

- PAS (Pedal Assist System) misura la cadenza, ovvero la frequenza della pedalata;
- Sensore di velocità;

- Sensori di Cut-Off, rileva l'azionamento dei freni permettendo alla centralina di interrompere l'assistenza;
- Sensore di sforzo, misura la coppia trasmessa dal ciclista sul pedale.

1.4 Legislazione

Da un punto di vista legislativo, la bicicletta elettrica a pedalata assistita gode degli stessi vantaggi di un velocipede, quali la possibilità di percorrere piste ciclabili e zone a traffico limitato, l'esenzione dall'obbligatorietà assicurativa, non è richiesta targa, patente e non è obbligatorio indossare il casco. Per preservare queste esenzioni deve rispettare l'Articolo 50 del codice della strada, in cui si stabilisce che il motore elettrico non deve superare i 250 Watt di potenza continua, l'assistenza elettrica deve sempre essere subordinata alla pedalata e si deve disattivare superati i 25 km/h di velocità. Le sanzioni sono salate e possono essere sia civili che penali qualora vengano modificate le performance della bicicletta. Di seguito l'articolo:

“I velocipedi sono i veicoli con due ruote o più ruote funzionanti a propulsione esclusivamente muscolare, per mezzo di pedali o di analoghi dispositivi, azionati dalle persone che si trovano sul veicolo; sono altresì considerati velocipedi le biciclette a pedalata assistita, dotate di un motore ausiliario elettrico avente potenza nominale continua massima di 0,25 KW la cui alimentazione è progressivamente ridotta ed infine interrotta quando il veicolo raggiunge i 25 km/h o prima se il ciclista smette di pedalare. I velocipedi a pedalata assistita possono essere dotati di un pulsante che permetta di attivare il motore anche a pedali fermi, purché' con questa modalità il veicolo non superi i 6 km/h.”

1.5 Costo d'acquisto

Il costo è estremamente variabile poiché dipende dalla qualità dei materiali utilizzati, dalla componentistica e dalle prestazioni. Al prezzo di acquisto iniziale dobbiamo sempre considerare il costo della ricarica e della manutenzione per avere sempre un mezzo efficiente. Si parla di un range molto ampio, dovendo tener conto anche la categoria di bici che siamo

interessati ad acquistare. Il range parte dai 400€ per arrivare oltre i 10000€. Se invece non si vuole comprare una bici nuova, ma elettrificare una bici normale, è possibile acquistare dei kit a qualche centinaio di euro, ai quali però si deve aggiungere il costo della bici stessa se non già in possesso. Alternativa è il noleggio: tutte le principali mete turistiche ormai offrono un valido servizio, ad un costo che varia tra i 30 e i 50 euro al giorno.

CAPITOLO 2: TRATTAZIONE E SVILUPPO

In questo capitolo si entrerà a pieno nella progettazione, divisa in tre fasi. Saranno presenti le varie analisi di tutte le soluzioni pensate, punti deboli e forti di ciascuna. Sarà infatti specificata ciascuna scelta in base al materiale in possesso alla partenza; l'analisi generale vuole lasciare spazio ad eventuali varianti in caso di ripetizione della trasformazione. Si procederà in seguito alla descrizione delle operazioni eseguite. Queste si possono differenziare in lavorazioni meccaniche, di parti in metallo, e creazione di nuovi pezzi in materiale polimerico, tramite stampa 3D. Per le prime saranno presenti foto e disegni per concretizzare la descrizione; per le seconde ci saranno invece le rappresentazioni dei pezzi creati, corredate dalle principali quote funzionali. A questo punto sarà descritta la sequenza di assemblaggio e per finire i test eseguiti sul prototipo. Si avvisa che tra gli allegati si trova tutto il materiale utilizzato, in termini di media (foto e video) e disegni, con i solidi, assieme e messe in tavola, utili in caso di necessità di approfondimento.

2.1 Progettazione concettuale

L'idea di partenza è quella di creare l'assistenza alla pedalata, di una normale mountain bike, utilizzando un motore ricavato da un vecchio hoverboard. Si comincia dall'analisi delle varie soluzioni possibili, cercando quella che porta il giusto compromesso tra economicità, estetica e semplicità di realizzazione. Si procederà all'acquisto di eventuali componenti che non si riuscirà a riciclare o costruire; si utilizzerà anche la stampa 3D in polimero per la produzione di componenti personalizzati.

2.2 Progettazione preliminare

Con una ricerca, si trovano subito diverse soluzioni, alcune fai da te, altre invece che richiedono la sola applicazione di un kit facilmente acquistabile. In questo caso si è scelto, al fine di diminuire i costi, di acquistare solamente i componenti troppo difficili da costruire senza elevate competenze o comunque non avendo in possesso attrezzature molto specifiche.

Dallo smontaggio dell'hoverboard è stato possibile ricavare il motore; la batteria risultava di capacità troppo bassa per l'utilizzo richiesto e la centralina aveva un funzionamento diverso, non utilizzabile nella bicicletta. Per quanto riguarda la prima, sarebbe possibile costruirla in casa, ma richiedendo comunque costi, vedi la compera delle singole batterie stilo, e non garantendo un'adeguata sicurezza, si è deciso di optare per l'acquisto di entrambe.

Considerata la bicicletta di partenza, sono state abbozzate tutte le varie idee sul posizionamento del motore, della batteria e della centralina. Di seguito si troverà lo studio e la valutazione di tali idee, e la scelta portata avanti.

2.2.1 Posizionamento motore:

Motore inserito nel mozzo:

Questa soluzione consiste nella rimozione della ruota, smontaggio dei raggi per separare il perno centrale con le flange, dal cerchione. Solo in seguito si può procedere, apportando eventuali modifiche al motore, a ricostruire l'intera ruota questa volta utilizzando il motore come perno centrale. Analizzando singolarmente le due ruote:

-ruota posteriore: inserire il motore nella ruota posteriore ha sicuramente il vantaggio di non compromette la stabilità e la maneggevolezza della bici essendo sulla ruota di trazione e non quella di sterzata. Per questo motivo è migliore anche l'aderenza, perché più carica essendo sotto la sella.

Fare ciò però non è semplice, perché è proprio alla ruota posteriore che è collegato il movimento dato dalla pedalata; bisogna quindi tenere conto che durante lo smontaggio e riassetto si avranno componenti in più, quali il cambio e i cuscinetti per la ruota libera. La soluzione semplificata sarebbe quella di creare una ruota a scatto fisso e monomarcia: ciò non è però ottimale perché pericolosa se usata da utenti meno esperti.

-ruota anteriore: la soluzione scelta. L'inserimento del motore nella ruota anteriore è di gran lunga più semplice. Essendo la ruota indipendente dagli altri organi in movimento del mezzo è solamente necessario adattarlo per il fissaggio alla forcella e per ospitare i raggi.

Bisogna però considerare il peso aggiuntivo del motore, che potrebbe sbilanciare la sterzata; questo in realtà risulta praticamente impercettibile, in quanto il motore è ovviamente al centro della ruota, e non la sbilancia sensibilmente.

Un secondo problema può essere la bassa aderenza che può avere la ruota con il suolo, in quanto è la ruota “scarica”. Pensando sempre all’utilizzo non estremo, può essere trascurato.

Motore inserito nel movimento centrale:

Far partire la spinta elettrica laddove parte anche la spinta muscolare è sicuramente la soluzione più soddisfacente per l’utente, che non compromette la naturalezza della pedalata. Tutte le bici di fascia alta, specie quelle per uso sportivo, utilizzano questa tipologia.

Questa scelta è tanto bella quanto difficile da realizzare. In questo caso è praticamente impossibile. L’inserimento del motore all’interno del movimento di una normale bicicletta richiede appunto delle caratteristiche molto specifiche, di dimensioni ridotte e forma compatibile: non è di certo questo il caso.

Per ovviare a ciò, si può creare un supporto esterno, e creare poi un collegamento col movimento presente. Sono presenti comunque altri problemi, in quanto bisognerebbe creare un collegamento con frizione, in quanto fare un collegamento diretto potrebbe essere molto pericoloso perché il motore quando azionato fa girare i pedali in modo continuo che potrebbero colpire e ferire il ciclista.

Motore a frizione:

Il mercato offre già alcuni kit basati su questo principio: consiste nell’applicare il motore a contatto con la ruota, trasmettendo quindi il moto per attrito.

La posizione di contatto può variare: può avvenire su copertone o sull’interno del cerchione, in verticale o in orizzontale, sulla ruota anteriore o sulla ruota posteriore. Tuttavia, il montaggio prevede la costruzione di supporti che richiedono precisioni un po’ restrittive; per avere una buona trasmissione del moto è necessario, inoltre, che si assicuri l’attrito tra motore e ruota creando quindi forze importanti che andranno poi a scaricarsi sui supporti che necessitano quindi di buone capacità meccaniche, difficilmente ottenibili tramite pezzi di stampa base 3D.

2.2.2 Posizionamento batteria:

Di analisi più semplice è la locazione della batteria: questa lavora in modo statico e sarà necessario valutare principalmente il fattore estetico e che, visto il peso, non comprometta la maneggevolezza del mezzo.

-Inserita nel telaio: la soluzione esteticamente più bella, ma sicuramente non realizzabile in quanto si dovrebbe tagliare il telaio.

-Sul manubrio: di facile esecuzione acquistando per esempio una borsa da bici, economica, ed inserendo la batteria al suo interno. La batteria, dal peso considerevole, crea molto sbilanciamento durante la sterzata.

-Batteria nello zaino: tanto comoda da realizzare quanto scomoda da utilizzare. Bisogna considerare di avere sempre uno zaino in spalla, non gradevole soprattutto nei periodi caldi, non vuoto ma con qualche chilo. Pratico se si deve lasciare la bici incustodita, poiché staccando il cavo la batteria la si porta con sé, ma è lo stesso cavo che può risultare ingombrante o perfino pericoloso se resta labile e va ad interferire con parti in movimento.

-Batteria sottosella/tra ruota e telaio: il problema principale di questa soluzione è l'ingombro della batteria: è facile utilizzarla in caso di batterie piccole, difficile altrimenti, specie nel caso analizzato di una mtb di taglia piccola. Di facile realizzazione, specie la prima, che necessita soltanto di inserire la batteria in una borsa, facilmente reperibile in commercio, e successivamente fissarla con gli attacchi forniti. Da considerare inoltre la vicinanza alla ruota, che porterà sporco e bagnato: sarebbe necessario creare quindi un isolamento.

-Batteria nel triangolo: soluzione molto valida, in quanto generalmente la batteria lunga e non troppo larga non dà fastidio alla pedalata vicina al suolo non disturba l'equilibrio della bici. Posizione che vede arrivare probabilmente sporco, ma non avendo grandi problemi di ingombro è facilmente inserirla in un contenitore che la ripari. In questa posizione potrebbero anche trovarsi dei supporti di serie, per esempio i fori per il porta borraccia, che potrebbero tornare utili per il fissaggio.

In questo caso però lo spazio non abbondava, e diventava complicato e poco maneggevole farci stare batteria e centralina insieme.

-Batteria sul portapacchi: la soluzione scelta. In questa posizione si ha tutto lo spazio necessario per mettere qualsiasi tipo di accessorio aggiuntivo. Pur partendo con una bici sprovvista di ciò, è stato optato per costruire un supporto tramite stampaggio di pezzi in 3D e a seguito l'assemblaggio. Sempre tramite questo tipo di lavorazione sono stati costruiti dei case, o scatolette, che avvolgono batteria e centralina per proteggerli dai fattori esterni. La soluzione non disturba affatto l'utente durante il movimento; a discapito però di questa soluzione è la distanza presente tra motore, comandi e batteria/centralina, che vedrà il passaggio di cablaggi lungo tutto il telaio. La comodità di questo spazio permette inoltre di rendere la batteria facilmente estraibile, se si vuole ricaricare la batteria o se non la si vuole lasciare incustodita.

2.2.3 Centralina, sensori, comandi:

La centralina è stata posizionata a fianco della batteria. Questo per cercare di raggruppare i componenti e non averli sparsi per la bici. La vicinanza di questi due facilita inoltre i collegamenti da eseguire.

Per il passaggio dei cavi, avendo motore e comando nella parte frontale, batteria e centralina sul posteriore, si è fatto uso della stampa 3D. Il primo componente è un case che abbraccia la forcella anteriore, al cui interno saranno nascosti i giunti dei cavi uscenti dal motore con quelli che arriveranno alla centralina.

Lungo il telaio si è scelto invece di utilizzare una canaletta per i fili elettrici, e di disegnare i supporti che la sosterranno.

2.2.4 Analisi prime soluzioni

Si è pensato alla realizzazione della batteria, ma per questioni di sicurezza, e dal momento che richiederebbe una conoscenza approfondita del settore, soprattutto per la progettazione, la soluzione non è ritenuta la più adatta. La costruzione dei sensori risulta invece impossibile in casa.

Per quanto riguarda il sostegno dei cavi elettrici, è stata cercata la soluzione più semplice, ma esteticamente più gradevole. La semplicità dell'applicazione delle fascette elettriche al telaio, per esempio, non è soddisfacente alla vista. Al contrario se si decide di far passare i cavi all'interno del telaio si ha un ottimo risultato estetico, perché si ha la scomparsa di essi;

quindi, una linea più pulita per la bici, ma la realizzazione prevede di creare dei fori sul telaio, e non risulta semplice fare uscire i cavi da un piccolo foro; al contrario fori di grandi dimensioni potrebbero compromettere l'integrità strutturale.

Si è deciso quindi di creare un passaggio esterno, semplice ma allo stesso tempo esteticamente gradevole.

Infine, il supporto della batteria: una possibilità è quella di acquistare un economico portapacchi e procedere al montaggio, avendo così in modo molto semplice il sostegno cercato. Per generalizzare il tutto però è stato deciso di ricreare il supporto tramite pezzi di stampa 3D: apportando semplici modifiche ai disegni, infatti, è possibile l'applicazione a tutte le biciclette.

Passando alla realizzazione si riscontrano i primi due problemi: il fissaggio del motore alla forcella ed il collegamento dello stesso alla ruota.

A fronte del primo si è pensato di ricreare il perno, già con gli estremi filettati e della dimensione giusta, pronti per il fissaggio e lasciando la parte centrale uguale (figura 2.1). L'idea è stata però scartata, in quanto la lavorazione dovrebbe essere stata interamente eseguita in un'officina meccanica esterna e ciò si sarebbe discostato dall'idea di creare una soluzione "fai da te". Un'alternativa è quella di crearlo con la stampante 3D, ma con materiale polimerico non possiede la resistenza meccanica necessaria, mentre una stampa con materiale metallico è troppo costosa.

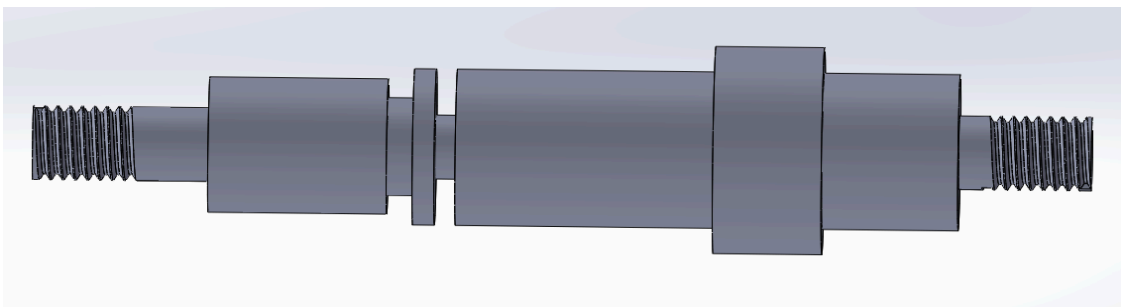


Figura2.1

Si è optato quindi per lavorare il perno già esistente.

Per la seconda trasformazione c'erano due possibilità: come elemento di collegamento motore-cerchione si possono usare i raggi già presenti, accorciandoli, o creare delle razze. Si

è pensato infatti di andare a creare degli elementi che da un lato andassero ad appoggiarsi e ad avvolgere il guscio del motore, per poi essere fissati ad esso tramite delle viti. Una lunga nervatura centrale andava poi a finire in un sostegno a forma di “U”, curvo, che andasse perfettamente ad accogliere il cerchione, e fissato ad esso per esempio con dei rivetti. L’idea è quella di creare diversi elementi uguali, in questo caso 3, che impegnassero 120° ciascuno, in modo da contenere le dimensioni ma che portassero sostegno su tutta la lunghezza della ruota (figura 2.2). Anche qui è stato riscontrato lo stesso problema di prima: farli costruire in un’officina meccanica sarebbe uscito dall’obiettivo, questa volta soprattutto per il costo, mentre ottenerli per stampaggio non avrebbe portato sufficiente resistenza. Si è proseguiti quindi con la strada dei raggi.

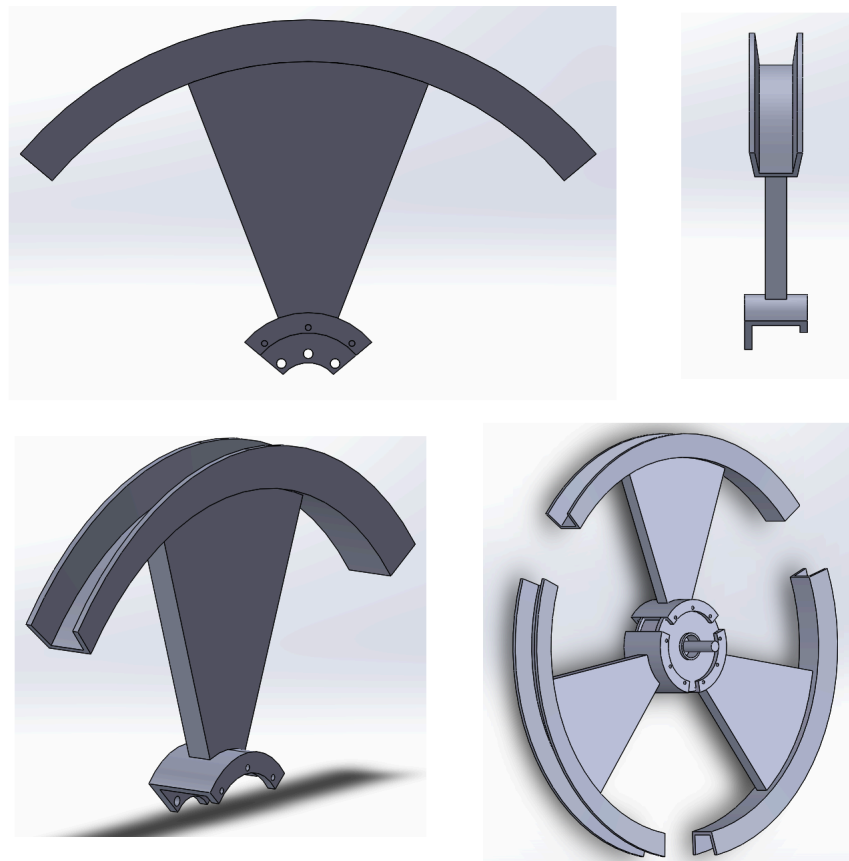


Figura 2.2

2.3 Progettazione di dettaglio

2.3.1 Lavorazioni sul motore per il fissaggio alla forcella

Il primo passo è stato lo smontaggio dell'hoverboard: è necessario munirsi di cacciaviti e chiavi esagonali a brugola. Dopo aver tolto il carter (figure 2.3 e 2.4), fissato con numerose viti, è possibile rimuovere le schede elettroniche (figura 2.5), fissate con 4 viti, per accedere quindi ai supporti dei due motori (figura 2.6). Svitare anche queste, si tolgono i morsetti elettrici che collegano il motore alla centralina, e questo risulta libero (figura 2.7).

Ora bisogna eseguire delle piccole lavorazioni di carpenteria. Per costruire i perni di fissaggio sulla forcella ci si può avvalere di due viti M8, ma andiamo con ordine e vediamo tutte le operazioni da fare.

Svitando le 6 viti sul fianco del motore, si può aprire il guscio in alluminio (figura 2.8) e, con forza estrarre lo statore (figura 2.9) tenuto in posizione dalla forza magnetica; si può procedere intanto a rimuovere il copertone, per esempio tagliandolo (figura 2.10). Le principali lavorazioni sono da eseguire sul perno dello statore: si può scegliere di isolarlo estraendo gli avvolgimenti, togliendo l'anello seeger di sicurezza, e sfilarlo aiutandosi con un estrattore (figure 2.11 e 2.12), oppure eseguire direttamente le lavorazioni prestando però maggiore attenzione.

Sul lato corto del perno bisogna forare con una punta da 6,5 mm (figura 2.13), per la profondità di circa 20 mm e successivamente filettare con il maschio da 8 mm (figura 2.14).

Sul lato lungo invece è già presente il foro in cui passano i cavi: il foro è da 7mm, quindi si può filettare, sempre con il maschio da 8 mm, i primi 20 mm ma solo dopo averlo accorciato (30 mm) tagliandolo (figura 2.15); questo perché nel caso analizzato il perno era più lungo della larghezza della forcella. Bisogna ora ricreare la sede per i cavi: questa volta dovranno uscire dal lato del perno, non dal centro, e appena fuori dal guscio (figure 2.16 e 2.19). Infine, sul lato verticale del guscio è necessario eseguire un foro al centro, da 9 mm, in cui passerà la vite (figura 2.18). Richiuso il tutto ed avvitate le viti nei filetti appena creati, il fissaggio alla forcella del mozzo è pronta (figura 2.19).



figura 2.3

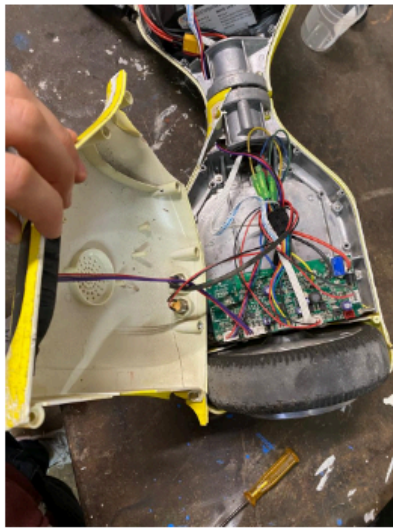


figura 2.4

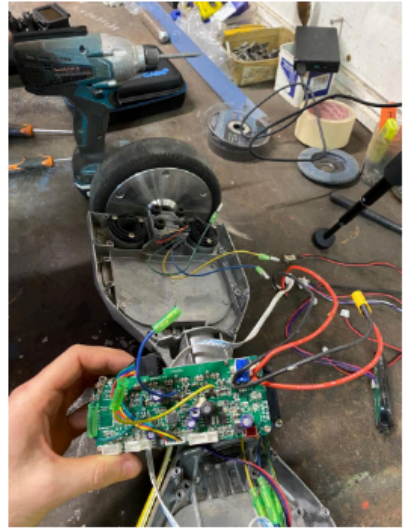


figura 2.5



figura 2.6

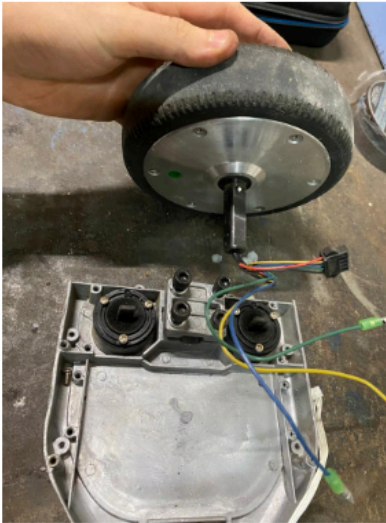


figura 2.7

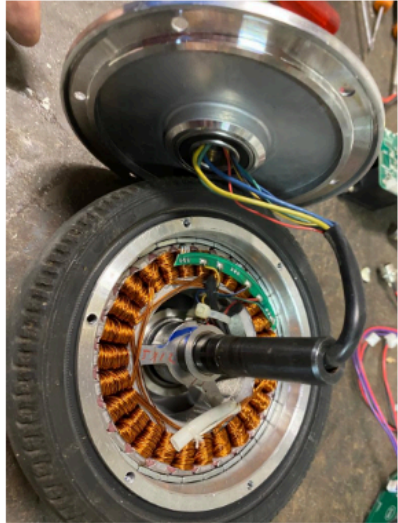


figura 2.8



figura 2.9



figura 2.10

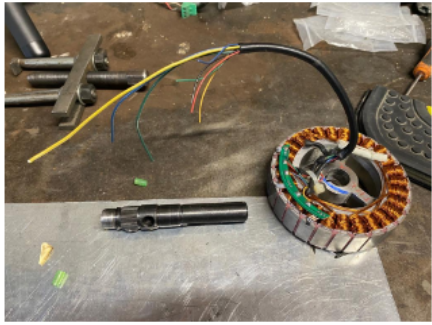


figura 2.11



figura 2.12



figura 2.13



figura 2.14

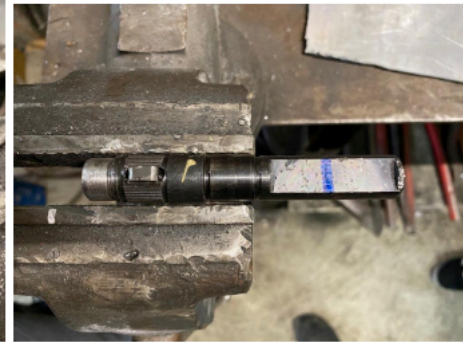


figura 2.15



figura 2.16



figura 2.17

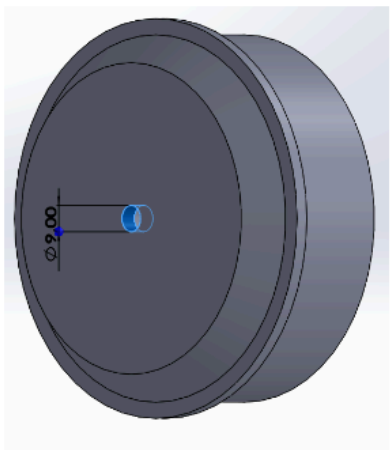
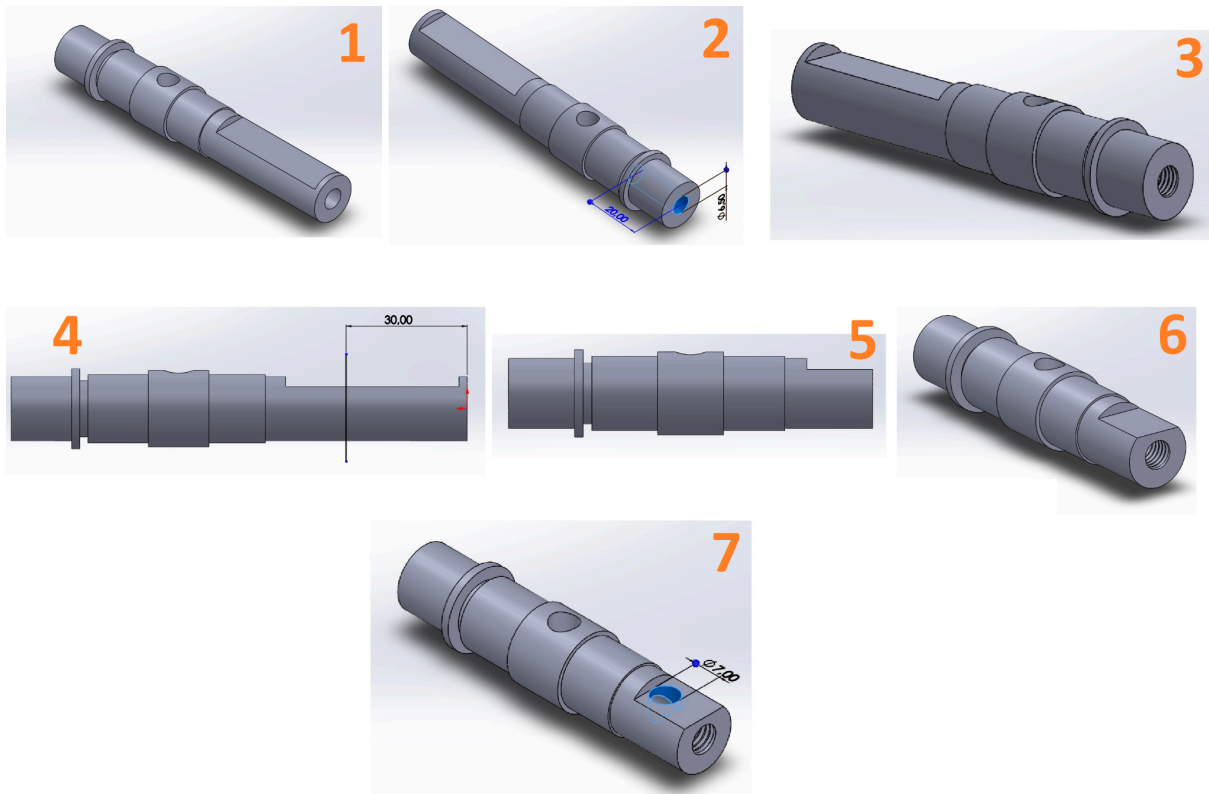


figura 2.18



figura 2.19

Schema lavorazioni perno:



1: perno iniziale

2: foratura da 6,5 mm profondità 20 mm

3: maschiatura M8

4-5: taglio di 30 mm

6: maschiatura M8

7: foratura 7 mm sul lato per passaggio cavi

2.3.2 La creazione delle flange

Un problema è stato riscontrato nella raggiatura della ruota anteriore: per eseguirla è necessario forare le spalle presenti su guscio del motore, per poter infilare i raggi e successivamente fissarli al cerchione. Questa operazione non è possibile perché il raggio richiede un foro da 2,5 mm ma la spallina ne può offrire soltanto 5: si creerebbero così dei

punti di estrema debolezza che renderebbero la bici poco sicura. Per ovviare a ciò si è pensato di creare delle flange, da fissare il motore, innanzitutto in acciaio per aumentare la resistenza, e di dimensioni maggiori per poter eseguire con comodità le operazioni che seguiranno. Per crearle si potevano percorrere diverse strade come la stampa 3D con polveri metalliche, che risultava però costosa; si è scelto quindi di eseguirle con operazioni di carpenteria. Si sono volute evitare operazioni più difficili, come la saldatura, e si è quindi optato per taglio laser e piegatura, grazie anche all'aiuto di un'officina meccanica. Non è sicuramente la soluzione più banale, ma è economica e con un'alta qualità dei pezzi ottenuti. Le dimensioni che creano accoppiamenti, quindi le principali da tenere in considerazione sono il diametro esterno del guscio del motore, sul quale si appoggia la flangia e l'interasse tra i fori: questi devono essere in numero uguale a quello dei raggi, equidistanti tra loro e devono essere sfalsati di mezzo passo i fori della flangia di un lato rispetto a quella dell'altro. La figura 2.20 rappresenta il disegno quotato utilizzato nel taglio laser, mentre nella figura 2.21 si può osservare il risultato dopo la piegatura. Una volta create tutte e quattro, fissandole al motore si deve ottenere quanto in figura 2.22.

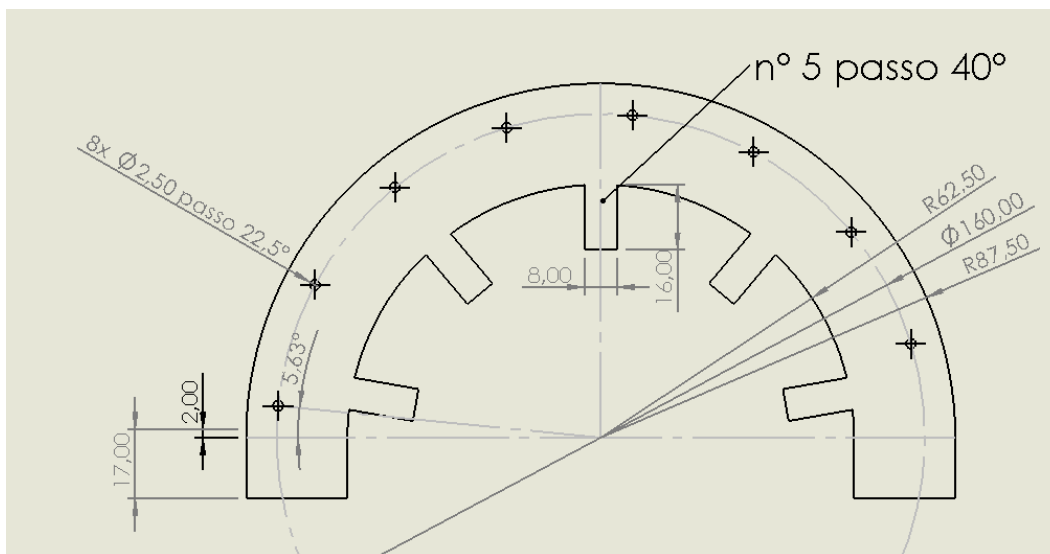


Figura 2.20

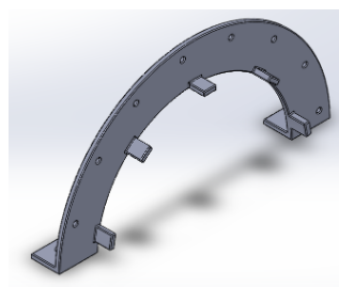


Figura 2.21

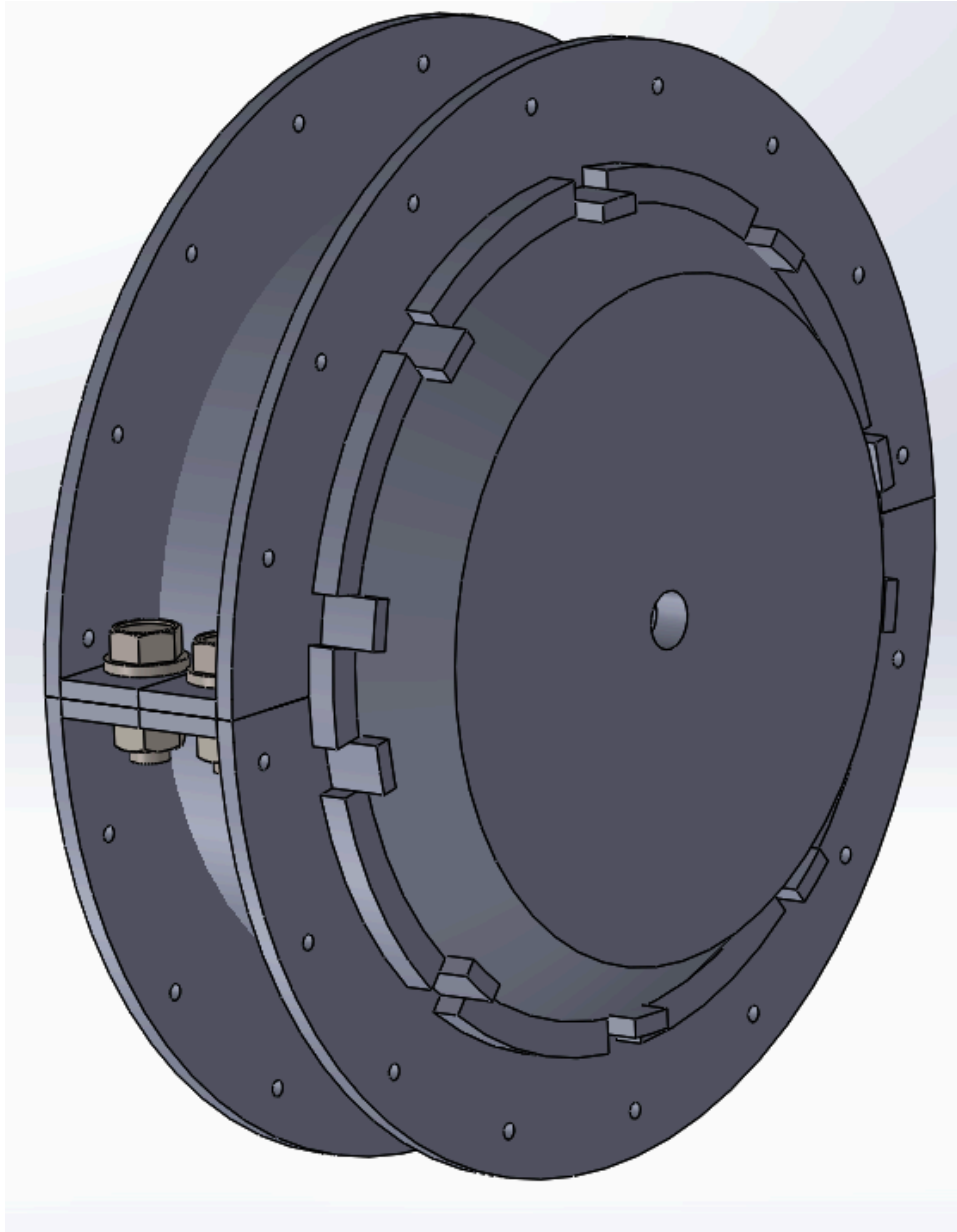


Figura 2.22

2.3.3 L'utilizzo della stampa 3D

Per motivi di sostenibilità, ma anche praticità, è stato deciso di riprodurre diversi pezzi tramite stampa 3D. Vedremo ora l'elenco di essi corredato da disegni tecnici con le principali quote. Per gli elementi di fissaggio si è cercato dove possibile, di utilizzare bulloni tipo TCEI (testa esagonale esagono incassato) e creare le sedi della testa della vite e del dado all'interno dei pezzi stessi, lasciando le linee più pulite ed eleganti. Questa scelta ha puramente come scopo il miglioramento estetico.

Partendo dall'anteriore, è stata creata una custodia protettiva (figura 2.23) per i giunti dei cavi collegati al motore; quelli già presenti perché attaccati agli avvolgimenti di questo, non sono abbastanza lunghi per permettere di collegarlo alla centralina. È costituito da due semi-gusci (figure 2.24 e 2.25) che uniti tra loro abbracciano la forcella e, in una sede interna appositamente creata, ospitano il passaggio dei cavi; sono uniti tra loro da due viti posizionate su delle alette laterali. Le dimensioni a cui bisogna prestare maggiore attenzione sono l'interasse dei fori per il fissaggio, che deve corrispondere nei due semi-gusci, e il diametro interno, che deve accoppiarsi con il tubo della forcella. Gli spessori e le dimensioni della sede interna per contenere i fili e i giunti possono essere personalizzati.

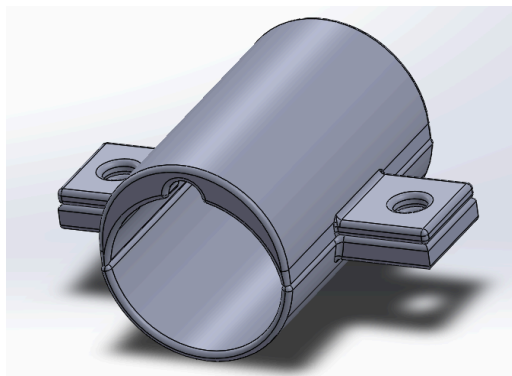


Figura 2.23

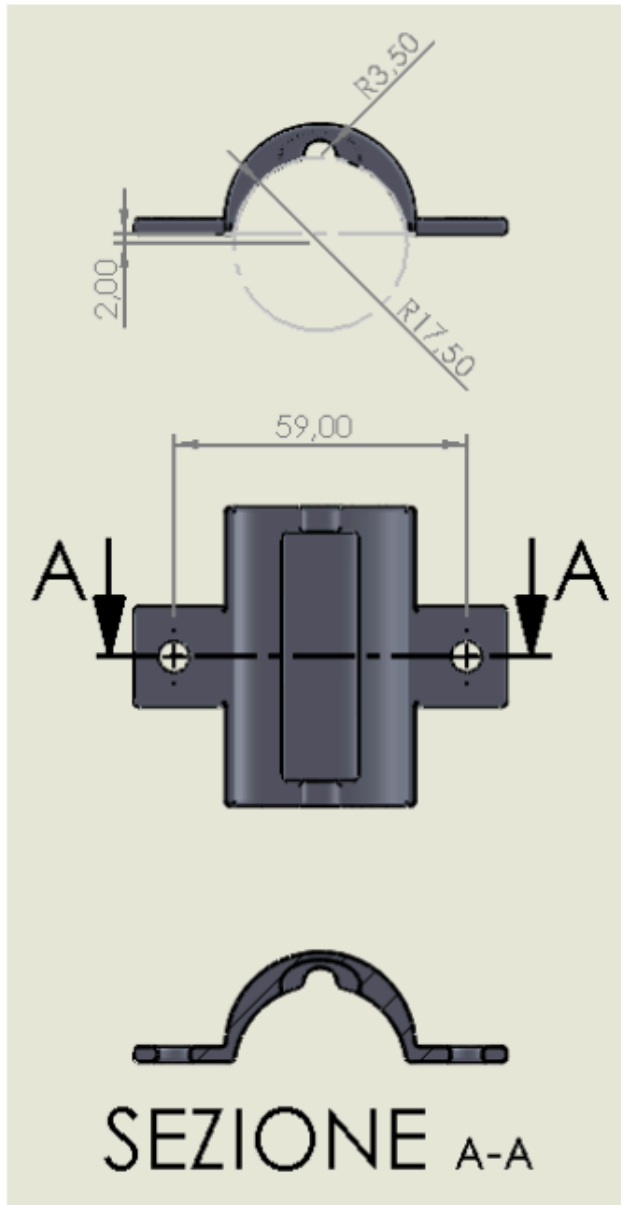


Figura 2.24

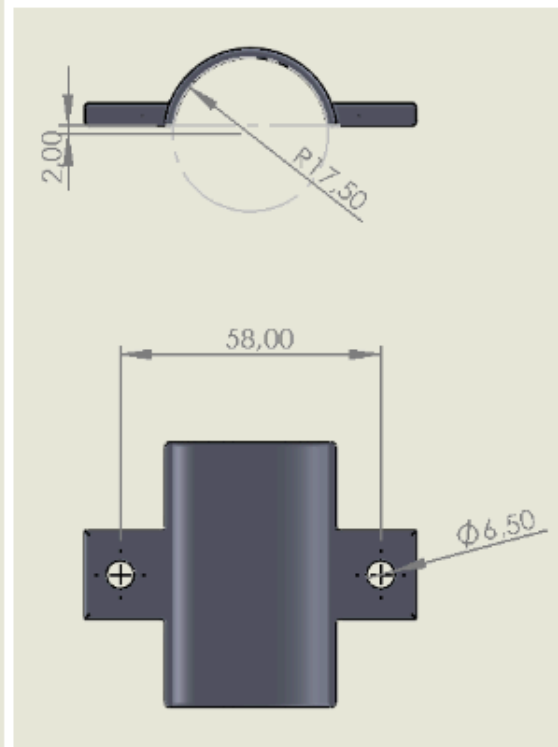
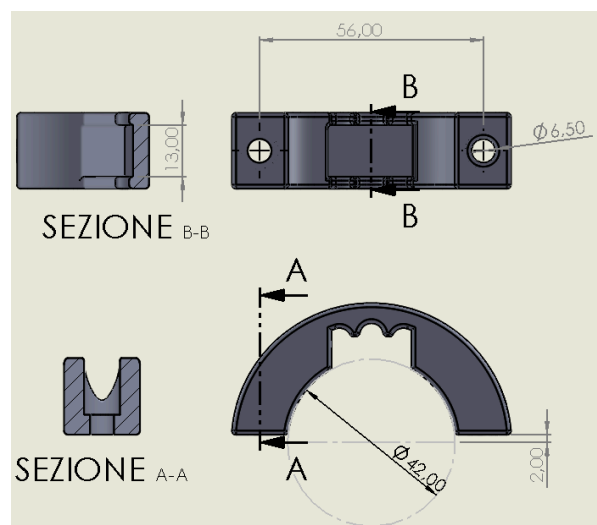
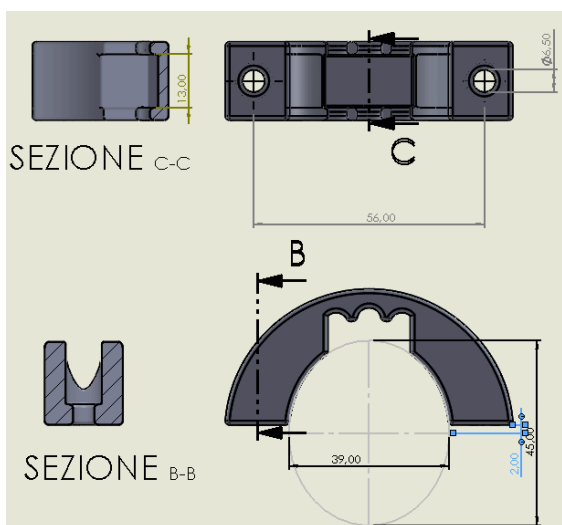
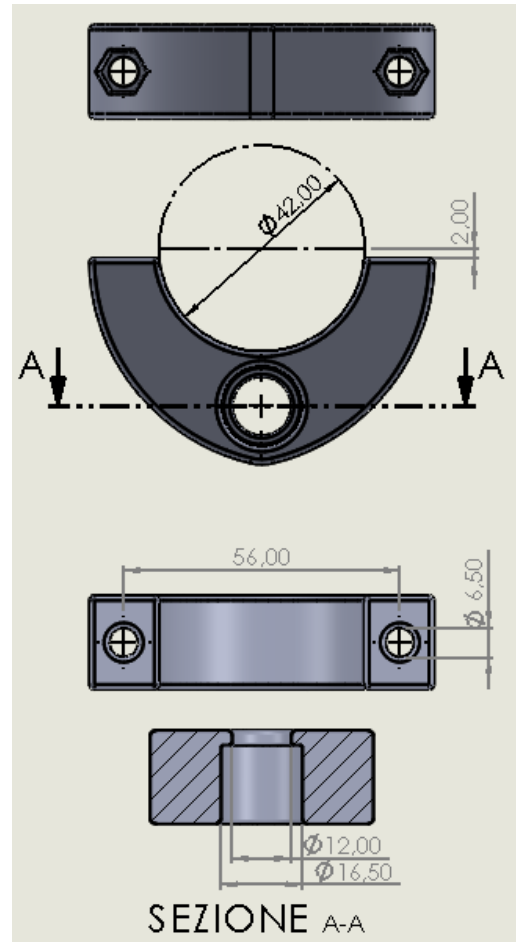
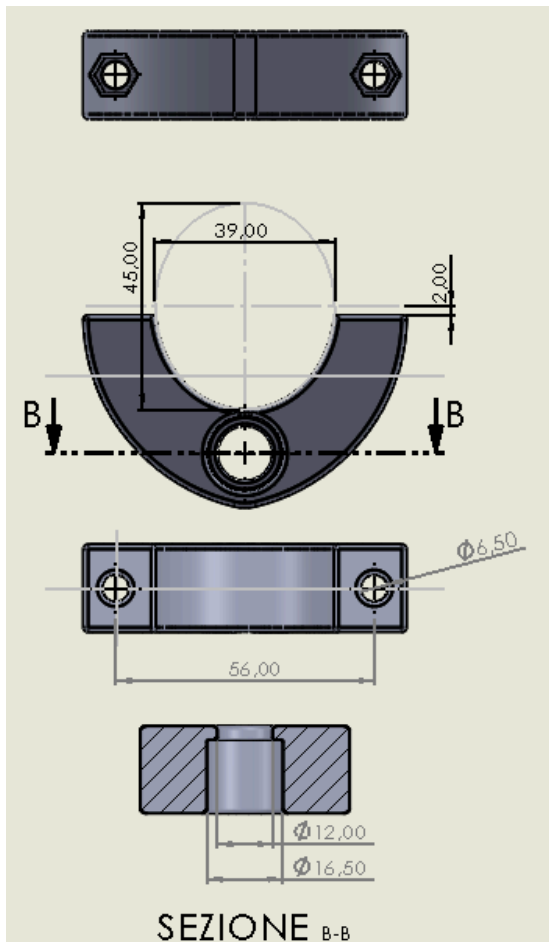


Figura 2.25

In seguito, è stato deciso di creare un condotto esterno al telaio per supportare e nascondere i fili. È stato utilizzato un tubo rigido in plastica, il classico utilizzato come canalina elettrica, e sono stati creati solo i due supporti che lo vincolano alla bici.

Si è scelto di utilizzare la parte orizzontale del telaio come supporto, collocando nella parte inferiore il tubo, e utilizzando i blocchetti che sostengono i fili dei freni, presenti nella parte superiore. Questa scelta è stata fatta perché, creando sul supporto, il negativo del blocchetto, donerà maggiore solidità all'insieme. I due pezzi sotto riportati non sono uguali, poiché il telaio non mantiene la stessa sezione su tutta la sua lunghezza. Le quote a cui bisogna

prestare attenzione sono l'interasse dei fori che ospiteranno le viti per il fissaggio, la dimensione del tubo del telaio, le misure del blocchetto che andranno ad abbracciare e il diametro della cava che ospiterà il tubo in plastica.



Si arriva infine al componente più complesso a livello costruttivo, in quanto di dimensioni importanti, non realizzabile come pezzo unico: il portapacchi. La struttura portante è formata

da quattro componenti: la parte inferiore composta dalle aste di supporto collegate alla bicicletta vicino alla ruota (figura 2.26), una piastra sagomata che funge da appoggio inferiore ai componenti che verranno poi posizionati internamente al portapacchi (figura 2.27), la parte superiore che ha la funzione di guscio (figura 2.28) e infine l'attacco alla sella, ovvero un'asta, cava internamente per far passare nascosti i cavi di aggancio alla centralina (figura 2.29). I tre punti di fissaggio, due sulla forcella e uno sulla sella, rendono l'assieme solido rispetto alla bicicletta; gli unici movimenti possibili restano le oscillazioni dovute all'elasticità del materiale. Questi componenti sono uniti tramite bulloni M5 a scomparsa come indicato nei media allegati.

Ai fini di proteggere maggiormente i componenti più sensibili del progetto, ovvero la batteria e la centralina, sono stati costruiti dei case specifici, che permettessero sia un collegamento facilitato e snello dei vari cavi, sia un'ottimizzazione degli spazi interni al portapacchi e del fissaggio allo stesso.

La batteria va riposta dentro al suo contenitore, i cavi fatti uscire dall'apposita fessura, e poi chiusa con il suo coperchio (figura 2.31). Come soluzione di fissaggio si è deciso di utilizzare tre anelli elastici che vengono pizzicati alla struttura portante del portapacchi durante il suo assemblaggio nelle rispettive cave disposte nella piastra sagomata. Anche la batteria avrà, in corrispondenza di queste, delle ulteriori scanalature che impediscono che si sfilino durante la marcia. La batteria risulta così rimovibile per la carica o comunque per isolarla dal resto della bicicletta.

Questa va inserita dalla parte posteriore del portapacchi e spinta fino a farla arrivare al corrispettivo blocco, agganciandola con gli elastici.

Anche la centralina va riposta dentro al suo case e i cavi fatti uscire dall'apposita uscita. Essa viene poi chiusa con il rispettivo coperchio (figura 2.32), e fissata nella parte superiore del portapacchi con due dadi M5, rimanendo sospesa sopra la batteria. Il fissaggio al telaio avviene con 4 viti M5 che si avvita sulle sedi già filettate presenti sulla forcella; l'asta si fissa invece alla sella con due semicerchi che, fissati tra di loro con due bulloni, vanno ad abbracciare il tubo.

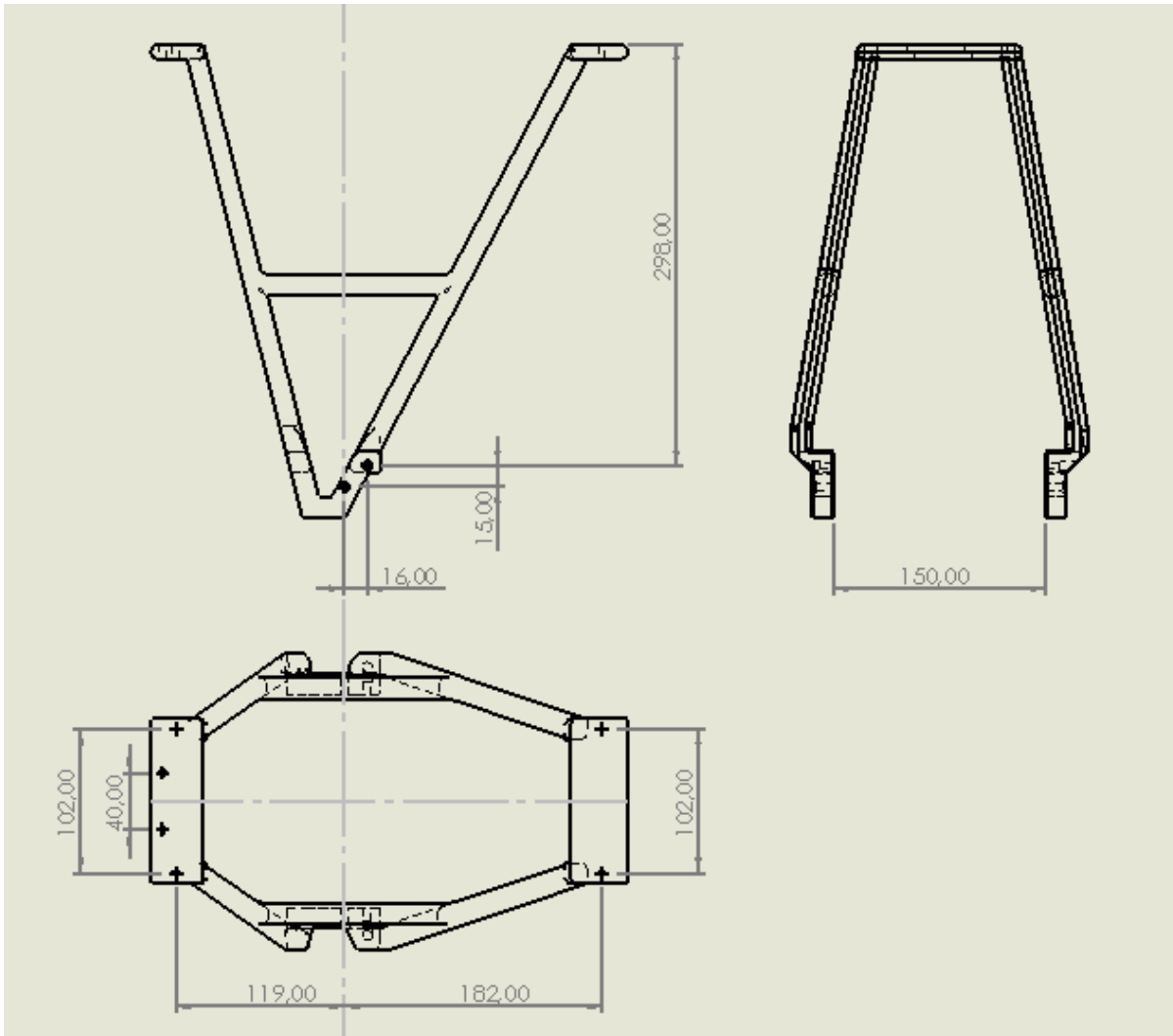


Figura 2.26

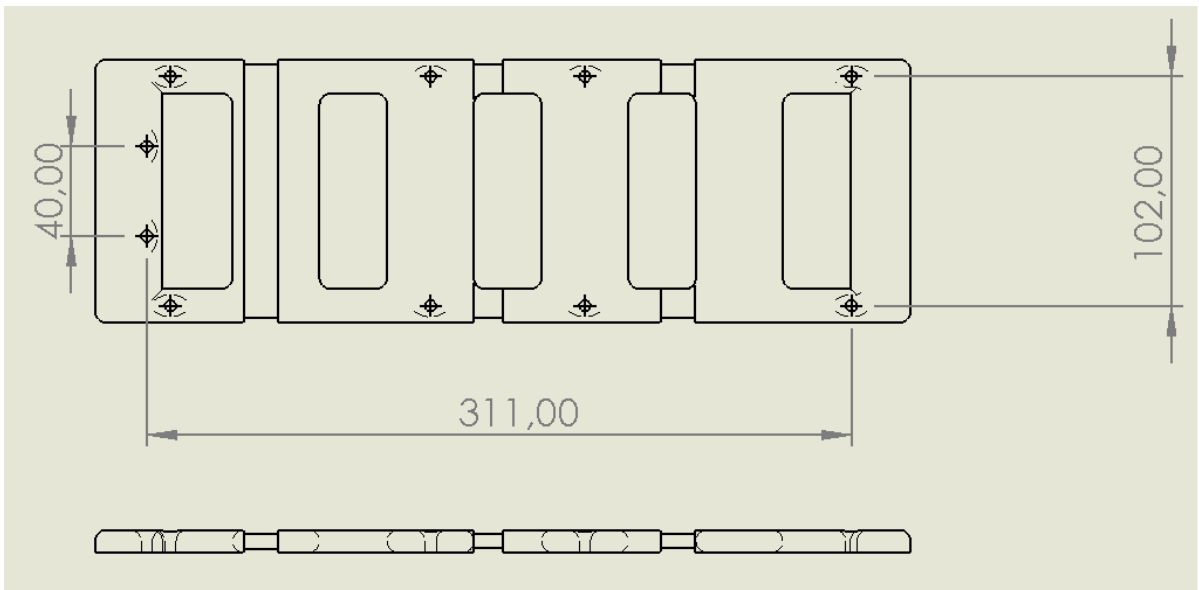


Figura 2.27

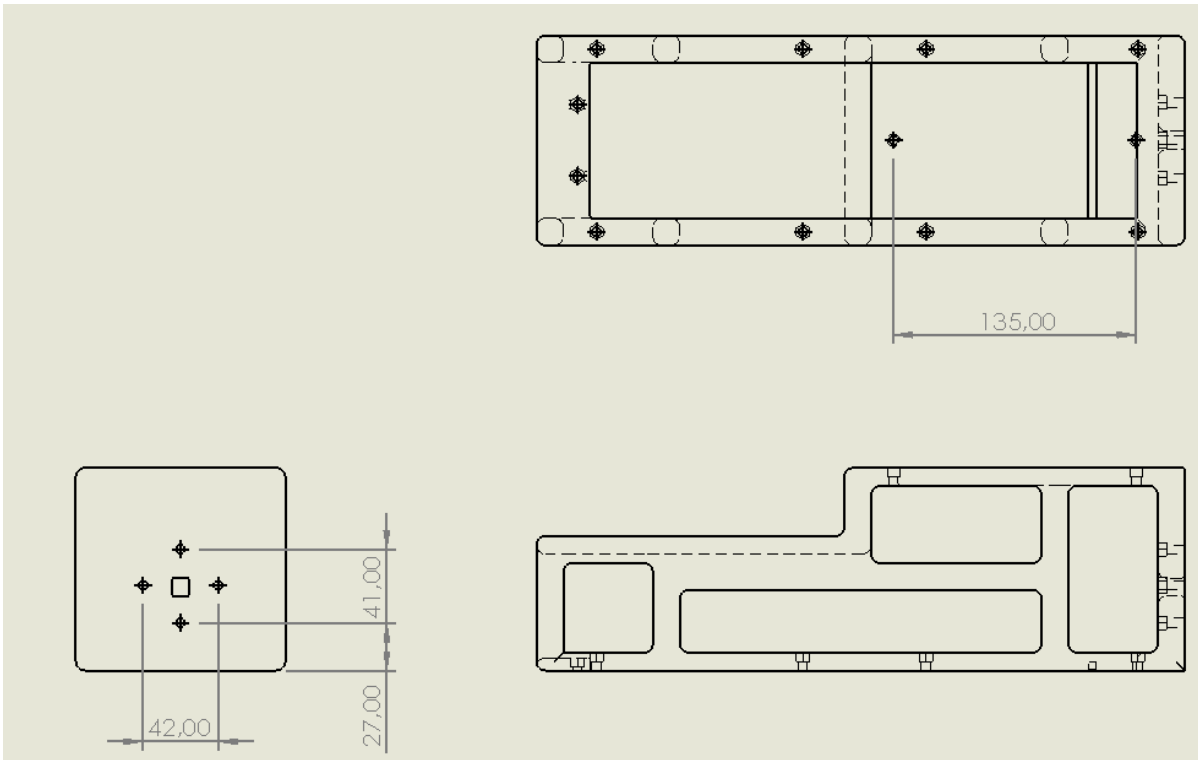


Figura 2.28

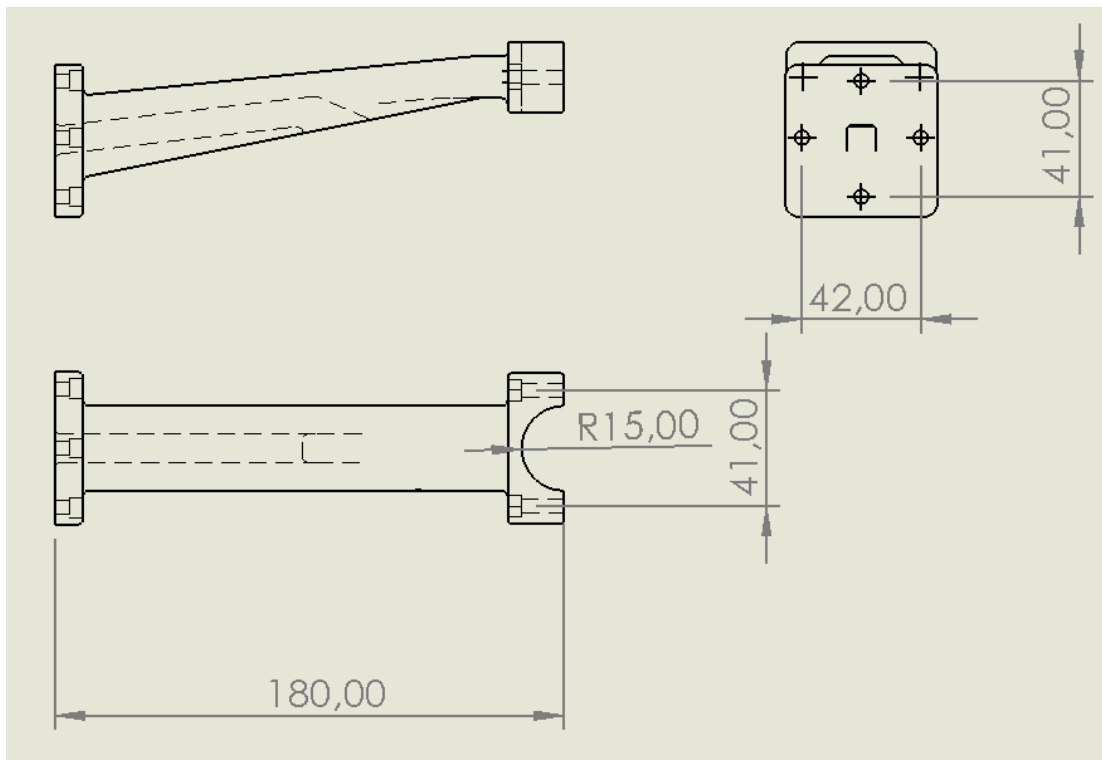


Figura 2.29

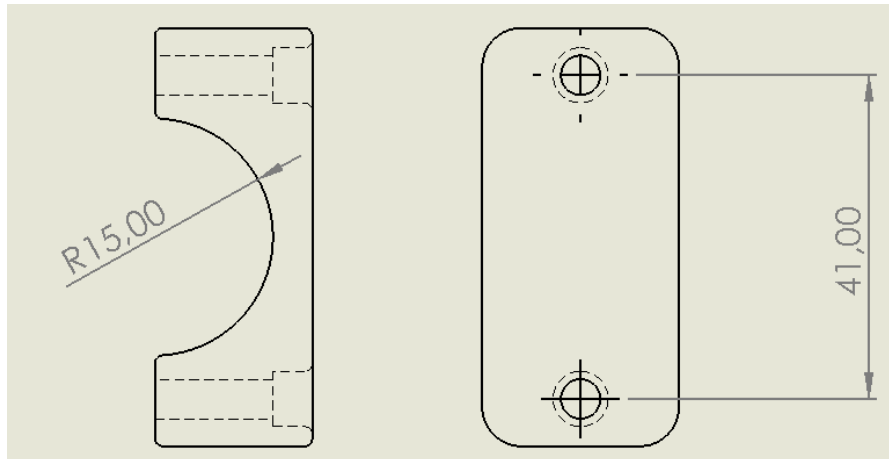


Figura 2.30

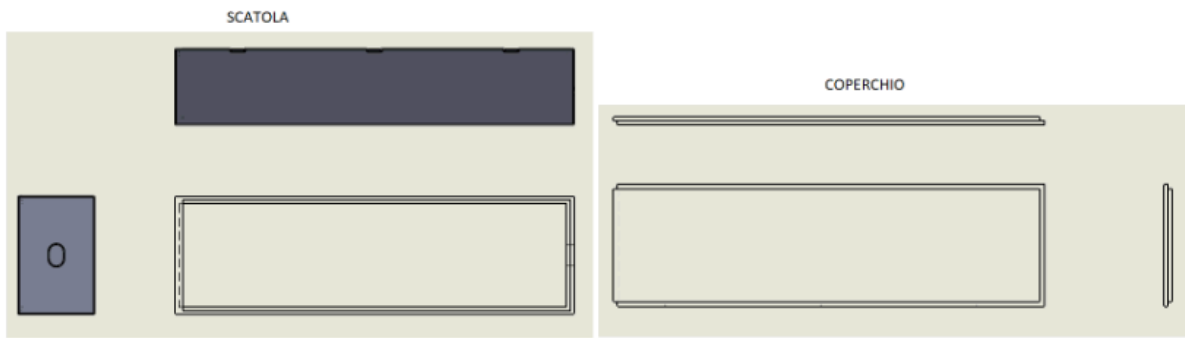


Figura 2.31

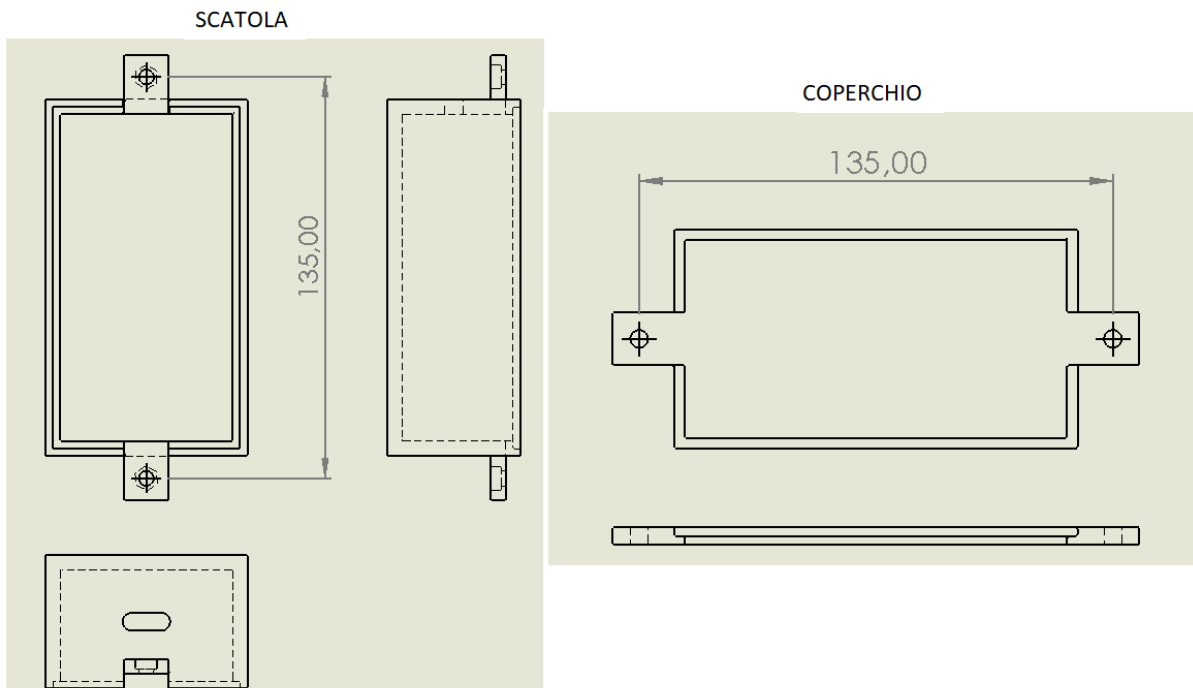


Figura 2.32

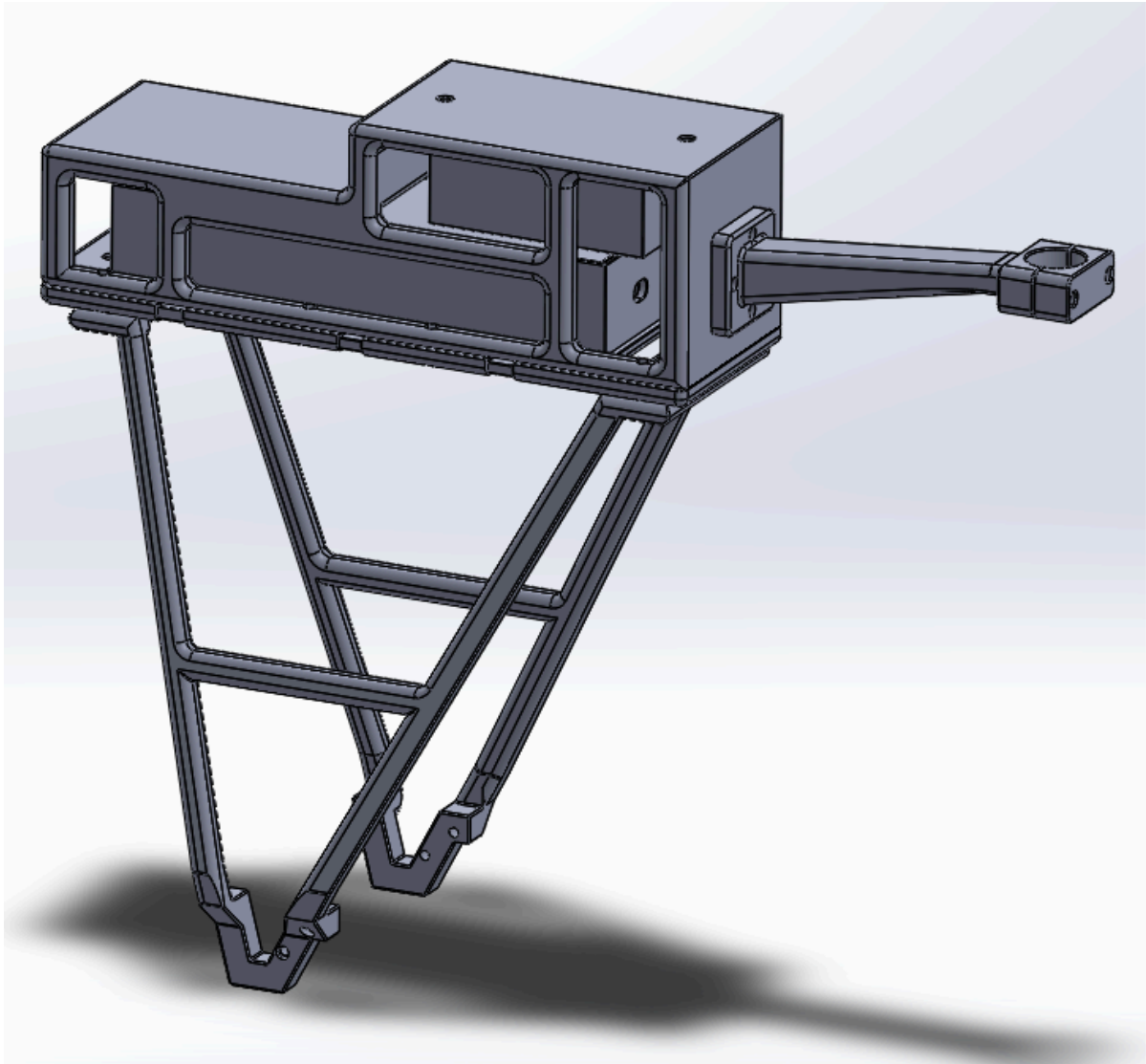


Figura 2.33

2.3.4 Sequenza di assemblaggio

Una volta realizzati tutti i pezzi è possibile iniziare l'assemblaggio. In prima battuta si assembla il portapacchi: collegando le astine alla base che funge da porta batteria e porta centralina. Il case della centralina, utile per proteggerla, viene fissato tramite due dadi M5 mentre per quanto riguarda il case della batteria è utile per renderla estraibile durante la ricarica o durante una sosta. Questo case è bloccato da delle sedi disegnate sul portapacchi che ne evitano lo scorrimento durante la marcia.

L'altra importante parte da assemblare riguarda la connessione motore-ruota. Le flange create tramite taglio laser e piegatura vengono posizionate sul motore, potendo così segnare con precisione i punti che ospiteranno la dentatura per l'antirotazione. Questa non è stata inserita

per questioni economiche in quanto è un prodotto molto costoso e non indispensabile per l'utilizzo della bicicletta come prototipo. È possibile ora asportare il materiale necessario aiutandosi con un seghetto da ferro o addirittura con una smerigliatrice. L'operazione non è difficile come sembra perché si opera su alluminio, quindi con durezza ridotta. Preparate le sedi è possibile infilare le flange e fissarle tra di loro, a coppie, tramite 4 bulloni inseriti negli appositi fori. Anche per questa operazione sono presenti foto e video descrittivi negli allegati.

Preparato così il motore, si può passare alla fase di raggiatura la quale è stata eseguita insieme ad un esperto della ditta Pippowheels. Questo procedimento non è complicato ma lungo e richiede pazienza; si lasciano in bibliografia due link di video tutorial eseguiti da persone esperte.

Una volta completata la ruota, si può passare al fissaggio alla bicicletta. Come ben si vede dalla figura 2.34 i due bulloni, preventivamente fissati sulle filettature create sul motore, vanno inseriti nelle apposite sedi presenti nella forcella. Il serraggio avviene dal lato dove il perno sporge tra il perno stesso e la testa della vite, nel nostro caso, come si vede in figura, avviene sulla parte destra del perno. Per aumentare la superficie di contatto con la forcella vengono utilizzate due rosette tra perno e dado . Dall'altro lato invece si può stringere la forcella tra la testa della vite ed un dado all'interno, che non dovrà toccare il guscio del motore perché in movimento. Se non si dispone di viti della lunghezza esatta, basterà utilizzare dei pezzi di barra filettata ed avvitare un dado al posto della testa della vite; il che rende più semplice anche mandare a fine corsa le viti dall'interno del perno, per aumentare la solidità del tutto. Durante questo procedimento è necessario prestare attenzione affinché la ruota resti centrata rispetto alla forcella; per operare dei piccoli aggiustamenti sarà sufficiente aumentare o diminuire lo spessore a destra, tra la forcella e il perno. È necessario utilizzare il liquido bloccafilletti dove la vite si inserisce nel motore per prevenire eventuali svitamenti indesiderati.

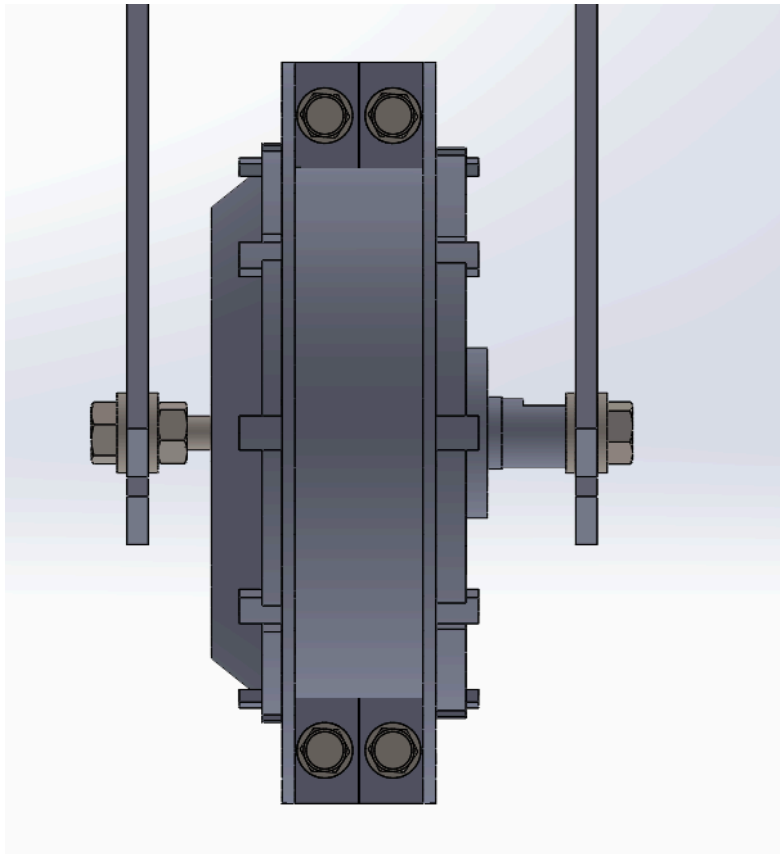


Figura 2.34

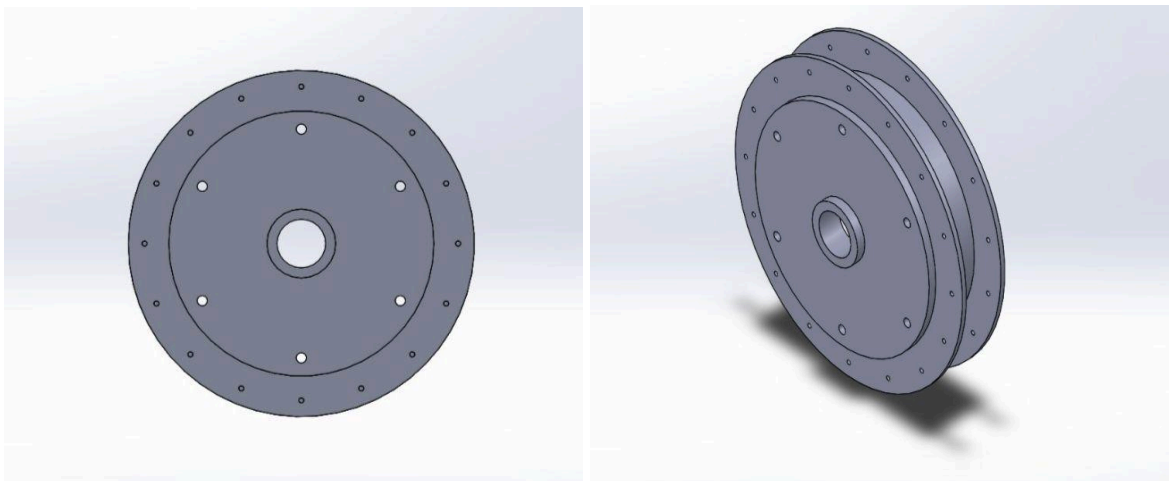
Ora a ruota è fissata, ma il motore è ancora scollegato. I tre fili elettrici che escono dal motore dovranno essere giuntati ad un cavo più lungo: questo si può fare in diversi modi ma qui si procederà con dei morsetti che verranno poi coperti dall'apposita sede della scatola precedentemente stampata e fissata attorno ad un braccio della forcella, tramite i due bulloni.

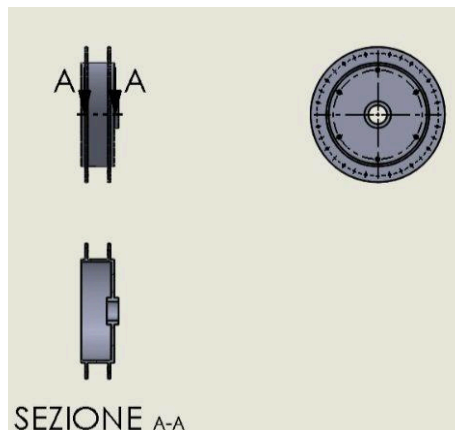
Nel frattempo, sul manubrio si può fissare il comando ed anche qui sarà necessario giuntare i cavi per portare il segnale alla centralina. Avendo ora due cavi, quello proveniente dal motore e quello dal comando, che devono raggiungere la parte posteriore della bicicletta, si possono infilare sul supporto creato, costituito dai due blocchetti che avvolgono il telaio e il tubo; successivamente anche questo può essere fissato al telaio con i 4 bulloni predisposti. A questo punto tutto è fissato ed i cavi sono pronti per essere collegati alla centralina, mediante lo schema presente nella confezione. Ciò viene eseguito mediante morsetti e grazie allo spazio predisposto tra il case della batteria e il bordo del portapacchi saranno protetti e nascosti. Come ultimo passaggio bisogna unire il portapacchi al sottosella mediante l'asta di figura 2.29 la quale ha anche la funzione di far passare al suo interno i cavi provenienti da motore e comando e portarli all'interno del portapacchi. L'asta viene collegata con due

semicerchi uniti da due bulloni. Ultimato l'assemblaggio basterà unire il connettore della batteria per poter utilizzare la bicicletta.

2.3.5 Riprogettazione concettuale

Completato il progetto iniziale ci si è accorti che era possibile migliorare l'efficienza dal punto di vista di progettazione, di processo produttivo e assemblaggio. Invece di costruire le quattro flange tramite lavori di carpenteria si è pensato di andare a produrre un pezzo unico, anch'esso stampato tramite stampante 3D, il quale andrà ad avvolgere il guscio del motore già esistente. Dal motore iniziale viene tolto il tappo svitando le 6 viti e sostituito con un contro guscio disegnato tramite Solidworks e prodotto grazie alla stampa 3D che va a utilizzare i fori già esistenti ma che possiede le flange come pezzo unico in modo da evitarne la produzione tramite carpenteria e eliminando eventuali fissaggi. E' una soluzione che migliora la velocità e la semplicità di montaggio e inoltre con questa realizzazione tutti i pezzi saranno stampati mediante stampa 3D fornendo così un kit completo di conversione e usufruendo di un unico fornitore. Il pezzo se prodotto in titanio avrà un'elevata resistenza sufficiente a sopportare le sollecitazioni durante l'utilizzo della bicicletta. La nuova raggiatura sarà comunque necessaria in quanto si andrà a ridurre la lunghezza dei raggi rispetto alla situazione iniziale. E' inoltre possibile migliorare il collegamento dell'asta che unisce il portapacchi al sottosella andando a disegnare la sede inclinata invece che dritta in modo da farla aderire con più semplicità. Per quanto riguarda il progetto e il disegno del portapacchi può essere adattato ad un portapacchi già esistente e già fissato sulla bicicletta andando a fissare solo la parte superiore, contenente il case di centralina e batteria, alla parte piana del portapacchi evitando così il fissaggio delle astine.





Conclusioni

Fin dalla partenza la ricerca ha mostrato una grande quantità di idee; è stato stipulato un elenco ed è stato integrato con nuove possibilità uscite dal pensiero di gruppo. L'analisi di punti di forza o di debolezza oltre che la fattibilità di ciascuna, che porta poi alla decisione delle basi del progetto si è rivelata tutt'altro che semplice e breve: erano diverse, infatti, le soluzioni che si adattavano al caso. La soluzione scelta prevede l'inserimento del motore come mozzo della ruota anteriore e il posizionamento di batteria e centralina sopra alla ruota posteriore, su di un supporto creato da zero, poiché la bici non disponeva di un portapacchi. Sono quindi stati eseguiti i primi disegni generali; lavorando su di essi e creando gli assieme per simulare la situazione reale si sono corrette incongruenze o semplicemente sono stati applicati dei miglioramenti ai pezzi.

Per la batteria e la centralina si è deciso di comprarle visto che non si disponeva né di conoscenze né di attrezzatura adeguata per poterle fare in proprio.

Attorno a queste si è poi incentrata la realizzazione di stampe 3D; oltre ai vari pezzi che componevano il portapacchi, sono stati creati anche i case che avvolgono le stesse col fine primario di proteggerle, ma anche di ricreare una linea estetica che caratterizza la bici.

Questi pezzi sono prima stati realizzati in scala ridotta per poter confermare la resistenza richiesta, la fattibilità e assemblabilità del tutto; solo dopo qualche ulteriore modifica, si è proceduto con la stampa finale.

Il motore invece ha richiesto diverse operazioni, di gran lunga più invadenti. Dopo lo smontaggio esso è stato forato, filettato e tagliato per poterlo fissare sulla forcella. Non è finita qui in quanto le spalle già presenti, sul guscio di alluminio, non erano adatte ad alloggiare i raggi. È stato quindi creato un supporto esterno, tramite stampa al laser su lamiera. Inizialmente era previsto di montarle con le alette di chiusura di ciascuna corona (formata da due semi corone unite da bulloni M5) parallele, ma durante l'assemblaggio è stato necessario sfasarle (mantenendo i fori sfalsati di 11°), in quanto il posizionamento della prima era incongruente con il montaggio della seconda. E' stato necessario intagliare ciascun dente alla base per far in modo che una volta piegati non interferissero creando spessori indesiderati nel raggio interno delle corone. Una volta montate queste flange, anche i raggi sono stati collegati così da ricostruire la ruota.

Finite le lavorazioni più faticose, sono stati montati anche gli altri componenti; è stato quindi possibile finire creando tutti i collegamenti elettrici. In ultima battuta, percorrendo diversi chilometri, è stato confermato che i componenti elettronici lavorano adeguatamente ed i pezzi stampati sono sufficientemente solidi per un tragitto cittadino. Il motore, essendo da 180 Watt, fa sì che l'utilizzo della bicicletta senza uno spunto di pedalata sia faticoso ma fornisce un ottimo risultato come aiuto alla pedalata durante il tragitto, questo soddisfa ciò che ci si era prefissati inizialmente.

L'obiettivo prefissato della tesi è stato raggiunto con successo, riuscendo a convertire una bicicletta muscolare e trasformarla in una e-bike. La bici però, avendo un azionamento manuale e non avendo il distacco automatico del motore raggiunti i 25 km/h, non rispetta l'articolo 50 del Codice della Strada e pertanto non può circolare nella viabilità cittadina.

Si devono porre dei sentiti ringraziamenti all'azienda 3Dfast S.r.l. per il supporto offerto, e per aver provveduto a tutte le operazioni di stampa 3D di ottima manifattura, e all'azienda Arduin S.r.l per aver provveduto al taglio delle flange oltre che all'azienda Pippowheels per laaggiatura.

Bibliografia

CAPITOLO 1: GENERALITÀ SULLE BICICLETTE ELETTRICHE

1.1 Storia dell'e-bike e 1.2 Le bici al giorno d'oggi:

-<https://www.biciclettaelettrica.online/quando-e-nata-la-bicicletta-elettrica-storia-pedalata-assistita/>

- <https://insidevs.it/news/573662/prima-auto-elettrica-della-storia/>

1.3 Componenti di una e-bike:

-<https://ebike.bicilive.it/wikiebike/guida-bicicletta-elettrica-a-pedalata-assistita/>

-http://www.biciassistita.com/batterie_di_bici_elettriche.htm

1.4 Legislazione:

-<http://www.patente.it/normativa/articolo-50-cds?idc=309#:~:text=I%20velocipedi%20a%20pedalata%20assistita,2%2C20%20m%20di%20altezza.>

CAPITOLO 2: TRATTAZIONE E SVILUPPO

Raggiatura della ruota:

-<https://www.youtube.com/watch?v=WbbXQud-I2c> (calcolo lunghezza raggi)

-<https://www.youtube.com/watch?v=t-SL3gWONX0> (fissaggio raggi)

Esempio applicazione kit di conversione con motore a frizione

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

Vari casi di conversioni, partendo da motore hoverboard eseguite:

-<https://www.youtube.com/watch?v=xS6EVtjJPvE&t=905s>

-https://www.youtube.com/watch?v=0f6zqzFA9D8&list=PLPkfpYBA3kbhPyW2tIS2IhP0s_1qybJOX&index=1&t=16s

https://www.youtube.com/watch?v=J7f7etJhhPM&list=PLPkfpYBA3kbhPyW2tIS2IhP0s_1qybJOX&index=3

https://www.youtube.com/watch?v=mzadJk8_w10&list=PLPkfpYBA3kbhPyW2tIS2IhP0s_1qybJOX&index=4

Allegati

La cartella presente come allegato è suddivisa in due: media e disegni.

Nella prima parte si possono trovare foto e video descrittivi dell'esperienza svolta; la seconda riporta i modelli solidi, assieme e messe in tavole di tutti i pezzi citati nella relazione.