



POLITECNICO
DI TORINO



S-Marty



Team Martina:

- Luca Rabezzana
- Diego Gibello Foglio
- Anisia Lauditi
- Giorgia Crida
- Maurizio Contu

Parte 1: Premesse iniziali

Martina



Martina è una bambina di 9 anni affetta da atrofia muscolare spinale (SMA) di tipo 1, un'malattia neurodegenerativa che colpisce e danneggia le cellule nervose del midollo spinale che controllano il movimento dei muscoli volontari (motoneuroni). Nel corso degli anni, Martina ha perso progressivamente il controllo sui muscoli e in particolare sugli arti, con successivo indebolimento degli stessi. Per questo, è costretta a stare su

una sedia a rotelle e ha difficoltà nel compiere anche i normali processi fisiologici come deglutizione e respirazione. Questo non le impedisce di avere il desiderio che hanno tutti i bambini: giocare, colorare, guardare i cartoni animati, ballare...

Martina riesce ad avere una certa indipendenza grazie alla residua prensilità delle dita, che le consente di azionare il joystick che controlla varie caratteristiche della carrozzina sia per muoversi che per usare il cellulare posto su un supporto

Obiettivi

Nel primo incontro con Martina e con i suoi genitori si è scoperto che Martina adora i giochi da tavolo come il gioco dell'oca e colorare e che le sarebbe piaciuto poterlo fare in autonomia. Ciò al momento le era impossibile perché non riusciva a sollevare da sola il braccio e a tenerlo in posizione tale da effettuare i movimenti necessari.

L'individuazione di una possibile soluzione è nata da un'osservazione dei genitori di Martina: quando era più piccola, riusciva a sorreggersi il braccio destro con il sinistro per tenerlo in posizione e lo muoveva sul piano orizzontale. Il supporto da costruire doveva quindi avere sia il compito di sostituire il lavoro isometrico della spalla sia aiutare i movimenti flesso estensori dell'avambraccio.

Un'altra specifica necessaria era l'aggancio con la carrozzina in quanto la bambina passa la maggior parte del tempo su di essa, specialmente durante le attività di svago: era necessario che il supporto fosse leggero e poco ingombrante e si potesse facilmente rimuovere in caso di utilizzo. Inoltre, dato che il supporto pensato era principalmente meccanico bisognava costruirlo in modo da poter facilmente sostituire i pezzi soggetti a usura (a lungo termine).

Ci si è posti anche l'obiettivo di renderlo quanto meno possibile simile a un presidio medico perché dato che Martina ha dovuto passare molto tempo in ospedale per

diversi motivi legati alla sua patologia, un supporto che le ricordasse quei momenti poteva non piacerle e quindi non avrebbe voluto usarlo.

Parte 2: Progettazione

Prime idee

Una delle prime idee, consisteva in un sostegno che partisse dal bracciolo e, attraverso un elevatore a pantografo comandato elettronicamente, portasse il suo braccio all'altezza di lavoro necessaria. Da lì sarebbe poi partito uno snodo in grado di farle muovere l'avambraccio. Si è però quasi subito scartata questa prima idea perché innanzitutto troppo artificiosa e inoltre presentava notevoli svantaggi, tra cui l'eccessivo ingombro e il difficile utilizzo. Proprio per questi motivi, si è deciso di scartare le possibili idee che presentassero una parte elettronica e di lavorare solo a livello meccanico.

Come primo step, si è predisposto lo snodo che consentisse il movimento dell'avambraccio, costituito essenzialmente da due barre e da un cuscinetto situato in corrispondenza del gomito che ne consentisse il movimento a forbice.

Successivamente, si è lavorato sull'implementazione del movimento della spalla sia sul piano trasversale che su quello sagittale.

Lavorando principalmente su bozze disegnate a mano, si è arrivati a considerare due principali linee di idee:

- La prima (*Figura 1*) è stata pensata per svilupparsi dal basso verso l'alto ed è infatti costituita da supporto di sostegno collegato alla slitta situata sotto la seduta e regolabile in altezza da un braccio telescopico.

Il meccanismo principale è costituito da un sistema a parallelogramma in cui sono agganciate delle molle con il compito di rendere nulla la forza peso del braccio, consentendo di conseguenza il lavoro a quasi gravità zero.

Il movimento della spalla è realizzato attraverso due snodi costituiti da due ulteriori braccia, esterne al bracciolo della carrozzina, collegate tramite un cuscinetto, e a loro volta collegate al parallelogramma con un altro cuscinetto, per un totale di 3 snodi con 4 gradi di libertà. Questa sovrastima è stata pensata per ridurre al minimo gli attriti in modo da far muovere con estrema facilità il sistema, data la forza minima del braccio di Martina.

Tutto il sistema è pensato per essere ripiegato sul lato della carrozzina, in modo da non creare intralcio in stato passivo e da essere facilmente montabile per l'utilizzo.

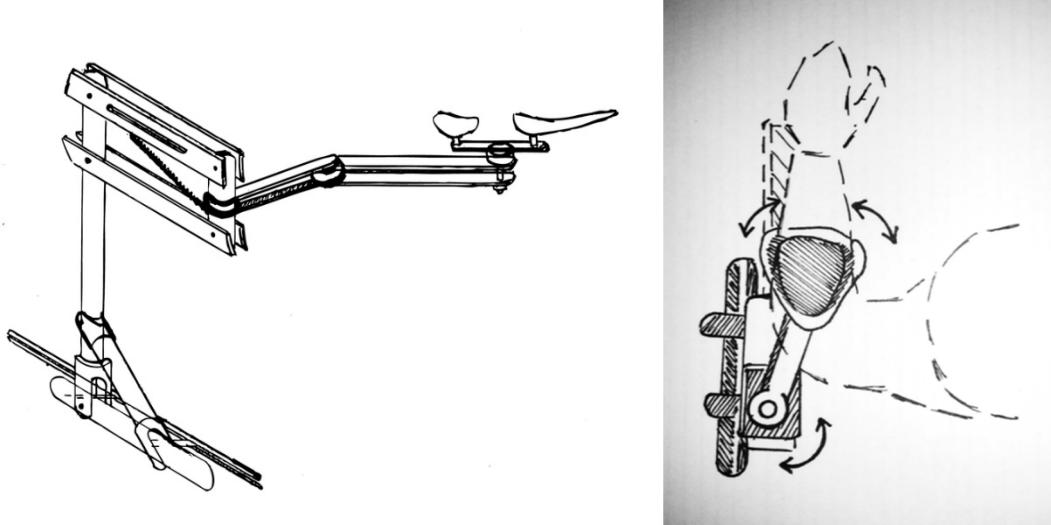


Figura 1: supporto di sostegno

- La seconda idea (*Figura 2*) è diametralmente opposta alla prima: abbiamo infatti pensato a un supporto di sospensione, che si sviluppasse dall'alto verso il basso. Un braccio fisso, cavo, collegato alla slitta posteriore della carrozzina, permette di arrivare sopra il poggiapiedi di Martina.

Per il lavoro a gravità zero del braccio sono inseriti all'interno del tubo alcuni pesetti all'altezza della seduta, collegati tramite un filo ad una molla. Quest'ultima è situata in alto, all'interno di un braccio mobile collegato con un cuscinetto al tubo e solidale con i movimenti della spalla sul piano trasversale. Da qui parte un altro filo che viene collegato attraverso un sistema di carrucole allo snodo del gomito, ottenendo così tutti i movimenti richiesti.

Quando il sistema non è in utilizzo, si scollega lo snodo del gomito dal filo che viene successivamente arrotolato intorno alla carrucola in modo che non sia d'ostacolo.

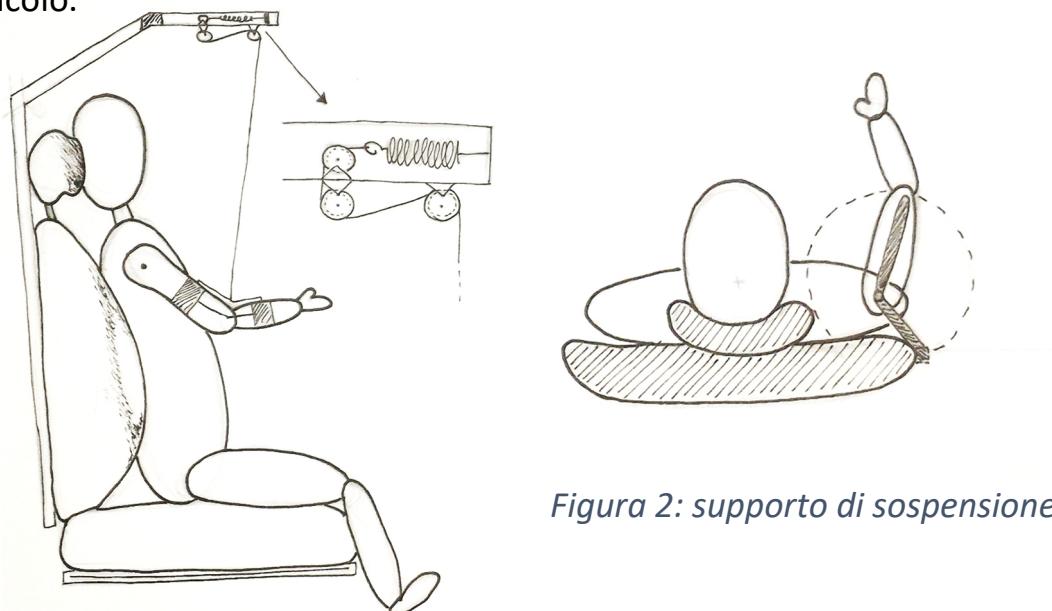


Figura 2: supporto di sospensione

Soluzione definitiva

Dal confronto delle due idee si è notato che la prima conferiva al sistema meno ingombro, maggiore facilità di manutenzione ed eliminava efficacemente i problemi di attrito, a discapito della facilità di realizzazione e di calibrazione. La seconda, invece, garantiva un rapido ed efficace montaggio e una maggiore resistenza all'usura, ma assomigliava troppo ad un presidio medico e poteva portare a possibili oscillazioni incontrollate che ne diminuivano il campo di lavoro. Essendo inoltre sviluppata in altezza, poteva essere più ingombrante e difficile da gestire. Per questi motivi, parlandone anche con la famiglia si è scelto di portare avanti la prima idea, preoccupati principalmente dal fatto di non riuscire a controbilanciare le eventuali oscillazioni del supporto in sospensione che potevano essere fastidiose o addirittura dannose per Martina sia durante l'uso che in modalità inattiva.

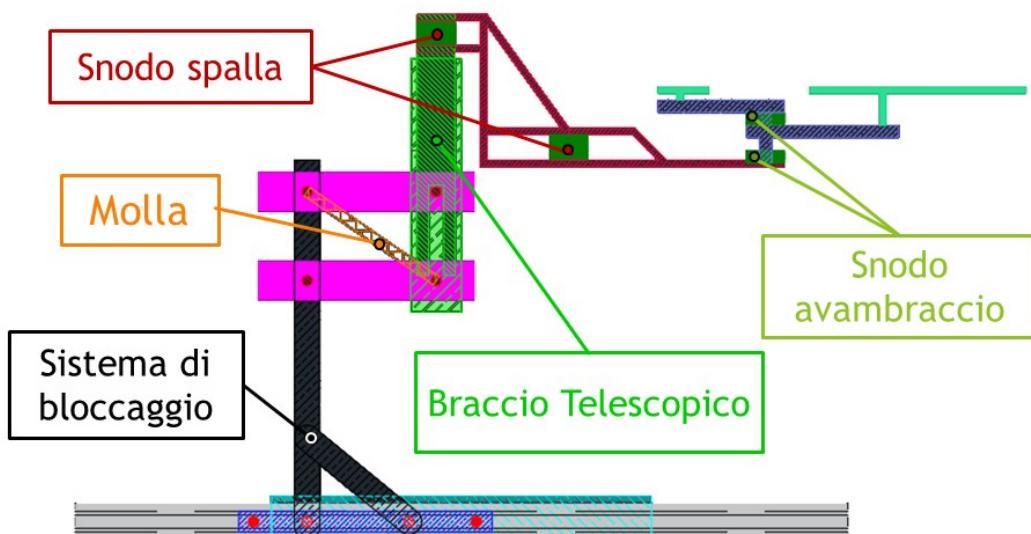


Figura 3: Soluzione definitiva

La soluzione definitiva prevede un supporto brachiale di sostegno agganciato a una slitta laterale della carrozzina e ripiegabile su un lato quanto non è in uso.

È formato da diverse parti:

- Sistema di bloccaggio, formato da pezzo a “c” e vite, serve a bloccare la struttura quando è in uso e a consentirne il ripiegamento di lato quando non serve;
- Sistema a parallelogramma, formato da due coppie di sbarrette parallele tra cui è collegata una molla per eliminare il peso del braccio e addirittura consentire il parziale movimento sul piano verticale;
- Braccio telescopico, che consente di regolare in altezza il dispositivo e che ne permette l'adattabilità a qualunque altezza del piano di lavoro;
- Snodo spalla e snodo avambraccio, formati da sistema di sbarrette e cuscinetti utilizzati per eliminare l'attrito e consentire il movimento sul piano orizzontale;
- Supporti avambraccio, stampati in 3D e rivestiti con gommapiuma per dare comfort ed ergonomia al sistema.

Parte 3: Realizzazione del prototipo

Passaggi preliminari

Prima di iniziare con la costruzione del supporto, si è costruito un modellino in Lego® (*Figura 4*) per testare la possibile efficacia dei giunti pensati e per avere un'idea delle proporzioni con cui costruire il prototipo a dimensione reale.

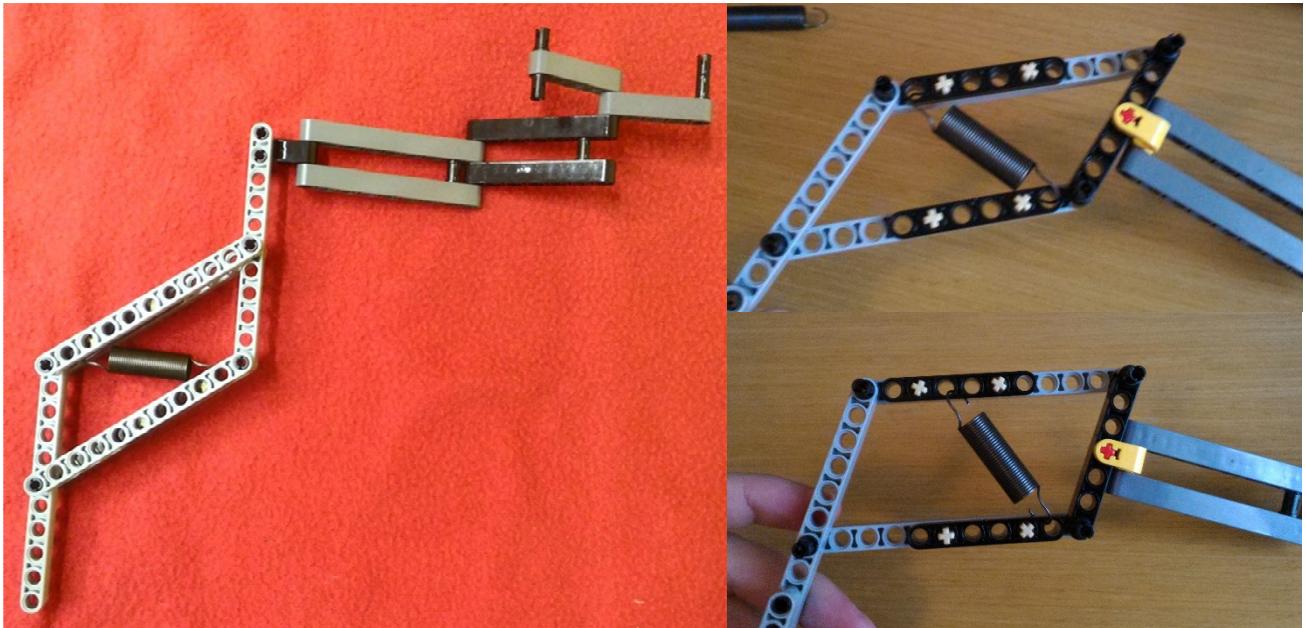


Figura 4: modellino in Lego®

Successivamente, è stato necessario incontrarsi nuovamente con Martina prendere studiare la sua carrozzina e prenderne le misure (*Figura 5*), dato che è fornita di molti meccanismi per la regolazione di altezza, reclinazione della seduta, ecc...

L'obiettivo principale era quello di individuare il punto ottimale di aggancio del supporto, in modo che fosse utilizzabile nella maggior parte delle configurazioni della seduta e fosse solidale con essa, evitando allo stesso tempo che interferisse con gli altri meccanismi e che gravasse sull'equilibrio dell'intera struttura. Si è deciso per questo di usare la slitta laterale più bassa, la più lontana dai braccioli e la più vicina al baricentro della carrozzina.

Inoltre, per capire meglio l'altezza di lavoro più comoda a Martina, fissata una delle combinazioni di altezza/inclinazione della seduta più adatte all'esigenza, si sono fatte diverse prove con un piano inclinato posizionato a diverse altezze dalla sua seduta e chiedendole di prendere piccoli oggetti davanti a lei (*Figura 6*).

Purtroppo da queste prove non si è stati in grado di ricavare con precisione un'altezza definitiva, ma si è capito il range di altezze in cui il supporto poteva lavorare senza dar fastidio né alla carrozzina né alla bambina.

Figura 5: carrozzina quotata (Quantum Pride Q6 Edge)

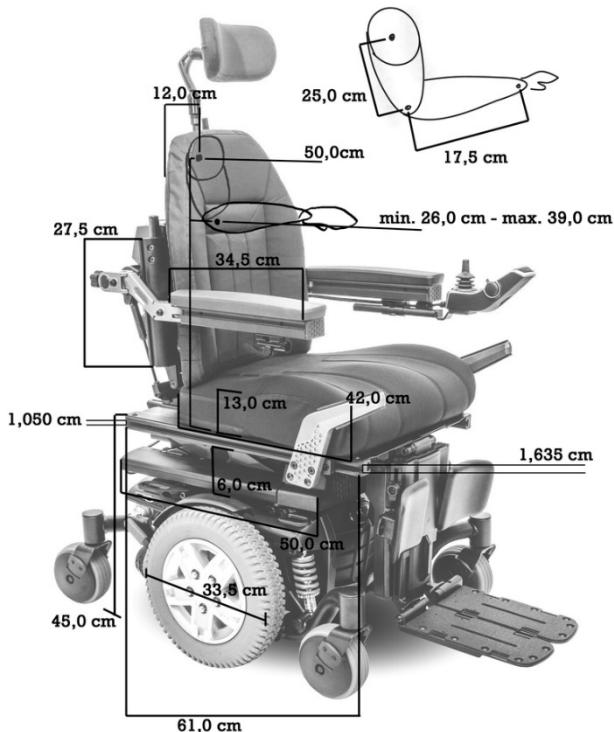


Figura 6: prove con piano inclinato

Costruzione parte meccanica

Per realizzare la parte meccanica sono stati effettuati diversi passaggi. Innanzitutto, si sono scelti dei materiali facilmente lavorabili anche senza attrezzature sofisticate, come l'alluminio e acciaio. La base è stata ottenuta tagliando una travetta a sezione quadrangolare raccordata cava di acciaio a cui sono state poi collegate, mediante viti e manopole di chiusura, i due inserti a slitta per il collegamento con la carrozzina. Il resto della struttura, costituito da due piantoni verticali con interposto un pantografo di regolazione verticale e dal braccio mobile orizzontale, segue lo stesso pattern strutturale: due lamine di ferro zincato preforate vengono collegate e mantenute parallele da viti e dadi, aggiungendo cuscinetti assiali nei punti di snodo e rivestendo il tutto con alluminio laminato, per rendere la struttura più solida e nascondere i punti sensibili. L'intera struttura è stata successivamente sottoposta ad imprimitura e a stesura di uno strato di zinco passivante, per prevenirne l'ossidazione. Il giunto tra il secondo piantone verticale e il braccio snodato orizzontale avviene mediante dei cuscinetti assiali a sfere, su cui è anche posto un meccanismo che rende possibile, mediante semplici passaggi, il ripiegamento della struttura che in posizione passiva si trova su un lato della carrozzina, lontano dalle ruote, e garantisce un ingombro molto contenuto. I rimanenti gradi di libertà vengono garantiti da cuscinetti a rulli, messi a coppie nel doppio snodo che consente il movimento sul piano orizzontale. Il tutto è stato pensato per rendere facilmente accessibili i punti di snodo per eventuali sostituzioni dei pezzi usurati (*Figura 7*).

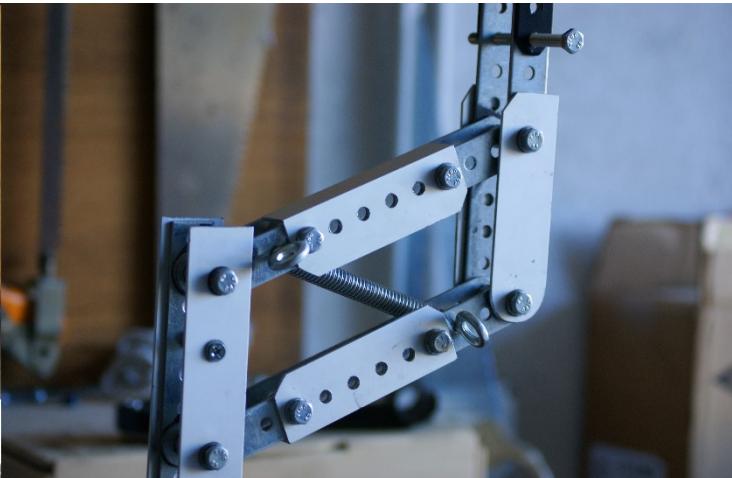
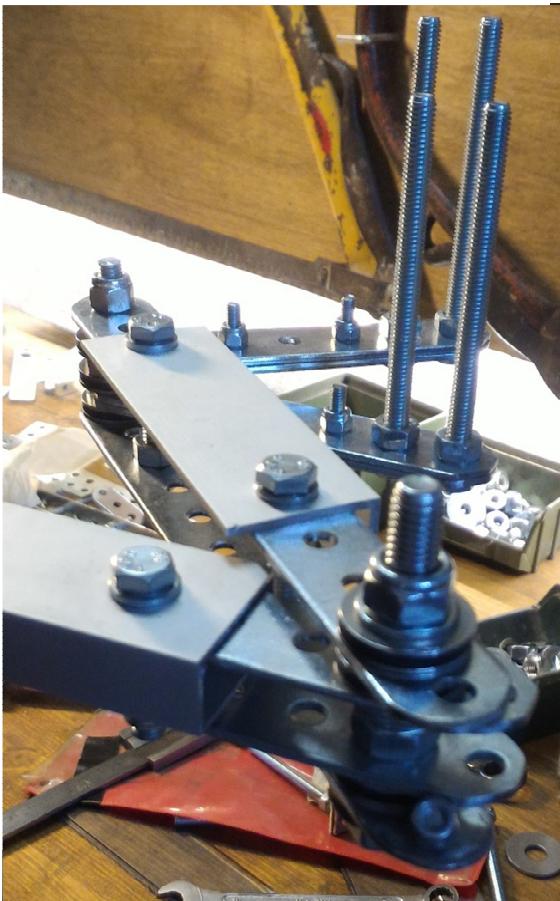


Figura 7: dettagli delle parti meccaniche costruite.

Costruzione finale sia in configurazione attiva che inattiva.



Supporti braccio

Parallelamente alla costruzione della parte meccanica, si sono realizzati due supporti in plastica, uno per braccio e avambraccio, stampati in 3D e successivamente ricoperti con appoggi di stoffa e gommapiuma.

Innanzitutto, partendo dalle misure prese in precedenza del braccio di Martina è stato necessario stimare larghezza e lunghezza degli stessi tali da evitare che i due supporti tocassero tra loro durante l'utilizzo, interferendo tra loro durante il movimento a forbice. Per lo spessore, si è dovuto tenere in conto in primo luogo della solidità degli stessi perché tutto il peso del braccio si scaricava su di essi e del fatto gli appoggi sarebbero stati ricoperti con stoffa e gommapiuma, per cui lo spazio di alloggiamento di braccio e avambraccio si sarebbe ridotto.

La prima bozza di entrambi è stata realizzata in 3D con Autocad®2017, lavorando principalmente per ottenere una forma il quanto più ergonomica e funzionale possibile. Successivamente, si è passati a perfezionarli con SolidWorks® 2016 aggiungendo gli agganci con la parte meccanica e rifinendo alcuni spessori, irrobustendo le parti più sollecitate e alleggerendo quelle più scariche (*Figura 9*). A questo punto, dopo aver convertito il file nel formato adeguato, si è passati alla stampa 3D con PLA, un materiale plastico duro e resistente (*Figura 8*).



Figura 8: supporti stampati in PLA con stampante 3D.

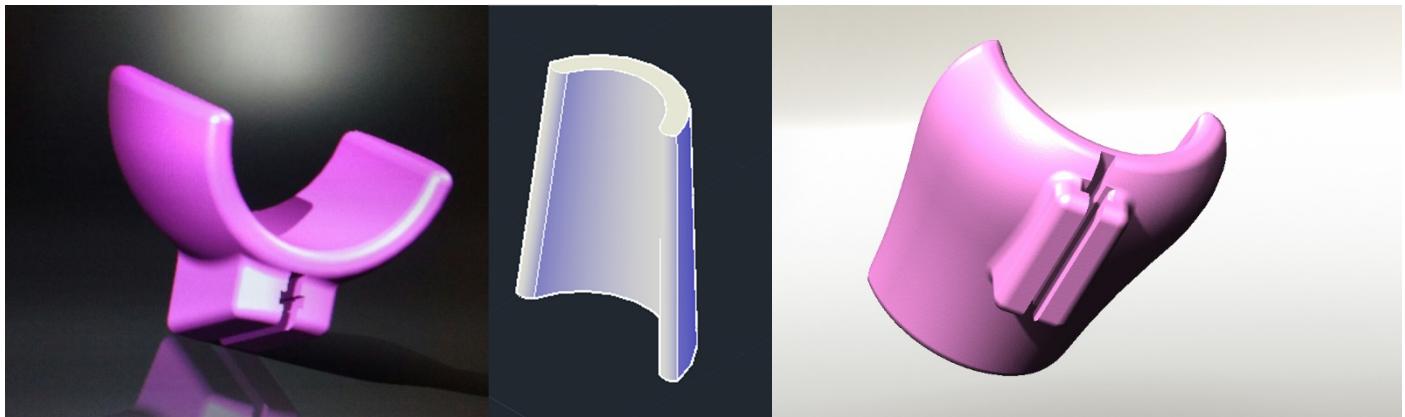


Figura 9: al centro la prima bozza su AutoCad, ai lati i progetti finali del supporto di avambraccio (destra) e del braccio (sinistra).

Prototipo presentato

