



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA  
**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

SVILUPPO E COLLAUDO DI CARROZZINE A GEOMETRIA  
VARIABILE PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLA POSTURA E  
DELL'EFFICIENZA DI SPINTA

*Relatore: Prof. Nicola Petrone*

*Laureando: Andrea Visaggio*

*Matricola: 1063959*

Anno Accademico 2017/2018

# INDICE

INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO 1 Postura e spinta in relazione alla carrozzina.....	4
• 1.1 La postura .....	4
• 1.2 La spinta.....	6
CAPITOLO 2 Variabili geometriche di influenza.....	9
• 2.1 La scheda d'ordine.....	9
• 2.2 Principali caratteristiche geometriche influenti.....	11
CAPITOLO 3 Modello BW500.....	14
• 3.1 Caratteristiche della carrozzina.....	15
3.1.1 Regolazioni disponibili.....	15
3.1.2 Accoppiamenti tra le regolazioni.....	17
• 3.2 Le regolazioni.....	17
3.2.1 Le staffe di regolazione.....	18
3.2.2 Regolazione dell'altezza posteriore della seduta.....	20
3.2.3 Regolazione dello sbilanciamento.....	21
3.2.4 Ulteriori modifiche.....	22
• 3.3 La prova.....	23
• 3.4 Risultati.....	24
CAPITOLO 4 Modello VIPE.....	25
• 4.1 Fase preliminare.....	27
• 4.2 Il pantografo elevatore: introduzione.....	28
4.2.1 Parametri geometrici soggetti a regolazione dal pantografo elevatore.....	30
• 4.3 Le regolazioni.....	30
4.3.1 Regolazione dell'altezza della seduta.....	31
4.3.2 Regolazione dello sbilanciamento.....	33
4.3.3 Regolazione dell'angolo di inclinazione della seduta.....	34

4.3.4	Regolazione dell'inclinazione dello schienale.....	36
4.3.5	Regolazione della distanza pedana-seduta.....	37
4.3.6	Tabella riassuntiva delle regolazioni.....	38
CAPITOLO 5	Modello Venus ADJ.....	39
• 5.1	Il modello Venus.....	40
• 5.2	Le regolazioni.....	40
5.2.1	Regolazione del passo.....	41
5.2.2	Regolazione dell'altezza posteriore della seduta.....	43
5.2.3	Regolazione dell'inclinazione dello schienale.....	44
5.2.4	Regolazione della distanza seduta-pedana.....	46
5.2.5	Tabella riassuntiva delle regolazioni.....	47
CAPITOLO 6	Modello VIPE 2.....	48
• 6.1	Fase preliminare.....	49
• 6.2	Le regolazioni.....	51
6.2.1	Regolazione dell'altezza della seduta.....	52
6.2.2	Regolazione dello sbilanciamento.....	54
6.2.3	Regolazione dell'inclinazione della seduta.....	54
6.2.4	Regolazione dell'inclinazione dello schienale.....	55
6.2.5	Regolazione della distanza pedana-seduta.....	56
6.2.6	Regolazione del passo.....	56
6.2.7	Tabella riassuntiva delle regolazioni.....	56
CAPITOLO 7	Confronto tra i modelli e conclusione.....	57
BIBLIOGRAFIA	.....	58
APPENDICE	.....	59
RINGRAZIAMENTI	.....	60

## **INTRODUZIONE**

L'obiettivo della tesi è stato quello di progettare e, qualora è stato possibile, realizzare e testare, carrozzine "a geometria variabile" intese come carrozzine la cui geometria possa essere modificata mediante sistemi di regolazione in modo tale da determinare, in tempo reale quindi permettendo all'utente di non dover scendere dal mezzo, la configurazione a lui più adatta in termini di comfort, di postura e di prestazioni. Ogni utente infatti è unico, poiché oltre ai fattori legati alla conformazione vi sono quelli legati alla disabilità: la complessità dell'insieme di questi rende di fatto impossibile determinare a priori la carrozzina idealmente perfetta per il singolo, se non parzialmente su indicazione dello stesso sulla base dell'esperienza con una carrozzina già in suo possesso. Questo studio quindi si rivolge agli utenti di carrozzine costruite su misura e vuole poter offrire un mezzo efficace per la determinazione della configurazione geometrica ottimale del proprio mezzo. A tal fine sono state progettate 4 diverse carrozzine a geometria variabile poiché, per quanto l'obiettivo rimanga comune tra loro, differente è l'ambito del loro utilizzo e conseguentemente differenti soluzioni sono state concepite per i rispettivi meccanismi di regolazione.

Partner di questo studio è stata l'azienda OffCarr s.r.l. (indirizzo), che non solo ha fornito mezzi per la realizzazione di alcuni dei progetti ma si è inoltre resa disponibile a condividere l'esperienza maturata in più di trent'anni di attività.

# CAPITOLO 1

## Postura e spinta in relazione alla carrozzina

### 1.1 La postura in carrozzina

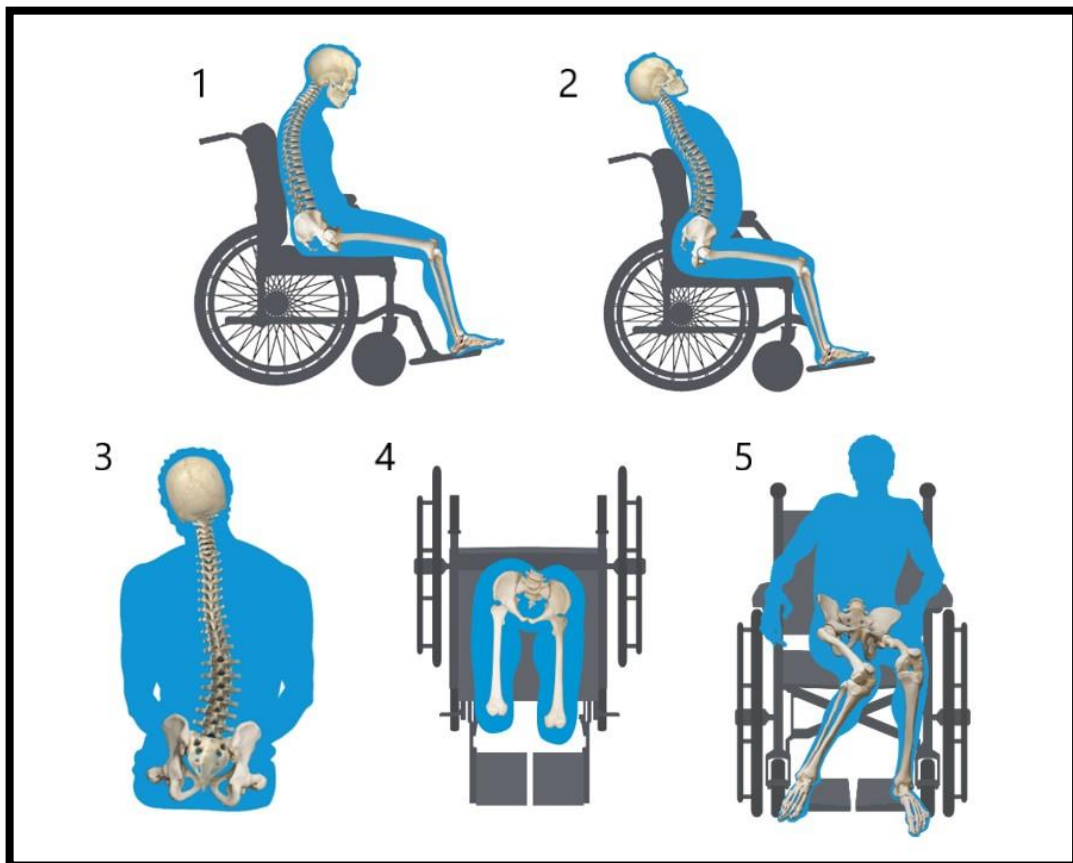


*Figura 1.1 La corretta posizione da mantenere in carrozzina*

Una corretta postura durante l'utilizzo della carrozzina non solo ne garantisce il comfort ma è soprattutto fondamentale nella prevenzione a medio-lungo termine di patologie legate alla colonna vertebrale, anche gravi.

Patologie comunemente riscontrate causate da una cattiva postura infatti sono l'ipercifosi cervicale o toracica, scoliosi, iperlordosi, rotazione della spina dorsale, iperestensione e flessione laterale del collo (Figura 1.1), tendenzialmente scaturite da una scorretta posizione del bacino la quale conseguentemente va ad interessare la spina dorsale e la posizione della testa. Studi recenti hanno

constatato come circa il 60% degli utenti di carrozzine soffrano di dolori legati al collo [2], essendo questo interessato nella quasi totalità dei casi di cattiva postura.



*Figura 1.2 esempi illustrati di patologie legate ad una scorretta postura in carrozzina: 1. Inclinazione pelvica posteriore con ipercifosi toracica e flessione anteriore del collo (detta anche “seduta sacrale”); 2. Inclinazione pelvica anteriore con iperlordosi lombare e iperestensione del collo; 3. Obliquità pelvica con scoliosi e flessione laterale del collo; 4. Rotazione pelvica con rotazione della spina dorsale e flessione laterale del collo; 5. Definita in letteratura “windswept deformity”, presenta rotazione e/o obliquità pelvica, con adduzione e rotazione di una gamba e abduzione e rotazione esterna dell’altra, causando scogliosi o rotazione della spina dorsale e flessione laterale del collo. [1]*

Detto ciò è necessario precisare che una scorretta postura in carrozzina non sia tanto da imputare direttamente all'utente, quanto ad una cattiva regolazione o scelta della carrozzina: l'utente infatti non deve sforzarsi di assumere la corretta postura, sia da fermo che in moto, ma deve essere agevolato dal mezzo ad assumerla, naturalmente, da rilassato.

In figura 1.1 viene illustrata la corretta postura che andrebbe assunta in carrozzina, conseguente ad una buona scelta e regolazione del mezzo, dove la colonna vertebrale è equilibrata e verticale, senza rotazione e senza curvatura laterale, presentando lordosi normale nelle zone cervicale e lombare, e cifosi normale nella zona toracica (dando luogo alla forma a "S" desiderata) [1].

## **1.2 La spinta**

Oltre a quanto detto in 1.1 riguardo le possibili problematiche legate ad una postura scorretta in carrozzina, ve sono altre legate intrinsecamente all'utilizzo stesso del mezzo, dovute al fatto che il corpo umano non è designato quindi specializzato a svolgere tali attività, se non per un tempo limitato: se ad esempio gli arti inferiori hanno una conformazione tale da essere ottimizzata per la camminata, ciò non vale per la conformazione degli arti superiori nell'attività propulsoria della carrozzina, per quanto entrambe siano legate al moto della persona, quindi attività frequenti che sollecitano ciclicamente gli arti e le corrispondenti articolazioni. Quanto detto comporta comunemente patologie dolorose legate alle spalle e ai polsi, ossia all'usura delle cartilagini delle articolazioni e quindi all'infiammazione dei tendini (circa il 50% delle persone in carrozzina ne è soggetto), ma risulta ancor più evidente per gli atleti di sport in carrozzina, dove durante l'attività sportiva l'entità e la frequenza delle sollecitazioni è maggiore e può portare ad infortuni, ad esempio lussazioni [3].

L'attività propulsoria dell'utente o dell'atleta in carrozzina, così come visto per la postura in 1.1, è legata alla conformazione della carrozzina stessa ed in particolare alla posizione della persona rispetto alle ruote; tuttavia, a differenza di quanto visto per la postura, non risulta semplice determinare direttamente la configurazione della carrozzina tale da minimizzare gli effetti negativi a medio-lungo termine sulle articolazioni: l'analisi del movimento può sì determinare eventuali angoli sfavorevoli per le articolazioni, ma tendenzialmente il movimento di spinta viene studiato

per valutarne l'efficienza, andando a determinare la configurazione migliore in termini di comfort ma soprattutto di prestazioni dell'utente.

A tal proposito sono stati condotti ampiamente studi per cercar di comprendere al meglio e, quando possibile, quantificare, il legame tra l'assetto della carrozzina e le prestazioni; si vogliono qui menzionare [5]: Mason et al. (2010) ha indagato sull'effetto del cambio di assetto della carrozzina in ambito sportivo, interessando atleti provenienti dal basket, il rugby ed il tennis, arrivando alla conclusione che i parametri che più influenzano le prestazioni sportive sono l'altezza e l'avanzamento della seduta, parametri che andrebbero quindi settati con precisione per ogni atleta; Usma-Alvarez et al. (2011) ha condotto degli sprint test (14 m) su atleti di Wheelchair Rugby, variando l'altezza e la posizione orizzontale della seduta e l'angolo di camber, misurando la velocità e l'accelerazione con un ergometro, denotando l'importanza della posizione del Balance Point (legato alla posizione orizzontale della seduta) nelle prestazioni; Mason et al. (2013) ha studiato gli effetti della posizione della seduta e dell'uso di diverse ruote, variando anche la camber, su molti aspetti legati alle prestazioni (Figura 1.3); Haydon et al. (2018) ha utilizzato una carrozzina da rugby regolabile per una serie di sprint test da 5m, variando la posizione e l'angolo della seduta monitorando, per mezzo di video e sensori installati sulla sedia, gli effetti conseguenti sul ciclo di spinta.

Method	Measures	Increased seat height [22]	Posterior seat position [27, 29]	Greater camber [54, 55]	Larger main wheels [60, 61]	Lower gear ratio [63–65]
Submaximal laboratory						
Physiology	Power output	=	?	↑	↓	=
	Mechanical efficiency	↑	?	↑	↓	↑
	Oxygen uptake	↓	?	↑	↓	↓
	Pushing economy	↑	?	↓	↑	↓
	Heart rate	↓	?	↑	↓	↓
Kinematics	RPE	?	?	=	=	?
	Push times	↓	↑	=	=	=
	Stroke frequencies	↑	=	=	=	=
	Push angles	↓	↑	=	↓	=
	Kinetics	Resultant force	↑	?	?	↓
Tangential force		?	?	?	↓	?
Force development rate		?	?	?	= (↓ trends)	?
Torque		↓	?	?	↓	?
Work per cycle		?	?	?	↓	↓
Maximal field						
Performance	Sprinting-linear times	?	?	↑	↓	?
	Initial acceleration	?	?	= (↓ trends)	=	?
	Peak velocity	?	?	=	↑	↑
	Braking	?	?	=	?	?
	Manoeuvrability	?	?	↑	=	?

All changes reported are statistically significant  
 ↑ indicates increase, ↓ indicates decrease, = indicates no change, ? indicates unknown/not measured

Figura 1. Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1 Mason et al. (2013), legame tra prestazioni ed alcuni parametri geometrici.



In questo studio è stata realizzata una carrozzina proprio a tal scopo e, come verrà esposto nel prossimo capitolo, sono stati raccolti i dati riguardanti le prestazioni di vari atleti al variare della geometria della carrozzina.

## **CAPITOLO 2**

### **Variabili geometriche di influenza**

Similmente a quanto accade per ogni mezzo di locomozione, le caratteristiche geometriche che definiscono una carrozzina influiscono fortemente sul comportamento statico/dinamico di questa, sulla sensazione di guida quindi sulle prestazioni dell'utente, o l'atleta, che ne fa uso. Ad ogni modo definire una carrozzina come mero mezzo di locomozione è chiaramente riduttivo poiché oltre agli aspetti strettamente legati alle prestazioni devono essere presi in considerazione quelli legati alla riabilitazione e alla disabilità dell'utente, come ad esempio la postura ed il comfort. La concomitanza di questi fattori può rendere molto difficile la scelta della geometria più adatta per il singolo utente, sia da parte dell'utente stesso che da parte del produttore: pur avendo come riferimento iniziale la conformazione fisica dell'utente ed eventualmente avvalendosi di consulenza medica, la quasi totalità delle carrozzine su misura vengono definite sulla base della carrozzina già in possesso dell'utente, con la possibilità di variarne alcuni parametri geometrici in un secondo momento, mediante collegamenti amovibili. Per tal motivo quando si intende acquistare una carrozzina su misura l'azienda produttrice fornisce al possibile acquirente la scheda d'ordine del modello desiderato dove, oltre ai vari ed eventuali optional, devono essere indicate le principali caratteristiche geometriche che andranno a definire la carrozzina da produrre; qualora all'utente non siano note le misure della carrozzina in suo possesso si provvede alla misurazione di quest'ultima.

#### **2.1 La scheda d'ordine**

La scheda d'ordine è un documento compilativo dove l'acquirente può definire gli optional e le caratteristiche geometriche desiderate. Vengono qui riportate le schede d'ordine di due modelli di carrozzine OffCarr, superleggere a telaio rigido, reperibili dal sito dell'azienda.

I parametri geometrici definibili nelle schede d'ordine sono di fatto i parametri geometrici fondamentali che vanno a definire la carrozzina ed il suo comportamento: le regolazioni progettate in questo studio hanno come punto di partenza tali parametri, andando quindi ad agire su questi e permettendo range di regolazione compatibili con i range presenti nelle schede.


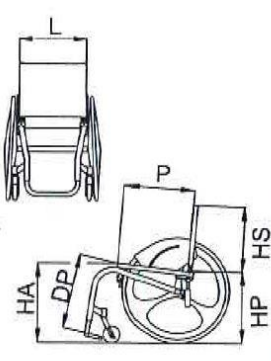
		<input type="checkbox"/> Ordine N° _____ <input type="checkbox"/> Preventivo Data _____ Firma _____ Riferimento cliente _____	
		<h1>PAGINA 1/3</h1> <p>gennaio 2018</p>	
Rivenditore _____		Riferimento Codice <b>NOMENCLATORE TARIFFARIO</b> Carrozzina a telaio fisso superleggera 12.21.06.060 Nr. Repertorio DM: 63888/R	
<b>Legenda</b> <input type="checkbox"/> di serie <input type="checkbox"/> accessori con maggiorazione <input type="checkbox"/> accessori a N.T. <input type="checkbox"/> accessori a listino <input type="checkbox"/> accessori a N.T. con maggiorazione		<h2>VENUS</h2>	
L Larghezza Sedile <input type="checkbox"/> 34 <input type="checkbox"/> 36 <input type="checkbox"/> 38 <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/> 44 <input type="checkbox"/> 46 P Profondità Sedile <input type="checkbox"/> 36 <input type="checkbox"/> 38 <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/> 44 HS Altezza Schienale <input type="checkbox"/> 27 <input type="checkbox"/> 29 <input type="checkbox"/> 31 <input type="checkbox"/> 33 <input type="checkbox"/> 35 <input type="checkbox"/> 37 <input type="checkbox"/> 39 HA Altezza Sedile Anteriore <input type="checkbox"/> 46 <input type="checkbox"/> 48 <input type="checkbox"/> 50 HP Altezza Sedile Posteriore <input type="checkbox"/> 39 <input type="checkbox"/> 41 <input type="checkbox"/> 43 <input type="checkbox"/> 45 <input type="checkbox"/> 47 DP Distanza Sedile Pedana <input type="checkbox"/> 31 <input type="checkbox"/> 33 <input type="checkbox"/> 35 <input type="checkbox"/> 37 <input type="checkbox"/> 39 <input type="checkbox"/> 41 <input type="checkbox"/> 43 <input type="checkbox"/> 45 <input type="checkbox"/> 47 <input type="checkbox"/> 49			
cm			
<b>Colore telaio</b> <input type="checkbox"/> Titanio lucido <input type="checkbox"/> Bianco perlato <input type="checkbox"/> Nero brillante <input type="checkbox"/> Nero opaco <input type="checkbox"/> Titanio Naturale <input type="checkbox"/> ..... (vedi catalogo "Colori")		<b>Rivestimento</b> <input type="checkbox"/> Nylon tensionabile <input type="checkbox"/> Tessuto traspirante tensionabile <input type="checkbox"/> Senza telo schienale	

Figura 2.1 Porzione della scheda tecnica del modello Venus di OffCarr®

		<input type="checkbox"/> Ordine N° _____ <input type="checkbox"/> Preventivo Data _____ Firma _____ Riferimento cliente _____	
		<h1>PAGINA 1/3</h1> <p>gennaio 2018</p>	
Rivenditore _____		Riferimento Codice <b>NOMENCLATORE TARIFFARIO</b> Carrozzina a telaio fisso superleggera 12.21.06.060 Schienale regolabile in inclinazione 12.24.06.163 Nr. Repertorio DM: 31641/R	
<b>Legenda</b> <input type="checkbox"/> di serie <input type="checkbox"/> accessori con maggiorazione <input type="checkbox"/> accessori a N.T. <input type="checkbox"/> accessori a listino <input type="checkbox"/> accessori a N.T. con maggiorazione		<h2>IDRA2.0</h2>	
<input type="checkbox"/> IDRA2.0 FISSA <input type="checkbox"/> IDRA2.0 CON ASSE REGOLABILE		 <p>(misura indicativa con P=40 cm)</p>	
L Larghezza Sedile <input type="checkbox"/> 34 <input type="checkbox"/> 36 <input type="checkbox"/> 38 <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/> 44 P Profondità Sedile <input type="checkbox"/> 36 <input type="checkbox"/> 38 <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/> 44 <input type="checkbox"/> 46 HS Altezza Schienale <input type="checkbox"/> 27 <input type="checkbox"/> 29 <input type="checkbox"/> 31 <input type="checkbox"/> 33 <input type="checkbox"/> 35 <input type="checkbox"/> 37 <input type="checkbox"/> 39 <input type="checkbox"/> 41 HA Altezza Sedile Anteriore <input type="checkbox"/> 46 <input type="checkbox"/> 48 <input type="checkbox"/> 50 HP Altezza Sedile Posteriore <input type="checkbox"/> 40 <input type="checkbox"/> 42 <input type="checkbox"/> 44 <input type="checkbox"/> 46 <input type="checkbox"/> 48 DP Distanza Sedile Pedana <input type="checkbox"/> 37 <input type="checkbox"/> 39 <input type="checkbox"/> 41 <input type="checkbox"/> 43 <input type="checkbox"/> 45 <input type="checkbox"/> 47 <input type="checkbox"/> 49			
<b>Colore telaio</b> <input type="checkbox"/> Nero brillante <input type="checkbox"/> Nero opaco <input type="checkbox"/> Bianco perlato <input type="checkbox"/> Rosso perlato <input type="checkbox"/> Antracite luc. <input type="checkbox"/> ..... (vedi catalogo "Colori")		<b>Colore rivestimento schienale</b> <input type="checkbox"/> Nero <input type="checkbox"/> Colorata (nylon) ..... <small>(colori disponibili: arancio, rosso, verde, bluetto, azzurro)</small> <input type="checkbox"/> Jacquard ..... <small>(specificare fantasia)</small> <input type="checkbox"/> Jacquard ..... + Porta Ipad + Pochette <small>(specificare fantasia)</small>	
<b>Telo sedile</b> <input type="checkbox"/> Avvitato <input type="checkbox"/> Tensionato <input type="checkbox"/> Senza telo sedile		<b>Rivestimento schienale</b> <input type="checkbox"/> Nylon tensionabile <input type="checkbox"/> Tessuto traspirante tens. <input type="checkbox"/> Senza telo schienale <input type="checkbox"/> Senza telo sedile	

Figura Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato. 2 Porzione della scheda tecnica del modello IDRA di OffCarr®

## 2.2 Principali caratteristiche geometriche influenti

Le principali caratteristiche geometriche influenti su prestazioni e comfort sono:

- Larghezza sedile (L)
- Profondità sedile (P)
- Altezza schienale (HS)
- Altezza sedile, anteriore (HA)
- Altezza sedile, posteriore (HP)
- Distanza sedile-pedana (DP)
- Angolo di inclinazione dello schienale ( $\alpha$ )
- Distanza tra centro mozzo e schienale (“sbilanciamento”)
- Passo ruota (i)

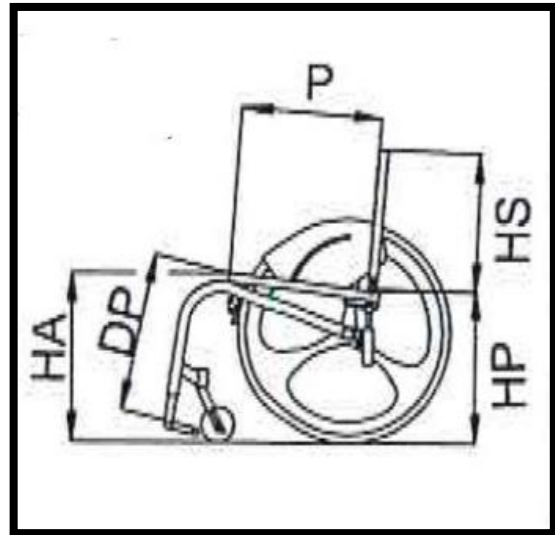


Figura 2.3 Rappresentazione qualitativa delle principali caratteristiche geometriche influenti

### a. Larghezza sedile (L)

È un parametro legato al comfort e alla conformazione fisica dell'utente. Non influisce sugli altri parametri geometrici.

### b. Profondità sedile (P)

È un parametro legato al comfort e alla conformazione fisica dell'utente. In fase progettuale è un parametro da tener conto nel momento in cui si vanno a definire gli altri parametri legati alla seduta, in particolar modo quando questa è parte integrante del telaio: ad esempio, a parità di altezza posteriore ed inclinazione della seduta, variando la profondità del sedile si avranno valori di altezza anteriore differenti quando questa, come verrà spiegato in seguito, deve rientrare in un range relativamente limitato da fattori oggettivi.



Figura 2.4 Larghezza della seduta

### c. Altezza schienale (HS)

È un parametro legato al comfort e alla conformazione fisica dell'utente. Non influisce sugli altri parametri geometrici.

### d. Altezza sedile, anteriore (HA)

È un parametro il cui range è limitato poiché legato a fattori oggettivi: in particolare, l'utente deve poter accedere ad un comune tavolo senza collidere con esso e nel contempo l'altezza anteriore deve essere maggiore o tutt'al più uguale a quella posteriore, così da avere un'inclinazione della seduta atta a sfavorire o impedire lo scivolamento in avanti. Detto ciò, questo è uno dei parametri che per primi vengono fissati in modo tale i parametri successivi ne tengano conto.

**e. Altezza sedile, posteriore (HP)**

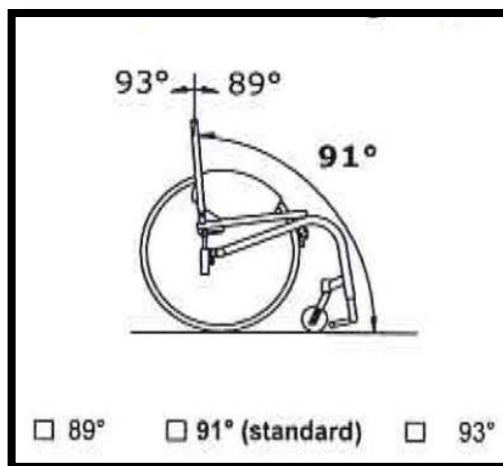
Una volta determinate l'altezza anteriore e la profondità del sedile, l'altezza posteriore va a determinare l'angolo di inclinazione della seduta ( $\beta$ ), parametro di notevole importanza poiché legato al grado di disabilità dell'utente: orientativamente, l'inclinazione sarà maggiore al crescere del grado di disabilità dell'utente così da prevenirne lo scivolamento in avanti ed aumentare il senso di sicurezza nell'utilizzo della carrozzina.

**f. Distanza sedile-pedana (DP)**

È un parametro legato al comfort e alla conformazione fisica dell'utente. Non influisce sugli altri parametri geometrici.

**g. Angolo di inclinazione dello schienale ( $\alpha$ )**

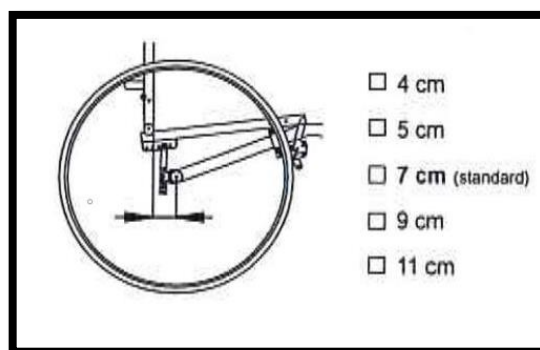
È un parametro legato al comfort e alla postura, molto standardizzato: salvo casi particolari, come l'aggiunta di cuscini o schienali indicati per alcune patologie, il range è un intorno ristretto dei 90° rispetto al piano. Nonostante ciò, è molto importante scegliere con cura questo parametro poiché insieme all'angolo di inclinazione della seduta ed altri, seppur meno influenti o di più facile determinazione, va a determinare la postura dell'utente: un'errata scelta infatti può portare, nel lungo termine, a problemi posturali (comunemente a cifosi).



*Figura 2.5 Inclinazione dello schienale. Si nota come sia un parametro il cui range è limitato.*

#### **h. Distanza tra centro mozzo e balance point (S)**

Noto più sinteticamente come “sbilanciamento”, è la componente orizzontale della distanza tra l’asse ruota posteriore e l’asse d’intersezione tra i piani di appoggio di seduta e schienale. È un parametro che influisce fortemente sulla stabilità a ribaltamento della carrozzina, quindi sulla sensazione di guida, poiché di fatto va a determinare la posizione del



*Figura 2.6 Lo sbilanciamento e come viene misurato*

baricentro rispetto ai punti d’appoggio: all’aumentare dello sbilanciamento (quindi arretrando la seduta rispetto al mozzo) aumenta la tendenza della carrozzina ad impennarsi, ma ciò non va preso esclusivamente come un aspetto negativo poiché viene offerta all’utente la possibilità di avere un mezzo più dinamico, dato il minor carico percentuale scaricato sui ruotini anteriori; la determinazione di questo parametro quindi è legata all’utente particolare e al suo grado di mobilità: tendenzialmente un utente giovane e dotato di buona mobilità opterà per una carrozzina “dinamica”, più maneggevole, quindi con un buon grado di sbilanciamento, mentre un utente che non sente il bisogno di queste caratteristiche può optare per una carrozzina che offre una maggior sensazione di sicurezza e stabilità.

Per quanto questo parametro sia legato principalmente al comportamento dinamico della carrozzina, nella sua determinazione è necessario tener conto anche di possibili problemi posturali a lungo termine: vi sono casi in cui l’utente tende a compensare la tendenza all’impennamento della carrozzina, evidentemente legata a uno sbilanciamento eccessivo, piegando scorrettamente in avanti busto e capo, favorendo l’insorgere di cifosi.

#### **i. Passo ruota (i)**

È un parametro che ha effetti simili allo sbilanciamento, per quanto sia più standardizzato (essendo legato alle dimensioni del telaio), e che tendenzialmente viene scelto in base alla corporatura dell’utente, in linea con la profondità del sedile (P). Al diminuire del passo la carrozzina presenta una maggiore manovrabilità, mentre aumentandolo si favorisce la stabilità.

## CAPITOLO 3

### Carrozzina a geometria variabile BW500



*Figura 3.1 Il modello BW500*



L'obiettivo è stato quello di apportare delle modifiche ad un modello di carrozzina da Basket già altamente personalizzabile, la BW500 della OffCarr, al fine di poter effettuare serie di test su un banco prova atti a misurare e valutare le prestazioni di vari soggetti in funzione della geometria della carrozzina. Dato il numero di set geometrici (quindi test) previsti per ogni soggetto, nove, si è dimostrato necessario realizzare dei sistemi di regolazione tali da permettere all'atleta di rimanere in posizione e non dover smontare dalla carrozzina. Oltre a ciò i test sono stati effettuati su atleti di WheelChair Rugby, per cui sono state effettuate ulteriori modifiche al fine di avvicinare la geometria della carrozzina, da basket, ad una da rugby. I test sono stati condotti dal dottor. Paolo Sacerdoti, come tesi di laurea magistrale.

### 3.1 Caratteristiche della carrozzina

Questo modello di carrozzina è stato progettato per gli utenti che si interfacciano per la prima volta con il Basket in carrozzina e vuole essere quindi un punto di partenza. A tal fine la geometria della carrozzina è altamente personalizzabile, così che un utente alle prime armi possa determinare la geometria a lui più adatta per l'esperienza di gioco e, eventualmente, passare successivamente ad una carrozzina personalizzata, più performante. Un'altra particolarità di questo modello sono i range delle regolazioni, molto estesi (come si può osservare in *Fig. 3.2*) così da permetterne l'utilizzo da parte sia degli aspiranti atleti più giovani che agli adulti.

#### 3.1.1 Regolazioni disponibili

Tutte le regolazioni della BW500 disponibile in commercio avvengono mediante collegamenti bullonati e sono a passo discreto (eccezion fatta per l'avanzamento della pedana). Sono possibili le regolazioni di:

- **Altezza schienale (HS):** come accade per la quasi totalità delle carrozzine, lo schienale è composto da tubi telescopici che ne permettono la regolazione dell'altezza.
- **Altezza sedile, anteriore (HA):** la regolazione dell'altezza anteriore avviene per mezzo dello scorrimento dei tubi telescopici che costituiscono le gambe frontali del telaio; anche per permettere questa regolazione, il telaio della BW500 ha la particolarità di ospitare un elevato numero di coppie rotoidali, 3 per lato (2 di queste collegano la gamba alla base del telaio e alla seduta, la restante collega la seduta alla staffa di regolazione dell'altezza posteriore): ciò ha come controindicazione quella di provocare un notevole accoppiamento tra le regolazioni. Ad



esempio, rimanendo sulla regolazione dell'altezza del sedile anteriore, facendo estendere i tubi telescopici non si interviene solo su HS, quindi sull'angolo di inclinazione della seduta, ma si ha anche una variazione dello "sbilanciamento".

- **Altezza sedile, posteriore (HP):** la regolazione avviene per mezzo di staffe che collegano, sempre mediante collegamenti bullonati, la seduta al telaio. Il collegamento staffa/telaio avviene all'altezza del mozzo ruota ed è tale per cui alla staffa viene impedita la rotazione (se così non fosse, a causa della presenza di 3 coppie rotoidali per lato, il telaio andrebbe a formare un quadrilatero articolato).
- **Distanza sedile-pedana (DP):** la pedana è collegata alla base del telaio mediante staffe di regolazione che ne possono regolare l'avanzamento (in maniera continua) e l'altezza (discretamente, come per il resto delle regolazioni).
- **Angolo di inclinazione dello schienale:** la regolazione avviene per mezzo delle spondine salva-abiti, realizzate in lamiera, che collegano i tubi dello schienale a quelli della seduta.
- **Distanza tra centro mozzo e balance point ("sbilanciamento"):** la regolazione avviene per mezzo della posizione del collegamento tra la seduta e la stessa staffa che ne regola l'altezza posteriore. Da notare il forte accoppiamento presente tra la regolazione di questo parametro e l'angolo di inclinazione della seduta.



*Figura 3.2 Regolazioni già in dotazione alla BW500*

### **3.1.2 Accoppiamento tra le regolazioni**

Come accennato in 3.1.1 la particolare geometria della carrozzina, nel permettere una vasta gamma di regolazioni, presenta un forte accoppiamento tra quest'ultime. In particolare si segnala l'accoppiamento tra i parametri di:

- “sbilanciamento”/ angolo di inclinazione della seduta (altezza frontale della seduta): nel variare lo sbilanciamento, quindi andando a fissare la seduta alla staffa in posizione più avanzata o arretrata, si ha che, a causa della presenza delle coppie rotoidali che costituiscono i collegamenti di staffa/seduta, seduta/gamba e gamba/base del telaio, viene alterata anche l'inclinazione della seduta. Volendo ovviare a questo inconveniente, quindi volendo mantenere inalterato l'angolo di inclinazione della seduta, sarebbe necessario intervenire sull'altezza frontale di quest'ultima modificando l'estensione dei tubi telescopici che costituiscono le gambe del telaio; tuttavia ciò è possibile solo in parte a causa della non continuità delle regolazioni.
- Angolo di inclinazione della seduta/sbilanciamento: l'accoppiamento si presenta nel momento in cui la coppia rotoidale che fissa la seduta alla staffa non si trova nella posizione per cui la seduta è completamente avanzata, ossia quella di minimo sbilanciamento (quasi nullo). Nel momento in cui la seduta si trova in una qualsiasi posizione più arretrata si ha che, nel modificare l'inclinazione di quest'ultima agendo sull'altezza frontale o posteriore, si ha anche una leggera variazione dello sbilanciamento, crescente con il valore di quest'ultimo.
- Angolo di inclinazione della seduta/angolo di inclinazione dello schienale: la regolazione dell'angolo di inclinazione dello schienale, per com'è definito, non ne determina l'angolo assoluto, rispetto al piano, ma quello relativo tra schienale e seduta. Nel modificare l'angolo della seduta, ad esempio agendo sull'altezza posteriore, si va quindi a modificare anche quello dello schienale che, per variazioni consistenti, dovrà essere modificato di conseguenza.

### **3.2 Le regolazioni**

Per questa carrozzina, già altamente personalizzabile, sono stati progettati e realizzati sistemi di regolazione al fine di modificare l'altezza posteriore della seduta e la distanza tra il centro del mozzo e lo schienale (sbilanciamento), senza la necessità di far scendere l'atleta durante la sessione di test. La bw500 già di per sé offre questa possibilità, mediante collegamenti bullonati, per cui si è trattato di migliorare il sistema già esistente. Per ottenere le regolazioni desiderate si è quindi andati

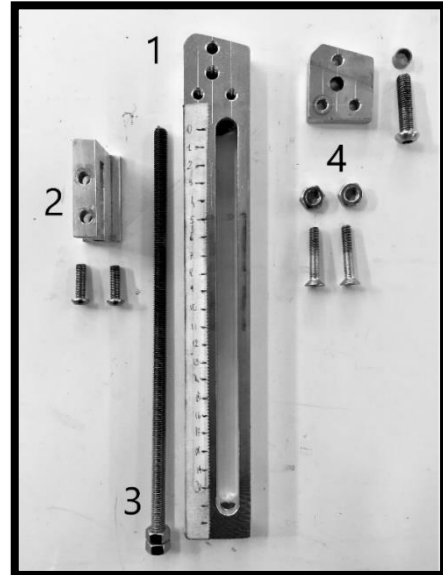
a sostituire le staffe originali, ospitanti i fori per la regolazione dell'altezza posteriore e dello sbilanciamento, con staffe tali da soddisfare i requisiti.

### 3.2.1 Le staffe di regolazione

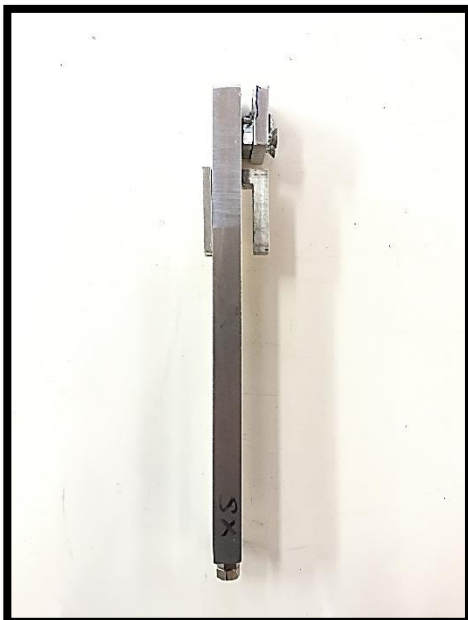
Le staffe di regolazione sono composte da:

- 1- Il corpo della staffa
- 2- Il blocchetto di fissaggio
- 3- La vite di regolazione dell'altezza
- 4- Il morsetto

Il corpo della staffa è collegato alla seduta per mezzo del morsetto, mentre per mezzo del blocchetto e della vite di regolazione è collegato al telaio.



*Figura 3.3 I componenti della staffa di regolazione*



*Figura 3.4 Vista laterale e frontale della staffa di regolazione sinistra assemblata*

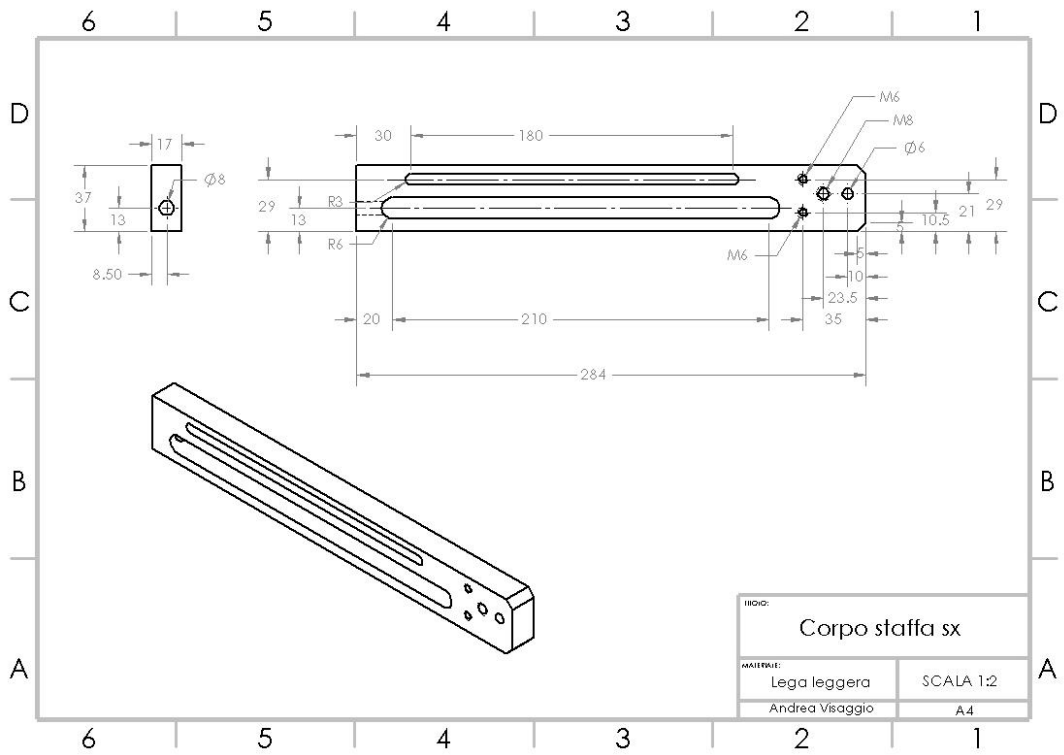


Figura 3.5 Disegno quotato del corpo della staffa sinistra

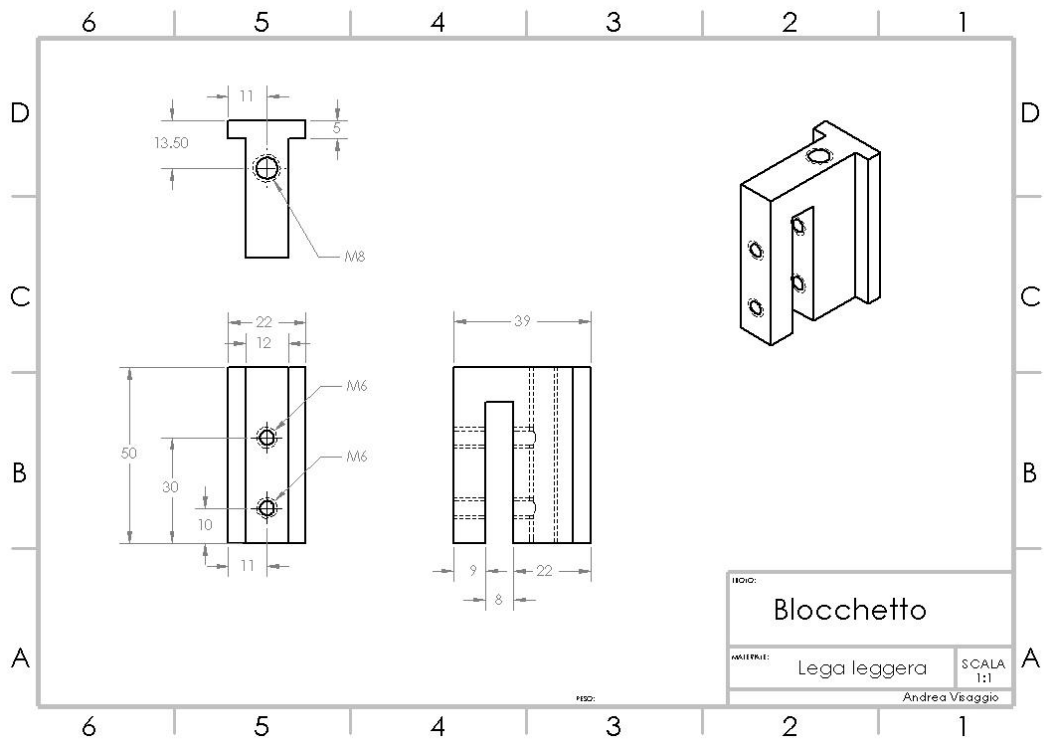


Figura 3.6

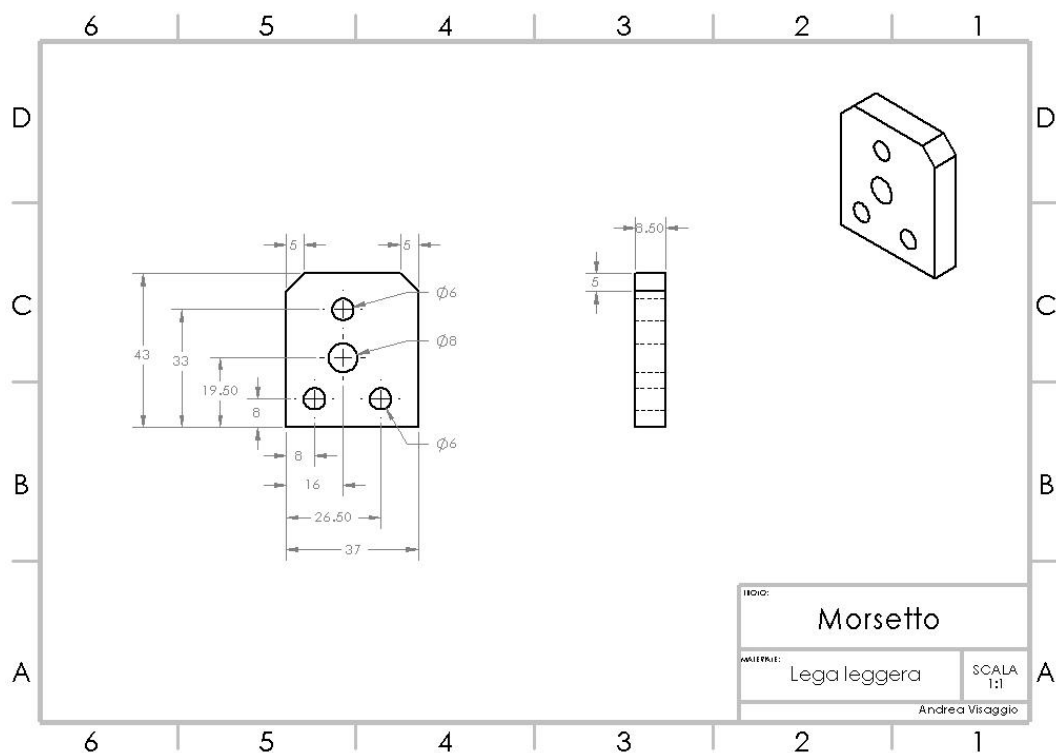


Figura 3.7

### 3.2.2 Regolazione dell'altezza posteriore della seduta

Questa regolazione avviene per mezzo della vite di regolazione, collegata al corpo della staffa ed al blocchetto di fissaggio. Il blocchetto, una volta inserito all'interno dell'asola passante del corpo della staffa, è fissato al telaio dove in precedenza vi era fissata la staffa originale: per mezzo della battuta del blocchetto, al corpo della staffa è ora permessa la sola traslazione in direzione verticale, realizzando di fatto una coppia prismatica. A questo punto la posizione della staffa viene definita per mezzo della vite di regolazione, la quale viene inserita nel foro passante alla base del corpo per poi accoppiarsi con il foro filettato presente nel blocchetto: la staffa è ancora libera di scorrere rispetto al blocchetto, per via del foro passante e non filettato, ma tale scorrimento viene ora inferiormente limitato dalla testa della vite, realizzata con due dadi serrati tra loro. Una volta applicato il carico, dovuto al peso dell'utente, la vite viene sottoposta a trazione. Avvitando la vite di regolazione nel blocchetto si va a modificare la distanza tra il blocchetto (si ricorda, collegato al telaio) e la base della staffa, di conseguenza andando a modificare l'altezza posteriore della seduta.

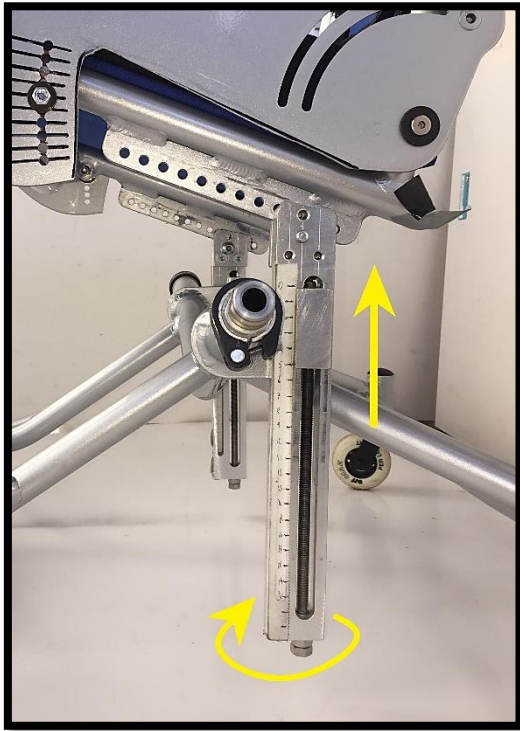


Figura 3.8

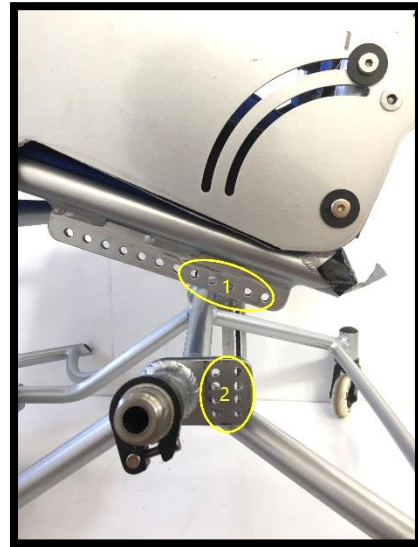


Figura 3.9

### 3.2.3 Regolazione dello “sbilanciamento”

Questa regolazione avviene per mezzo del morsetto realizzato nella parte superiore del corpo della staffa e si occupa di collegare quest'ultima alla seduta, sfruttando la piastra forata dove in precedenza tale collegamento avveniva mediante bulloni. Il morsetto è realizzato sfruttando la staffa stessa come una delle facce mentre la rimanente consiste in una piastra avente il medesimo profilo della prima e collegata a questa mediante 3 viti, disposte a triangolo. Di queste viti quelle inferiori fungono da perno, mentre quella superiore è quella di serraggio e su di essa si appoggia la piastra forata solidale alla seduta: per tal motivo e per agevolare lo scorrimento della seduta nell'atto della regolazione, è stato aggiunto un anello posto tra le facce del morsetto e libero di ruotare attorno alla vite.



Figura 3.10



Figura 3.11

### 3.2.4 Ulteriori modifiche

Come detto in 3.1 sono state apportate modifiche al fine di avvicinare la BW500, carrozzina da basket, alla geometria tipica delle carrozzine da Rugby, dove la seduta è generalmente più inclinata e abbassata al fine di prevenire il ribaltamento in avanti del giocatore durante contrasti (il ribaltamento indietro è prevenuto dai ruotini posteriori, presenti nelle carrozzine di entrambi gli sports). Le modifiche apportate sono:

- Diminuzione dell'altezza frontale minima della seduta: ottenuta tagliando le gambe frontali di 25mm

- Aumento della lunghezza dello schienale: ottenuta sostituendo i tubi dello schienale con tubi di lunghezza superiore (100mm). La necessità di uno schienale più alto, quindi più comodo, nasce dalla pronunciata inclinazione della seduta, tipica del wheelchair rugby.
- Taglio delle spondine così da evitarne la sovrapposizione con il sistema di regolazione

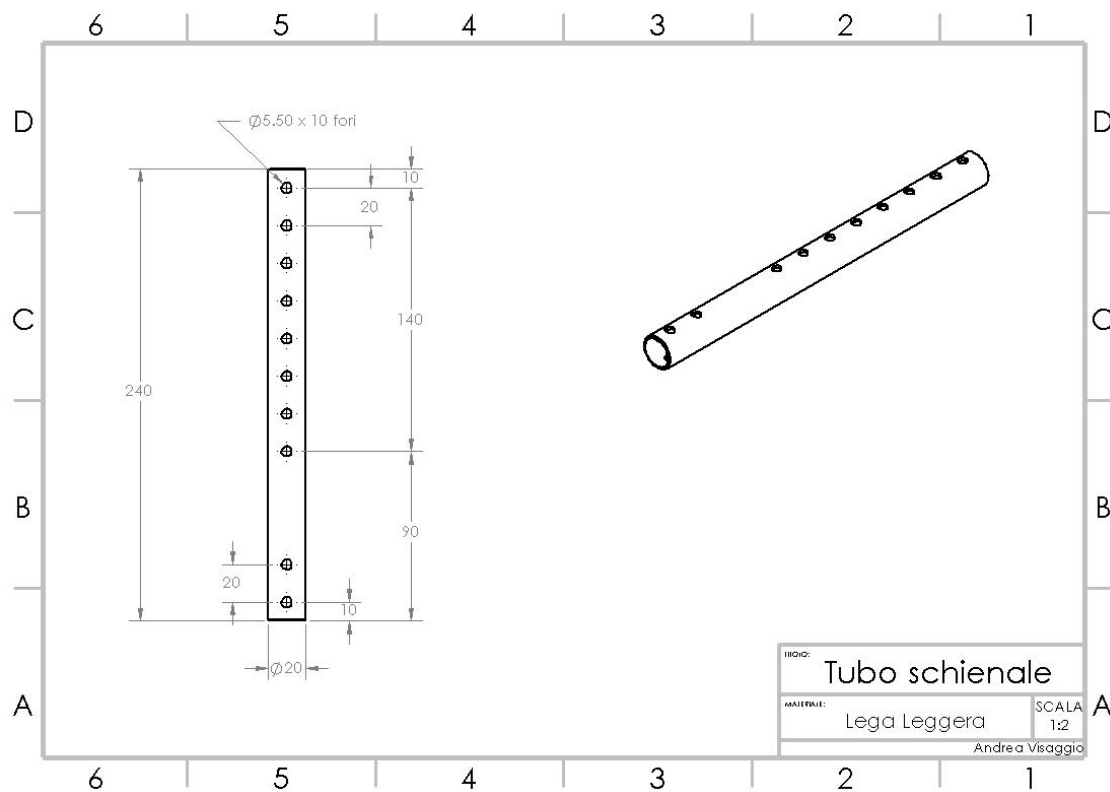


Figura 3.12

### 3.3 La prova

Le prove sono state condotte presso il dipartimento di ingegneria meccanica dell'università di Padova dal dott. Paolo Sacerdoti, con la collaborazione del dott. Michael Benazzato ed il sottoscritto. Il test consisteva in una serie di prove su un banco a rulli pari al numero delle diverse configurazioni previste per soggetto, in tutto 9, dove per ognuna l'atleta doveva compiere uno sprint della durata di 20 secondi. Durante ogni singolo sprint sono stati misurati e registrati:

- Velocità e potenza istantanee, mediante gli encoder e le celle di carico in dotazione al banco a rulli;

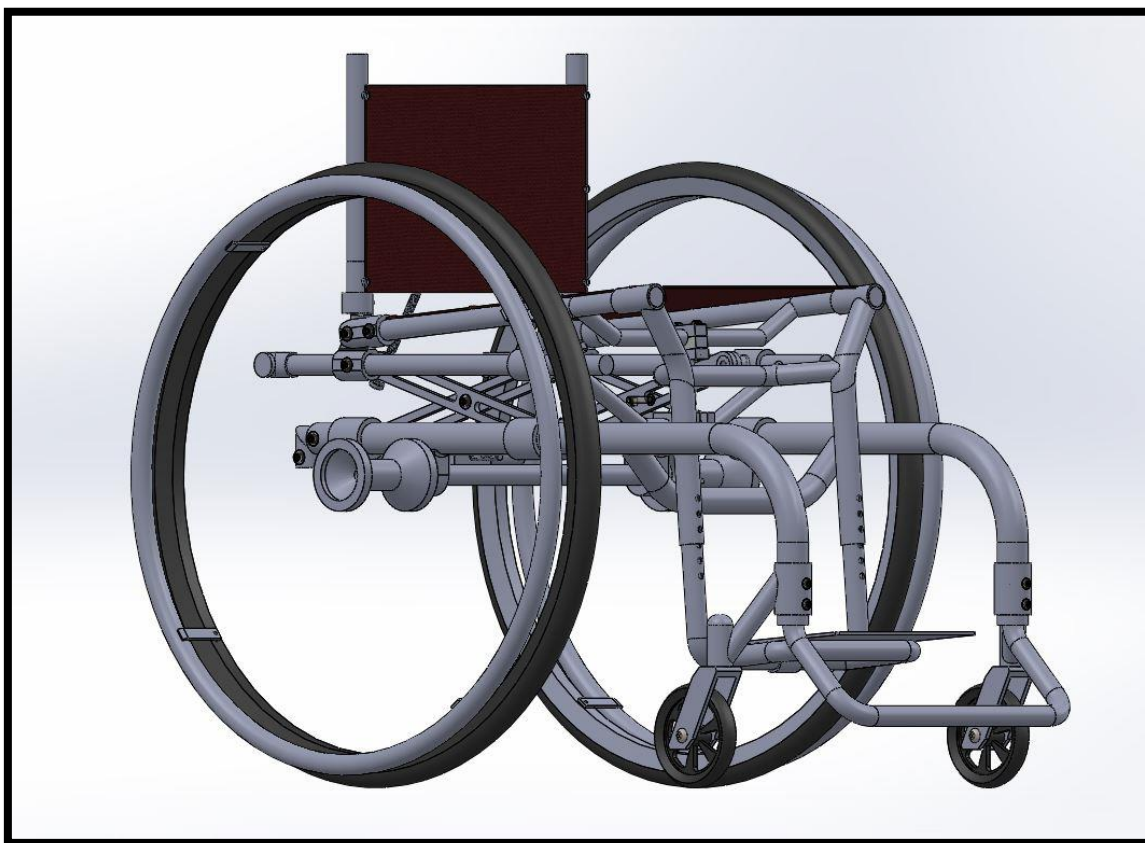


- I movimenti dell'atleta, ed in particolare i movimenti delle articolazioni delle spalle e del gomito, mediante il sistema di acquisizione del laboratorio, dotato di 6 telecamere. Per l'acquisizione sono stati applicati sul soggetto 16 marker, secondo le indicazioni della ISB (International Society of Biomechanics).
- L'attività muscolare, sempre legata alle articolazioni sopracitate, mediante elettromiografia (sono stati utilizzati 12 dispositivi di acquisizione, 6 per lato).
- Gli istanti di contatto e rilascio tra la mano dell'atleta e la ruota, mediante una telecamera con alto frame rate.

### **3.4 Risultati**

## CAPITOLO 4

### Carrozzina a geometria variabile VIPE



*Figura 4.1*

Il modello VIPE è stato progettato da zero, con l'obiettivo di ottenere una carrozzina a geometria variabile con la massima flessibilità e indipendenza delle regolazioni. Come anticipato nell'introduzione di questo studio, durante la fase progettuale sono state adottate le seguenti linee guida:

- Minimizzare il peso delle regolazioni, al fine di influire il meno possibile sulla sensazione di guida rispetto ad una carrozzina standard;
- Ottenere una distribuzione del peso, tra anteriore e posteriore, il più possibile analogo ad una carrozzina standard;
- Realizzare sistemi di regolazione in grado di regolare tutti i parametri geometrici influenti su prestazioni e comfort;
- Ottenere range delle regolazioni analoghi a quelli descritti dalle schede d'ordine di carrozzine in commercio;
- Evitare, nella regolazione di un dato parametro geometrico, di dover agire su entrambi i lati della carrozzina con 2 sistemi di regolazione indipendenti: ciò si è tradotto nell'uso di sistemi di regolazione ad azionamento centrale, sul piano di simmetria;
- Evitare l'accoppiamento tra le diverse regolazioni, così da evitare l'esigenza di regolazioni di compensazione;
- Realizzare un modello che sia il più semplice e fattibile, tenendo presente le risorse a disposizione.



Figura 4.2

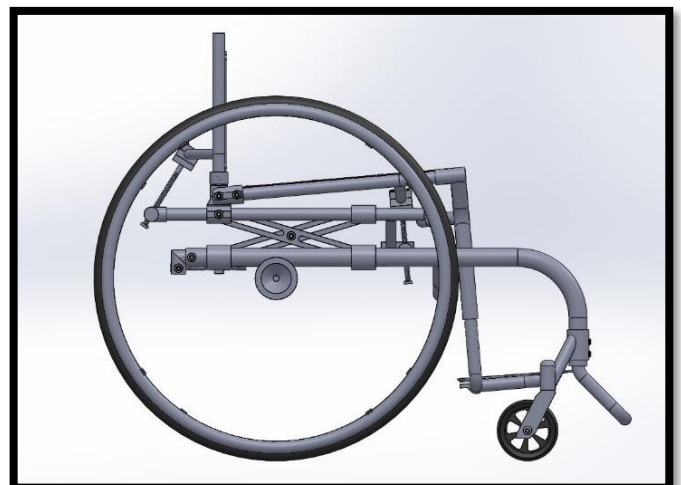


Figura 4.3

## 4.1 Fase preliminare

La concomitanza dei vincoli progettuali, di cui alcuni in conflitto tra loro, ha reso la prima fase della progettazione quella che ha richiesto più tempo, dovendo innanzi tutto definire una tipologia di sistema di regolazione adatta. Sono stati considerati inizialmente sistemi di regolazione basati su attuatori lineari pneumatici, idraulici ed elettromeccanici, \sistemi “a filo” e sistemi di scorrimento a rotaia. Dopo una ricerca sui prodotti



Figura 4.4

disponibili in commercio, tra queste alternative la migliore si è dimostrata quella legata all'utilizzo di attuatori elettromeccanici del settore sanitario, rivelandosi tuttavia comunque inadatta: prevedendo almeno un attuatore per le 5 variabili geometriche più importanti e considerato che ognuno di questi ha peso compreso tra i 2,5 ed i 4 Kg, il peso della carrozzina sarebbe stato eccessivo.

Dopo aver scartato l'opzione progettuale legata all'utilizzo di attuatori, si è scelto di utilizzare dei sistemi di regolazione a vite, prediligendo la semplicità costruttiva e realizzativa, lasciando comunque l'eventuale possibilità di motorizzare tali regolazioni. Questa scelta ha avuto come conseguenza il completo ridimensionamento del progetto, in particolare per quanto riguarda i sistemi di regolazione atti a determinare la posizione della seduta rispetto al telaio: si è passati dal voler regolare l'altezza frontale e posteriore della seduta mediante attuatori (un esempio in figure xy e xy+1) al concepimento di un meccanismo completamente diverso, che verrà in seguito approfondito, basato su un sistema a pantografo elevatore.

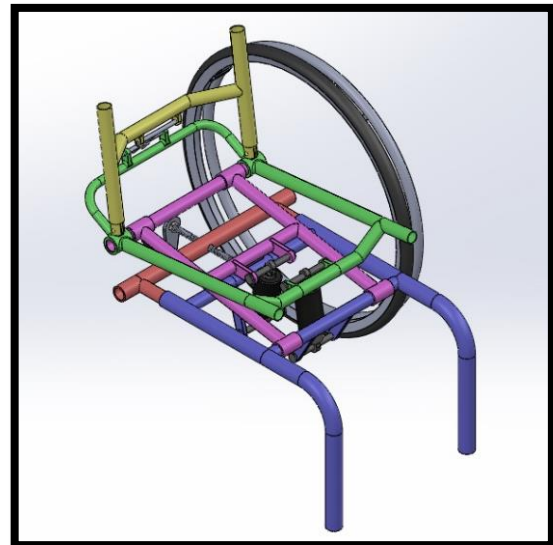
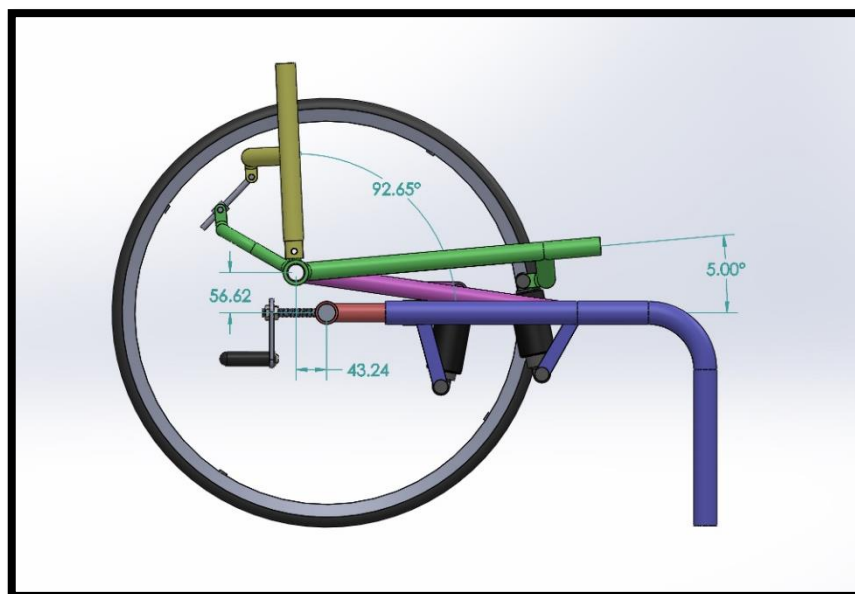


Figura 4.5 Uno dei primi modelli concepiti, con vari componenti a colori per facilitarne la distinzione



*Figura 4.6 Uno dei primi modelli concepiti, vista laterale con quote relative alla minor altezza posteriore della seduta disponibile (356 mm circa, essendo il raggio della ruota 300 mm).]*

## 4.2 Il pantografo elevatore: introduzione

L'idea dell'utilizzare un sistema a pantografo elevatore nasce dalle necessità, da esso soddisfatte, di:

- Disaccoppiare le regolazioni dell'altezza della seduta dall'inclinazione di quest'ultima e dello schienale;
- Poter utilizzare barre filettate per la regolazione di altezza e posizione;
- Offrire la possibilità di intervenire sullo sbilanciamento senza intervenire sul passo ruota;
- Offrire una relativa buona stabilità della seduta, anche ai carichi trasversali;
- Relativa semplicità costruttiva e peso contenuto.

Frapponendosi tra telaio e seduta, inizialmente il sistema è stato concepito per la sola regolazione dell'altezza di quest'ultima senza far distinzione tra altezza posteriore ed anteriore, prevedendo eventualmente la presenza di guide che potessero garantire anche la traslazione della seduta (o del pantografo stesso); successivamente il sistema è stato implementato, così da garantire anche la regolazione dello "sbilanciamento" mediante la traslazione dello stesso (solidale alla seduta) rispetto al telaio, limitando i componenti aggiunti ad una vite di regolazione.

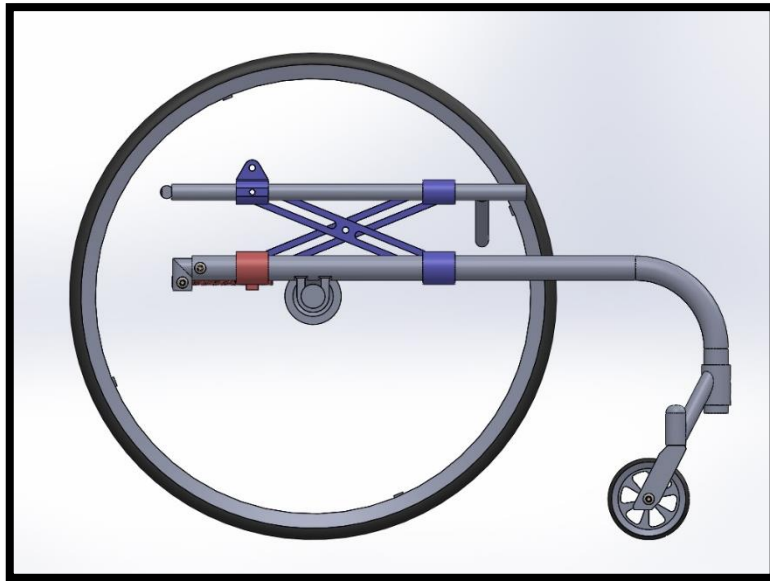


Figura 4.7

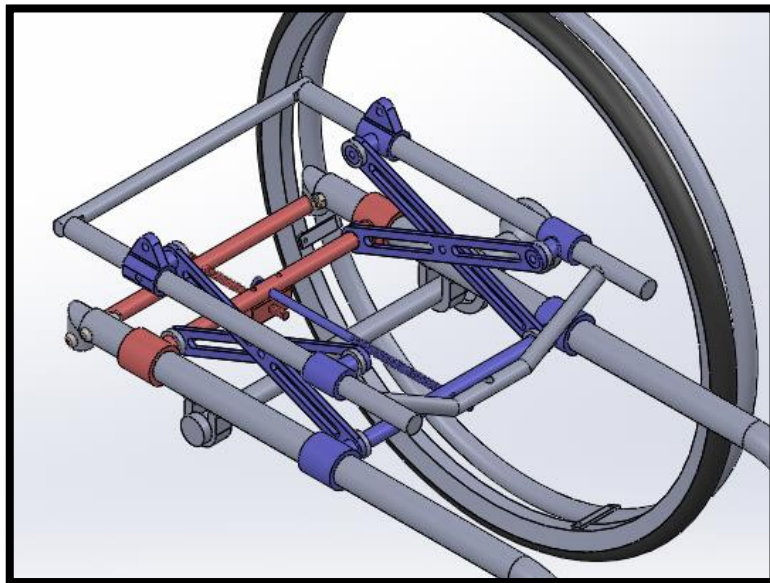


Figura 4.8

È importante sottolineare che la scelta di utilizzare questo sistema di regolazione, attorno al quale poi è stato realizzato l'intero progetto, ha comportato una diversa interpretazione delle variabili geometriche influenti legate alla seduta poiché, rispetto a quanto visto per i modelli BW500 e VENUS, differente è l'approccio alla regolazione: prima di entrare nel dettaglio con le specifiche ed il funzionamento di questo e degli altri sistemi di regolazione presenti nel progetto, risulta conveniente introdurre tali differenze.

#### **4.2.1 Parametri geometrici soggetti a regolazione dal pantografo elevatore**

Nel lavoro svolto per le carrozzine BW500 e VENUS i sistemi di regolazione sono stati progettati per agire direttamente sulle variabili geometriche influenti, ossia quelle descritte nelle schede d'ordine (Paragrafo xxy o Fig. x.y e x.z); tale affermazione tuttavia, in presenza del sistema a pantografo elevatore, sarebbe impropria poiché il meccanismo va ad agire simultaneamente e in egual misura sia sull'altezza frontale della seduta che su quella posteriore, dovendo prevedere l'intervento di un'altra regolazione al fine di variare l'inclinazione. Più che di una correlazione tra le regolazioni quindi, si è introdotto di fatto un cambio di variabili che è opportuno esplicitare.

Se in precedenza si è ragionato in termini di altezza posteriore e anteriore della seduta (rispettivamente HP e HA) come due variabili indipendenti, con l'utilizzo del pantografo elevatore le variabili diventano l'altezza della seduta (H) e la sua inclinazione ( $\beta$ ). Si sottolinea come:

- Nell'atto della regolazione della posizione della seduta il numero di regolazione da effettuare non cambia (2 regolazioni);
- L'altezza anteriore della seduta non è in nessun caso superiore a quella posteriore, poiché ciò causerebbe lo scivolamento in avanti dell'utente. Ciò implica che l'utilizzo del sistema a pantografo elevatore non comporta limitazioni di questo tipo e che la regolazione dell'inclinazione della seduta non va intesa come una compensazione.

#### **4.3 Le regolazioni**

Come anticipato, questo progetto ha avuto come obiettivo quello di massimizzare il numero di regolazioni disponibili garantendo altresì l'indipendenza tra loro, così da minimizzare se non escludere eventuali regolazioni di compensazione. La VIPE è stata progettata in maniera tale da poter regolare:

- L'altezza della seduta (H)
- Lo sbilanciamento

- L'inclinazione della seduta ( $\alpha$ )
- L'inclinazione dello schienale ( $\beta$ )
- La distanza pedana-seduta (DPS)

Si ricorda che le regolazioni di altezza e inclinazione della seduta equivalgono ad avere le regolazioni di altezza anteriore e posteriore della seduta.

### 4.3.1 Regolazione dell'altezza della seduta

Come visto in 5.2 la regolazione dell'altezza si basa su un sistema a pantografo elevatore ossia sull'utilizzo di due coppie di bracci della stessa lunghezza, incernierati tra loro nel mezzo mentre agli estremi vincolati, inferiormente al telaio e superiormente alla seduta, in maniera tale che variandone la distanza tra gli estremi, ossia l'apertura della coppia, vari conseguentemente la distanza tra telaio e seduta, ossia l'altezza della seduta stessa. I vincoli posti agli estremi sono costituiti da accoppiamenti cilindrici ricavati su delle bussole, le quali si inseriscono nei tubi costituenti telaio e sottoseduta e di cui solo quelle anteriori sono libere di scorrere su di essi; le bussole inferiori inoltre, poste sul telaio, sono tra loro collegate mediante dei tubolari così da aumentare la rigidità del sistema e poter alloggiare, nel piano di simmetria della carrozzina, la vite di regolazione. Dopo quanto detto è necessario precisare che l'utilizzo del pantografo, unito al vincolo progettuale della non correlazione tra i parametri geometrici soggetti a regolazione, ha comportato l'utilizzo di un telaio a tubi orizzontali e paralleli al terreno così che la variazione in altezza ne fosse ortogonale, quindi non soggetta a variazioni conseguenti di inclinazione della seduta, schienale e/o sbilanciamento. Come accennato, la regolazione vera e propria dell'apertura del pantografo è affidata alla vite di regolazione, costituita da una barra filettata posta nel piano di simmetria della carrozzina, la quale collega i tubi trasversali, solidali alle bussole inferiori. La vite è fissata in testa nel traverso posteriore, fisso nell'atto di questa regolazione, e mediante collegamento filettato a quello anteriore: ruotando la vite si ha una variazione della distanza tra i traversi, quindi una variazione dell'apertura del pantografo, quindi una variazione in altezza della seduta. Va precisato che la vite, snella, non è soggetta a carico di punta poiché in trazione (per effetto della forza peso il pantografo tende ad aprirsi). Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza



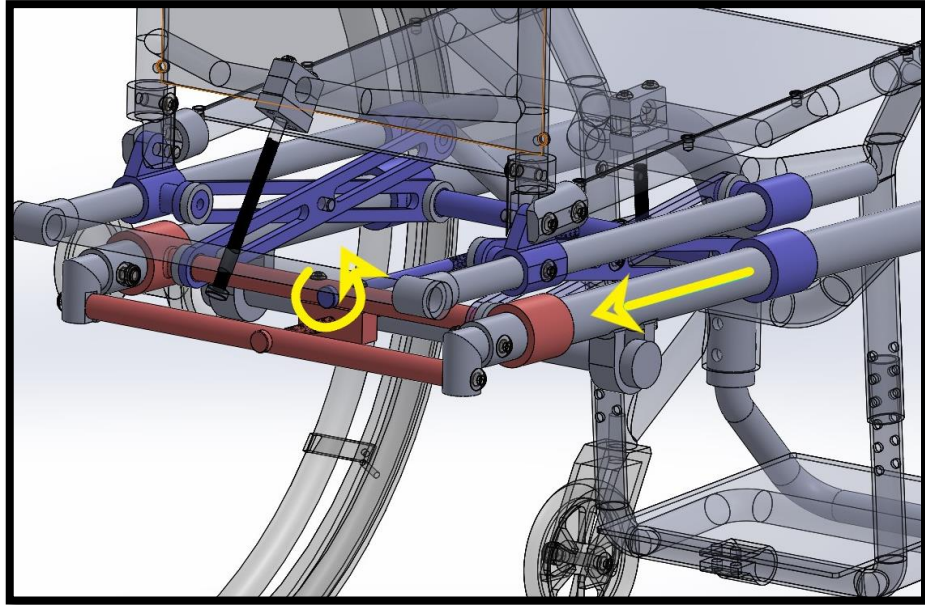


Figura 4.9

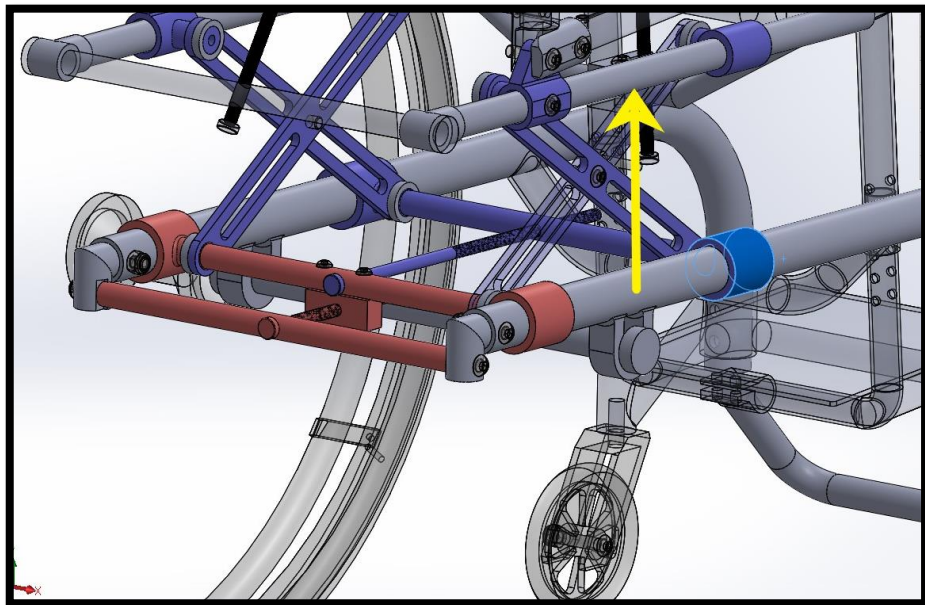


Figura 4.10

### 4.3.2 Regolazione dello sbilanciamento

Per questa regolazione viene sfruttato ancora il pantografo elevatore, mediante un sistema simile a quello per la regolazione dell'altezza. Tale sistema infatti è costituito da una seconda barra filettata, posta sempre nel piano di simmetria, fissata in testa in un traverso posto all'estremità del telaio e collegata mediante filettatura al traverso delle bussole posteriori prima menzionate (considerate fisse in 5.3.1 poiché tali sono al di fuori dell'atto della rispettiva regolazione); poiché l'apertura del pantografo è fissata dalla vite di regolazione descritta in 5.3.1, traslando le bussole posteriori lungo il telaio, ossia variando la loro distanza dall'estremità di quest'ultimo, si ha la traslazione di tutto il pantografo, quindi della seduta poiché collegata ad esso. È necessario precisare che per definizione lo sbilanciamento viene misurato come la distanza, proiettata a terra, tra il "balance point" e il mozzo, qui rispettivamente solidali al pantografo elevatore ed al telaio: facendo scorrere il primo lungo il secondo, che si ricorda essere parallelo rispetto a terra, si ha quindi una variazione equivalente dello sbilanciamento.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/traslazione



Figura 4.11

### 4.3.3 Regolazione dell'angolo di inclinazione della seduta

Poiché il sistema di regolazione a pantografo elevatore offre la sola possibilità di alzare la seduta parallelamente al terreno, per regolarne l'inclinazione (ma anche quella dello schienale, come verrà spiegato in seguito), è stato aggiunto un componente definito "controseduta". Questo componente è costruttivamente molto simile alla seduta vera e propria ed è frapposto tra il pantografo e la seduta, in modo tale da poter ospitare le regolazioni per le inclinazioni di seduta e schienale, rendendole inoltre completamente indipendenti tra loro e dal pantografo elevatore. Seduta e schienale sono collegati alla controseduta mediante le cerniere posteriori, similmente ad una carrozzina comune, le quali definiscono l'asse di rotazione per cui operano i sistemi di regolazione delle inclinazioni.

La regolazione dell'angolo di inclinazione della seduta è affidata ad una vite posta nella zona anteriore; il collegamento tra vite e seduta ha luogo nel traverso di rinforzo mediante un blocchetto, libero di ruotare rispetto al traverso, il quale fissa l'estremità della vite lasciandone libera la rotazione attorno al proprio asse. La vite è poi collegata alla controseduta mediante un altro blocchetto, questa volta fissato nel traverso mediante collegamento bullonato ma che ospita un perno cilindrico libero di ruotare attorno al proprio asse: in tale perno vi è il foro filettato in cui accoppiare la vite di regolazione per cui avvitando la vite nel perno, solidale alla controseduta, si ha la regolazione dell'apertura tra seduta e controseduta, quindi dell'inclinazione della prima poiché la seconda è parallela a terra.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/angolo (circa)
- Correlazione giro/angolo (formula)

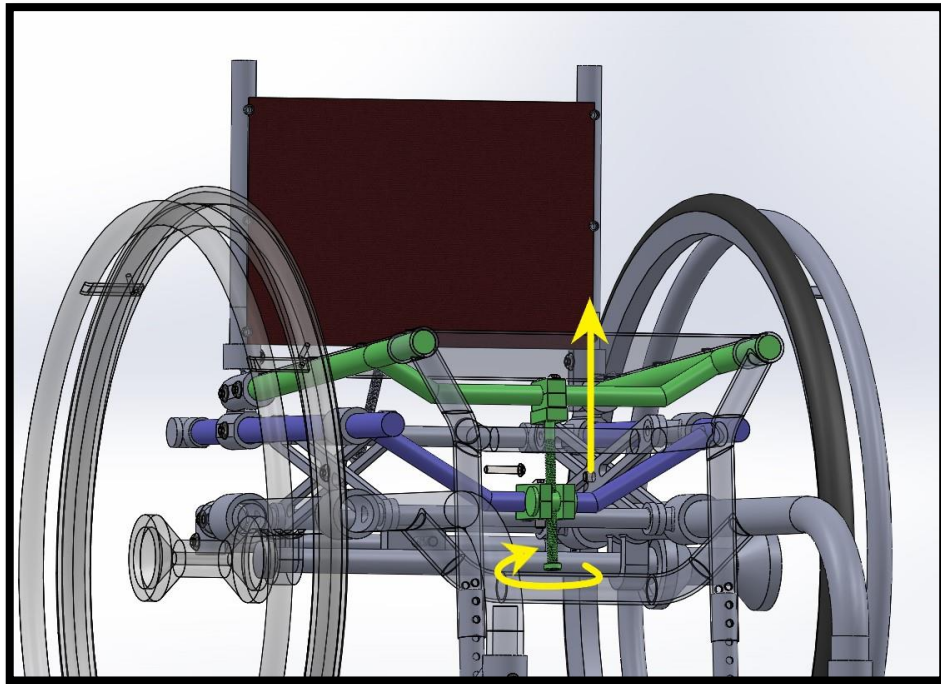


Figura 4.12

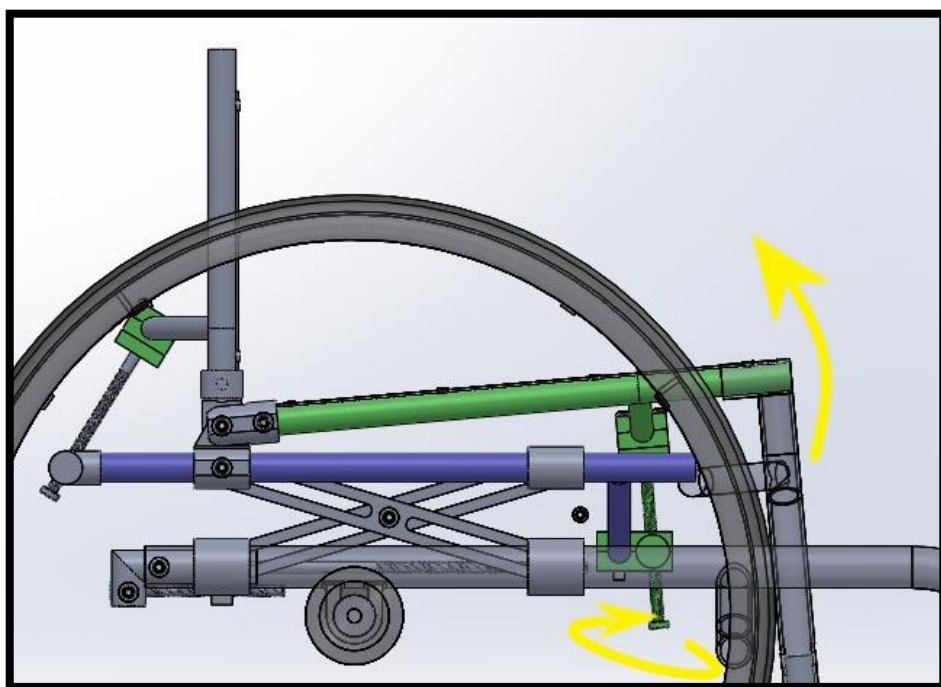


Figura 4.13

#### 4.3.4 Regolazione dell'inclinazione dello schienale

La regolazione dell'inclinazione dello schienale avviene in maniera del tutto simile a quella della seduta ed è completamente indipendente da essa poiché, a differenza di quanto accade comunemente, questi due componenti sono collegati tra loro mediante le sole cerniere posteriori, solidali alla sottoseduta. L'unica differenza tra le regolazioni consiste nel collegamento tra vite e sottoseduta: la vite si accoppia con un traverso, libero di ruotare attorno al proprio asse, che presenta il foro filettato per l'accoppiamento. Tale traverso ha anche lo scopo di rinforzare la struttura della sottoseduta.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/angolo (circa)
- Correlazione giro/angolo (formula)

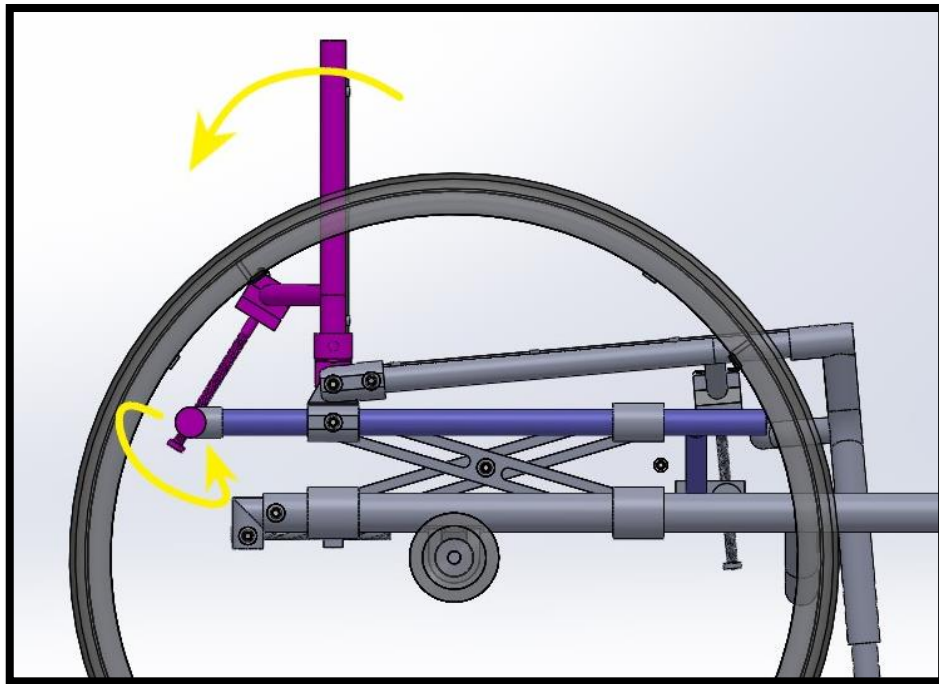


Figura 4.14

#### 4.3.5 Regolazione della distanza pedana-seduta

La regolazione della distanza pedana-seduta avviene similmente a quanto accade per le comuni carrozzine, ossia discretamente, mediante tubi telescopici disposti a 90° rispetto alla seduta. La particolarità di questo sistema risiede nel fatto che la pedana è collegata alla seduta (solitamente collegata al telaio, data la vicinanza ai ruotini) così da poter mantenere costante la DPS nel momento in cui si vanno a modificare l'altezza e/o l'inclinazione della seduta. È possibile inoltre regolare l'inclinazione della piastra in cui si poggiano i piedi, così da poter ottenere le migliori prestazioni in termini di comfort e postura.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Range di regolazione DPS: min max [mm]
- Passo:
- Range di regolazione inclinazione poggiapiedi: min max [°]

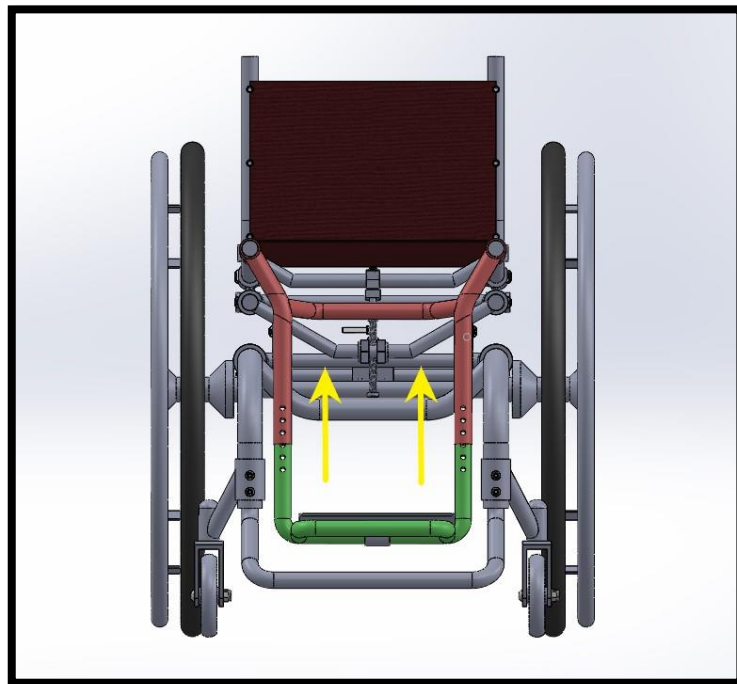


Figura 4.15

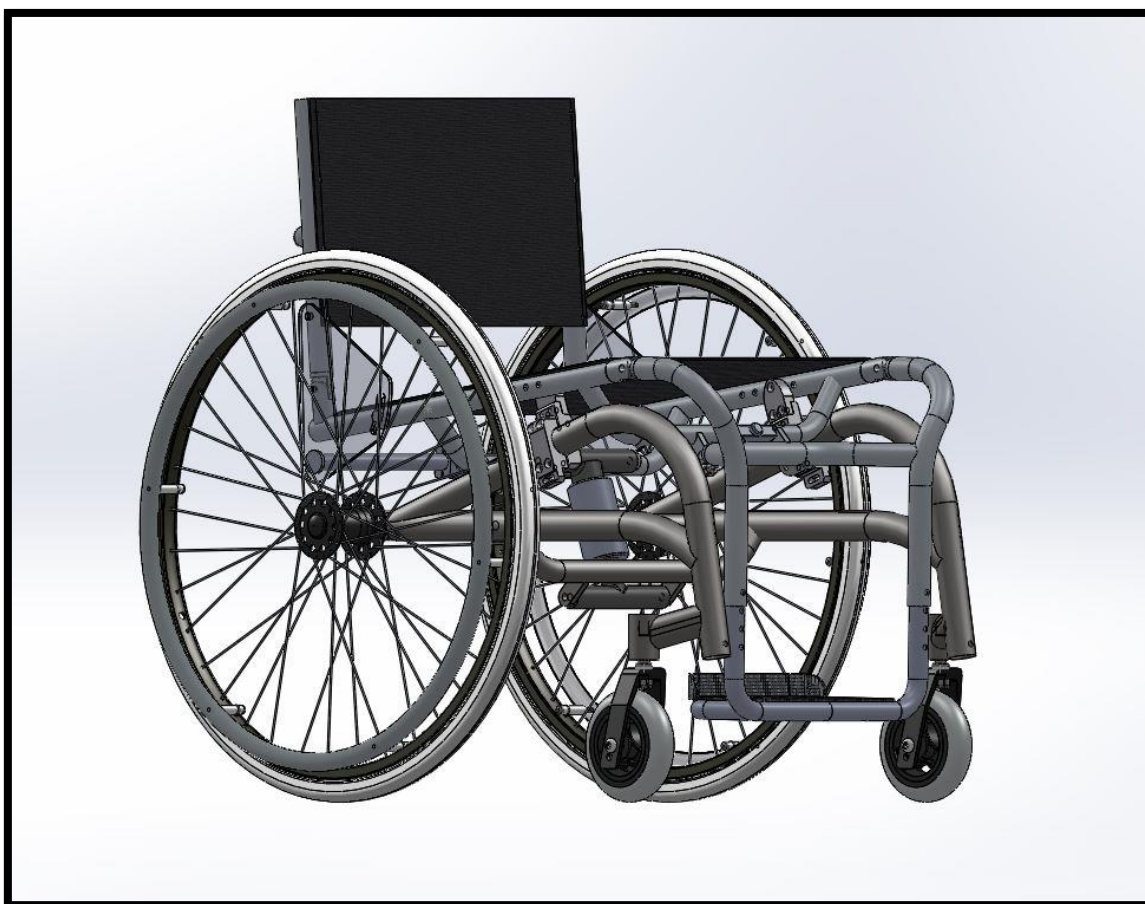
### 4.3.6 Tabella riassuntiva delle regolazioni

<b>Parametro</b>	<b>Valore min</b>	<b>Valore max</b>	<b>Note</b>
Altezza della seduta (H)			
Sbilanciamento (S)			
Inclinazione della seduta ( $\beta$ )			
Inclinazione dello schienale ( $\alpha$ )			
Distanza pedana-seduta (DPS)			



## CAPITOLO 5

### Carrozzina a geometria variabile VENUS ADJ



*Figura 5.1*

Questo modello di carrozzina a geometria variabile è stato progettato e prodotto in stretta collaborazione con l'azienda OffCarr s.r.l., seguendo le esigenze del costruttore: l'interesse da parte dell'azienda di disporre di una carrozzina a geometria variabile consiste nel disporre di uno strumento atto ad aiutare il cliente a definire quei parametri legati non tanto alla propria



conformazione fisica quanto alla sensazione di guida da lui ricercata; a tale scopo le regolazioni sono state ridotte a quelle strettamente necessarie così da incidere il meno possibile, con il loro peso, sul comportamento della carrozzina.

La carrozzina a geometria variabile oggetto dello studio è stata progettata sulla base di un modello OffCarr in commercio, il modello “Venus”.

### 5.1 Il modello “Venus”

La “Venus” è una carrozzina superleggera a telaio rigido in titanio, progettata per soddisfare le esigenze di utenti attivi e dinamici. Questo modello si distingue per la notevole versatilità offerta dalle regolazioni disponibili, in particolare per quanto riguarda la seduta poiché questa non è parte integrante del telaio, come comunemente accade, ma è collegata ad esso per mezzo di staffe regolabili.

Proprio per questa particolare caratteristica si è scelto di realizzare la carrozzina a geometria variabile oggetto di questo studio sulla base di questo modello, mediante le opportune modifiche.



Figura 5.2

### 5.2 Regolazioni

Come accennato in 4.1, le regolazioni previste per questo modello, su richiesta dell’azienda, sono state limitate a quelle legate alle caratteristiche geometriche influenti sulla sensazione di guida, tendenzialmente più difficili da definire rispetto a quelle legate alla conformazione fisica dell’utente. Ci si è concentrati quindi sulla possibilità di variare:

- i- Il passo (P), che indirettamente va a modificare il valore dello sbilanciamento.
- ii- L’altezza posteriore della seduta (HP) la quale, fissata l’altezza frontale, va a definire l’angolo di inclinazione della seduta.

- iii- L'inclinazione dello schienale, per compensare la regolazione dell'inclinazione della seduta
- iv- La distanza sedile-pedana (DP)

### 5.2.1 Regolazione del passo (P)

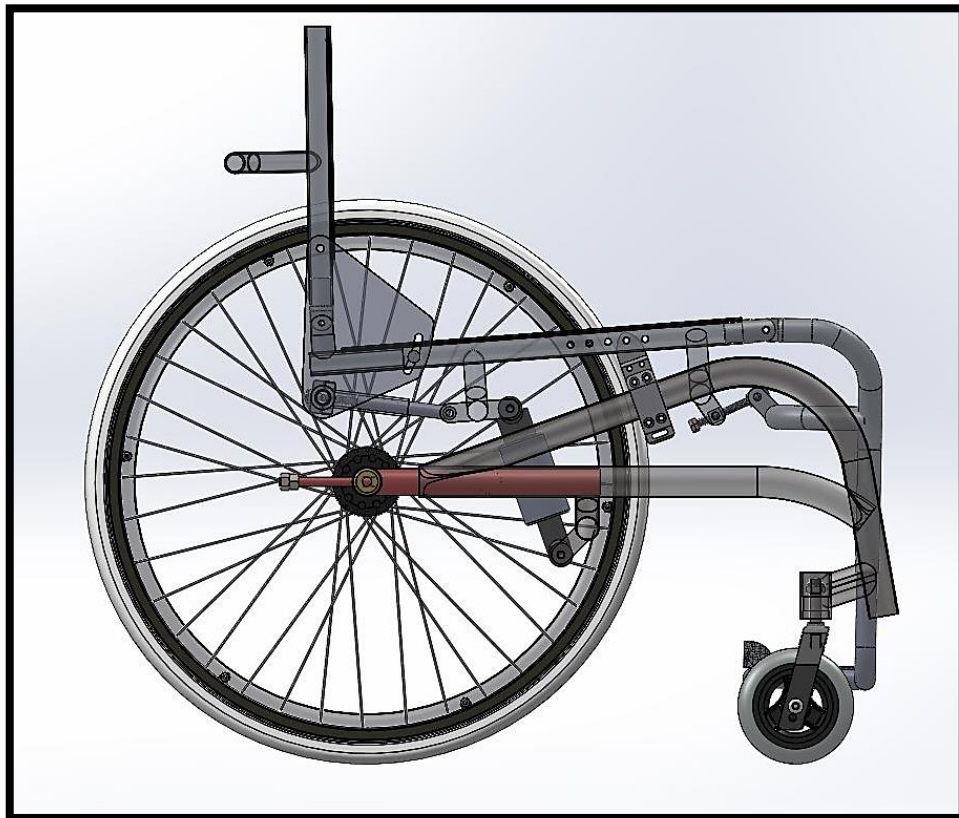


Figura 5.3

Per rendere regolabile il passo è stato innanzitutto necessario scollegare il mozzo ruota dal telaio così da poter apportare ad entrambi le modifiche necessarie per realizzare tra loro un collegamento prismatico, ottenuto per mezzo di un sistema a tubi telescopici, tale da permettere la traslazione garantendo al contempo solidità ai carichi verticali. Al telaio, dove in precedenza era collocato il mozzo, sono stati saldati due tubi (uno per lato), orizzontali e paralleli al senso di marcia; inoltre, data la particolare inclinazione del telaio della Venus, la sensibilità richiesta nel saldare leghe in titanio e la resistenza richiesta da parte del giunto saldato, poiché per effetto del meccanismo di

regolazione della seduta la maggior parte le peso della persona va a gravare su di esso, sono stati aggiunti anche dei collegamenti atti a garantire la resistenza da parte della nuova struttura. Per realizzare quindi un sistema a tubi telescopici, al mozzo sono stati saldati i tubi destinati ad inserirsi in quelli saldati al telaio.

La regolazione della distanza tra i due componenti avviene per mezzo di una barra filettata: questa è accoppiata con una bussola filettata posta centralmente all'interno del mozzo ed è fissata in testa con il telaio, per via di un morsetto che ne lascia libera la rotazione, permettendo quindi la regolazione. Avvitando la barra filettata si ha lo spostamento della bussola lungo questa, quindi lo spostamento del mozzo rispetto al telaio. Le caratteristiche della regolazione sono:

- Range/corsa/min-max passo
- Range in termini di sbilanciamento, fissata una HP
- Passo della barra filettata

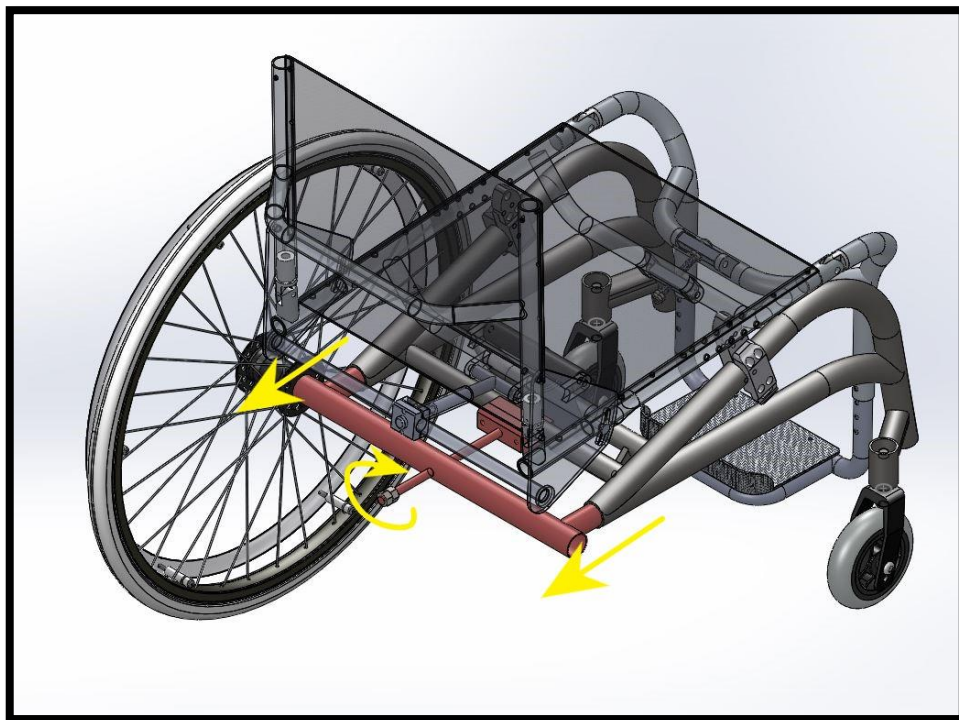


Figura 5.4

## 5.2.2 Regolazione dell'altezza posteriore della seduta (HP)

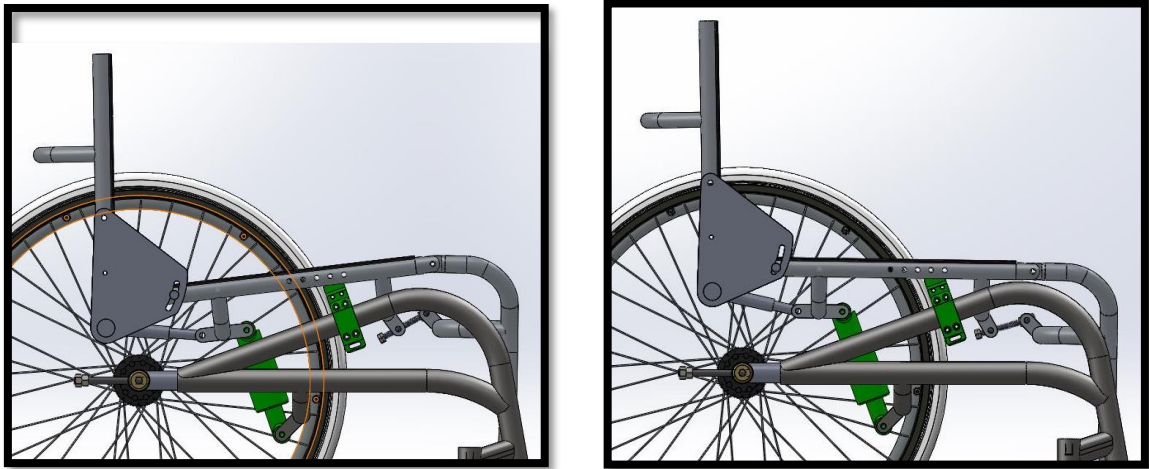


Figura 5.5

Per la regolazione di questo parametro si è deciso di utilizzare un azionamento manuale a doppia vite del tutto simile ad un attuatore, posto al di sotto della seduta in una posizione tale da minimizzare la variazione della posizione orizzontale del baricentro della carrozzina. La doppia vite è composta da 3 componenti: la vite minore, destrorsa e collegata alla seduta, la vite maggiore, sinistrorsa e collegata al telaio, e il manicotto, che collega le due viti e assicura la presa per effettuare la regolazione. Ruotando il manicotto centrale, per via dei sensi di avvitamento opposti delle 2 viti, si modifica la lunghezza del meccanismo e quindi si ha la variazione dell'angolo della seduta, la quale è collegata frontalmente al telaio per mezzo di un accoppiamento a cerniera. Per ospitare il meccanismo, il telaio della Venus è stato modificato con l'aggiunta di un arco orizzontale, dimensionato opportunamente per reggere il peso dell'utente e posizionato in maniera tale da rendere possibile la regolazione.

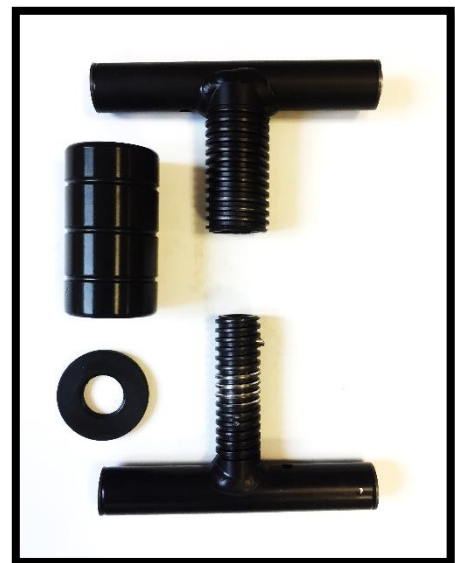


Figura 5.6

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite minore: diametro, tipo di filetto
- Vite maggiore
- Corsa, min/max
- 1 giro = avanzamento? (passo filettatura?)
- Massa doppia vite: 451g
- 1 giro = angolo seduta?

### 5.2.3 Regolazione dell'inclinazione dello schienale

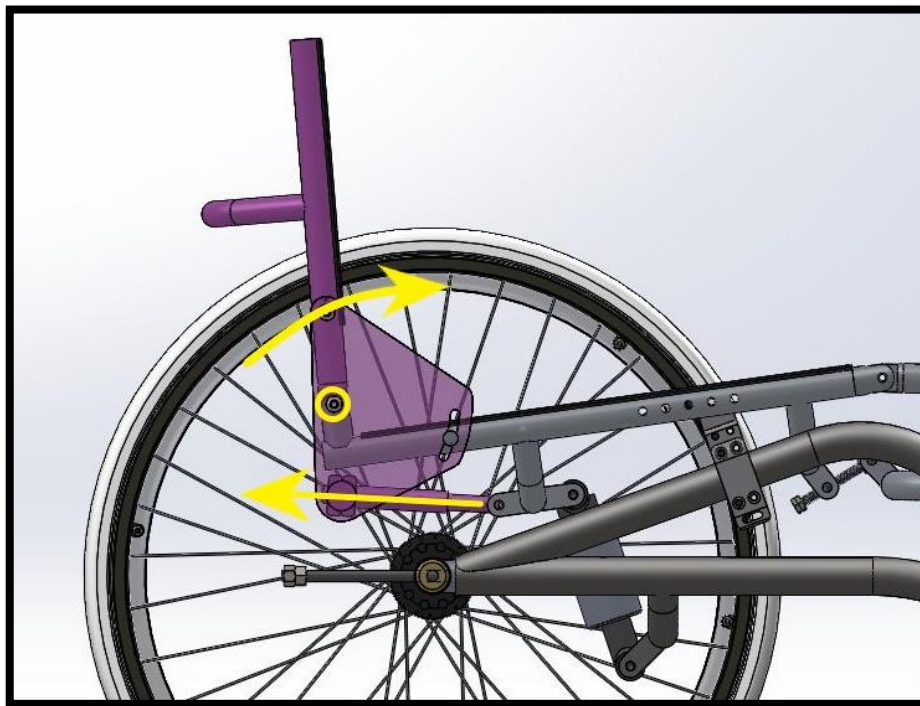


Figura 5.7

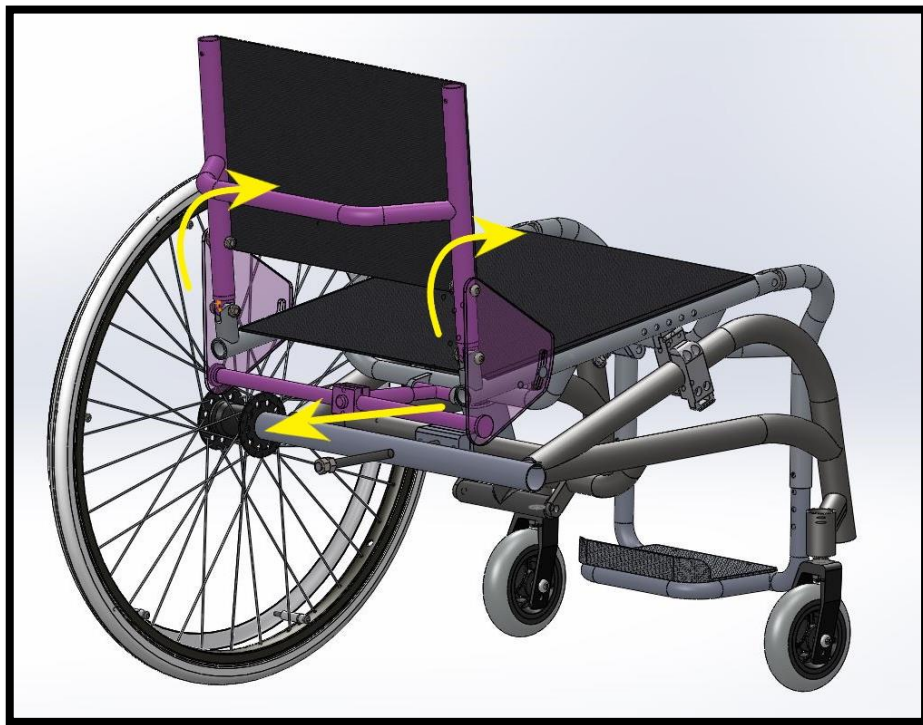
Come precedentemente detto il valore dell'inclinazione dello schienale è molto standardizzato: solitamente si tratta di uno scostamento di 1 o 2 gradi rispetto all'ortogonale al suolo, per cui non richiederebbe un sistema di regolazione particolare (analogamente all'altezza frontale o alla posizione della pedana, ad esempio). Tuttavia l'accoppiamento presente tra questo valore e l'angolo di inclinazione della seduta fa sì che quanto si va a modificare quest'ultimo anche l'angolo



dello schienale vari di conseguenza, quindi si è reso necessario intervenire su questo parametro per non rendere inefficiente la regolazione della seduta.

Per il sistema di regolazione si è deciso di migliorare, in termini di rapidità, quello già presente nella Venus, che avviene per mezzo di viti di fissaggio che regolano il grado di inclinazione delle spondine salva abiti, solidali allo schienale, rispetto alla seduta. Per rendere la regolazione più veloce e pratica sono state sostituite le viti con dei perni estraibili a molla, già presenti in molte carrozzine per il sistema a sganciamento rapido dello schienale, atto a reclinare completamente in avanti quest'ultimo ai fini del trasporto in auto. Le caratteristiche della regolazione sono:

- Range/corsa/min-max passo
- Range in termini di sbilanciamento, fissata una HP
- Passo della barra filettata



*Figura 5.8*

## 5.2.4 Regolazione della distanza seduta-pedana



*Figura 5.9*

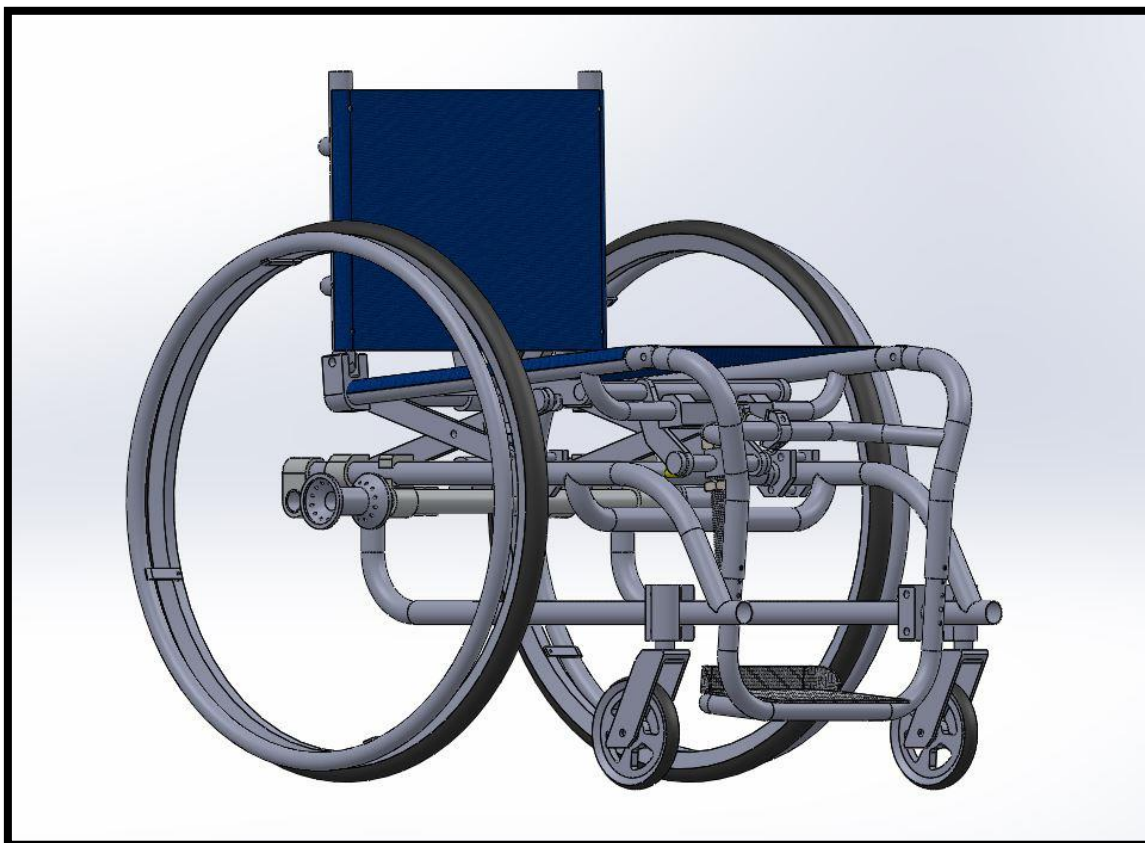
### 5.2.5 Tabella riassuntiva dei range di regolazione

<b>Parametro</b>	<b>Valore min</b>	<b>Valore max</b>	<b>Note</b>
Passo (P) (Sbilanciamento)			La regolazione agisce sia sul passo che sullo sbilanciamento in egual misura
Altezza posteriore della seduta (HP)			La regolazione influisce anche i valori di inclinazione dello schienale ( $\alpha$ ) e di DPS
Inclinazione dello schienale ( $\alpha$ )			Regolazione di compensazione, conseguente alla variazione di HP
Distanza pedana-seduta (DPS)			



## CAPITOLO 6

### Carrozzina a geometria variabile VIPE 2



*Figura 6.1*

Il modello VIPE 2 è una rivisitazione migliorata del modello VIPE, sviluppato in seguito all'esperienza accumulata presso l'azienda OffCarr s.r.l. durante lo sviluppo del modello Venus ADJ. La VIPE 2, avendo come requisiti gli stessi della VIPE, non si discosta molto dalla sua versione precedente: più che nel fornire nuovi sistemi di regolazione ci si è concentrati nel concepire soluzioni costruttive migliorate, più semplici da realizzare, meno ingombranti e tali da rendere, nel complesso, la struttura più rigida.

## 6.1 Fase preliminare

La principale innovazione introdotta in questo modello è l'assenza della contro seduta, il componente che nella VIPE si frappone tra il pantografo e la seduta. Il principale problema legato a tale componente è dovuto al suo ingombro verticale, che limita il range di regolazione dell'altezza innalzando il corrispondente valore minimo. A questo inconveniente poi si vanno a sommare altre problematiche seppur di minore rilevanza:

- La difficoltà realizzativa, trattandosi di un componente in lega leggera, saldato, che non può essere eventualmente recuperato da carrozzine scartate
- Il peso aggiuntivo dovuto al componente

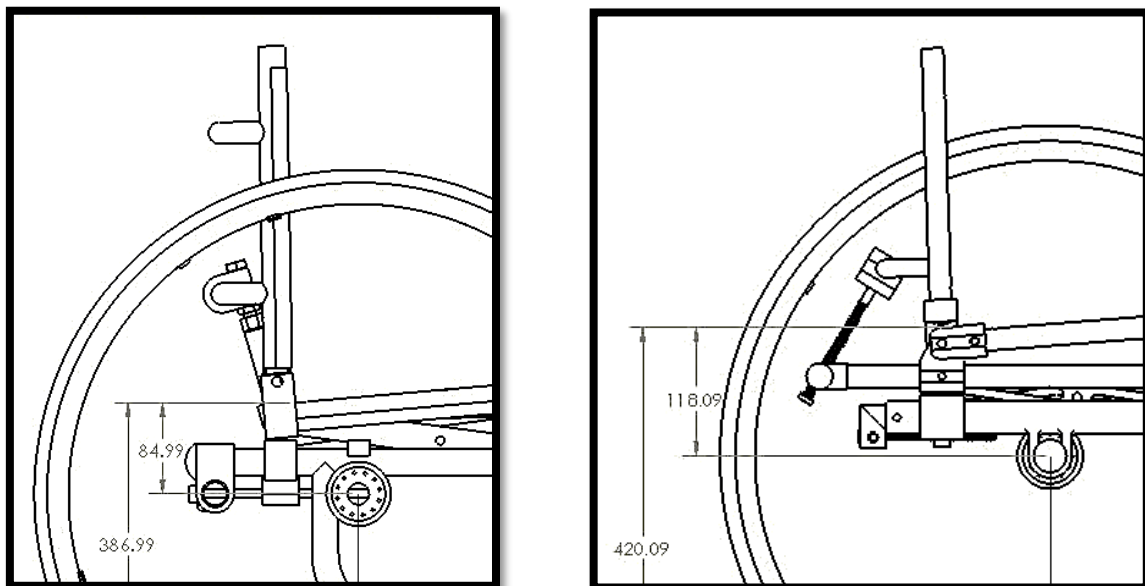


Figura 6.2

Come spiegato nel capitolo 5 (meglio inserire il paragrafo) la contro seduta ha come scopo principale quello di disaccoppiare le regolazioni legate alla seduta: essa infatti può solo traslare (verticalmente e/o orizzontalmente) per via del pantografo, quindi ad essa sono collegati i sistemi per la regolazione dell'inclinazione. Tale componente quindi non nasce prettamente con lo scopo di sostenere la seduta, compito già necessariamente svolto dal pantografo, per cui nel concepimento della VIPE 2 si è innanzitutto rimosso il componente per poi determinare soluzioni differenti per quanto concerne le regolazioni precedentemente collegate ad esso, in particolar modo la regolazione dell'inclinazione della seduta. Tali soluzioni verranno spiegate nel dettaglio in seguito.

Oltre a quanto detto, questo modello differisce dal precedente per quanto riguarda:

- **Il telaio:** più resistente e rigido per via dell'arco di rinforzo, saldato, presente nella zona anteriore (in precedenza situato vicino ai ruotini e collegato al telaio mediante bulloni) e poiché costituisce una struttura chiusa (in precedenza aperta). Tale telaio inoltre si avvicina molto ai telai utilizzati nelle carrozzine pieghevoli, tra le più comuni ed economiche, per cui, in ottica realizzativa, non vi è la necessità di produrre da zero il componente.

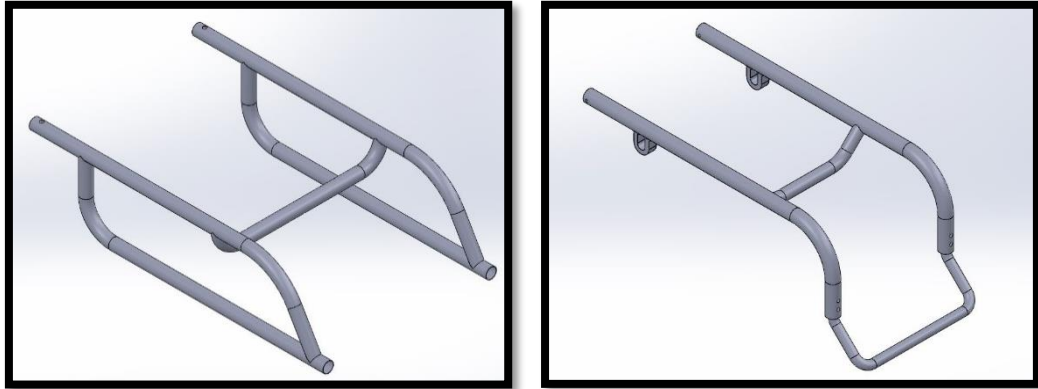


Figura 6.3

- **La seduta:** leggermente più larga, così da poter ospitare un maggior numero di utenti  
- **I ruotini:** oltre a poterne regolare l'altezza (come di consueto) è possibile modificarne la posizione lungo il telaio poiché ad esso non sono saldati, ma collegati mediante morsetti. Traslando i ruotini lungo il telaio si ha di fatto la regolazione del passo ruota, assente nella VIPE. È possibile osservare tale caratteristica nelle carrozzine pieghevoli più economiche.  
- **La componentistica:** in linea generale la componentistica è stata progettata in ottica realizzativa, cercando soluzioni il più possibile semplici e facili da realizzare.

## 6.2 Le regolazioni

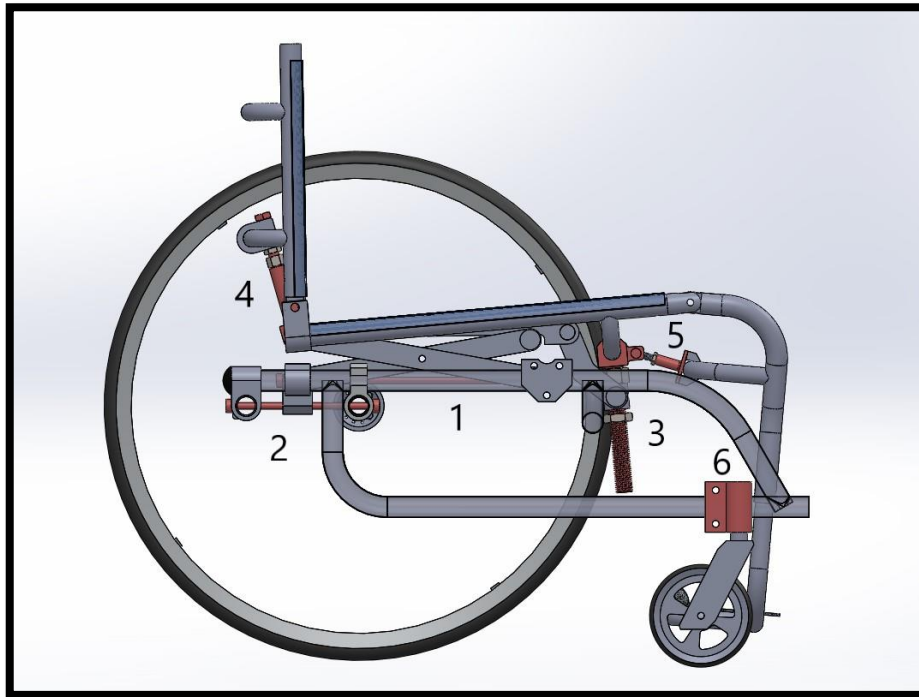


Figura 6.4

Come accennato in 6.1, le regolazioni della VIPE 2 sono analoghe alla VIPE per cui viene offerta la possibilità di regolare, indipendentemente:

- L'altezza della seduta (H)
- Lo sbilanciamento
- L'inclinazione della seduta ( $\alpha$ )
- L'inclinazione dello schienale ( $\beta$ )
- La distanza pedana-seduta (DPS)
- Il passo ruota (i)

Come per la VIPE, le regolazioni di altezza ed inclinazione della seduta equivalgono alle regolazioni di altezza frontale e posteriore della seduta.

## 6.2.1 Regolazione dell'altezza della seduta

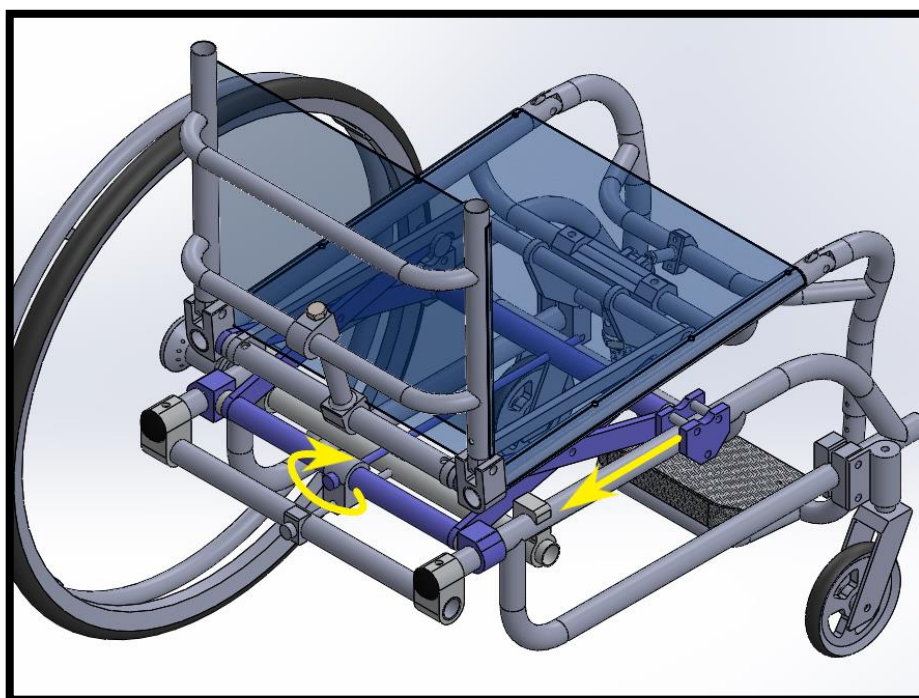


Figura 6.5

La regolazione dell'altezza avviene per mezzo di un pantografo elevatore, analogo a quello della VIPE (il cui funzionamento è stato illustrato in 5.2 e 5.3.1), che tuttavia presenta delle differenze in termini di soluzioni costruttive dovute al diverso telaio utilizzato e all'assenza della controseduta. Una delle differenze più evidenti risiede nei collegamenti anteriori del pantografo con il telaio, costituiti non più da bussole cilindriche bensì da componenti realizzati per mezzo di due piastre collegate tra loro mediante 3 viti (2 superiori e la restante inferiore), attorno le quali sono liberi di

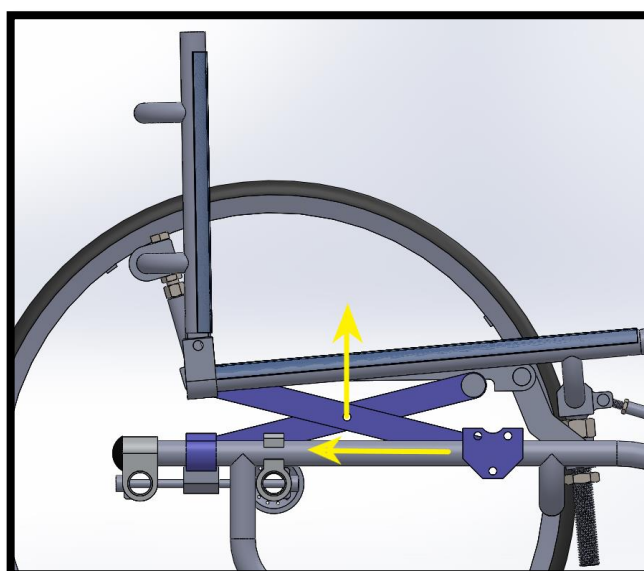


Figura 6.6

ruotare 3 rulli in contatto con il telaio, che vanno quindi a costituire un carrello, libero di traslare; delle due piastre quella interna differisce dall'esterna per la presenza di un cilindro saldato ad essa che ha lo scopo di realizzare con il braccio del pantografo un accoppiamento rotoidale. I carrelli destro e sinistro sono inoltre collegati tra loro mediante un traverso, tubolare, dove i cilindri delle facce interne vanno ad inserirsi e vengono fissati mediante bulloni, così da: impedirne la rotazione

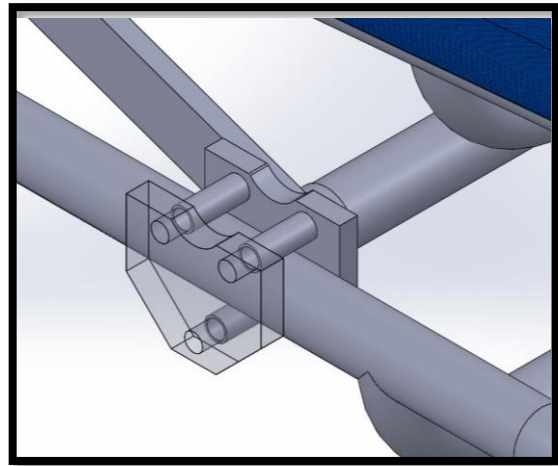


Figura 6.7

attorno al tubolare del telaio, irrobustire la struttura, impedire ai bracci di traslare lungo le sedi delle facce interne ed infine ospitare la vite di regolazione per l'altezza di seduta. La necessità di sostituire le bussole scorrevoli viste nella VIPE (qui comunque presenti come collegamenti posteriori del pantografo al telaio) nasce dal fatto che il telaio è chiuso, quindi vi era la necessità di realizzare un componente sostitutivo, smontabile. Va infine aggiunto che tali carrelli sono di più semplice ed economica realizzazione rispetto alle bussole. La regolazione dell'altezza avviene mediante la vite di regolazione che determina la distanza tra i trasversi collegati alle teste anteriori e posteriori dei bracci, collegate a loro volta, rispettivamente, ai carrelli anteriori e le bussole posteriori. Analogamente a quanto visto in 5.3.1, la vite di regolazione è fissata in testa al traverso posteriore, dove però è libera di ruotare, mentre a quello anteriore è collegata mediante filettatura, per mezzo di un cilindro ospitato al suo interno provvisto di foro filettato (poiché, come la quasi totalità dei componenti cilindrici della carrozzina, i trasversi sono tubolari): avvitando la vite si modifica la distanza dei trasversi, quindi l'apertura del pantografo, quindi l'altezza della seduta.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza

## **6.2.2 Regolazione dello sbilanciamento**

La regolazione avviene mediante la traslazione del pantografo, la cui apertura è fissata dalla vite di regolazione descritta in 6.2.1. Analogamente a quanto illustrato in 5.3.2, la traslazione avviene per mezzo di una vite di regolazione che, se avvitata, modifica la posizione del traverso posteriore del pantografo rispetto ad un trasverso solidale al telaio. La differenza sostanziale tra questa regolazione e la sua versione precedente consiste nella vite di regolazione: essa non è più fissata solamente in testa al traverso del telaio, ma anche in coda al mozzo delle ruote posteriori; tale scelta garantisce una maggior stabilità del sistema poiché a differenza della vite che regola l'altezza della seduta questa può essere soggetta sia a trazione che a compressione. Un'ulteriore differenza consiste nei punti di contatto tra i traversi e le teste delle viti, rinforzati da blocchetti che inoltre offrono alle teste superfici piane di contatto.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza

## **6.2.3 Regolazione dell'inclinazione della seduta**

Come anticipato in 6.1 la regolazione dell'inclinazione della seduta costituisce la principale innovazione introdotta nella VIPE 2. Avendo rimosso la controseduta presente nella versione precedente, la seduta ora è collegata direttamente al pantografo mediante il traverso che ne collega le estremità posteriori, andando a realizzare con esso un accoppiamento rotoidale e attorno al quale agisce la regolazione dell'inclinazione. Vien da sé che la regolazione dell'inclinazione è collegata alla seduta anteriormente, così da poter disporre di una leva favorevole, tuttavia non è stato possibile collegarla direttamente al traverso delle estremità anteriori del pantografo poiché così facendo le regolazioni di altezza ed inclinazione sarebbero state tra loro accoppiate: poiché il pantografo ha le estremità inferiori-posteriori solidali al telaio per mezzo della regolazione dello sbilanciamento (6.2.2), nell'atto della regolazione dell'altezza della seduta le estremità superiori-anteriori compiono una traiettoria circolare (a differenza di quelle superiori-posteriori, solidali alla seduta, che traslano verticalmente), allontanandosi dall'avanseduta tanto più quanto questa viene alzata. Per ovviare a tale inconveniente sono stati aggiunti due bracci, del tutto simili a quelli del pantografo, collegati mediante accoppiamento rotoidale al traverso posteriore e che si appoggiano a quello anteriore, in modo tale da rimanere paralleli al terreno nell'atto della regolazione dell'altezza della seduta. I bracci sono inoltre collegati tra loro nelle estremità anteriori mediante un traverso

cilindrico il quale, oltre a irrigidire la struttura, sostiene il sistema di regolazione dell'inclinazione collegato superiormente alla seduta.

Il sistema di regolazione dell'inclinazione è costituito da una vite, fissa rispetto alla seduta, che si inserisce in una bussola passante collegata al traverso anteriore mediante una coppia di **bielle**, che garantiscono al meccanismo di non bloccarsi: la regolazione avviene facendo scorrere la vite attraverso la bussola, la cui posizione viene fissata mediante l'utilizzo di dadi. Poiché su tale sistema di regolazione grava buona parte del peso dell'utente, si è scelto di utilizzare una vite M20, la quale è cava al fine di influire il meno possibile sul peso della carrozzina.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza

#### **6.2.4 Regolazione dell'inclinazione dello schienale**

La regolazione dell'inclinazione dello schienale avviene per mezzo di una vite, collegata al traverso di rinforzo di quest'ultimo mediante accoppiamento rotooidale, che si inserisce in un cilindro collegato al traverso superiore-posteriore del pantografo, sempre mediante accoppiamento rotooidale. Similmente alla regolazione dell'inclinazione della seduta, la regolazione avviene per mezzo di un dado che regola il grado di penetrazione della vite all'interno del cilindro. Per evitare il più possibile la flessione del sistema di regolazione questo è stato collocato molto vicino allo schienale.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza



### 6.2.5 Regolazione della distanza pedana-seduta

La regolazione della distanza pedana-seduta è duplice: essa infatti offre la possibilità modificare l'estensione dei tubi che collegano la pedana alla seduta, essendo questi telescopici, ma oltre a ciò è possibile anche modificarne l'inclinazione rispetto alla seduta, dando modo all'utente di configurare la pedana nel miglior modo possibile. Tali tubi infatti sono collegati alle estremità anteriori della seduta mediante accoppiamenti rotoidali, la cui inclinazione viene determinata da un sistema di regolazione analogo a quello descritto per l'inclinazione dello schienale (6.2.4): collegato ad un'estremità al traverso di rinforzo e all'altra direttamente al sistema di regolazione della seduta, modificandone l'estensione è possibile ottenere l'inclinazione desiderata della pedana.

Le caratteristiche della regolazione sono:

- Vite di regolazione: lunghezza, d,p, peso
- Bracci: lunghezza, peso
- Range di regolazione: min max
- Rapporto giro/altezza

### 6.2.6 Regolazione del passo

Come anticipato in 6.1, qualora ve ne fosse il bisogno, la VIPE 2 offre la possibilità di variare il passo ruota modificando la posizione dei ruotini lungo il telaio, poiché non saldati ma collegati ad esso mediante collegamenti amovibili.

### 6.2.7 Tabella riassuntiva delle regolazioni

Parametro	Valore min	Valore max	Note
Altezza della seduta (H)			
Sbilanciamento (S)			
Inclinazione della seduta ( $\beta$ )			
Inclinazione dello schienale ( $\alpha$ )			
Distanza pedana-seduta (DPS)			

## **CAPITOLO 7**

### **Confronto tra le carrozzine e conclusioni**

## BIBLIOGRAFIA

Benazzato, M. (2017). Kinematic , kinetic and electromyographic analysis on elite wheelchair rugby players during functional tests on an inertial drum bench. Master degree, Università degli Studi di Padova.

Bettella, F. (2016). Structural analysis of a rugby wheelchair frame during field and laboratory tests. Master degree, Università degli Studi di Padova.

Cole, Elizabeth, MSPT, ATP. “Steps in the Provision of Wheeled Mobility and Seating-Part 1.” U.S. Mobility; [www.VGM.com](http://www.VGM.com).

Boninger ML, Cooper RA, Fitzgerald SG, Lin J, Cooper R, Dicianno B, Liu B: Investigating neck pain in wheelchair users. Am J Phys Med Rehabil 2003;82:197–202.

Mason, B. S., Porcellato, L., Van Der Woude, L. H., and Goosey-Tolfrey, V. L. (2010). A qualitative examination of wheelchair configuration for optimal mobility performance in wheelchair sports: A pilot study. Journal of Rehabilitation Medicine, 42(2):141–149.

Kotajarvi, B. R., Sabick, M. B., An, K.-N., Zhao, K. D., Kaufman, K. R., and Basford, J. R. (2004). The effect of seat position on wheelchair propulsion biomechanics. Journal of Rehabilitation Research & Development, 41(3B):403–414.

## **APPENDICE**

## **RINGRAZIAMENTI**