

---

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione  
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

***Relazione per la prova finale***  
***«Sviluppo e assemblaggio di un deambulatore  
intelligente per la navigazione assistita»***

Relatore: Prof. Luca Tonin

Laureanda: Clara Polato  
Matricola n.: 2074003

Padova, 12/03/2026

## Il Problema delle Cadute negli Anziani

Le cadute rappresentano una delle principali cause di infortunio e morte tra gli anziani: circa uno su tre cade almeno una volta l'anno.

Oltre ai danni fisici, le cadute provocano **conseguenze psicologiche rilevanti**. La paura di cadere porta infatti molte persone anziane a evitare attività fisiche, e ciò ha un impatto negativo sulla loro salute.

Questo porta spesso a un'eccessiva dipendenza da familiari e a una **perdita di autonomia** nella vita quotidiana.

# INTRODUZIONE



## L'Evoluzione del Deambulatore Tradizionale

I deambulatori sono dispositivi ausiliari essenziali per chi cerca sicurezza e supporto nella deambulazione.

La ricerca moderna ha introdotto i **deambulatori intelligenti (smart walker)**, capaci di frenata autonoma, evitamento ostacoli e navigazione in ambienti complessi grazie ad algoritmi di intelligenza artificiale.

Nonostante l'avanzamento tecnologico, molti di questi progetti rimangono prototipi di ricerca, lontani dal mercato di consumo.

## Stato dell'arte

Un esempio deambulatore intelligente è lo *Smart Robotic Walker* sviluppato della University of Hong Kong [1], che usa diversi tipi di **input**, come comandi vocali, la camminata dell'utente e la pressione delle mani sulle maniglie.

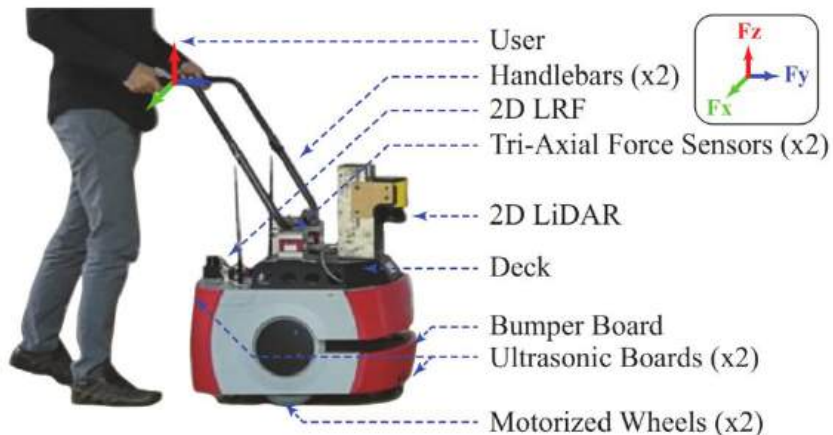
È dotato anche di freni di emergenza e un sistema di controllo basato su machine learning per garantire la sicurezza dell'utente.



[1] Zhao X, Zhu Z, Liu M, et al. A Smart Robotic Walker With Intelligent Close-Proximity Interaction Capabilities for Elderly Mobility Safety. *Frontiers in Neurorobotics*, 14:575889, 2020

Un altro esempio di «smart walker» è *AGoRA walker* [2]: un lavoro significativo nel campo della robotica assistiva e dell'interazione fisica uomo-robot.

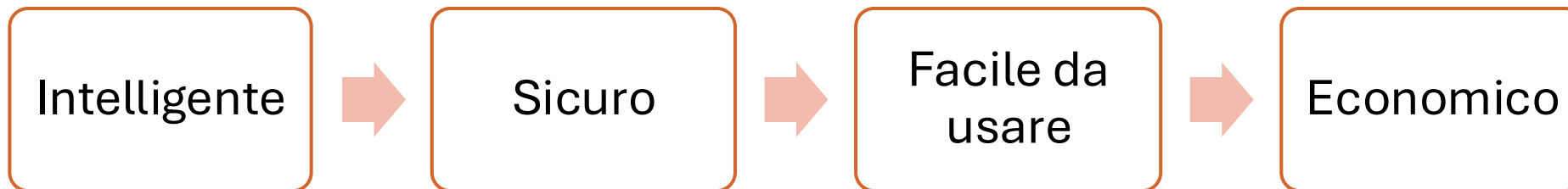
Lo studio dimostra che non esiste un'unica impostazione "perfetta» per un deambulatore, ma ci devono essere dei compromessi (trade-off).



- L'obiettivo principale dello studio è capire come "si sente" l'utente mentre usa il dispositivo.
- Quando l'utente spinge, il robot non risponde istantaneamente, ma simula un sistema massa-molla-smorzatore. Di conseguenza le ruote possono risultare più o meno rigide.

## Il Progetto EasyWalk: Navigazione Assistita

Il progetto "*EasyWalk: An Intelligent Social Walker for active living*" ha come obiettivo lo sviluppo e la creazione di un deambulatore che sia:



Nonostante sia dotato di pochi sensori, per mantenere il prezzo accessibile, il deambulatore deve essere in grado di muoversi in sicurezza anche in ambienti nuovi o in presenza di ostacoli, senza bisogno di una mappa conosciuta in anticipo.

## Dallo Standard allo Smart: L'Assemblaggio del Deambulatore

Nella realizzazione di questo progetto mi sono occupata dell'assemblaggio e della trasformazione del deambulatore, con l'obiettivo di **integrarne** le funzionalità tradizionali con componenti tecnologiche che lo rendessero un dispositivo “**smart**”.

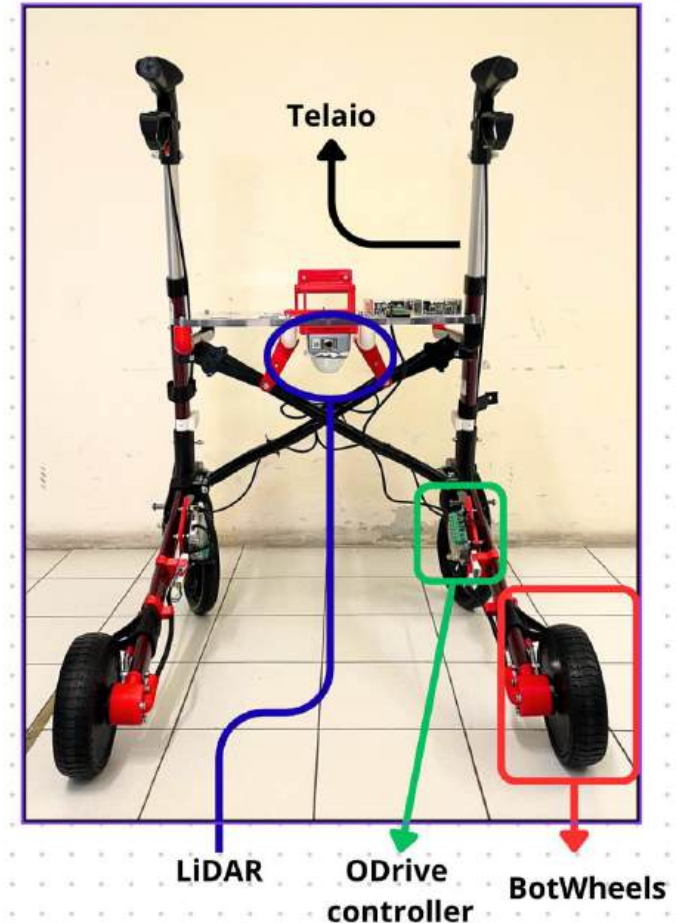
Partendo da un deambulatore commerciale standard, ho integrato diverse componenti hardware, costruendo così la base per la raccolta ed elaborazione dei dati relativi alla navigazione assistita.



## Componenti Principali e la loro Utilità

Il walker si compone di **5 elementi principali**:

- Il **TELAIO** : modello "GIMA" pieghevole con maniglie regolabili in altezza e quattro ruote, di cui due munite di freni.
- Le **RUOTE** : "BotWheels" di ODrive, guidate da due controllori "ODrive S1".
- Il **LiDAR** : dispositivo laser in grado di determinare in tempo reale la distanza degli oggetti circostanti. Modello «Livox Mid-360».



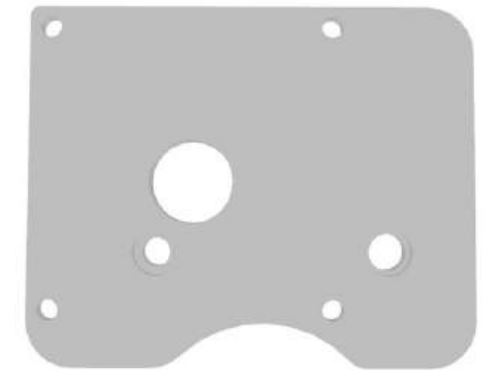


- la **CAMERA** : per la rilevazione delle persone. Modello "Luxonis OAK-D Pro W".
- l' **IMU** : (Inertial Measurement Unit o Unità di Misura Inerziale) è un sensore elettronico che permette al robot di stimare la propria posizione nello spazio.

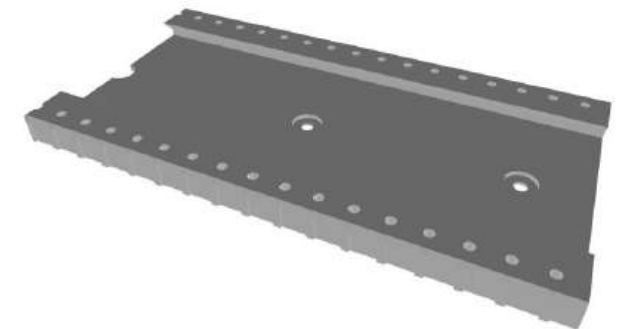
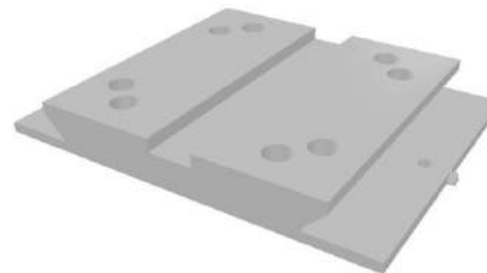
## Componenti Aggiuntive Utili al Montaggio

Una considerevole quantità di supporti sono stampe 3D in PLA, studiati tramite software di modellazione 3D e disegnati appositamente per essere integrati nel sistema.

- **Sostegni** per le ruote: Inserti che vanno infilati nel tubo del telaio una volta tolte le ruote standard, su questi sostegni si avvitano le ruote motorizzate.
- Due **supporti** per i controller ODrive : Piccole piastre su cui vanno fissati i controllori delle ruote.
- **Base di appoggio** per la telecamera : Sostegno su cui si fissa la telecamera, disegnato in modo da poter modificare l'angolazione del dispositivo una volta posizionato.

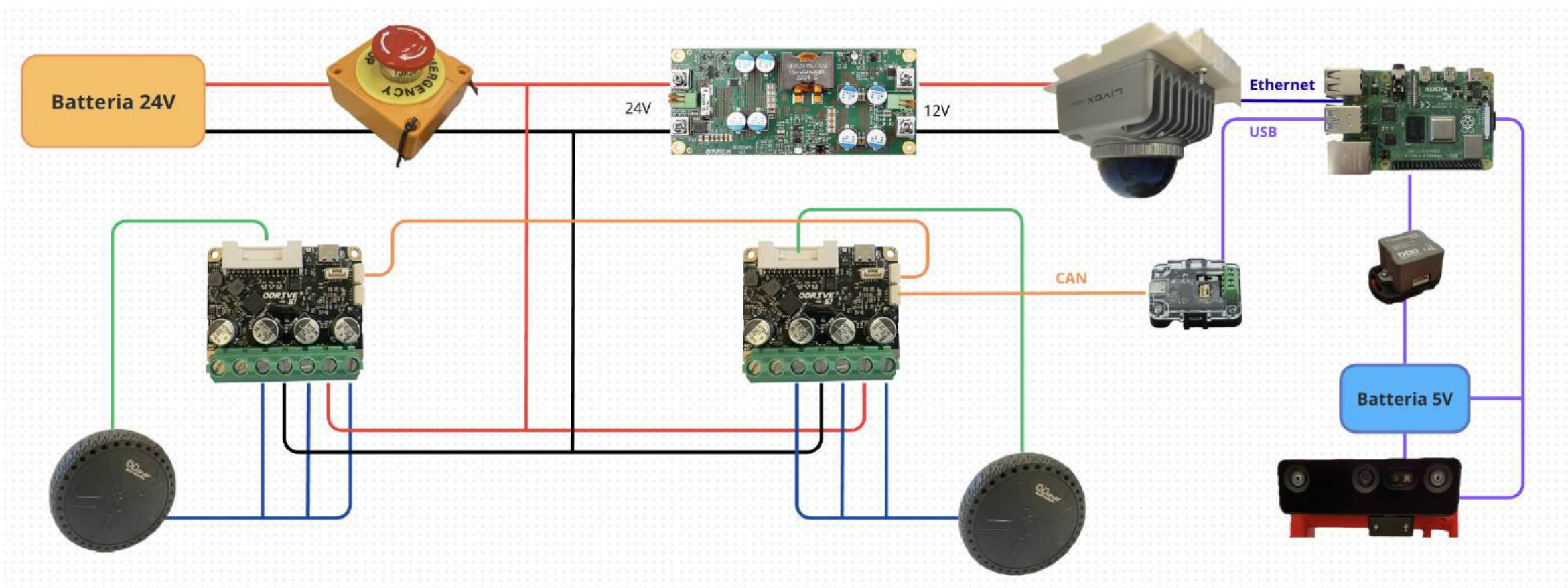


- **Guida e slitta** per il sensore laser: La guida è una sorta di binario su cui il lidar può scorrere. Il sensore deve essere fissato alla slitta (una piastra disegnata appositamente per poter scorrere sulla guida).
- **Guide** per cavi elettrici: Sono piccoli componenti utili per mantenere ordinati e separati i cavi del circuito.
- **Distanziatori** per i freni: Chiodini di diverse grandezze per regolare i freni già presenti nel deambulatore passivo in modo da poterli adattare alle nuove ruote.



# DESCRIZIONE DEL LAVORO

L'intero sistema è integrato in un circuito elettrico che prende l'alimentazione da due batterie.



## Preparazione dei Componenti

Come prima cosa tutti i componenti devono essere "completati" con i loro sostegni.

- Le **ruote** originali posteriori vanno sostituite con quelle motorizzate, che si incastrano e avvitano al telaio tramite il loro supporto.
- Anche gli **ODrive** devono prima essere avvitati alla loro base che viene poi fissata sulle gambe della struttura corrispondente alla ruota da controllare



## DESCRIZIONE DEL LAVORO

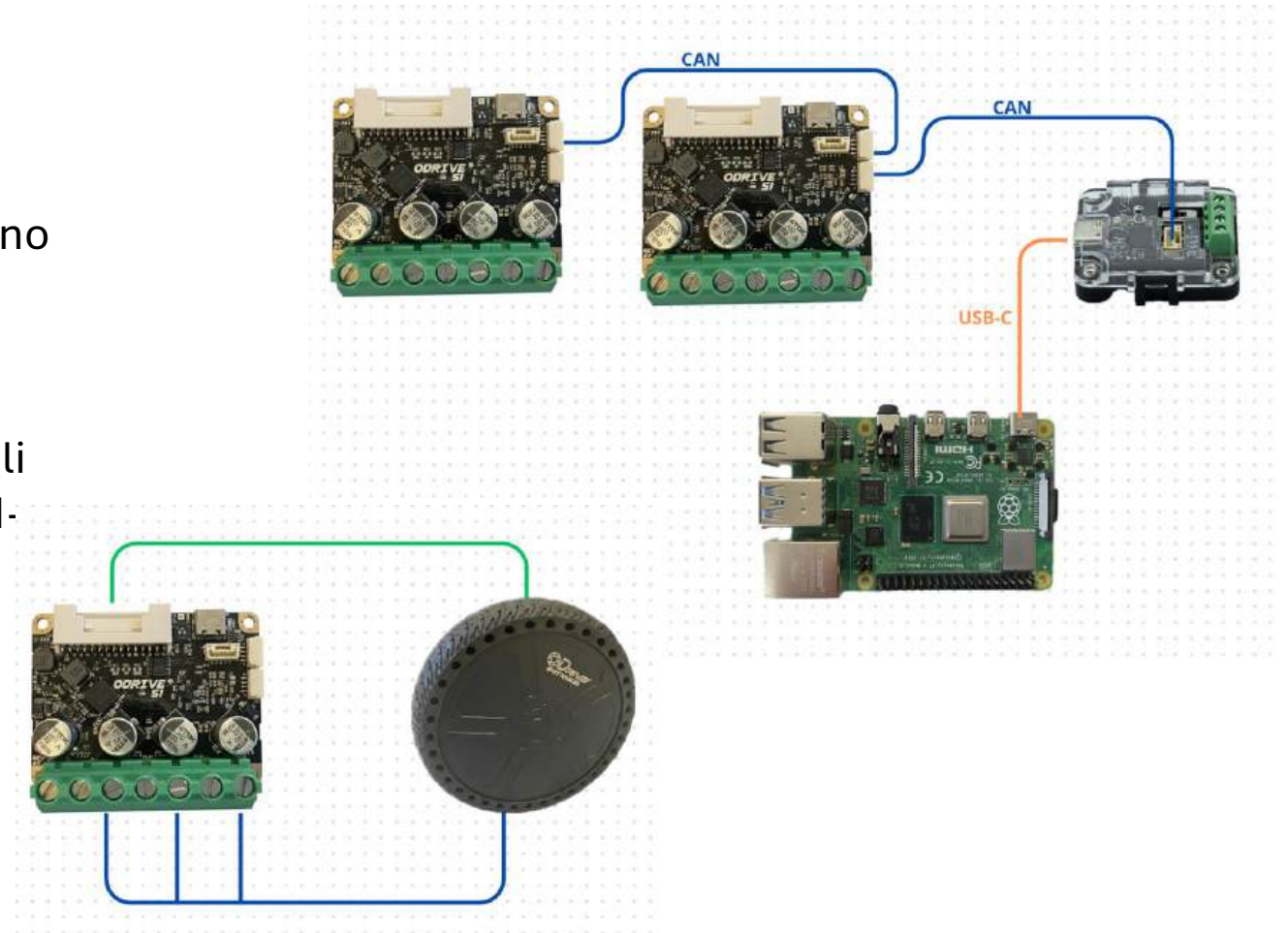


- Il **lidar** ha una sistemazione molto precisa, siccome viene utilizzato capovolto ha bisogno di essere attaccato ad un slitta che può muoversi su una apposita guida.
- La **camera** viene ancorata ad un sostegno che permette di regolare l'angolazione verticale dell'inquadratura, mantenendola perfettamente parallela al pavimento. La camera è posizionata sulla parte anteriore del piano d'appoggio.

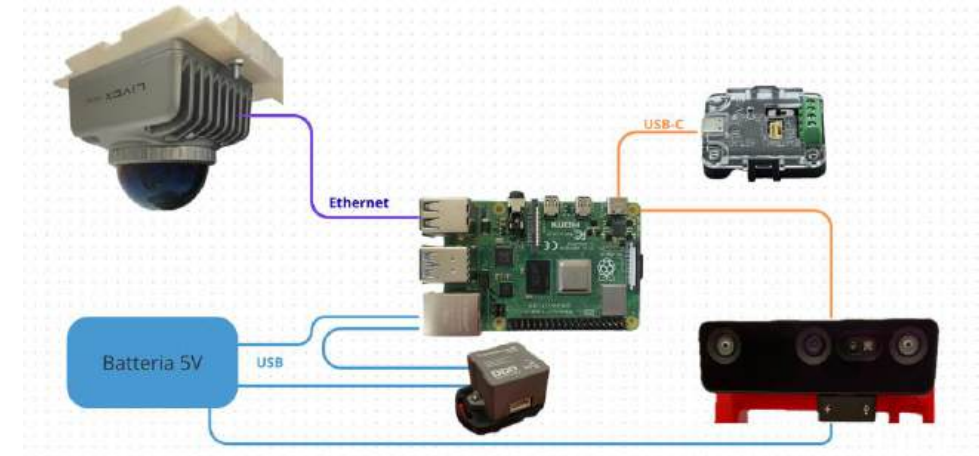
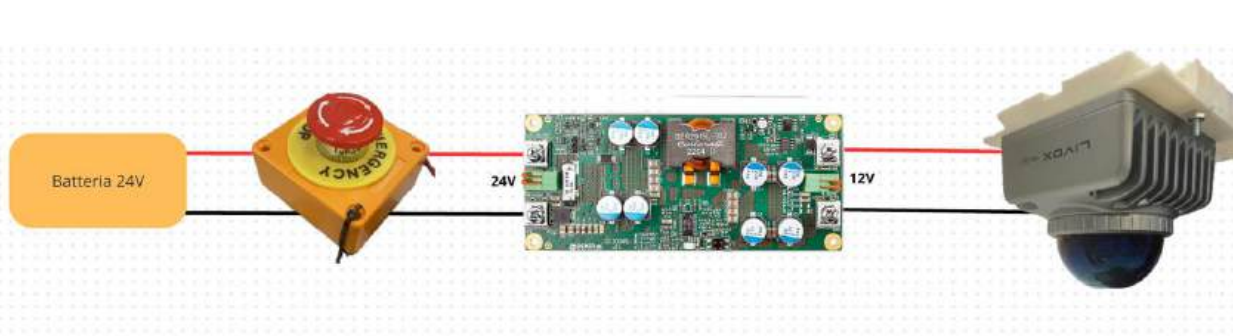
Una volta che tutti i componenti sono al loro posto, si può procedere con i collegamenti.

## Procedura di montaggio

- **Ruote-Odrive:** Partendo dalle ruote, da queste escono due insiemi di cavi che vanno collegati entrambi agli Odrive.
- **Odrive-Odrive** tramite can: Per poter controllare il sistema, gli Odrive devono essere collegati tramite un cavo CAN, che li connette entrambi ad un convertitore CAN-USBc, a questo viene poi connessa la Raspberry-pi tramite usb-c.



- **Batteria-Bottone** : Nel prototipo l'alimentazione è da 24V e attraversa prima un bottone di sicurezza, che può essere utilizzato per aprire in modo immediato l'intero circuito
- **Bottone-convertitore-lidar**: Il laser è alimentato a 12V, quindi la tensione della batteria deve essere abbassata tramite un convertitore di tensione prima di arrivare al laser

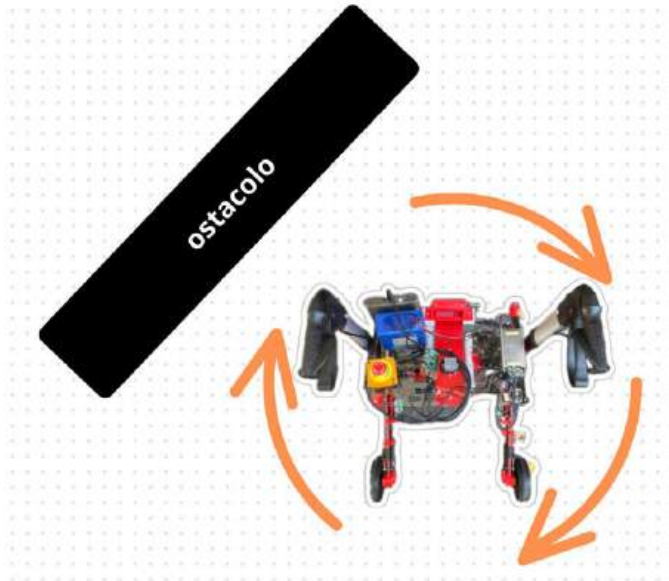


- **Raspberry**: è alimentata da un'altra batteria da 5V ed è connessa tramite usb-c al convertitore CAN a cui sono legati gli Odrive, al Lidar tramite un cavo ethernet, e all'IMU tramite USB.



## Sistema di Navigazione

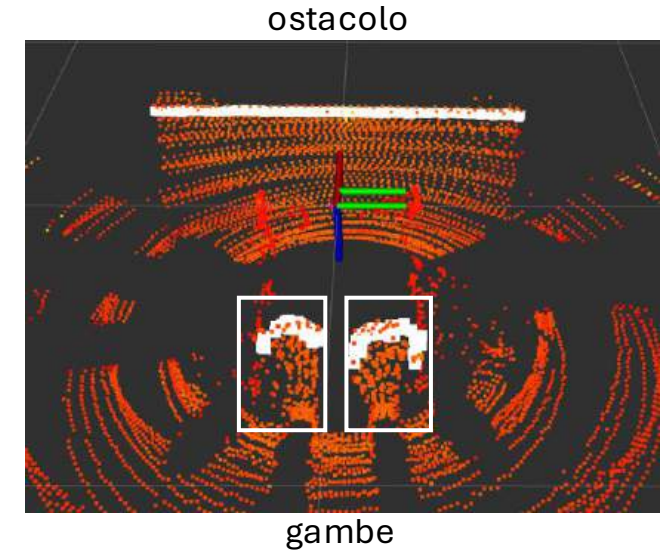
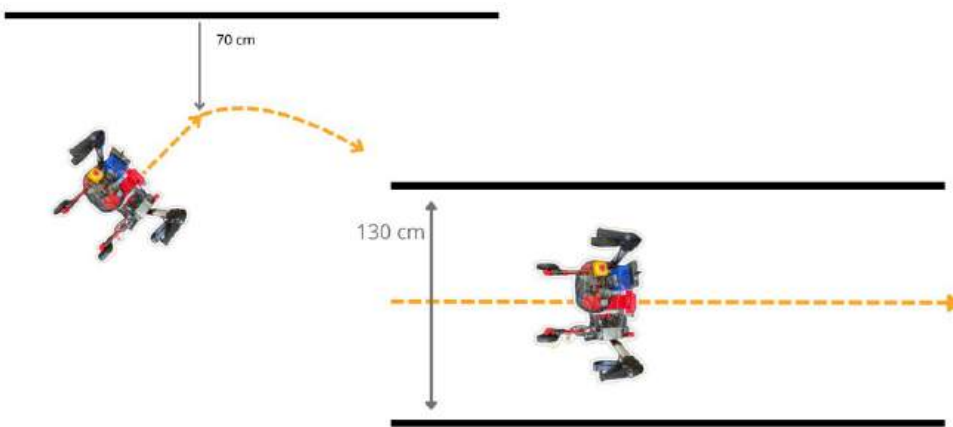
Il codice su cui si basa il funzionamento delle ruote è composto da un nodo ROS2 (scritto in C++) il cui scopo principale è leggere i dati dal sensore Laser (LiDAR), identificare ostacoli vicini e calcolare automaticamente la **coppia** (torque) da inviare ai motori delle ruote per evitare collisioni.



- Se l'ostacolo è **davanti**, calcola una resistenza che ferma le ruote del deambulatore (più è vicino, più frena).
- Se l'ostacolo è a **destra o sinistra**, genera un momento per far ruotare il deambulatore nel verso opposto, verso una via libera.

## Verifiche Hardware

Grazie a questo nodo ROS2 ho potuto testare il funzionamento dell'intero circuito, in particolare del bottone, delle ruote e del lidar. Ottenendo i seguenti parametri :



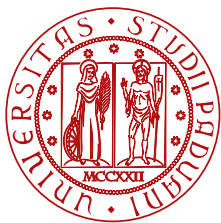
- Larghezza minima di corridoio 130 cm.
- Resistenza frontale minima : 90cm
- Resistenza frontale massima : 70 cm
- Resistenza diagonale (45°) : 70 cm

## Funzionalità del setup

Per concludere, l'obiettivo del progetto "EasyWalk" era realizzare un deambulatore semplice da utilizzare, sicuro e con costi contenuti. Questi requisiti sono stati rispettati il più possibile.

- ✓ **Facile da usare** : La struttura di base è quella di un normale deambulatore passivo. Il modello rimane pieghevole e facile da trasportare.
- ✓ **Sicuro** : Tramite il bottone di sicurezza, è possibile spegnere immediatamente in sistema. Inoltre i freni originali sono stati adattati alle nuove ruote.
- ✓ **Economico** : Modificando un deambulatore commerciale i costi rimangono contenuti.

L'unica **modifica strutturale significativa** riguarda la seduta, che è stata rimossa e sostituita con la base in plexiglass per poter sostenere in modo stabile tutti i componenti elettronici del sistema, **perdendo** un po' la **comodità** della classica seduta.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA

# **Sviluppo e assemblaggio di un deambulatore intelligente per la navigazione assistita**

**Relatore**

Prof. Luca Tonin

**Laureanda**

Clara Polato

ANNO ACCADEMICO 2025/2026

Data di laurea 12/03/2026



# Sommario

Questa tesi ha il fine di descrivere il progetto sviluppato durante il corso del mio tirocinio. Si tratta dell'assemblaggio di un deambulatore intelligente, con attuatori e sensori per il riconoscimento dell'ambiente circostante, al fine di assistere la navigazione dell'utente.



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	il progetto EasyWalk . . . . .	2
1.2	Lo scopo della tesi . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Componenti Hardware</b>	<b>7</b>
3.1	Struttura e design del walker . . . . .	7
3.2	Componenti principali e la loro utilità . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Montaggio</b>	<b>13</b>
4.1	Componenti aggiuntive utili al montaggio . . . . .	13
4.2	Procedura di montaggio . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Sistema di navigazione</b>	<b>19</b>
5.1	Algoritmo . . . . .	19
5.2	Verifiche Hardware . . . . .	19
	<b>Conclusione</b>	<b>21</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>



# Elenco delle figure

1.1	Prototipo terminato del walker . . . . .	3
3.1	Deambulatore Compact pieghevole. Fonte: Gima S.p.A. (www.gimaitaly.com), Codice prodotto 43162. Consultato il 18/12/2024. . . . .	8
3.2	ODrive wheel . . . . .	8
3.3	ODrive controller . . . . .	9
3.4	Livox LiDAR sensor . . . . .	9
3.5	Luxonis OAK-D Pro W camera . . . . .	10
3.6	Circuito completo . . . . .	11
3.7	Componenti principali del walker, integrate sul telaio . . . . .	11
3.8	Componenti ausiliarie del walker, integrate sul piano in plexiglass . . . . .	12
4.1	stampa 3D, supporto ruote . . . . .	14
4.2	base per gli Odrive . . . . .	14
4.3	distanziatori per i freni . . . . .	14
4.4	Ruota e Odrive collegati e montati sul telaio . . . . .	16
4.5	Lidar montato sulla guida . . . . .	16
4.6	Collegamento ruota-Odrive . . . . .	17
4.7	Collegamento Odrive . . . . .	17
4.8	Collegamento Lidar . . . . .	17
4.9	Collegamento Raspberry-pi . . . . .	18



# Capitolo 1

## Introduzione

Le cadute rappresentano una delle principali cause di infortunio e morte tra gli anziani: circa uno su tre cade almeno una volta l'anno [1]. Oltre ai danni fisici, le cadute provocano conseguenze psicologiche rilevanti. La paura di cadere porta infatti molte persone anziane a evitare attività fisiche, e ciò ha un impatto negativo sulla loro salute, aumentando ansia e depressione. Questo porta spesso a un'eccessiva dipendenza da familiari e a una perdita di autonomia nella vita quotidiana. [2]

I deambulatori sono dispositivi ausiliari fondamentali per chi ha bisogno di un sostegno per camminare in sicurezza e con meno fatica. Sono particolarmente diffusi tra la popolazione anziana: il mercato europeo dei dispositivi per l'assistenza alla deambulazione è stato stimato a 1,64 miliardi di dollari nel 2024 e si prevede che raggiungerà 1,71 miliardi nel 2025 [3]. Questa crescita è legata principalmente al rapido invecchiamento della popolazione europea.

Un deambulatore passivo in genere è costituito da una struttura in metallo con quattro gambe o quattro ruote, fornite di freni. È leggero e semplice da manovrare, specialmente se il modello è pieghevole. Ha inoltre un costo contenuto, mediamente compreso tra i 50 e i 150 euro. Certi modelli includono anche una seduta e un cestino, elementi che risultano molto utili per chi utilizza questo dispositivo, gli utenti solitamente fanno fatica a restare in piedi per molto tempo e hanno bisogno di sedersi spesso, inoltre muoversi con un deambulatore significa avere entrambe le mani occupate, motivo per cui è comodo avere una base di appoggio per piccoli oggetti.

Questo tipo di deambulatore ha come scopo principale quello di sostenere parte del peso corporeo, migliorare l'equilibrio e la mobilità e di conseguenza anche l'autonomia di chi ne fa uso, lasciando però all'utente la totale responsabilità del movimento.

Negli ultimi anni la ricerca moderna ha introdotto deambulatori intelligenti, dotati di algoritmi di intelligenza artificiale in grado di controllare la frenata, evitare ostacoli e muoversi in ambienti complessi. Tuttavia, nonostante i risultati tecnologici ottenuti, molti di questi progetti

sono ancora prototipi di ricerca e non sono prodotti di largo consumo. I deambulatori intelligenti realmente commercializzati sono pochissimi, molto costosi e ingombranti, oltre che difficili da controllare.

In tale contesto, la mia tesi ha lo scopo di presentare un modello di deambulatore che mira ad affrontare queste sfide fornendo una nuova concezione di smart walker specificamente progettata per migliorare l'interazione tra utente e dispositivo e aumentare la fiducia reciproca tra i due.

## 1.1 il progetto EasyWalk

Come abbiamo visto, ci sono diverse criticità che limitano la diffusione di dispositivi di deambulazione "intelligenti". Prima fra tutte, il costo. Dispositivi con motori, sensori e dotati di intelligenza artificiale sono più costosi rispetto a un comune deambulatore. Anche la fiducia dell'utente rappresenta un ostacolo, bisogna che gli utilizzatori (spesso anziani) si fidino del dispositivo, che spesso non funziona bene nelle situazioni quotidiane o in ambienti non controllati. Infine c'è il problema della manutenzione: componenti come motori, batterie e sensori richiedono manutenzione e assistenza tecnica periodica.

Il progetto "*EasyWalk: An Intelligent Social Walker for active living*" [4] ha come obiettivo lo sviluppo e la creazione di un deambulatore intelligente, economico, facile da usare e sicuro, capace di capire le intenzioni della persona in base all'ambiente circostante, in modo tale che gli utenti si fidino del proprio dispositivo.

Nonostante sia dotato di pochi sensori, per mantenere il prezzo accessibile, il deambulatore deve essere in grado di muoversi in sicurezza anche in ambienti nuovi o in presenza di ostacoli, senza bisogno di una mappa conosciuta in anticipo. I sensori gli permettono di osservare l'ambiente e prendere decisioni di movimento in tempo reale.

## 1.2 Lo scopo della tesi

Nella realizzazione di questo progetto mi sono occupata dell'assemblaggio e della trasformazione del deambulatore, con l'obiettivo di integrarne le funzionalità tradizionali con componenti tecnologiche avanzate che lo rendessero un dispositivo "smart".

Partendo da un deambulatore commerciale standard, ho integrato diverse componenti hardware, costruendo così la base per la raccolta ed elaborazione dei dati relativi alla navigazione assistita.

Il prototipo è dotato di sensori che forniscono informazioni sull'ambiente, come telecamera RGB-D e LIDAR, e sensori che forniscono dati sullo stato del deambulatore stesso, co-



Figura 1.1: Prototipo terminato del walker

me encoder delle ruote e IMU. Questi ultimi permettono di tracciare la posizione del walker, fondamentale per la navigazione senza mappa in ambienti sconosciuti ed in presenza di ostacoli.

Il lavoro svolto mi ha permesso di ottenere un primo prototipo completo (in Fig. 1.1) e funzionante di walker intelligente, che costituisce la base di partenza per le versioni future, che potranno essere migliorate e arricchite con nuove funzionalità man mano che il progetto evolverà.



## Capitolo 2

### Stato dell'arte

La ricerca scientifica ha dedicato ampio spazio all'evoluzione dei deambulatori classici, integrandoli con sensori, attuatori e strategie di controllo avanzate. Questi dispositivi, noti come "smart walker" (deambulatori intelligenti), sono stati oggetto di una revisione sistematica in [5], che ne analizza le funzionalità. Generalmente, vengono classificati in base a criteri quali l'autonomia, il livello di controllo condiviso, la capacità di assistenza nel passaggio seduto-eretto e il monitoraggio dello stato dell'utente. Tuttavia, la distinzione fondamentale risiede nel sistema di propulsione:

**Deambulatori Passivi:** Questi dispositivi non utilizzano motori per la spinta, ma guidano l'utente verso la traiettoria desiderata sfruttando sensori e sistemi frenanti, lasciando alla persona la responsabilità del movimento fisico. Studi sull'uso dei freni per il controllo della traiettoria sono descritti in [6] (che impiega scanner laser e servofreni) e in [7].

**Deambulatori Attivi (Motorizzati):** Questi sistemi utilizzano motori collegati alle ruote per assistere attivamente la mobilità e navigare nell'ambiente. In [8] viene presentata una piattaforma che regola la velocità rilevando le gambe dell'utente tramite infrarossi.

È fondamentale notare che non esistono soluzioni universali: le funzioni di uno smart walker devono essere progettate su misura per specifiche classi di utenti.

Un esempio di deambulatore passivo sviluppato dall'Università degli studi di Catania è riportato in [9] e [10].

Un esempio di deambulatore intelligente invece è lo Smart Robotic Walker sviluppato della University of Hong Kong, che usa diversi tipi di input, come comandi vocali, la camminata dell'utente e la pressione delle mani sulle maniglie. È dotato anche di freni di emergenza e un sistema di controllo basato su machine learning per garantire la sicurezza dell'utente [11].

Lo studio pubblicato da Ihn Sik Weon e Soon Geul Lee [12] è un altro esempio di smart walker. È basato su un deambulatore robotico che regola attivamente velocità e direzione in

base all'intenzione dell'utente. Utilizza un LiDAR 2D che viene usato per stimare la direzione in cui l'utente vuole muoversi, rilevando le ginocchia, e due IMU, (uno su ciascun piede dell'utente) usati per dedurre la velocità della camminata. Il sistema è in grado di tradurre in tempo reale l'intenzione dell'utente (sia direzione che velocità) in comandi per il motore, migliorando l'assistenza.

Infine questo articolo scientifico [13], pubblicato sulla rivista *Sensors* nel 2021, è un lavoro significativo nel campo della robotica assistiva e dell'interazione fisica uomo-robot (pHRI).

L'obiettivo principale dello studio non è solo costruire un deambulatore che si muove, ma capire come "si sente" l'utente mentre lo usa. Lo studio utilizza lo AGoRA Walker, un deambulatore intelligente di tipo attivo. Questo significa che ha dei motori nelle ruote. Dei sensori di forza rilevano la spinta e il robot si muove di conseguenza.

Questo è il cuore tecnico del paper. Il deambulatore utilizza un controllo di ammettenza. In parole semplici: il software simula una fisica virtuale.

Quando l'utente spinge, il robot non risponde istantaneamente, ma simula un sistema massa-molla-smorzatore. Di conseguenza le ruote possono risultare più o meno rigide: se la rigidità è alta, significa che il robot oppone più resistenza ai cambiamenti veloci di direzione o velocità; Se è bassa, il robot reagisce prontamente anche a piccole forze.

Lo studio dimostra che non esiste un'unica impostazione "perfetta", ma ci sono dei compromessi (trade-off): una rigidità troppo bassa può rendere il deambulatore troppo reattivo (o "nervoso"), riducendo la sensazione di stabilità per chi ha problemi di equilibrio. Una rigidità troppo alta aumenta lo sforzo fisico dell'utente e rende difficile curvare, peggiorando la naturalezza della camminata. Il paper suggerisce che i parametri di controllo devono essere adattivi in base alle capacità dell'utente specifico.

# Capitolo 3

## Componenti Hardware

### 3.1 Struttura e design del walker

L'obiettivo del progetto è quello di creare un deambulatore facile da usare e che possa muoversi facilmente negli ambienti affollati, motivo per cui deve essere compatto e il più simile possibile ad un deambulatore passivo standard. Per contenere i costi e tempi di sviluppo, la progettazione e la realizzazione del walker si basano su prototipi già esistenti. Per soddisfare queste esigenze il prototipo è costituito da un classico telaio a cui sono state aggiunte tutte le componenti necessarie a renderlo "intelligente".

L'assemblaggio delle parti meccaniche e il modo in cui vengono posizionati i componenti hardware sono molto importanti, soprattutto per i sensori, perché la loro posizione influenza i dati che raccolgono.

Un altro punto fondamentale della struttura è garantire che tutti i componenti del sistema comunichino bene tra loro, sia a livello hardware che software, a tal fine sono state usate soluzioni basate su ROS: Robot Operating System.

### 3.2 Componenti principali e la loro utilità

Il walker si compone di 5 elementi principali: il telaio, le ruote, il LiDAR, la camera e un IMU (in Fig. 3.7).

Il punto di partenza dell'assemblaggio è il **telaio** di un deambulatore passivo. Io ho utilizzato un modello "GIMA" pieghevole avente le maniglie regolabili in altezza, con quattro ruote, di cui due munite di freni. (in Fig. 3.1)

A questa struttura ho rimosso tutte le componenti superflue, come le parti di tessuto e le due ruote posteriori, che ho sostituito con due **ruote motorizzate** (in Fig. 3.2).



(a) Telaio piegato



(b) Telaio

Figura 3.1: Deambulatore Compact pieghevole. Fonte: Gima S.p.A. ([www.gimaitaly.com](http://www.gimaitaly.com)), Codice prodotto 43162. Consultato il 18/12/2024.



Figura 3.2: ODrive wheel

Le ruote utilizzate sono "*BotWheels*" di *ODrive*, guidate da due controllori "*ODrive S1*". (in Fig. 3.3)

Al posto della base in tela, che normalmente serve per sedersi, ho posizionato un solido pannello in plexiglass, sul quale ho poi fissato tutte le altre componenti del sistema.

Il **LiDAR** (in Fig. 3.4) è un dispositivo laser in grado di determinare in tempo reale la distanza degli oggetti circostanti. La sua funzione è quella di rilevare eventuali ostacoli lungo il percorso dell'utente. I dati acquisiti vengono elaborati dal sistema di controllo, il quale gestisce la rotazione delle ruote del walker per deviare opportunamente la traiettoria ed evitare gli ostacoli identificati. Nel prototipo è stato impiegato un sensore "*Livox Mid-360*", caratterizzato da un campo di rilevamento di  $360^\circ$  in orizzontale e  $60^\circ$  in verticale, con una distanza minima

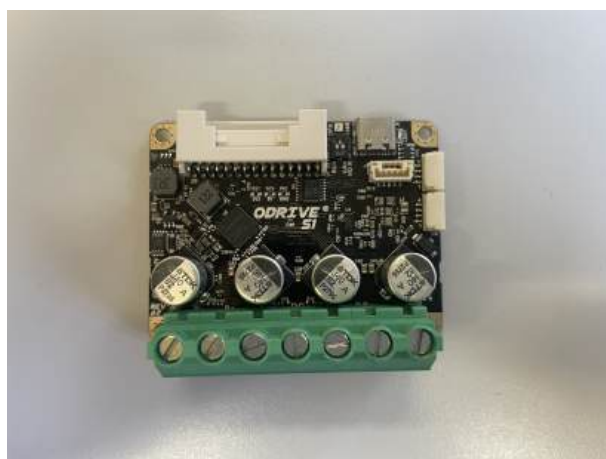


Figura 3.3: ODrive controller

di acquisizione pari a 0,1 metri e massima di oltre 10 metri. All'interno del walker il sensore è montato capovolto, orientato verso il pavimento, a un'altezza di circa 60 cm dal suolo.



Figura 3.4: Livox LiDAR sensor

Il ruolo della **camera** (in Fig. 3.5) è analogo a quello del sensore laser, ma con un focus specifico sulla previsione delle traiettorie delle persone rilevate, al fine di evitare possibili intersezioni con il deambulatore. L'individuazione di situazioni potenzialmente pericolose risulta fondamentale per supportare l'utente e garantire un'esperienza di navigazione sicura, in particolare nel caso di utenti anziani. Il modello utilizzato in questo progetto è "*Luxonis OAK-D Pro W*"

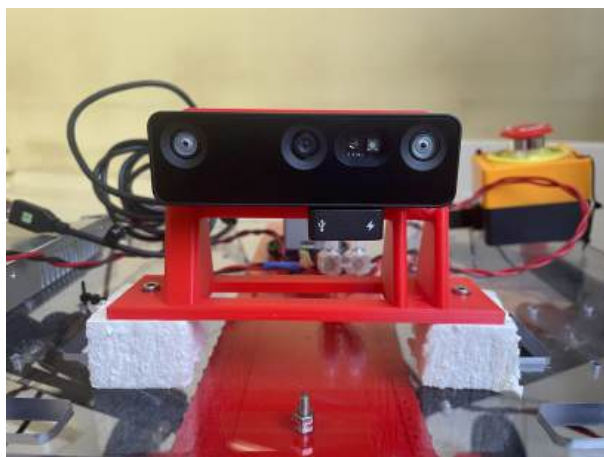


Figura 3.5: Luxonis OAK-D Pro W camera

Infine nel sistema va integrato un IMU (Inertial Measurement Unit o Unità di Misura Inerziale) è un sensore elettronico che misura e riferisce in tempo reale le forze specifiche, la velocità angolare e l'orientamento di un robot. Permette al robot di stimare la propria posizione nello spazio.

L'intero sistema è integrato in un **circuito elettrico** (in Fig. 3.6) che prende l'alimentazione principale da una batteria a 24 V. A questo è collegato direttamente un pulsante di emergenza che consente l'arresto immediato del dispositivo, per garantire la sicurezza dell'utente. I due controller ODrive, alimentati a 24 V, gestiscono il movimento delle rispettive ruote e comunicano tra loro tramite un cavo CAN, che viene poi collegato alla Raspberry Pi attraverso un convertitore USB-C/CAN.

Per alimentare il LiDAR è presente un convertitore DC/DC che abbassa la tensione da 24 V a 12 V; il sensore invia i dati alla Raspberry tramite un cavo Ethernet. La Raspberry Pi, la telecamera e l'IMU, invece, non utilizzano la batteria principale, ma sono alimentati separatamente da una seconda batteria da 5 V. (in Fig. 3.8)

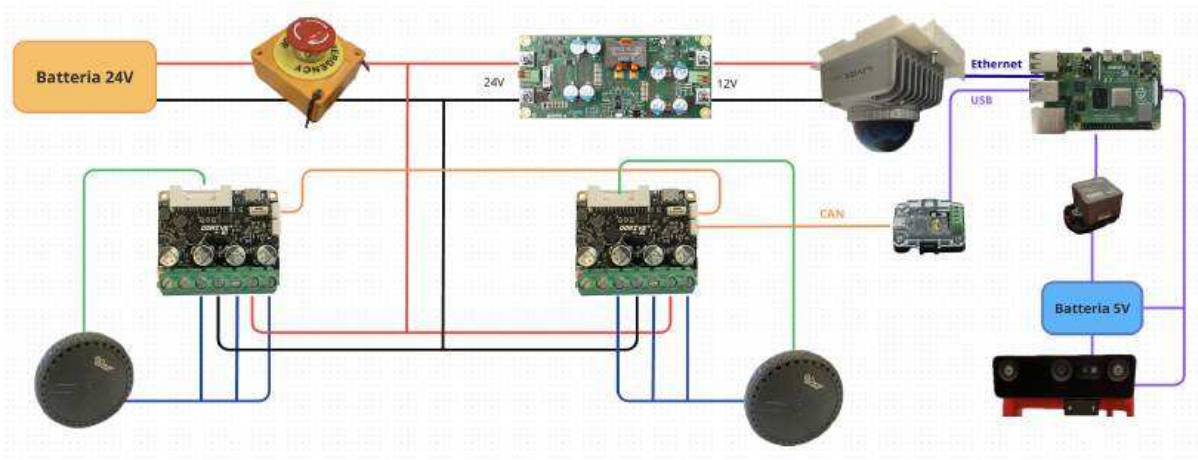


Figura 3.6: Circuito completo

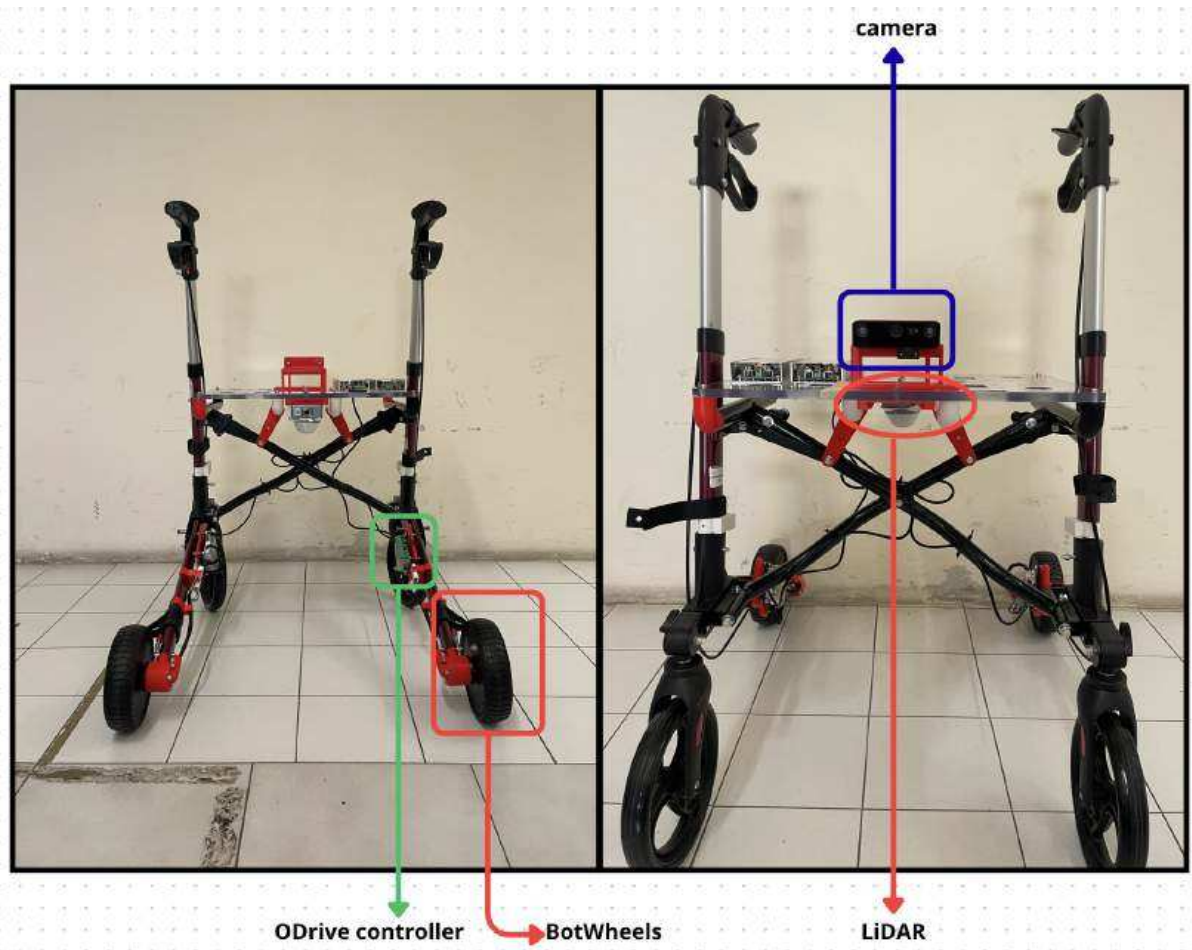


Figura 3.7: Componenti principali del walker, integrate sul telaio

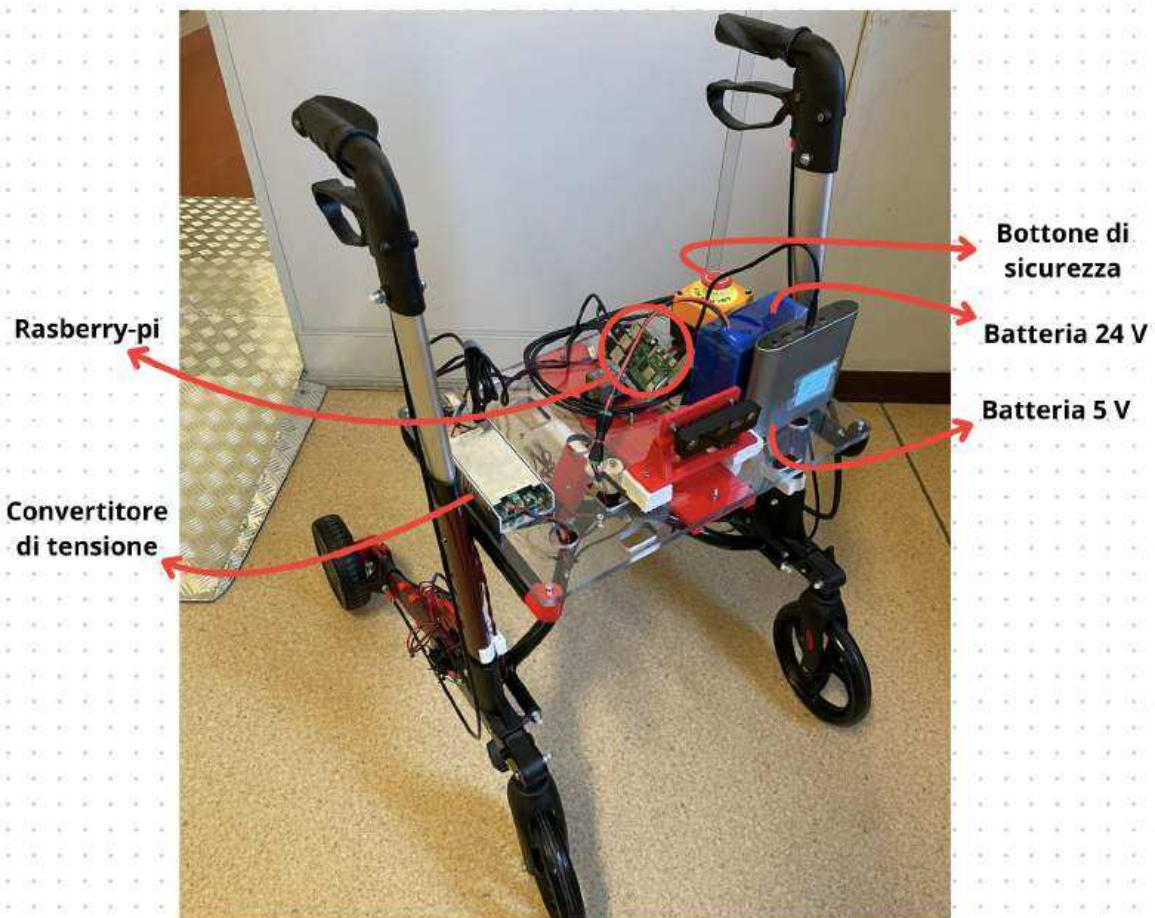


Figura 3.8: Componenti ausiliarie del walker, integrate sul piano in plexiglass

# Capitolo 4

## Montaggio

### 4.1 Componenti aggiuntive utili al montaggio

Oltre alle componenti principali, presentate nel Capitolo 3, per poter montare il deambulatore sono stati necessari molti altri elementi di supporto.

Per quanto riguarda il circuito elettrico, oltre ai semplici cavi di tensione, ho utilizzato nello specifico:

- Un cavo CAN per collegare i due ODrive e uno per collegare l'ODrive destro al convertitore CAN/USB-C;
- Un cavo USB-C per collegare il convertitore appena citato alla Raspberry;
- Un cavo ethernet per collegare il laser alla Raspberry;
- Un cavo USB-C per collegare Raspberry all'IMU e alla camera;

Una considerevole quantità di supporti sono stampe 3D in PLA, studiati tramite software di modellazione 3D e disegnati appositamente per essere integrati nel sistema.

1. **Sostegni per le ruote:** Inserti che vanno infilati nel tubo del telaio una volta tolte le ruote standard, su questi sostegni si avvitano le ruote motorizzate. (in Fig. 4.1)
2. **2 Supporti per i controller ODrive :** Piccole piastre su cui vanno fissati i controllori delle ruote e che possono essere bloccate sul telaio del deambulatore (in Fig. 4.2)
3. **Distanziatori per i freni:** Chiodini di diverse grandezze per regolare i freni già presenti nel deambulatore passivo in modo da poterli adattare alle nuove ruote. (in Fig. 4.3)



Figura 4.1: stampa 3D, supporto ruote

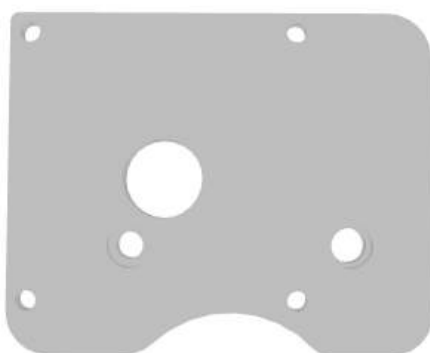


Figura 4.2: base per gli Odrive



Figura 4.3: distanziatori per i freni

- Guida e slitta per il sensore laser:** La guida è una sorta di binario su cui il lidar può scorrere. Il sensore deve essere fissato alla slitta (una piastra disegnata appositamente per

poter scorrere sulla guida). Quando si sceglie la posizione che deve avere il laser, si può bloccare la slitta a quella altezza.

5. **Supporti per la base di plexiglass:** Sono quattro supporti angolari che permettono di avvitare la tavola in plexiglass al telaio.
6. **Guide per cavi elettrici:** Sono piccoli componenti utili per mantenere ordinati e separati i cavi del circuito.
7. **Base di appoggio per la telecamera :** Sostegno su cui si fissa la telecamera, disegnato in modo da poter modificare l'angolazione del dispositivo una volta posizionato.

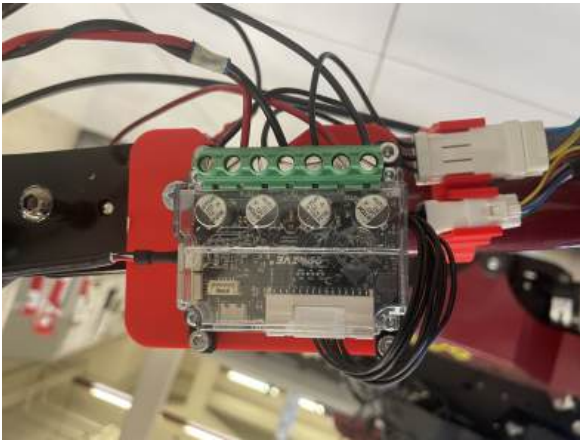
Come già anticipato, nel circuito sono stati integrati due convertitori, di diversa natura e un interruttore di sicurezza. Un convertitore è di tensione, abbassa il voltaggio da 24 V a 12V per permettere di alimentare il laser con la stessa batteria che alimenta l'intero circuito. Il secondo convertitore è un USB-C/CAN, utile per collegare i controller delle ruote alla Raspberry. Infine il bottone di emergenza è posizionato tra la batteria e tutto il resto del circuito, se premuto interrompe immediatamente il passaggio di corrente, spegnendo così tutte le componenti.

## 4.2 Procedura di montaggio

Come prima cosa tutti i componenti devono essere "completati" con i loro sostegni, quasi tutti i componenti vanno fissati al walker tramite i supporti stampati in PLA che ho citato sopra.

1. Le ruote originali posteriori vanno sostituite con quelle motorizzate, che si incastrano e avvitano al telaio tramite il loro supporto.
2. Anche gli ODrive devono prima essere avvitati alla loro base che viene poi fissata sulle gambe della struttura corrispondente alla ruota da controllare (in Fig. 4.4).
3. Il lidar ha una sistemazione molto precisa, siccome viene utilizzato capovolto ha bisogno di essere attaccato ad un slitta che può muoversi su una apposita guida. Questa è saldamente attaccata alla parte inferiore della base in plexiglass.(in Fig. 4.5)
4. La camera viene ancorata ad un sostegno che permette di regolare l'angolazione verticale dell'inquadratura, mantenendola perfettamente parallela al pavimento. La camera è posizionata sulla parte anteriore del piano d'appoggio, in modo che riesca a riprendere frontalmente ciò che vede l'utente.

Una volta che tutti i componenti sono al loro posto, si può procedere con i collegamenti.



(a) Odrive collegato



(b) Ruota montata sul telaio

Figura 4.4: Ruota e Odrive collegati e montati sul telaio



Figura 4.5: Lidar montato sulla guida

- (a) Ruote-odrive: Partendo dalle ruote, da queste escono due insiemi di cavi che andranno collegati entrambi agli Odrive (in Fig. 4.6).
- (b) Odrive-Odrive tramite can-pc: Per poter controllare il sistema, gli Odrive devono essere collegati tramite un cavo CAN, che li connette entrambi ad un convertitore CAN-USBC (in Fig 4.7).
- (c) Batteria-pulsante: Per poter alimentare il circuito ovviamente c'è bisogno di una batteria. Nel prototipo l'alimentazione è da 24 V e attraversa prima un bottone di sicurezza, che può essere utilizzato per aprire in modo immediato l'intero circuito
- (d) Pulsante-Odrive: Al pulsante appena nominato, si collegano gli ODrive (a 24 V)
- (e) Pulsante-convertitore-lidar: Il laser è alimentato a 12 V, quindi la tensione della

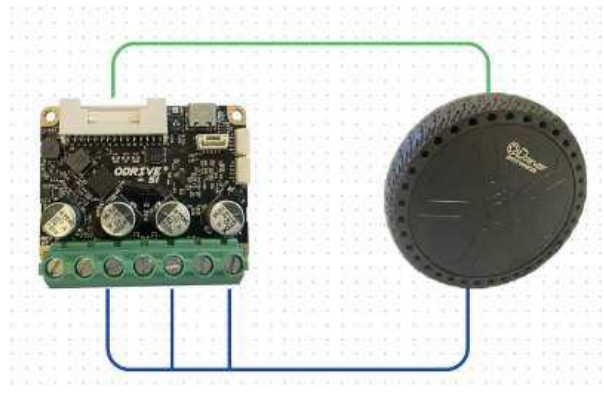


Figura 4.6: Collegamento ruota-Odrive

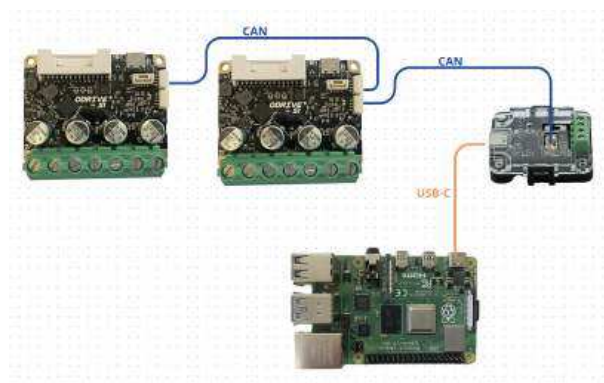


Figura 4.7: Collegamento Odrive

batteria deve essere abbassata tramite un convertitore di tensione prima di arrivare al laser (in Fig. 4.8).



Figura 4.8: Collegamento Lidar

- (f) Raspberry: Infine la Raspberry-pi è alimentata da un'altra batteria da 5V ed è connessa tramite usb-c al convertitore CAN a cui sono legati gli Odrive, al Lidar tramite un cavo ethernet, all'IMU e alla camera tramite USB-c (in Fig. 4.9).

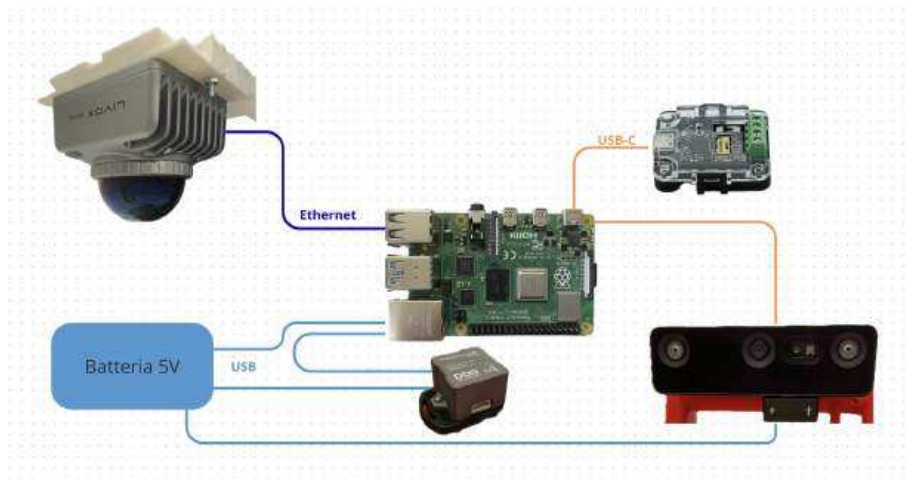


Figura 4.9: Collegamento Raspberry-pi

# Capitolo 5

## Sistema di navigazione

### 5.1 Algoritmo

Il codice su cui si basa il funzionamento delle ruote è composto da un nodo ROS2 (scritto in C++) chiamato ScanAvoidToWheelEffort.

Il suo scopo principale è leggere i dati dal sensore Laser (LiDAR), identificare ostacoli vicini e calcolare automaticamente la coppia (torque) da inviare ai motori delle ruote per evitare collisioni. Calcola una resistenza basata sulla distanza dell'ostacolo (più è vicino, più frena) e converte questa resistenza in comandi per le ruote sinistra e destra.

Il codice usa un modello a Potenziali Virtuali: Ogni punto del laser che rileva un ostacolo entro la d-safe genera una resistenza. Se l'ostacolo è davanti, genera una forza frenante che ferma il walker. Se l'ostacolo è a destra o sinistra, genera un momento per far ruotare il walker nel verso opposto.

### 5.2 Verifiche Hardware

Grazie a questo algoritmo ho potuto testare il funzionamento del circuito nel suo insieme e delle singole componenti, prima tra tutte il laser.

Il sensore laser rappresenta un elemento centrale per il funzionamento del nodo ROS, in quanto costituisce la principale sorgente di dati per la percezione dell'ambiente. La sua collocazione è stata definita secondo criteri ben precisi: la posizione adottata consente infatti di coprire simultaneamente il campo visivo anteriore, utile per la rilevazione dell'ambiente circostante e degli eventuali ostacoli, e quello posteriore, necessario per il monitoraggio delle gambe dell'utente.

Questa configurazione è utile sotto due aspetti principali. Da un lato, consente al sistema di aiutare l'utente a muoversi in sicurezza nello spazio, individuando ostacoli e riducendo il rischio

di collisioni. Dall'altro, grazie alla possibilità di rilevare la posizione degli arti inferiori, il laser permette di monitorare il movimento dell'utente e di migliorare l'interazione uomo-robot.

Come è già stato detto il laser ha la possibilità di scorrere lungo una guida fissata alla base del deambulatore, in questo modo è possibile cambiare la sua posizione ottenendo una vista diversa dell'ambiente e dell'utente.

Una volta fissata la posizione della slitta sulla guida, facendo alcuni test, ho potuto constatare che il deambulatore è in grado di navigare linearmente all'interno di un corridoio largo almeno 130 cm senza che rilevi i muri come ostacoli. Qualsiasi tipo di ostacolo inizia ad essere rilevato frontalmente ad una distanza di 90 cm da LiDAR, a questa distanza le ruote cominciano a porre una leggera resistenza frenando il movimento dell'utente. Quando l'ostacolo si trova a 70 cm, la resistenza diventa massima e le ruote si bloccano completamente.

Se invece l'ostacolo si trova lateralmente rispetto al deambulatore, il sistema non si limita a frenare: le ruote effettuano una rotazione correttiva che riporta l'utente verso una traiettoria sicura, evitando il contatto con l'oggetto. Anche in questo caso le ruote girano in sensi opposti per poter ridirezionare il deambulatore, quando l'ostacolo si trova a circa 70 cm dal laser.

A differenza del sensore laser, la fotocamera è posizionata in modo da inquadrare esclusivamente l'area frontale. Questa scelta è legata alla sua funzione principale: supportare la navigazione sicura rilevando la presenza di persone davanti al deambulatore, così da permettere al sistema di adattare il movimento ed evitare possibili collisioni.

# Conclusione

In sintesi, il presente lavoro di tesi ha portato alla progettazione e alla realizzazione del prototipo “EasyWalk”, un deambulatore intelligente ideato per migliorare l’assistenza nella mobilità quotidiana dell’utente finale. L’obiettivo primario è stato quello di trasformare un dispositivo tradizionale in un sistema smart, mantenendo però un equilibrio tra innovazione tecnologica, sicurezza e spesa economica.

Il progetto ha dimostrato come sia possibile implementare funzionalità avanzate senza intaccare la natura del dispositivo medico originale. I requisiti prefissati sono stati rispettati attraverso scelte progettuali mirate:

- Usabilità: La struttura portante è rimasta quella di un deambulatore passivo, mantenendo le caratteristiche essenziali : nonostante le modifiche rimane pieghevole e regolabile in altezza.
- Sicurezza: L’integrazione di un pulsante di sicurezza garantisce all’utente il controllo totale sul circuito elettronico in ogni istante.
- Affidabilità : I freni originali sono stati adattati alle nuove componenti motorizzate, assicurando che il controllo sul dispositivo ce l’abbia sempre l’utente. Questo avviene anche in modo attivo, è l’utente a spingere e muovere il deambulatore, il sistema si limita a frenare in prossimità di ostacoli. In questo modo l’utente si sente più a suo agio e tende a fidarsi del sistema.

L’unica modifica strutturale significativa riguarda la seduta, che è stata rimossa e sostituita con una base in plexiglass. Questa soluzione è stata adottata per poter sostenere in modo stabile tutti i componenti elettronici del sistema, senza alterare eccessivamente il design e la funzionalità originale del dispositivo, perdendo un po’ la comodità della classica seduta.

È opportuno considerare questa prima versione di “EasyWalk” non come un punto d’arrivo, ma come una solida base sperimentale. I risultati ottenuti confermano la validità dell’architettura proposta, ma aprono al contempo la strada a futuri passi di ottimizzazione. Tra i possibili sviluppi, si prospetta:

1. La re-integrazione di una seduta ergonomica attraverso una disposizione più compatta della componente elettronica.
2. L'integrazione di sensori sulle manopole per una navigazione ancora più sicura e intuitiva.

In conclusione, "EasyWalk" rappresenta un passo concreto verso una nuova generazione di dispositivi di assistenza accessibili e intelligenti.

# Bibliografia

- [1] J. A. Haagsma et al., «Falls in older aged adults in 22 European countries: incidence, mortality and burden of disease from 1990 to 2017,» *Injury Prevention*, vol. 26, n. Supplement 1, pp. i67–i74, 2020. DOI: 10.1136/injuryprev-2019-043347.
- [2] I. Alexander et al., *100 Questions & Answers About Osteoporosis and Osteopenia*. Jones & Bartlett Learning, 2006.
- [3] MarketDataForecast, «Europe Walking Assist Devices Market Report – By Product Type Country (UK, France, Spain, Germany, Italy, Russia, Sweden, Denmark, Switzerland, Netherlands, Turkey, Czech Republic Rest of Europe): Growth, Trends Forecasts (2025–2033),» MarketDataForecast, Market research report, 2025, ID: 4896; 145 pagine; ultima aggiornamento: novembre 2025. indirizzo: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-walking-assist-devices-market>.
- [4] L. Tonin, «EasyWalk: An Intelligent Social Walker for active living,» Università degli studi di Padova, Progetto PRIN 2022 PNRR Prot. P2022XJ7TE, 2022, Finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU.
- [5] L. Cantelli, F. Bonaccorso, D. Longo, C. D. Melita, G. Schillaci e G. Muscato, «A Small Versatile Electrical Robot for Autonomous Spraying in Agriculture,» *AgriEngineering*, vol. 1, n. 3, pp. 391–402, 2019, ISSN: 2624-7402. DOI: 10.3390/agriengineering1030029. indirizzo: <https://www.mdpi.com/2624-7402/1/3/29>.
- [6] L. Cantelli, G. Muscato, M. Nunnari e D. Spina, «A Joint-Angle Estimation Method for Industrial Manipulators Using Inertial Sensors,» *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 20, pp. 1–10, ott. 2015. DOI: 10.1109/TMECH.2014.2385940.
- [7] C. Melita, G. Muscato e M. Poncelet, «A Simulation Environment for an Augmented Global Navigation Satellite System Assisted Autonomous Robotic Lawn-Mower,» *Journal of Intelligent Robotic Systems*, vol. 71, ago. 2013. DOI: 10.1007/s10846-012-9770-x.

- [8] G. Muscato, F. Bonaccorso, L. Cantelli, D. Longo e C. Melita, «Volcanic Environments: Robots for Exploration and Measurement,» *IEEE Robotics Automation Magazine - IEEE ROBOT AUTOMAT*, vol. 19, pp. 40–49, mar. 2012. DOI: 10.1109/MRA.2011.2181684.
- [9] H. Moradi et al., «Service Robotics (The Rise and Bloom of Service Robots),» *Robotics Automation Magazine, IEEE*, vol. 20, pp. 22–24, set. 2013. DOI: 10.1109/MRA.2013.2271580.
- [10] S. Livatino, F. Banno e G. Muscato, «3-D Integration of Robot Vision and Laser Data With Semiautomatic Calibration in Augmented Reality Stereoscopic Visual Interface,» *IEEE Trans. Industrial Informatics*, vol. 8, pp. 69–77, feb. 2012. DOI: 10.1109/TII.2011.2174062.
- [11] X. Zhao et al., «A Smart Robotic Walker With Intelligent Close-Proximity Interaction Capabilities for Elderly Mobility Safety,» *Front Neurobot*, 2020. DOI: 10.3389/fnbot.2020.575889.
- [12] I.-S. Weon e S.-G. Lee, «Intelligent robotic walker with actively controlled human interaction,» *ETRI Journal*, vol. 40, n. 4, pp. 522–530, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4218/etrij.2017-0329>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.2017-0329>. indirizzo: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4218/etrij.2017-0329>.
- [13] S. Sierra Marín, M. Munera, T. Provot, M. Bourgain e C. Cifuentes G., «Evaluation of Physical Interaction during Walker-Assisted Gait with the AGoRA Walker: Strategies Based on Virtual Mechanical Stiffness,» *Sensors*, vol. 21, p. 3242, mag. 2021. DOI: 10.3390/s21093242.