POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Realizzazione di algoritmo di controllo per una sedia a rotelle in grado di superare le barriere architettoniche.

Relatore:
Giuseppe Quaglia

Candidato:
Giuseppe Seccareccia

Luglio 2021

Abstract

Le barriere architettoniche sono diventate un argomento sempre più centrale ed importante per la progettazione di edifici e spazi pubblici, in modo da eliminarle o quanto meno limitarle. Come noto però non tutti gli edifici sono privi di queste, o comunque basti pensare alle numerose difficoltà che una persona con ridotta capacità motoria deve affrontare ogni giorno nei semplici spostamenti all'interno della propria città, difficoltà rappresentate dal superamento di un marciapiede o di una rampa di scale. Per questo sono stati pensati dei dispositivi atti a facilitare la mobilità di persone affette da disabilità motorie. In questa tesi si descrive proprio un dispositivo in grado di fornire questa tipologia di supporto, in particolare una carrozzina elettrica, Wheelchair.q, in grado di superare le barriere architettoniche. Nello specifico è stato realizzato un algoritmo che permette il superamento in discesa di un gradino singolo, analizzando dapprima le varie fasi che permettano di realizzare questa operazione in totale sicurezza, andando ad approfondire la stabilità della carrozzina e come questa sia influenzata dalla presenza di utente con masse diverse. Si è poi passati all'introduzione di un sensore laser che permette il telerilevamento di un ostacolo, così da determinarne le grandezze di interesse. Oltre a questo sensore principale, sono stati inseriti altri due, che svolgono principalmente due funzioni: la prima e più importante è quella di determinare quando la carrozzina ha superato lo spigolo del gradino, la seconda funzione è quella di valutare l'inclinazione relativa tra la sedia e lo scalino così da poterla eventualmente correggere. Infine si è passati alla realizzazione dell'algoritmo che permette di eseguire in maniera totalmente automatica l'intera sequenza di superamento dell'ostacolo, e questo è stato realizzato utilizzando l'estensione "state-flow chart" di Simulink, realizzando una macchina a stati composta dalle varie fasi analizzate nella prima parte della tesi, ed intervallate da transizioni che permettono di realizzare un controllo sulla successione di azioni che vengono svolte.

Indice

1 Introduzione **1**
1.1 Stato dell'arte . . . 3
1.2 Classificazione dei dispositivi montascale . . . 3
1.2.1 Montascale fissi . . . 3
1.2.2 Montascale mobili . . . 4
1.2.2.1 Montascale a Cingolo . . . 4
1.2.2.2 Montascale a Ruote . . . 5
1.2.2.3 Montascale a Ruote con zampe rotanti . . . 6
1.2.3 Carrozzine montascale . . . 6
1.2.3.1 Carrozzine montascale commerciali . . . 6
1.2.3.1.1 Carrozina B-Free Ranger . . . 7
1.2.3.1.2 Carrozina TopChair S2 . . . 7
1.2.3.1.3 Carrozina I-Bot . . . 8
1.2.3.1.4 Carrozina Scewo . . . 8
1.2.3.1.5 Carrozina Caterwil . . . 9
1.2.3.2 Carrozzine montascale in fase di sviluppo . . . 9
1.2.3.2.1 Carrozzina Tankchair . . . 10
1.2.3.2.2 Carrozzina Galileo . . . 10
1.2.3.2.3 Carrozina a zampe rotanti . . . 11
1.3 Strumenti per la rilevazione degli ostacoli . . . 11
1.3.1 Scanner radar bidimensionale . . . 11
1.3.2 Scanner Laser . . . 13
1.3.3 Camera Stereoscopica . . . 14
1.3.4 Sensore di prossimità . . . 15
1.4 Evoluzione carrozzina *Wheelchair.q* . . . 16
1.4.1 Wheelchair.q01 . . . 16
1.4.2 Wheelchair.q02 . . . 17
1.4.3 Wheelchair.q03 . . . 17
1.4.4 Wheelchair.q04 . . . 18
1.4.5 Wheelchair.q05 . . . 18

2 Sequenze e configurazioni geometriche **19**
2.1 Introduzione . . . 19
2.2 Struttura di controllo dei Servomotori . . . 27
2.2.1 Controllo in posizione della seduta . . . 27
2.2.2 Controllo in velocità delle ruote solari . . . 29
2.3 Sequenza D - Discesa singolo scalino . . . 31
2.4 Analisi delle fasi . . . 34
2.4.1 Fase D1 . . . 34
2.4.2 Fase D2 . . . 35
2.4.3 Fase D3 . . . 36

2.4.4 Fase D4 . . . 38
2.4.5 Fase D5 . . . 38
2.4.6 Fase D6 . . . 39
2.4.7 Fase D7 . . . 40
2.4.8 Fase D8 . . . 41
2.4.9 Fase D9 . . . 41
2.4.10 Fase D10 . . . 42
2.5 Baricentro . . . 42
2.6 Baricentro utente - Modello Yeadon . . . 46
2.6.1 Installazione . . . 46
2.6.2 Descrizione del modello . . . 48
2.6.3 Utilizzo . . . 49
2.7 Posizione baricentro . . . 50
2.8 Margine di stabilità . . . 54

3 Sensore Lidar e rilevazione gradino 57
3.1 Sensore Lidar RPLIDAR A1M8 . . . 57
3.2 Collegamento Lidar . . . 59
3.3 Modello scansione e misurazione del gradino . . . 60
3.3.1 Introduzione . . . 60
3.3.2 Modello per la valutazione delle dimensione del gradino . . . 61
3.4 Acquisizione sperimentale del gradino . . . 64
3.4.1 Esempio . . . 65
3.5 Acquisizione dati tramite Speedgoat . . . 71
3.5.1 Algoritmo di scansione . . . 75
3.6 Installazione Lidar . . . 76
3.7 Sensori di soglia . . . 78

4 Modalità automatica di Discesa gradino 80
4.1 Modello Simulink - Modalità di Utilizzo e gestione segnali . . . 80
4.2 Modalità discesa gradino - Costituzione . . . 82
4.3 Modalità discesa gradino - Segnali Interfaccia utente e Trasduttori . . . 84
4.4 Modalità discesa gradino - Sistemi di Controllo Attuatori . . . 87
4.5 Modalità discesa gradino - Grafici Segnali . . . 89
4.6 Modalità discesa gradino - Macchina a stati . . . 90
4.6.1 Funzionamento Macchine a stati . . . 92
4.7 Descrizione macchina a stati per la discesa gradino . . . 93
4.7.1 Fase "*Avvio Scansione Lidar*" . . . 94
4.7.2 Fase "*Attesa*" . . . 95
4.7.3 Fase "*Matrice punti scansionati*" . . . 98
4.7.4 Fase "*Misurazione gradino*" . . . 99
4.7.5 Fase "*Avvicinamento seconda misurazione*" . . . 100
4.7.6 Fase "*Valutazione angoli set*" . . . 102
4.7.7 Fase "*D1 - Arretramento baricentro*" . . . 103
4.7.8 Fase "*D2 - Spostamento*" . . . 105
4.7.9 Fase "*D3 - Allineamento*" . . . 107
4.7.10 Fase "*D4 - Discesa Tripode*" . . . 109
4.7.11 Fase"*D5 - Spostamento*" . . . 111
4.7.12 Fase "*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*" . . . 113
4.7.13 Fase "*D8 - Spostamento*" . . . 115
4.7.14 Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*" . . . 117
4.7.15 Fase "*Fine Sequenza*" . . . 119

5 Prove sperimentali modalità automatica discesa gradino **121**
5.1 Prove sperimentali di discesa gradino 121
5.1.1 Test n°1 - Discesa gradino con carrozzina allineata 121
5.1.2 Test n°2 - Discesa gradino con carrozzina disallineata 130
5.1.3 Test n°3 - Discesa gradino con carrozzina disallineata 134
5.1.4 Test n°4 138

6 Conclusioni **144**

7 Bibliografia **145**

Elenco delle figure

1.0.1 Andamento indice di vecchiaia in Italia . . . 2
1.2.1 Montascale fissi: (a) a piattaforma [9], (b) a poltrona [10]. . . . 3
1.2.2 Montascale a cingolo [8] . . . 4
1.2.3 Montascale a ruote "yack n911" . . . 5
1.2.4 Meccanismo di salita scalino del montascale a ruote "yack n911" . . . 5
1.2.5 Montascale a zampe rotanti “Scoiattolo S” [12] . . . 6
1.2.6 Carrozzina “ B-Free Ranger ” [13] . . . 7
1.2.7 Carrozzina “ TopChair S2 ” [14] . . . 7
1.2.8 Carrozzina “ I-Bot ” [15] . . . 8
1.2.9 Carrozzina “ Scewo ” [16] . . . 8
1.2.10 Carrozzina “ Caterwil GTS3 ” [17] . . . 9
1.2.11 Carrozzina “ Tankchair ” [18] . . . 10
1.2.12 Carrozzina “ Galileo ” [19] . . . 10
1.2.13 Carrozzina a zampe rotanti [20] . . . 11
1.3.1 Schema setup sperimentale di misura . . . 12
1.3.2 Immagine acquisita dal radar di una scala composta da 3 scalini . . . 12
1.3.3 Scala scansionata ricostruita e confronto con dimensioni reali . . . 12
1.3.4 Sistema di scansione posizionate sul telaio della carrozzina . . . 13
1.3.5 Vista laterale della scansione (**a**) prima della salita (**b**) prima della discesa . . . 13
1.3.6 Immagine acquisita durante la scansione della scala (**a**) Salita (**b**) Discesa . . . 14
1.3.7 Stima della forma e la dimensione della scala (**a**) Salita (**b**) Discesa . . . 14
1.3.8 Immagine scansionata con riconoscimento dei bordi dei gradini . . . 14
1.3.9 Valutazione delle distanze dei gradini . . . 15
1.3.10 Rilevazione ostacolo con sensore di prossimità ad infrarossi . . . 15
1.4.1 Wheelchair.q01 . . . 16
1.4.2 Wheelchair.q02 . . . 17
1.4.3 Wheelchair.q03 . . . 17
1.4.4 Wheelchair.q04 . . . 18
1.4.5 Wheelchair.q05: (a) cingolo folle, (b) unita di locomozione a zampe rotanti, (c) ruote pivotanti 18

2.1.1 Schema Wheelchair.q . . . 19
2.1.2 Sotto-telaio PC . . . 20
2.1.3 Sotto-telaio RC . . . 20
2.1.4 Tripode . . . 21
2.1.5 Gruppo pivotanti . . . 21
2.1.6 Gruppo cingolo . . . 22
2.1.7 Definizione angoli e convenzioni di segno . . . 24
2.1.8 Modalità "Marcia in piano" . . . 25
2.1.9 Configurazione con due pneumatici a contatto . . . 26
2.2.1 Modello sistema di controllo del sedile . . . 27
2.2.2 Blocco Simulink controllo sedile . . . 27

2.2.3 Sistema di controllo sedile . . . 28
2.2.4 Modello sistema di controllo in velocità solari . . . 29
2.2.5 Blocco Simulink controllo in posizione e velocità solari . . . 29
2.2.6 Sistema di controllo in velocità delle solari . . . 30
2.3.1 Dimensioni caratteristiche gradino . . . 31
2.3.2 Sequenza logica discesa gradino . . . 32
2.4.1 Fase D1 - Arretramento baricentro . . . 34
2.4.2 Fase D2 - Avvicinamento soglia gradino . . . 35
2.4.3 Sensore di distanza . . . 35
2.4.4 Carrozzina allineata al gradino . . . 36
2.4.5 Fase D3 - Eventuale riallineamento . . . 37
2.4.6 Configurazione cinematica per riallineamento . . . 37
2.4.7 Fase D4 - Discesa tripode . . . 38
2.4.8 Fase D5 - Avanzamento . . . 39
2.4.9 Fase D6 - Appoggio ruote tripode . . . 39
2.4.10 Fase D7 - Avanzamento baricentro . . . 40
2.4.11 Fase D8 - Spostamento della carrozzina . . . 41
2.4.12 Fase D9 - Appoggio ruote pivotanti . . . 41
2.4.13 Fase D10 - Riconfigurazione marcia in piano . . . 42
2.5.1 Schema masse sospese . . . 43
2.5.2 Schema masse non sospese . . . 44
2.5.3 Schema utente . . . 44
2.5.4 Posizione baricentro masse sospese . . . 45
2.5.5 Posizione baricentro masse non sospese . . . 45
2.6.1 Percorso cartella Pip . . . 46
2.6.2 Percorso cartella Pip . . . 47
2.6.3 Sintassi installazione pacchetti . . . 47
2.6.4 Avvio software Yeadon . . . 47
2.6.5 Interfaccia grafica Yeadon . . . 48
2.6.6 Modello essere umano . . . 48
2.6.7 Geometria di base dei solidi . . . 49
2.6.8 Interfaccia utilizzo Yeadon . . . 50
2.7.1 Posizione baricentro masse sospese e utente . . . 50
2.7.2 Posizione baricentro totale . . . 51
2.7.3 Posizione baricentro totale . . . 52
2.7.4 Posizione baricentro totale . . . 53
2.7.5 Posizione baricentro totale . . . 53
2.8.1 Schema per la valutazione del margine ε' . . . 54
2.8.2 Andamento margine ε' in funzione di Θ_{PC} e M_u . . . 55
2.8.3 Andamento margine ε' in funzione di β e M_u . . . 55
2.8.4 Andamento margine ε' in funzione di Θ_{PC} e β . . . 56

3.1.1 Dimensioni e peso del Lidar . . . 57
3.1.2 Scheda tecnica del Lidar . . . 57
3.1.3 Costituzione del Lidar . . . 58
3.1.4 Triangolazione del Lidar . . . 58
3.1.5 Sistema di riferimento e informazioni acquisite . . . 59
3.2.1 Porte dello Speedgoat coinvolte nel collegamento . . . 59
3.2.2 Collegamento Lidar/Arduino/Speedgoat . . . 60
3.3.1 Valutazione distanza dal gradino (d) . . . 61
3.3.2 Valutazione altezza del gradino (h) . . . 62
3.3.3 Valutazione spazio presente dopo il gradino (e) . . . 63

3.4.1 Ricevitore dati . . . 64
3.4.2 Organizzazione della stringa che esprime un punto rilevato. . . . 65
3.4.3 Setup sperimentale per la rilevazione del gradino . . . 65
3.4.4 Operazioni di acquisizione, pulizia immagine e calcolo grandezze gradino . . . 66
3.4.5 Acquisizione originale Lidar . . . 66
3.4.6 Eliminazione area di non interesse . . . 67
3.4.7 Eliminazione punti lontani dal profilo del gradino - Modello . . . 67
3.4.8 Eliminazione punti lontani dal profilo del gradino - Sperimentale . . . 68
3.4.9 Eliminazione punti tramite media mobile - Modello . . . 68
3.4.10 Eliminazione punti tramite media mobile Sperimentale . . . 69
3.4.11 Gradino ottenuto alla fine della pulizia . . . 69
3.5.1 Modello Simulink modificato per Speedgoat . . . 72
3.5.2 Schema logico funzione "*ricerca_ gradino_ discesa*" . . . 72
3.5.3 Schema per la valutazione dell'angolo assoluto Θ_{PC} . . . 73
3.5.4 Schema per la valutazione dell'altezza di montaggio del Lidar h_{lidar} . . . 74
3.5.5 Scansione e algoritmo decisionale . . . 75
3.6.1 Staffa: a) Modello 3D; b) Realizzata tramite stampa 3D . . . 76
3.6.2 Lidar montato sulla carrozzina . . . 77
3.7.1 Trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F" . . . 78
3.7.2 Caratteristica trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F" . . . 78
3.7.3 Montaggio dei trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F" sulla carrozzina . . . 79

4.1.1 Modello Simulink - Ambiente primario . . . 80
4.2.1 Comandi interfaccia utente e feedback . . . 82
4.2.2 Schema logico modalità discesa gradino . . . 83
4.3.1 Comandi interfaccia utente e feedback . . . 84
4.3.2 Interfaccia utente (telecomando) . . . 84
4.3.3 Descrizione comandi interfaccia utente(1) . . . 86
4.4.1 Sistemi di Controllo degli attuatori . . . 87
4.5.1 Grafici Segnali . . . 89
4.6.1 Sequenza automatica discesa gradino . . . 90
4.7.1 Sequenza logica discesa gradino . . . 93
4.7.2 Stato "*Scansione Lidar*" . . . 94
4.7.3 Fase "*Attesa*" . . . 95
4.7.4 Fase "*Realizzazione matrice punti scansionati*" . . . 98
4.7.5 Fase di "*Misurazione gradino*" . . . 99
4.7.6 Fase "*Avvicinamento seconda misurazione*" . . . 100
4.7.7 Fase "*Valutazione degli angoli di set*" . . . 102
4.7.8 Fase "*D1 - Arretramento baricentro*" . . . 103
4.7.9 Fase "*D2 - Spostamento*" . . . 105
4.7.10 Fase "*D3 - Allineamento*" . . . 107
4.7.11 Fase "*D4 - Discesa tripode*" . . . 109
4.7.12 Fase "*D5 - Spostamento*" . . . 111
4.7.13 Fase "*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*" . . . 113
4.7.14 Fase "*D8 - Spostamento*" . . . 115
4.7.15 Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*" . . . 117
4.7.16 Fase "*Fine Sequenza*" . . . 119

5.1.1 *Misure caratteristiche gradino* . . . 122
5.1.2 *Dettaglio misure caratteristiche gradino* . . . 122
5.1.3 *Analisi completa traslazione carrozzina* . . . 123
5.1.4 *Analisi completa pivotanti* . . . 123

5.1.5 *Analisi completa tripodi* . . . 124
5.1.6 *Analisi completa seduta* . . . 124
5.1.7 *Lettura sensori di soglia* . . . 125
5.1.8 *Inizio Sequenza* . . . 125
5.1.9 *Arretramento baricentro* . . . 126
5.1.10 *Avvicinamento al gradino* . . . 126
5.1.11 *Discesa tripodi* . . . 127
5.1.12 *Spostamento* . . . 127
5.1.13 *Avanzamento baricentro* . . . 128
5.1.14 *Spostamento* . . . 128
5.1.15 *Riconfigurazione* . . . 129
5.1.16 *Misure caratteristiche gradino* . . . 130
5.1.17 *Dettaglio misure caratteristiche gradino* . . . 131
5.1.18 *Analisi completa traslazione carrozzina* . . . 131
5.1.19 *Analisi completa pivotanti* . . . 132
5.1.20 *Analisi completa tripodi* . . . 132
5.1.21 *Analisi completa seduta* . . . 133
5.1.22 *Lettura sensori di soglia* . . . 133
5.1.23 *Misure caratteristiche gradino* . . . 134
5.1.24 *Dettaglio misure caratteristiche gradino* . . . 135
5.1.25 *Analisi completa traslazione carrozzina* . . . 135
5.1.26 *Analisi completa pivotanti* . . . 136
5.1.27 *Analisi completa tripodi* . . . 136
5.1.28 *Analisi completa seduta* . . . 137
5.1.29 *Lettura sensori di soglia* . . . 137
5.1.30 *Misure caratteristiche gradino* . . . 139
5.1.31 *Analisi completa traslazione carrozzina* . . . 139
5.1.32 *Analisi completa pivotanti* . . . 140
5.1.33 *Analisi completa tripodi* . . . 140
5.1.34 *Analisi completa seduta* . . . 141
5.1.35 *Lettura sensori di soglia* . . . 141

Elenco delle tabelle

1.1 Tabella dati INAIL disabili in Italia . . . 1
1.2 Tabella dati INAIL persone con disabilità motorie divise per classi di età in Italia . . . 1
1.3 Vantaggi e svantaggi delle diverse soluzioni di sistemi di locomozione . . . 9

2.1 Elementi cinematici . . . 19
2.2 Gradi di libertà . . . 23
2.3 Convenzioni utilizzate . . . 23
2.4 Lunghezze e raggi . . . 24
2.5 Angoli caratteristici . . . 24
2.6 Angoli di funzionamento nella modalità di *"Marcia in piano"*, con una sola ruota a contatto . 25
2.7 Angoli di funzionamento nella modalità di *"Marcia in piano"*, con due ruote a contatto . . . 26
2.8 Segnali input e output del sistema di controllo della seduta . . . 28
2.9 Segnali input e output del sistema di controllo in velocità delle solari . . . 30
2.10 Grandezze presenti nello schema logico . . . 33
2.11 Sottosistema masse sospese . . . 42
2.12 Sottosistema masse non sospese . . . 43
2.13 Coordinate baricentro masse sospese nel sistema di riferimento (X_P, Y_P) . . . 45
2.14 Coordinate baricentro masse non sospese nel sistema di riferimento (X_P, Y_P) . . . 46
2.15 Valori gradi di libertà . . . 52

3.1 Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar . . . 70
3.2 Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar . . . 70
3.3 Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar . . . 71

4.1 Elementi del vettore *Interf_sign* . . . 85
4.2 Descrizione comandi interfaccia utente . . . 85
4.3 Elementi del vettore *Discesa_out* . . . 88
4.4 Descrizione della sezione grafici . . . 89
4.5 Elementi di uscita dalla macchina a stati . . . 91
4.6 Descrizione variabili presenti nello stato di *Attesa* . . . 96
4.7 Descrizione variabili presenti nella fase *Matrice punti scansionati* . . . 98
4.8 Descrizione variabili presenti nella fase di "*Misurazione gradino*" . . . 99
4.9 Descrizione variabili presenti nello stato "*Avvicinamento seconda misurazione*" . . . 100
4.10 Descrizione variabili presenti nella fase di "*Valutazione degli angoli di set*" . . . 103
4.11 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D1 - Arretramento baricentro*" . . . 104
4.12 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D2 - Spostamento*" . . . 105
4.13 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D3 - Allineamento*" . . . 107
4.14 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D4 - Discesa Tripode*" . . . 109
4.15 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D5 - Spostamento*" . . . 111
4.16 Descrizione variabili presenti nella Fase"*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*" . . . 113
4.17 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D8 - Spostamento*" . . . 115

4.18 Descrizione variabili presenti nella Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*" . 118
4.19 Descrizione variabili presenti nella Fase "*Fine Sequenza*" 120

1 Introduzione

Ad oggi le problematiche legate alle ridotte capacità di deambulazione di individui con disabilità o limitata mobilità, permanente o anche temporanea, è molto sentita in quanto interessa un numero considerevole di persone. Le difficoltà che questi individui si trovano ad affrontare nella loro quotidianità sono connesse alla presenza di barriere architettoniche, che impediscono o limitato gli spostamenti, l'accesso e l'utilizzo di servizi a persone con limitata capacità motoria o sensoriale. Secondo dei dati forniti dall'INAIL (aggiornati alla fine del 2019)[7], in Italia sono presenti 582.802 persone con disabilità, pari circa all' 1 % della popolazione italiana, nella tabella di seguito vengono riportate le varie categorie di disabilità:

Tabella 1.1: Tabella dati INAIL disabili in Italia

Tipo di disabilità	**Numero di individui**
Disabilità Motoria	293.589
Disabilità Psico-Sensoriale	121.216
Disabilità Cardio-Respiratori	30.566
Altre Disabilità	137.431
Totale Italia	582.802

Tabella 1.2: Tabella dati INAIL persone con disabilità motorie divise per classi di età in Italia

Classe di età	**Numero di individui**
Fino a 19	18
20-34	3.223
35-49	30.518
50-64	93.824
65 e più	166.006
Totale Italia	293.589

A questo punto si introduce un parametro che prende il nome di indice di vecchiaia I_v, definito dal rapporto tra la popolazione anziana P_a e la popolazione giovanile P_g, dove generalmente nella popolazione anziana ritroviamo soggetti con età superiore a 65 anni, mentre nella popolazione giovanile ritroviamo soggetti con età inferiore a 14 anni.

$$I_v = \frac{P_a}{P_g} \cdot 100$$

Valori di questo indice superiori a 100 indicano una maggiore presenza di soggetti anziani rispetto ai giovanissimi.

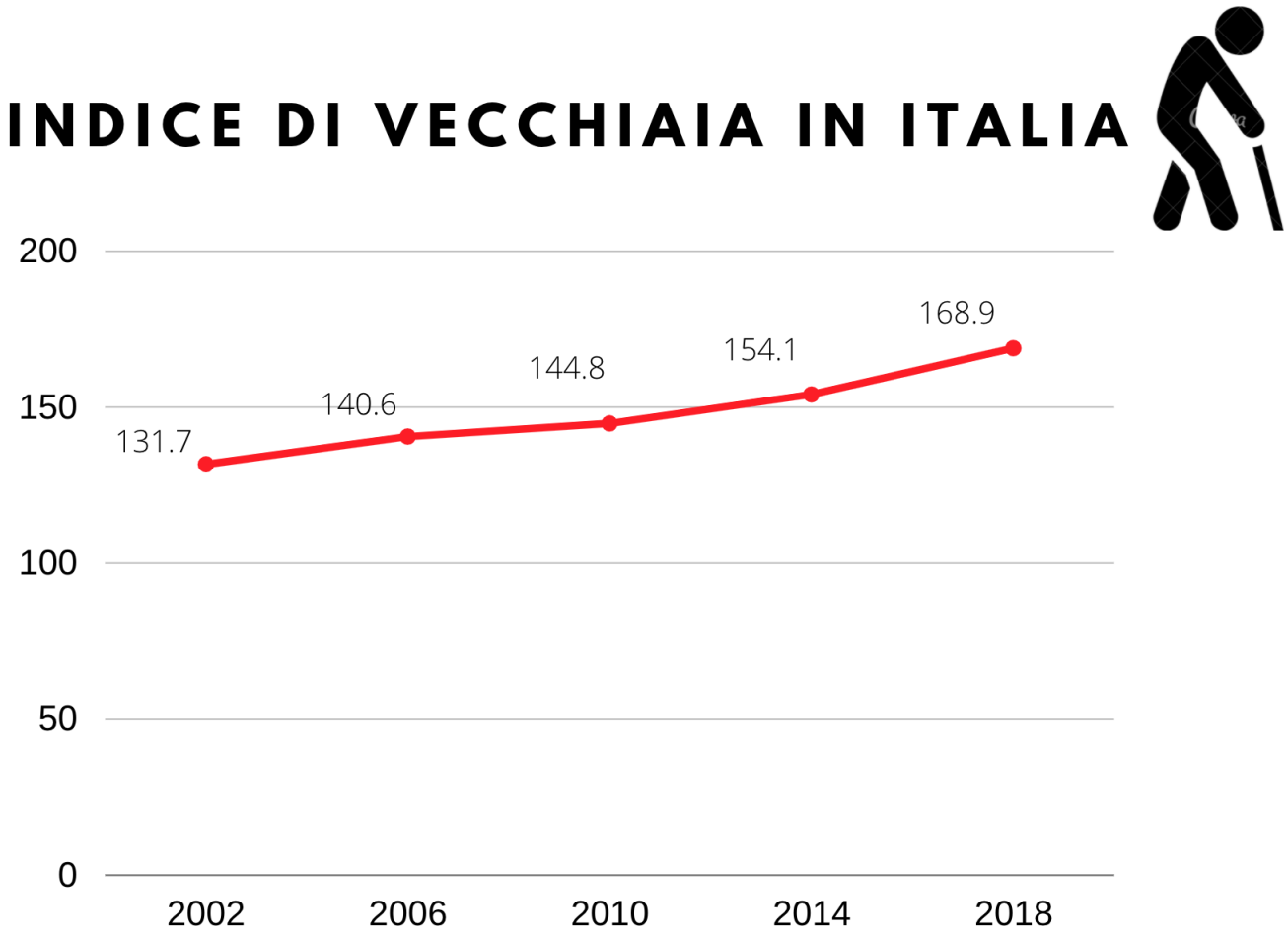


Figura 1.0.1: Andamento indice di vecchiaia in Italia

Da questi dati si può constatare che c'è un numero rilevante di persone che utilizza quotidianamente una carrozzina o altre soluzioni similari. Un altro dato importante da tenere in considerazione è quello che riguarda la suddivisione delle persone disabili in base all'età e, come possiamo notare dalla *Tabella 1.2*, la maggior parte delle persone con disabilità motorie ha più di 65 anni. Se a questo dato uniamo quello relativo all'indice di vecchiaia *Figura 1.0.1*, che risulta in costante aumento, si può allora affermare che in un futuro prossimo il numero di persone con disabilità motorie subirà certamente un aumento.

Per questo l'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di garantire a tutti questi soggetti l'accessibilità ad ambienti pubblici e privati, e ciò può essere realizzato eliminando o superando le barriere architettoniche. A tale proposito nel 2006 l'ONU ha emesso una una direttiva *"Convezione delle nazioni unite sui diritti delle persone con disabilità"*, recepita poi dallo stato italiano con la legge n°18 del 3 marzo 2009.

Per raggiungere l'obiettivo prefissato si possono percorrere 2 strade:

- un primo modo di agire nei confronti delle barriere architettoniche è quello di eliminare le stesse progettando degli edifici che non presentino alcun ostacolo per l'accesso di persone disabili, oppure si possono eseguire degli interventi di adeguamento degli edifici già esistenti in modo da rimuovere eventuali ostacoli;
- Per tutte quelle situazioni in cui la rimozione delle barriere architettoniche presenta dei limiti di natura tecnica o economica la soluzione che si consiglia è quella di utilizzare dei mezzi di ausilio che siano in grado di fornire alle persone disabili il supporto necessario per il superamento dell'ostacolo.

1.1 Stato dell'arte

Il progetto *Wheelchair.q* oggetto del presente lavoro di tesi si propone per cercare di realizzare una soluzione diversa e più vantaggiosa rispetto alle molteplici le soluzioni che oggi offre il mercato e che verranno presentate nel paragrafo successivo.

1.2 Classificazione dei dispositivi montascale

Uno degli ostacoli che quotidianamente si deve affrontare sono certamente le rampe di scale o i singoli gradini, per questo i dispositivi montascale sono le strutture maggiormente diffuse per il sostegno delle persone con disabilità. Questi possono essere suddivisi in 3 sottocategorie:

- motascale fissi;
- montascale mobili;
- carrozine montascale.

1.2.1 Montascale fissi

I montascale fissi sono composti da una parte fissa, ovvero una guida solidale alla scala, sulla quale viene fatta scorre una pedana o un sedile, e questo consente di salire e scendere una o più rampe di scale. I montascale a piattaforma *Figura 1.2.1(a)* presentano il vantaggio di non richiedere la presenza di un secondo operatore per essere utilizzati in quanto permettono al disabile e alla carrozzina di salire a bordo, la variante con poltrona *Figura 1.2.1(b)* invece richiede la presenza di un altra persona in modo da permettere il trasferimento dell'utente disabile dalla carrozzina al sedile del montascale. Il grande limite di questa tipologia di montascale, risiede nel fatto che questi dispositivi non possono essere trasportati per cui non sono presenti in tutti i luoghi dove la persona disabile si reca. Pur essendo una soluzione alquanto efficace per il superamento di intere rampe di scale, la sua diffusione risulta piuttosto limitata visti i cospicui costi e il notevole spazio di ingombro che richiede per essere installato.

Figura 1.2.1: Montascale fissi: (a) a piattaforma [9], (b) a poltrona [10].

1.2.2 Montascale mobili

I montascale mobili permettono di superare intere rampe di scale, ma a differenza di quelli fissi non necessitano di una struttura fissa alla quale vincolarsi. Questi dispositivi sono molto più diffusi a livello commerciale grazie al fatto che possono essere trasportati nei vari luoghi in cui ne è necessario l'utilizzo. Una caratteristica tipica di questa tipologia di montascale è la capacità di collegarlo alla carrozzina solo nel momento in cui se ne ha bisogno, così che la carrozzina risulti leggera e manovrabile durante il moto di marcia in piano. I montascale mobili pur risultando trasportabili e poco ingombranti, non permettono l'utilizzo in completa autonomia da parte dell'utente ma come quelli fissi con sedile presentano l'inconveniente di richiedere la presenza di una seconda persona che segua l'intera operazione di salita o discesa della rampa di scale. Le principali soluzioni costruttive includono montascale a cingolo e a ruote.

1.2.2.1 Montascale a Cingolo

Figura 1.2.2: Montascale a cingolo [8]

I montascale a cingolo *Figura 1.2.2* permettono di salire e scendere le scale grazie all'impiego di un cingolo motorizzato che garantisce una buona stabilità perché si hanno almeno due punti di contatto e assicura un moto regolare senza discontinuità (pura traslazione). La soluzione con cingolo però risulta ingombrante e pesante, oltre ad avere delle criticità nel passaggio dal moto in piano a moto su scala. Inoltre richiede la presenza di un operatore, il quale non deve assicurare l'equilibrio della sedia ma bensì gestire la sequenza di operazioni richieste durante la salita e la discesa.

1.2.2.2 Montascale a Ruote

Figura 1.2.3: Montascale a ruote "yack n911"

I montascale a ruote *Figura 1.2.3* presentano una coppia si ruote che permettono il moto in piano, e poi e presente un ulteriore meccanismo che permette di scavalcare lo scalino. Rispetto a quelli sopra descritti sono meno ingombranti e più leggeri, ma non garantiscono la stabilità durante il moto su scala perchè durante questa fase abbiamo un solo punto di contatto, per cui è indispensabile la presenza di un assistente in modo da garantire che l'operazione avvenga in totale sicurezza. Il superamento degli scalini avviene tramite l'utilizzo di vari meccanismi che possono essere diversi tra loro, i quali sollevano la carrozzina e i montascale permettendo di appoggiarsi sullo scalino successivo. Mentre quelli con cingolo permettono di realizzare una traiettoria rettilinea e regolare, questi realizzano traiettorie curve e non regolari che variano a seconda del meccanismo utilizzato.

Figura 1.2.4: Meccanismo di salita scalino del montascale a ruote "yack n911"

1.2.2.3 Montascale a Ruote con zampe rotanti

Figura 1.2.5: Montascale a zampe rotanti "Scoiattolo S" [12]

I montascale a ruote con "zampe rotanti" *Figura 1.2.5* sono una versione molto diffusa sul mercato dei montascale. Sono dotati di due unità di movimento costituite da tre ruote folli disposte con i centri lungo una circonferenza e con un angolo di 120° l'una dall'altra, solidali ad un telaio di forma triangolare. I telai sono dotati di motore elettrico che permette a questi di ruotare e consente cosi ad una delle ruote di andare ad appoggiarsi sul gradino successivo per poi superarlo. Sono montascale compatti, ma non garantiscono l'equilibrio durante l'avanzamento su scala, per cui è necessaria la presenza di un operatore il quale ha il compito di garantire la stabilità e verificare che durante la salita le ruote rimangano a contatto con l'alzata dello scalino.

1.2.3 Carrozzine montascale

Le carrozzine montascale consentono il movimento in piano come le normali carrozzine, ma in più sono dotate di sistemi meccanici con cui riescono ad affrontare la salita del singolo gradino oppure di una rampa di scale. Quindi in questi dispositivi si vanno ad unire i concetti di carrozzina tradizionale e montascale in un'unica soluzione, cioè permettono all'utente di muoversi in completa autonomia sia nel moto piano che nel superamento di ostacoli senza la presenza di un assistente. La proposta commerciale di questi dispositivi è molto ridotta, ma c'è un buon livello di sperimentazioni e brevetti che riguardano queste carrozzine.

1.2.3.1 Carrozzine montascale commerciali

Ad oggi il mercato offre una gamma di carrozzine ben limitata, in quanto questi dispositivo oltre a richiedere costi cospicui, presentano un livello di complessità ben elevato legato ad una progettazione efficiente che sia in grado di garantire un buon livello di autonomia, elevati standard di sicurezza e semplicità di manovra. Di seguito vengono mostrate le carrozzine che si possono trovare in commercio.

1.2.3.1.1 Carrozina B-Free Ranger

Figura 1.2.6: Carrozzina " B-Free Ranger " [13]

La carrozzina di *Figura 1.2.6* è dotata di cingoli motorizzati, che utilizza sia per la marcia in piano che per quella su scala. I cingoli sono orientabili in modo da gestire le fasi iniziali di salita e discesa, e permettono di avere sempre più punti di appoggio a terra cosi da garantire una buona stabilità durante il superamento degli ostacoli. Lo svantaggio di questa soluzione sta nel fatto che ha una bassa efficienza data dall'utilizzo dei cingoli anche per la marcia in piano, e dal fatto che presenta ingombri ragguardevoli.

1.2.3.1.2 Carrozina TopChair S2

Figura 1.2.7: Carrozzina " TopChair S2 " [14]

A differenza della precedente, nel modello di *Figura 1.2.7*, troviamo un due cingoli motorizzati, posti sotto il sedile, che hanno la possibilità di essere utilizzati solo quando è necessario, cioè per il superamento di ostacoli, mentre la marcia in piano è affidata a ruote anch'esse motorizzate. Nella parte anteriore troviamo degli ammortizzatori che aiutano a smorzare le oscillazioni introdotte da eventuali dossi presenti sul percorso. Si ha una buona efficienza per la marcia in piano, arrivando ad autonomie di 35-40 km inoltre, durante la salita delle scale il sistema di controllo della seduta si auto-livella in modo da avere la seduta sempre orizzontale così da aumentare il comfort della passeggero. La scelta di motorizzare le ruote ed il cingolo porta ad avere un struttura complessa e pesante. Oltre a ciò, sono presenti dei sensori ad infrarossi che permettono il rilevamento automatico dei gradini.

1.2.3.1.3 Carrozina I-Bot

Figura 1.2.8: Carrozzina " I-Bot " [15]

Il modello mostrato in *Figura 1.2.8* presenta dei gruppi di ruote solidali ad un telaio secondario che può ruotare rispetto al telaio principale della carrozzina. Per la marcia in piano abbiamo che le ruote a contatto sono solo due, e quindi l'equilibrio viene assicurato in modo dinamico dal sistema di controllo della carrozzina. Questa soluzione risulta molto avanzata tecnologicamente ed è molto compatta, ma controllo dinamico dell'equilibrio risulta porre dei limiti in materia di sicurezza.

1.2.3.1.4 Carrozina Scewo

Figura 1.2.9: Carrozzina " Scewo " [16]

La Scewo, *Figura 1.2.9*, utilizza una tecnologia a giroscopio simile a quella del segway, che permette alla sedia di stare in equilibrio sulle solo due ruote di cui è dotata, e che utilizza per muoversi in piano. Per superare scale o gradini,utilizza dei cingoli estraibili secondo necessità. Questa soluzione risulta efficace e con ingombri ridotti, ma ci sono svantaggi legati all'utilizzo dei cingoli.

1.2.3.1.5 Carrozina Caterwil

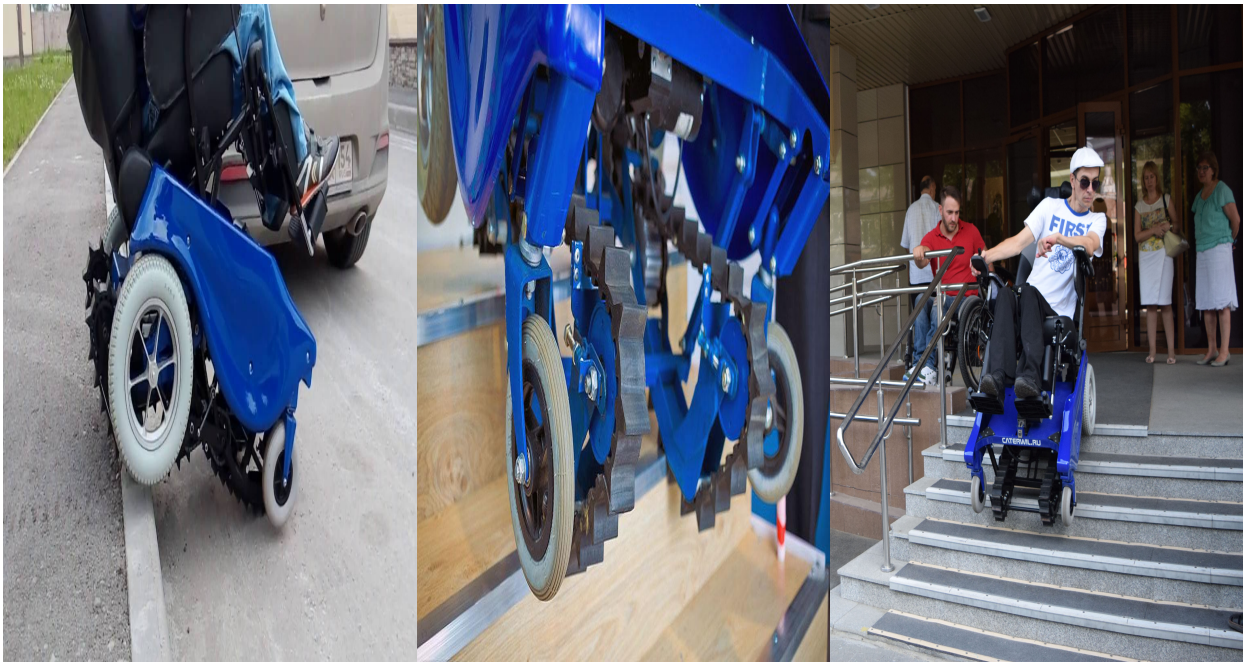


Figura 1.2.10: Carrozzina " Caterwil GTS3 " [17]

Il marchio russo Caterwil realizza carrozzine elettriche in grado di abbattere le barriere architettoniche, sia per utilizzo indoor che outdoor, attraverso la propria gamma i carrozzina che conta 3 modelli differenti. Il modello GTS3 *Figura 1.2.10*, ha due ruote posteriori motorizzate e due anteriori folli, utilizzate per il movimento su strada, per il la salita e la discesa delle scale la carrozzina è equipaggiata con quattro cingoli orientabili motorizzati, due nella parte anteriore e due in quella posteriore, che vengono messi in funzione nel momento in cui se ne ha bisogno. Anche in questa soluzione la seduta è orientata orizzontalmente per tutta la durata di salita/discesa della rampa di scale.

1.2.3.2 Carrozzine montascale in fase di sviluppo

Viste le ridotte tipologie di carrozzine montascale che sono offerte dal mercato, e che oltretutto presentano dei limiti in merito ad ingombro e peso, realizzare una carrozzina che riesca mettere insieme le prerogative di compattezza, sicurezza, peso e facilità d'uso è tutt'oggi una sfida ancora aperta. La *Tabella 1.3* evidenzia i vantaggi e gli svantaggi delle varie soluzioni adottate nella realizzazione delle carrozzine.

Tabella 1.3: Vantaggi e svantaggi delle diverse soluzioni di sistemi di locomozione

Tipologia	Vantaggi	Svantaggi
Zampe	Ottima capacità nel superare gli ostacoli	Struttura meccanica comlessa
Cingoli	Regolarità e sicurezza in salita scale	Bassa efficienza in marcia in piano e scarsa manovrabilità
Ruote	Ottima manovrabilità ed efficienza	Scarsa abilità nel superamento ostacoli

1.2.3.2.1 Carrozzina Tankchair

La carrozzina Tankchair, *Figura 1.2.11*, presenta delle dimensioni molto importanti associate ad un peso altrettanto elevato, ma ha il vantaggio di essere dotata di un'ottima stabilità, che trasmette all'utente presente sulla carrozzina un senso di sicurezza e protezione. Il punto debole di questa carrozzina sono proprio le dimensioni, che nella maggior parte dei casi non ne permettono l'utilizzo all'interno degli ambienti domestici, e alle volte anche all'esterno. Grazie all'utilizzo dei cingoli si possono però attraversare ambienti che presentano percorsi accidentati, ma la massima velocità raggiungibile è limitata. Questa soluzione offre anche la possibilità all'utente di disporsi in posizione eretta quando se ne ha la necessità.

Figura 1.2.11: Carrozzina " Tankchair " [18]

1.2.3.2.2 Carrozzina Galileo

La carrozzina di *Figura 1.2.12* combina due sistemi di locomozione, ovvero i cingoli e le ruote, prendendo il meglio dai due. Nel caso di semplice marcia in piano viene utilizzata la configurazione con le ruote, nel momento in cui si deve superare una rampa di scala vengono la ruota principale si trasforma in un cingolo a 3 pulegge, che grazie alle scanalature presenti sulla superficie permette di agganciarsi al bordo della scala e consentire cosi alla carrozzina di arrampicarsi sulla rampa di scale, una volta giunti al termine della rampa i bracci tendi-cingolo si richiudono tornando alla configurazione di marcia in piano.

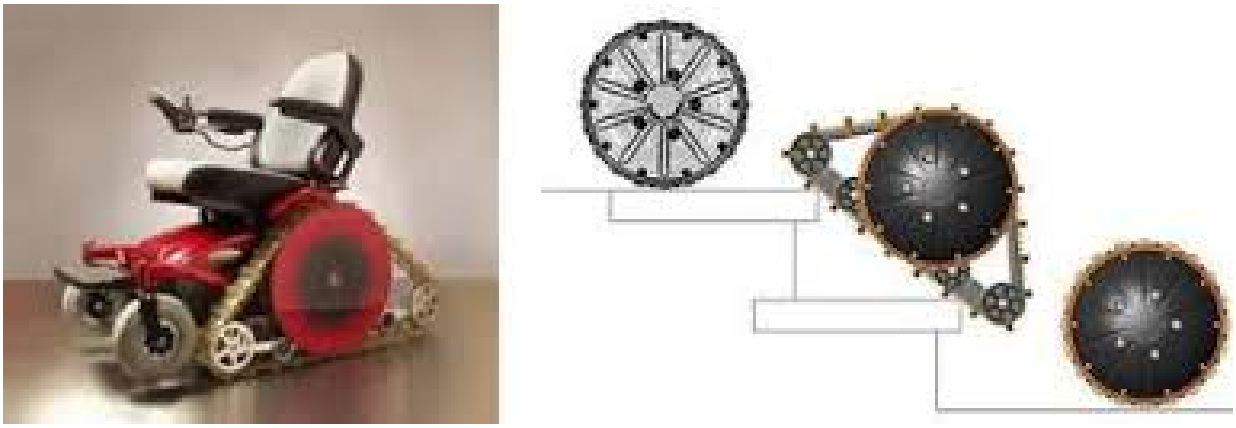


Figura 1.2.12: Carrozzina " Galileo " [19]

1.2.3.2.3 Carrozina a zampe rotanti

Nel prototipo di *Figura 1.2.13* è presente una terna di ruote collegate con un sistema di attuazione che permette di ruotarle rispetto al telaio principale. La salita e la discesa viene effettuata tramite la sola rotazione della terna rispetto al telaio. La parte critica di questa soluzione è la mancanza di un punto di appoggio sulla parte posteriore, e che quindi necessita di un assistente che tenga in equilibrio la carrozzina durante la salita della scala.

Figura 1.2.13: Carrozzina a zampe rotanti [20]

1.3 Strumenti per la rilevazione degli ostacoli

Durante gli spostamenti quotidiani, gli utenti che utilizzano le carrozzine elettriche, incontrano svariati ostacoli sul proprio cammino, come ad esempio una rampa di scala che preclude l'accesso a persone ad un edificio a persone affette da disabilità motorie. Come visto, per superare queste barriere architettoniche ci sono della carrozzine che adottano diverse soluzioni, principalmente due articolazioni adattive oppure cingoli motorizzati. Se si voglio automatizzare le operazioni di superamento degli ostacoli, c'è la necessita di inserire dei sensori che vadano a scansionare l'ambiente circostante e rilevino gli ostacoli presenti e le dimensioni di questi per poter poi stabilire se l'ostacolo possa essere superato e il modo in cui si possa farlo. In particolare verranno presentati diversi sensori che vanno rilevare e misurare le grandezze caratteristiche di una rampa di scale.

1.3.1 Scanner radar bidimensionale

Una delle soluzioni adottate è quella in cui viene utilizzato uno scanner radar bidimensionale, posto a bordo della carrozzina. In *Figura 1.3.1* mostriamo uno schema del setup sperimentale di misura:
Dopo aver eseguito la scansione viene generata una mappa una mappa di intensità 2D nel piano sagittale, in cui vengono rappresentati i segnali riflessi dai diversi oggetti che si trovano sulla traiettoria delle onde radio emesse dal sensore radar bidimensionale, in particolare alla distanza di 1 m vengono rilevati 3 gradini come tre piani verticali ad alta intensità a diverse altezze e profondità.
In seguito viene applicato un algoritmo che permette la ricostruzione della rampa di scale scansionata, e viene eseguito il confronto con le misure reali della stessa:
I radar restituiscono informazioni affidabili sulla posizione e sulla velocità di un ostacolo, anche in condizioni di scarsa visibilità, ma richiedono dei complessi algoritmi di elaborazione dell'immagine acquisita che permettono di ricostruire l'oggetto scansionato.

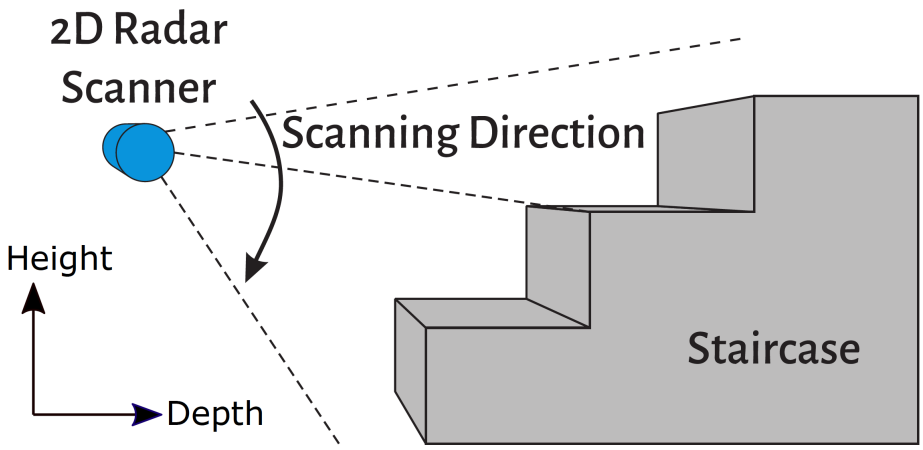


Figura 1.3.1: Schema setup sperimentale di misura

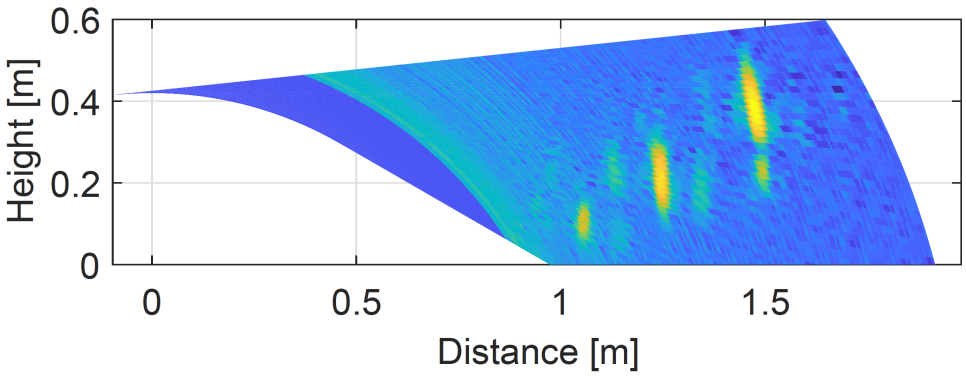


Figura 1.3.2: Immagine acquisita dal radar di una scala composta da 3 scalini

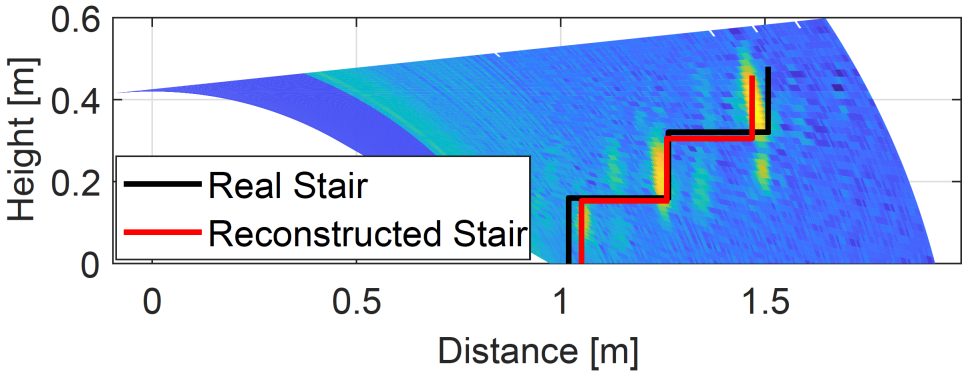


Figura 1.3.3: Scala scansionata ricostruita e confronto con dimensioni reali

1.3.2 Scanner Laser

Nella soluzione analizzata vengono utilizzati due sensori laser, posti sui lati del telaio della carrozzina, e sono collegati ad un motore elettrico che li pone in rotazione, in modo che a seconda che si debba scansionare una rampa di scale in salita o in discesa questi vengano orientati nella giusta direzione.

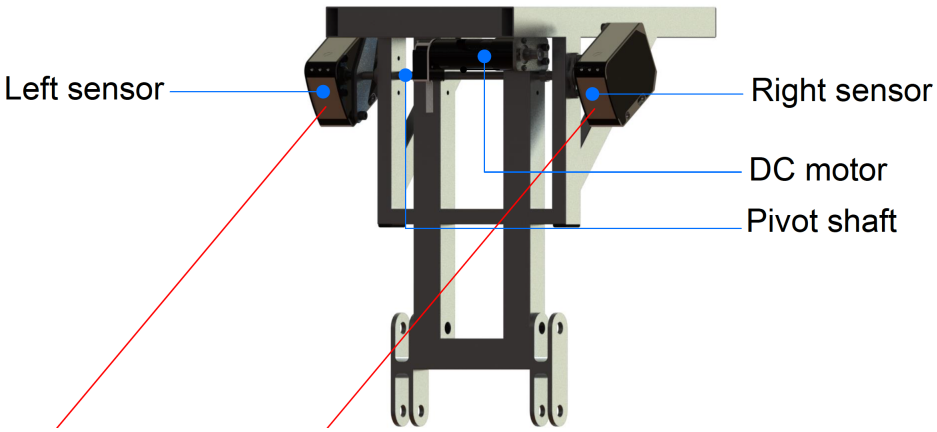


Figura 1.3.4: Sistema di scansione posizionate sul telaio della carrozzina

Inoltre il fatto di avere due sensori permette di:

- confrontare le grandezze rilevate, cosi da avere una maggiore accuratezza;
- valutare l'angolo di imbardata e di conseguenza applicare una eventuale correzione.

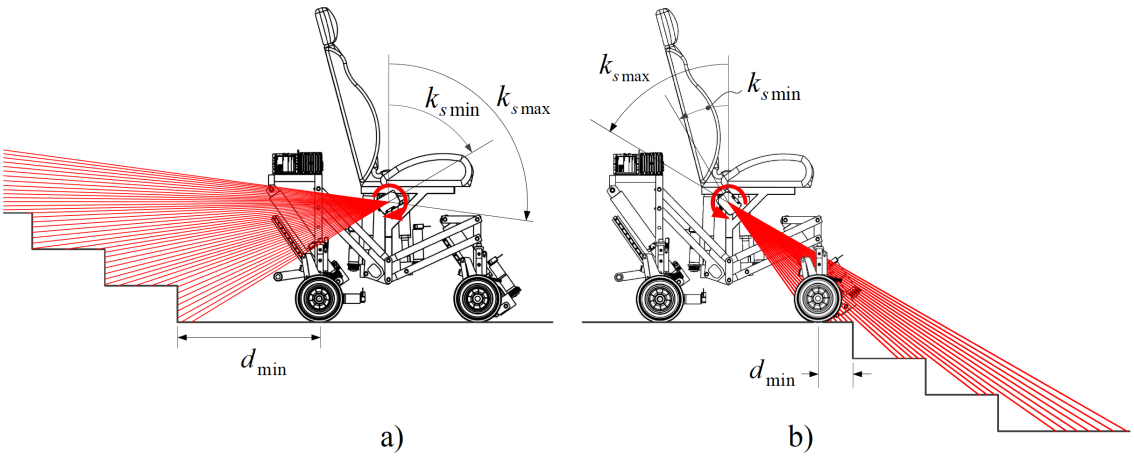


Figura 1.3.5: Vista laterale della scansione (**a**) prima della salita (**b**) prima della discesa

Dalla scansione si ottengono le seguenti immagini, rispettivamente per la salita e per la discesa:
La stima delle dimensioni del grandino è ottenuta attraverso un'analisi geometrica basata sui risultati della scansione, dove la posizione angolare dei sensori è definita dall'angolo K_s, d_s è la distanza misurata dai sensori,d_{sx} è la distanza orizzontale, d_{sy} è la distanza verticale e d_{s0} e K_{s0} sono rispettivamente la distanza e l'angolo iniziali.

$$distanza(x,y) = \begin{cases} d_{sx} = d_s\ sin(K_s) \\ d_{sy} = d_s\ cos(K_s) - d_{s0}\ cos(K_{s0}) \end{cases} \tag{1.1}$$

Questa tipologia di sensori riescono a raccogliere una grande quantità di dati che contengono informazioni sulla distanza e velocità dell'oggetto, ma non sono in grado di dare informazioni sulla tipologia di oggetto, sulla sua forma e tipologia di superficie.

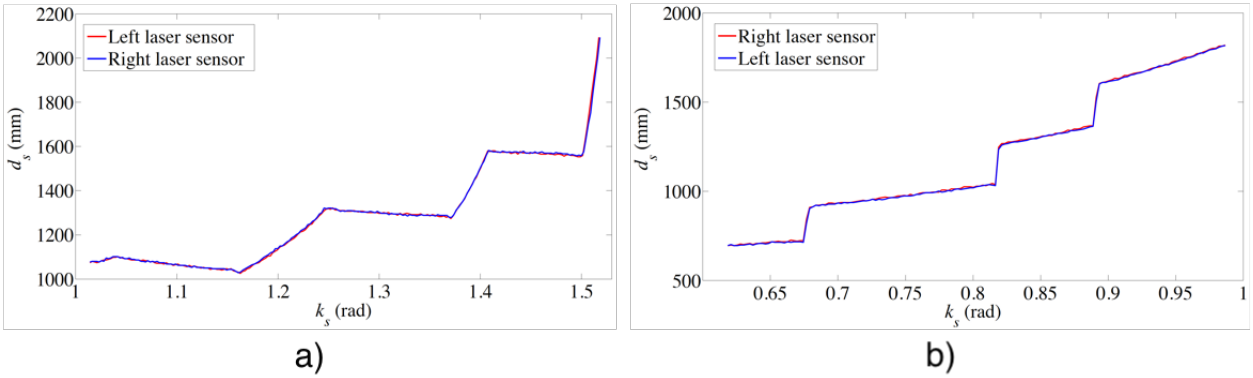


Figura 1.3.6: Immagine acquisita durante la scansione della scala (**a**) Salita (**b**) Discesa

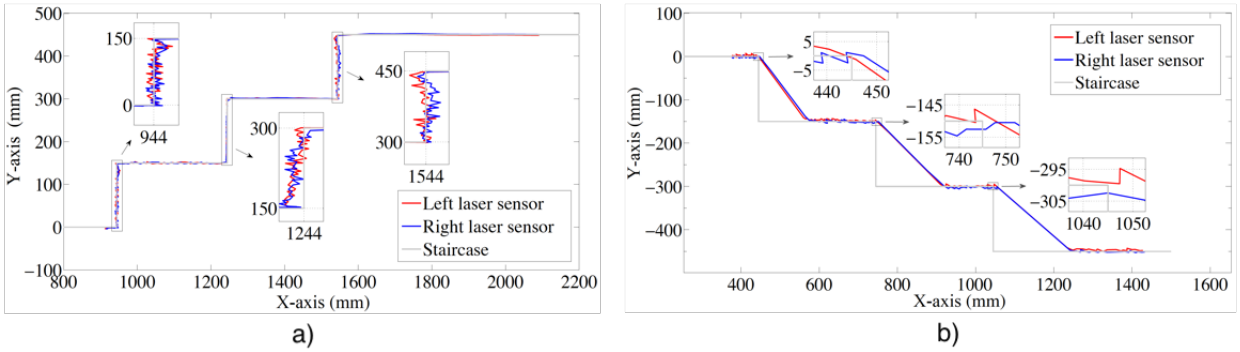


Figura 1.3.7: Stima della forma e la dimensione della scala (**a**) Salita (**b**) Discesa

1.3.3 Camera Stereoscopica

L'utilizzo di camere stereoscopiche richiede un forte impegno di risorse sia hardware che software, che permettano un rilevamento preciso, con l'ottenimento dei dati di interesse in tempo reale. La visione stereo è soggetta a errori di rilevazione che possono essere limitati proiettando una griglia sugli oggetti scansionati tramite dei proiettori ad infrarossi quali però presentano l'inconveniente di non riuscire a lavorare in ambienti aperti e di avere un notevole consumo energetico. Queste telecamere non riescono ad individuare in modo corretto gli oggetti in caso di scarsa luminosità.

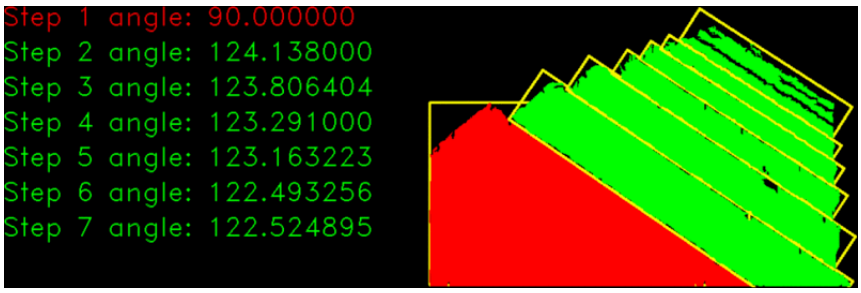


Figura 1.3.8: Immagine scansionata con riconoscimento dei bordi dei gradini

Una volta evidenziati i bordi delle scale è possibile valutare le distanze e le dimensioni caratteristiche dei gradini.

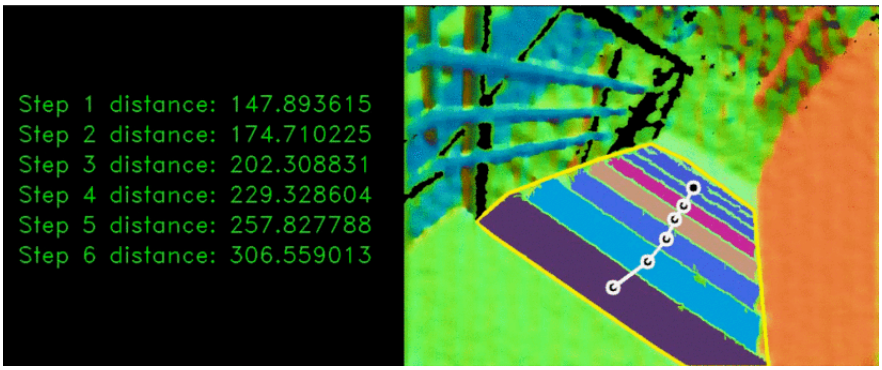


Figura 1.3.9: Valutazione delle distanze dei gradini

1.3.4 Sensore di prossimità

Per aumentare il livello di sicurezza per l'utente a bordo della carrozzina si possono dotare queste di ulteriori sensori anticollisione in grado di rilevare eventuali ostacoli sia fissi che mobili, come ad esempio una persona che improvvisamente viene a trovarsi sulla traiettoria che sta percorrendo la sedia. Per rilevare gli ostacoli vengono utilizzati dei sensori di prossimità che possono, una volta accertata la presenza dell'ostacolo, intervenire in modo diverso:

- Inviare dei segnali di avviso, ad esempio di tipo sonoro, che vadano ad allertare l'utente presente sulla carrozzina e i presenti nelle immediate vicinanze;
- Inviare dei segnali che vanno ad arrestare istantaneamente gli attuatori della carrozzina.

Solitamente questa tipologia di sensori non viene utilizzata su carrozzina governate da un utente, ma bensì per carrozzine a guida autonoma utilizzate in ambienti chiusi che vengono mappati e queste informazioni sono fornite alla carrozzina che segue un determinato percorso.

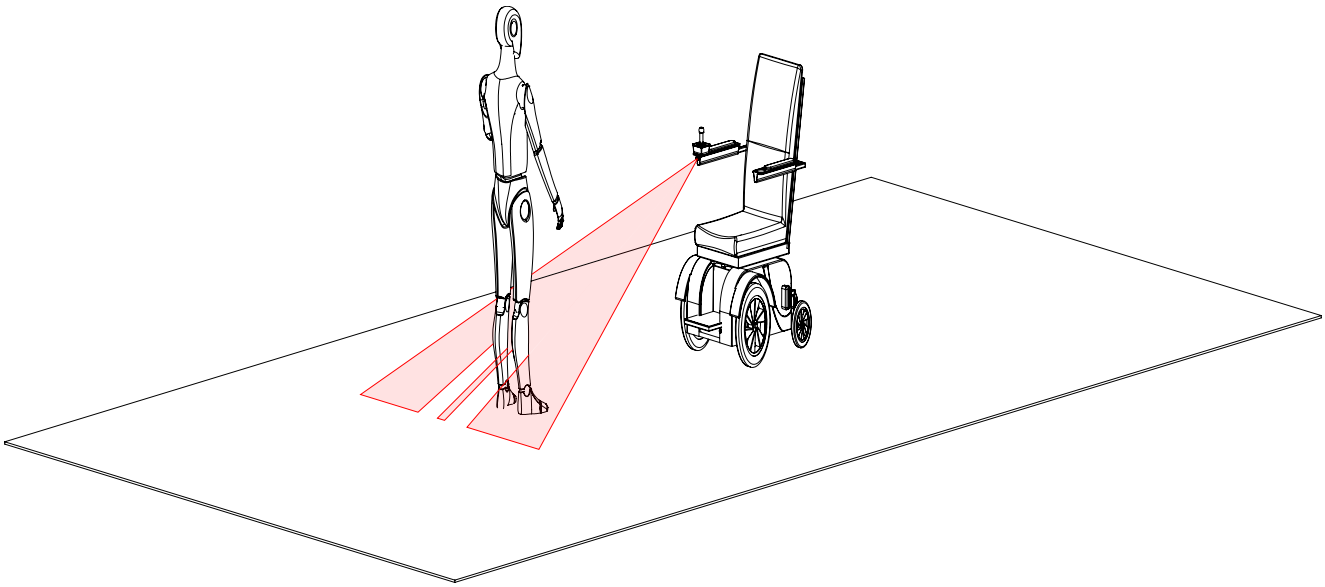


Figura 1.3.10: Rilevazione ostacolo con sensore di prossimità ad infrarossi

1.4 Evoluzione carrozzina *Wheelchair.q*

Wheelchair.q è una carrozzina elettrica montascale, in grado di salire e scendere sia singoli gradini che intere rampe di scale. Nello specifico riesce a superare il singolo gradino, sia in discesa che in salita, con l'utente rivolto frontalmente all'ostacolo, mentre per superare le rampe di scale l'utente è rivolto di spalle ai gradini. Di seguito si analizza l'evoluzione di Wheelchair.q e la varie modifiche che sono state apportate nelle varie versioni.

1.4.1 Wheelchair.q01

Nel progetto della prima variante erano previsti dei tripodi motorizzati nella parte posteriore che si occupano del movimento della carrozzina, mentre sulla parte anteriore sono presenti gli stessi elementi ma in versione non motorizzata. Nella parte inferiore della telaio, è presente una ruota trainata che può essere sollevata, nel caso di superamento di un ostacolo oppure abbassata durante la marcia in piano, andando a sollevare la parte anteriore della carrozzina e con essa il tripode anteriore, consentendo cosi un migliore e più semplice controllo della sedia durante il movimento in piano. Con questa prima soluzione era già possibile superare singoli gradini o rampe di scale, ma la presenza di 4 tripodi andava a rendere il tutto molto ingombrante e pesante, oltre a limitarne fortemente la manovrabilità.

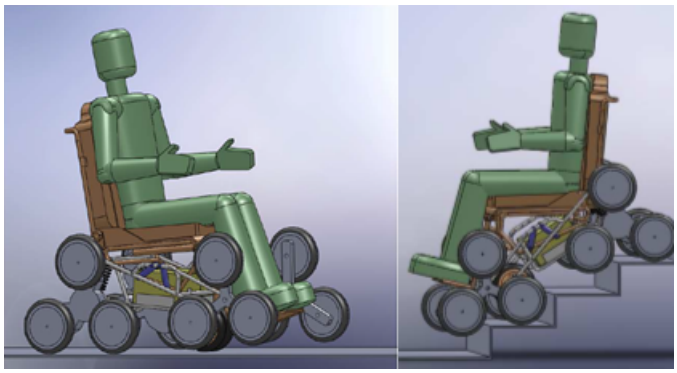


Figura 1.4.1: Wheelchair.q01

1.4.2 Wheelchair.q02

Nella versione successiva si ha una riduzione della dimensione dei tripodi presenti nella parte anteriore, in questo modo si riesce parzialmente a ridurre le dimensioni e il peso della carrozzina. Rimangono irrisolte comunque le questioni legate alla manovrabilità e al minore comfort per il passeggero durante il moto su scale derivante dalle oscillazioni indotte dalle zampe rotanti. Viene invece aggiunto un componente, ovvero un quadrilatero articolato collegato ad un motore, che è in grado di regolare la posizione della sedia, o meglio la sua inclinazione rispetto al telaio inferiore, anche se il sistema di controllo di questo motore non è tale da offrire una regolazione della seduta che vari in modo continuo.

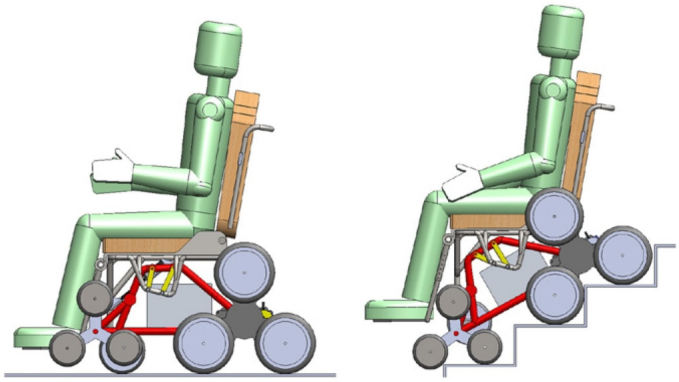


Figura 1.4.2: Wheelchair.q02

1.4.3 Wheelchair.q03

Nella terza versione nella parte posteriore sono ancora presenti i tripodi motorizzati visti già nella prima versione, mentre nella parte anteriore c'è stato un cambiamento e sono state inserite delle ruote pivotanti, che introducono una maggiore maneggevolezza e una sensibile riduzione di peso. Nel momento in cui si deve superare un ostacolo, le ruote anteriori vengono rimpiazzate da un cingolo folle collocato sotto la seduta. La scelta di utilizzare il cingolo è dettata dalla necessita di filtrare le oscillazioni a cui l'utente è sottoposto durante la salita delle scale e quindi aumentare la sensazione di comfort durante questa fase. In più viene inserito un attuatore che controlla la rotazione del tripode posteriore, in modo tale che durante la fase di discesa si abbia una maggiore controllabilità del processo. Si evidenziano ancora degli aspetti negativi quali l'eccessiva altezza del baricentro della carrozzina, che potrebbe introdurre problemi di stabilità, e la complessità dei meccanismi di riconfigurazione.

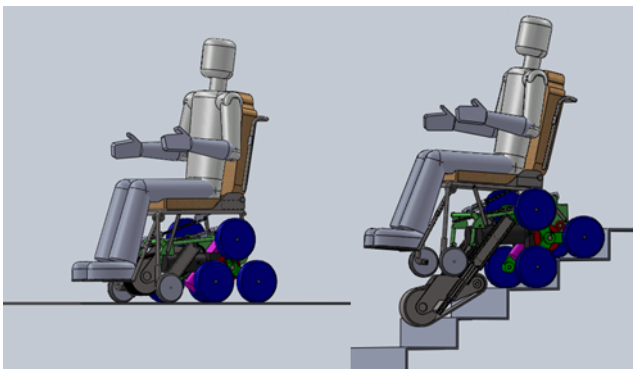


Figura 1.4.3: Wheelchair.q03

1.4.4 Wheelchair.q04

La quarta versione presenta poche differenze rispetto a quella descritta in precedenza, se non fosse che è stata eseguita un'attenta riorganizzazione delle componenti, questo permette un abbassamento del baricentro dell'interno sistema, e si ha quindi un aumento della stabilità e della sicurezza del passeggero, soprattutto durante le fasi di salita e discesa di rampe di scale. Inoltre questa riprogettazione ha permesso di ridurre gli ingombri e semplificare le componenti rendendo più efficaci le operazioni di riconfigurazione.

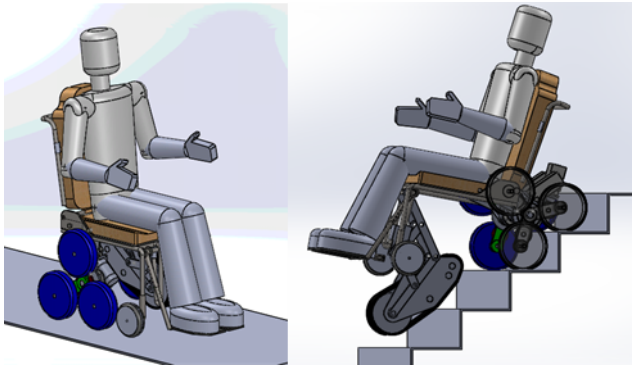


Figura 1.4.4: Wheelchair.q04

1.4.5 Wheelchair.q05

Questa è l'ultima versione, quella attuale, in cui i tripodi motorizzati prendono il posto delle ruote pivotanti e vengono quindi spostasi anteriormente, e sono questi a fornire la spinta sia per il moto in piano sia per il moto su scala. Le ruote pivotanti vengono invece spostate sulla parte posteriore, e lo stesso vale per il cingolo folle, le cui dimensioni sono state aumentate, e viene posto dietro lo schienale del sedile. Questa ridisposizione delle componenti principali porta ad avere alcune migliorie tra cui una migliore distribuzione delle forze di contatto, e di caricare maggiormente le unità anteriori e di scaricare il cingolo, così da migliorare i requisiti di aderenza e ottenere una migliore stabilità statica. Questa versione offre la possibilità di superare un singolo scalino, sia in salita che in discesa, in marcia avanti. Inoltre, l'aver aumentato le dimensioni del cingolo consente di avere sempre due punti di appoggio e quindi realizzare una traiettoria rettilinea, migliorando cosi la regolarità del moto su scala e rendendo cosi la salita e la discesa di rampe di scale un'operazione confortevole.

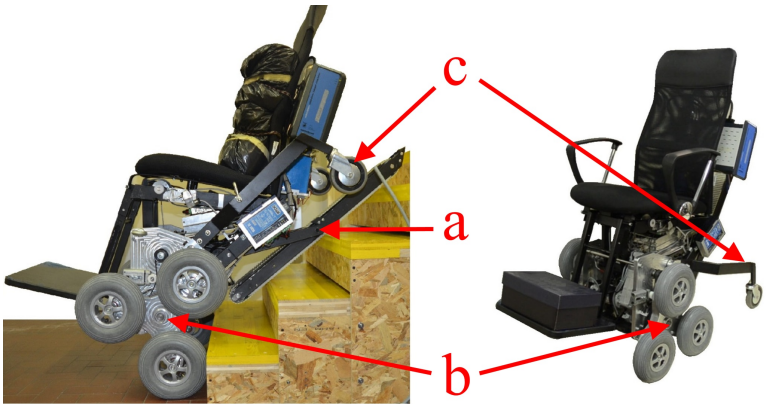


Figura 1.4.5: Wheelchair.q05: (a) cingolo folle, (b) unita di locomozione a zampe rotanti, (c) ruote pivotanti

2 Sequenze e configurazioni geometriche

2.1 Introduzione

In questo capitolo si analizzano le principali configurazioni che la carrozzina deve assumere per permettere il superamento del ostacoli. Prima di procedere con questa descrizione è bene chiarire quali sono i vari componenti della carrozzina che sono interessati dallo studio, i sistemi di riferimento e le convenzioni utilizzate per realizzare questa analisi.

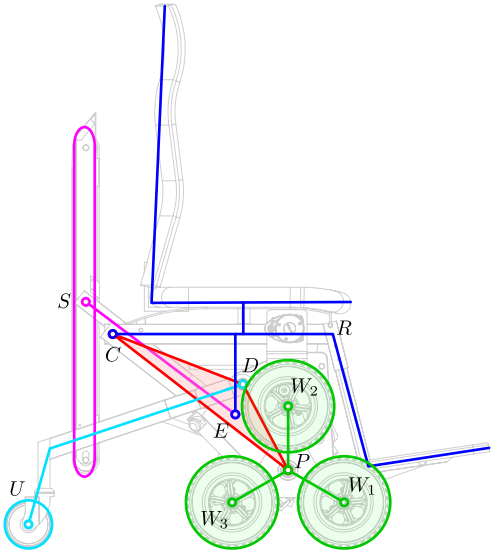


Figura 2.1.1: Schema Wheelchair.q

Tabella 2.1: Elementi cinematici

Colore	Elemento
Verde	Tripode
Rosso	Sotto-telaio PC
Blu	Sotto-telaio RC
Celeste	Gruppo pivotanti
Magenta	Gruppo cingolo

1. *Sotto-telaio PC*: questa è una delle componenti principali della carrozzina, ed è costituita da due da due piastre di alluminio opportunamente sagomate collegate tramite delle barre di acciaio. Alle piastre sono poi collegati dei bracci che consentono il collegamento al sotto-telaio RC. Al sotto-telaio PC sono collegati i vari organi di attuazione e il tripode.

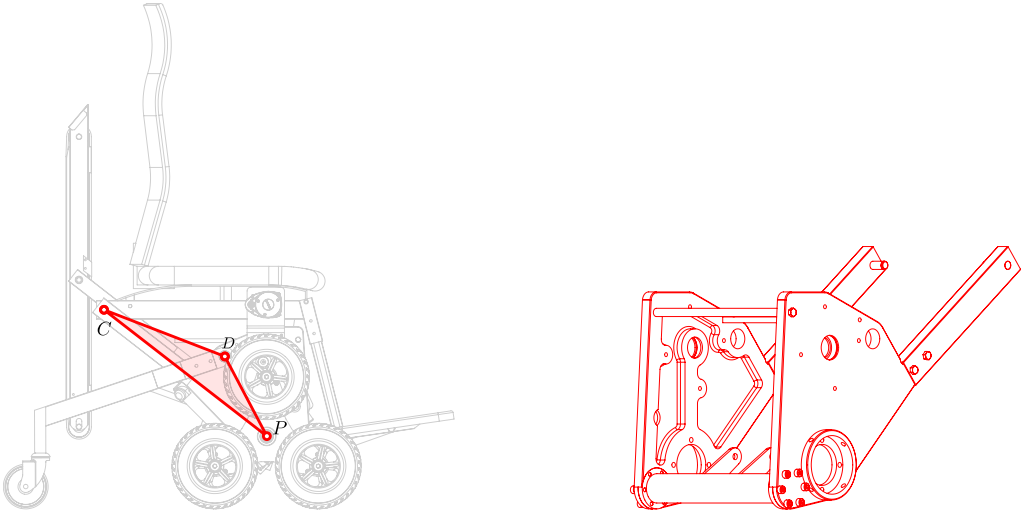


Figura 2.1.2: Sotto-telaio PC

2. *Sotto-telaio RC*: questo è un altro elemento principale, ed è costituito da due profilati portanti a sezione rettangolare, ai quali sono saldati degli elementi trasversali che conferiscono una maggiore rigidezza alla struttura. Il sotto-telaio RC è collegato al sotto-telaio PC nel punto C, e può ruotare rispetto a questo grazie al motoriduttore che troviamo sotto la seduta, questo permette di regolare l'inclinazione della seduta, modificando cosi la posizione del baricentro dell'intera carrozzina oltre ad aumentare il livello di comfort del passeggero.

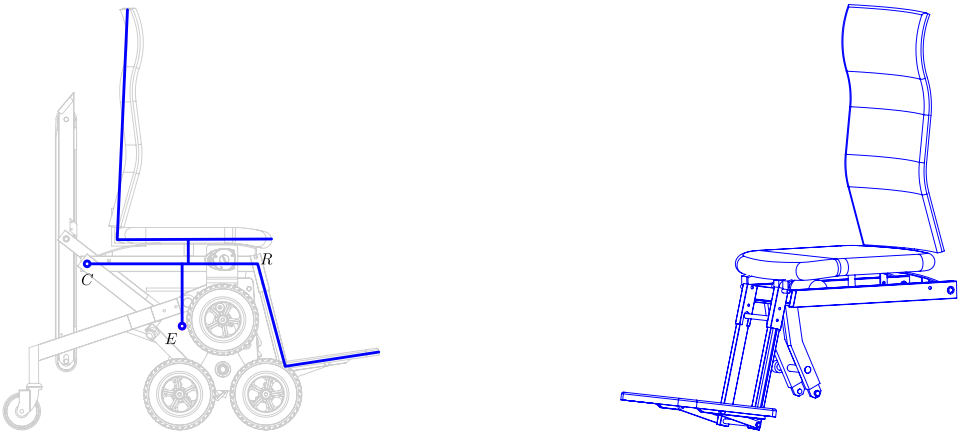


Figura 2.1.3: Sotto-telaio RC

3. *Tripode*: questo è un elemento scatolare composto da una struttura di base e da un coperchio, all'interno è presente un rotismo epicicloidale che permette la rotazione simultanea dei tre pneumatici attorno al punto W tramite l'azionamento della solare vincolata nel punto P,che a sua volta mette in rotazione i satelliti collegati tramite degli alberi alle ruote. Ciascuna ruota solare è dotata di un motore dedicato, in modo da poter imporre movimenti diversi agli pneumatici destri e sinistri, cosi da realizzare traiettorie curve quando necessario. Esternamente al tripode è presente una ruota dentata collegata con una catena, collegata ad un terzo motore, che permette la rotazione completa, in entrambe i sensi, del tripode intorno al punto P, ed è proprio questo grado di libertà che consente alla carrozzina di superare ostacoli quali scale o singoli gradini. Da questo si evince che la rotazione del tripode e lo spostamento della carrozzina possono avvenire sia in contemporanea che in istanti diversi a seconda delle esigenze.

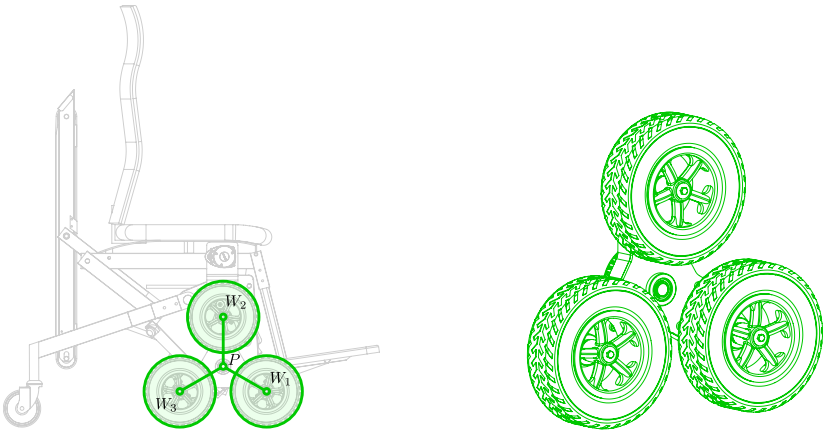


Figura 2.1.4: Tripode

4. *Gruppo pivotanti*: si tratta di due aste vincolate ad una estremità al sotto-telaio PC nel punto D e all'altra estremità a delle ruote folli, e queste ruotano in modo sincronizzato in entrambe i sensi attorno a quest'ultimo, variando cosi l'inclinazione del sotto-telaio PC, con lo scopo di avanzare o arretrare il baricentro dell'intera carrozzina rispetto al centro del tripode. Generalmente lavorano insieme al tripode così da rispettare i vincoli di comfort e sicurezza, soprattutto nel superamento degli ostacoli.

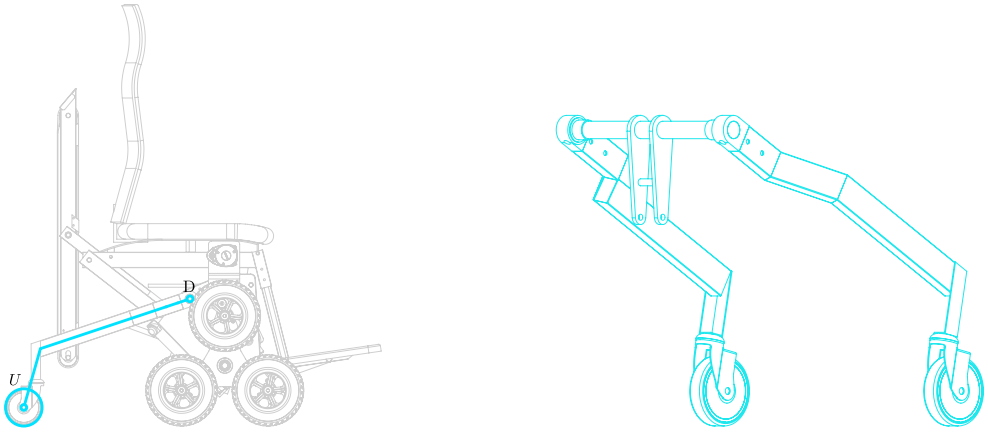


Figura 2.1.5: Gruppo pivotanti

5. *Gruppo cingolo*: è costituito da due aste incernierate ad una estremità nel punto E ad un cingolo folle in quale può ruotare attorno a questo,e alla seconda estremità sono collegate al sotto-telaio RC nel punto E attorno al quale possono ruotare grazie ad un attuatore lineare.

Figura 2.1.6: Gruppo cingolo

La struttura possiede i seguenti gradi di libertà, mostrati nella *Figura 2.1.7*

1. La rotazione del gruppo di locomozione attorno al punto P. Come già anticipato il movimento viene impresso da un riduttore che permette una rotazione, contemporanea , di 360°. La posizione del tripode rispetto al sotto-telaio PC è definita tramite l'angolo θ_P.

2. La rotazione del gruppo pivotanti attorno al punto D, in quanto le due aste possono traslare verso l'alto e verso il basso in modo sincronizzato. La posizione del gruppo pivotanti rispetto al sotto-telaio PC viene indicata dall'angolo θ_{DU}.

3. Il sotto-telaio RC ruota attorno al punto C, e permette alla seduta di alzarsi o abbassarsi, e forma cosi con il sotto-telaio PC l'angolo β.

4. L'asta che sostiene il cingolo può ruotare attorno al punto E, grazie ad un motore lineare, e la posizione di questa rispetto al sotto-telaio RC viene definita dall'angolo θ_{ES}.

5. Il cingolo può ruotare attorno al punto S rispetto all'asta che lo supporto, questo movimento è libero è non viene azionato da alcun motore. Il cingolo forma un angolo θ_T rispetto all'asta di supporto.

6. Il cingolo può muoversi liberamente in entrambi i sensi, non essendo comandato da nessun azionamento.

7. La rotazione delle ruote folli rispetto al punto U.

8. La rotazione della solare sinistra che può ruotare in entrambi i sensi con la velocità che le viene fornita dal motore.

9. La rotazione della solare destra che può ruotare in entrambi i sensi con la velocità che le viene fornita dal motore. Combinando le rotazioni della solare destra e sinistra la carrozzina può avanzare, arretrare o curvare sul posto o mentre si muove.

Tabella 2.2: Gradi di libertà

Angolo	Descrizione	Variabilità (°)	Attuato
θ_P	Rotazione del gruppo di locomozione attorno al punto P del sotto-telaio PC	Rotazione completa	Si
θ_{DU}	Abbassamento/sollevamento del gruppo pivotanti attorno al punto D del sotto-telaio PC	10 ÷ 122	Si
β	Abbassamento/sollevamento del sotto-telaio RC attorno al punto C del sotto-telaio PC	29 ÷ 47	Si
θ_{ES}	Abbassamento/sollevamento dell'asta che regge il cingolo attorno al punto E del sotto-telaio RC	-4 ÷ 30	Si
θ_T	Rotazione del cingolo attorno al punto S dell'asta a cui è vincolato	0 ÷ 40	No
/	Scorrimento del cingolo all'interno del suo telaio vincolato al punto S	Scorrimento senza limitazioni	No
/	Rotazione delle ruote pivotanti attorno al punto U delle aste a cui sono vincolate	Rotazione completa	No
/	Rotazione della ruota solare sinistra attorno al punto P	Rotazione completa	Si
/	Rotazione della ruota solare destra attorno al punto P	Rotazione completa	Si

Per completare la descrizione della geometria della carrozzina definiamo degli ulteriori parametri che sono stati adottati per lo studio cinematico.

Tabella 2.3: Convenzioni utilizzate

Simbolo	Significato
l_{ij}	Lunghezza tra la cerniera/punto i e la cerniera/punto j
ϑ	Angolo tra due sistemi di riferimento mobili
Θ	Angolo tra un sistema di riferimento mobile e un sistema di riferimento fisso parallelo al piano di appoggio
α_{ij}	Angolo fisso che descrive la posizione di un punto/cerniera
(x,y)	Sistema di riferimento mobile
(X,Y)	Sistema di riferimento fisso
β	Angolo relativo tra i due sotto-telai

Vediamo allora graficamente come sono definiti questi angoli e quali sono le convenzioni di segno che sono state utilizzate:

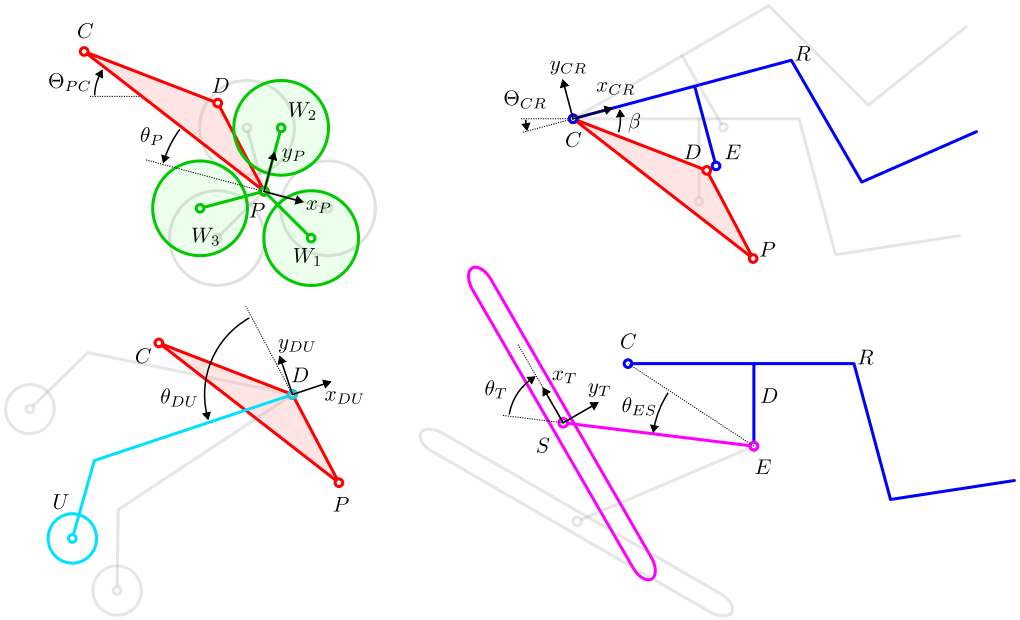


Figura 2.1.7: Definizione angoli e convenzioni di segno

Possiamo elencare le varie grandezze geometriche di tutti gli elementi presenti nella struttura:

Tabella 2.4: Lunghezze e raggi

Lunghezze e raggi	Valore [mm]
l_{PW}	160
l_{PC}	552,64
r_W	115
l_{ES}	599
l_{CE}	397,26
l_{PD}	246
l_{DU}	637,64
r_U	56

Tabella 2.5: Angoli caratteristici

Angoli	Valore [°]
α_{EC}	38
α_{PD}	24,47

La carrozzina è dotato di varie modalità di marcia, ed una di queste è denominata *"Marcia in piano"* *Figura 2.1.8* . In questa condizione la carrozzina si trova in una configurazione ottimale per quanto riguarda i suoi gradi di libertà per muoversi in piano, perché avendo un solo pneumatico a contatto si ha un minore consumo di energia e una migliore manovrabilità della carrozzina.

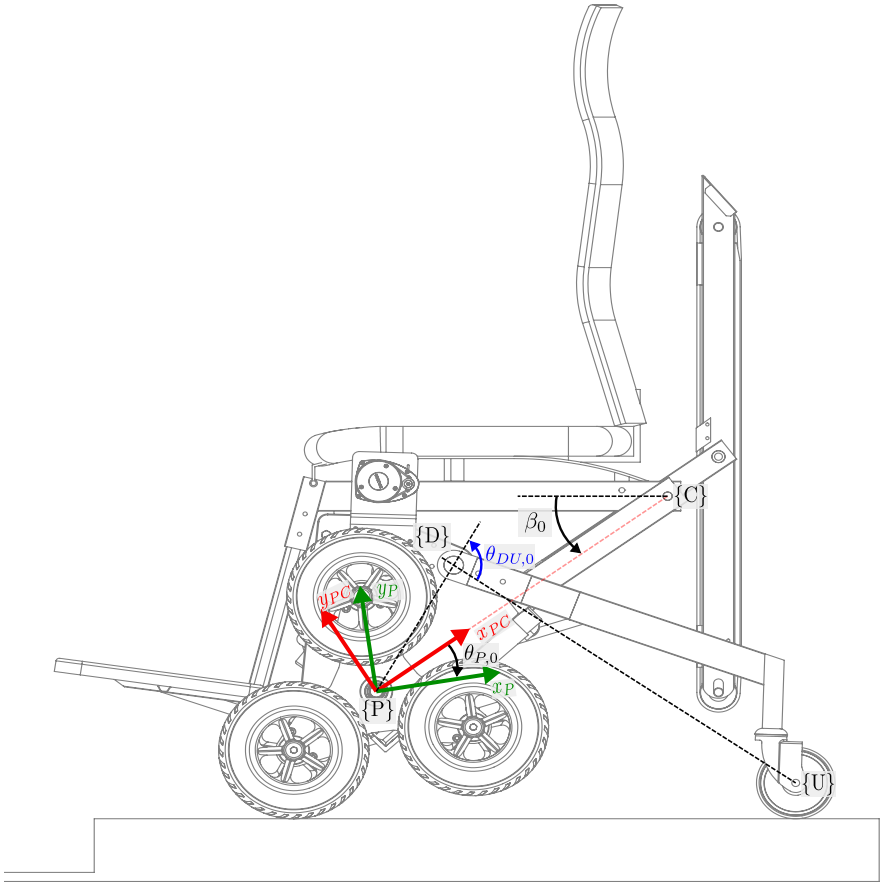


Figura 2.1.8: Modalità "Marcia in piano"

Tabella 2.6: Angoli di funzionamento nella modalità di *"Marcia in piano"*, con una sola ruota a contatto

Angoli	Valore (°)
β_0	38
ϑ_{P0}	-32
ϑ_{DU0}	98,07
ϑ_{ES0}	0
ϑ_{T0}	40
Θ_{PC0}	38

Nel caso in cui si vogliano mantenere due pneumatici a contatto con il terreno la configurazione si modifica come riportato in *Figura 2.1.9*; si sconsiglia comunque l'utilizzo di questa modalità per il semplice movimento su strada in quanto si registra un incremento di energia richiesta al moto, ed una difficoltà nella manovrabilità, soprattutto nelle traiettorie curve. Può invece essere utile, e se ne consiglia l'utilizzo, quando ci si trova a percorrere terreni cedevoli dove la distribuzione del carico su più punti porta ad un migliore grip degli pneumatici ed evita che le ruota si blocchino nel terreno.

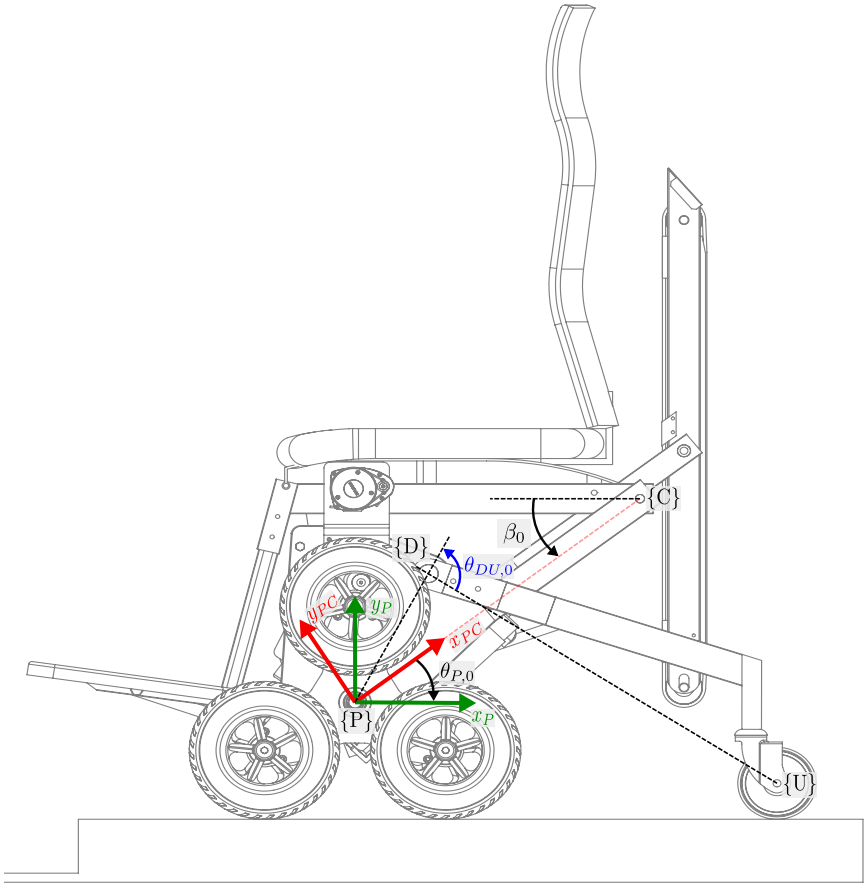


Figura 2.1.9: Configurazione con due pneumatici a contatto

Tabella 2.7: Angoli di funzionamento nella modalità di *"Marcia in piano"*, con due ruote a contatto

Angoli	Valore (°)
β_0	38
ϑ_{P0}	-38
ϑ_{DU0}	96,53
ϑ_{ES0}	0
ϑ_{T0}	40
Θ_{PC0}	38

2.2 Struttura di controllo dei Servomotori

In questo paragrafo viene presentato il controllo in posizione che riguardo il motore che si occupa della movimentazione del sedile dalla carrozzina, e del controllo in velocità delle ruote dei tripodi.

2.2.1 Controllo in posizione della seduta

Per il motore che permette il movimento della seduta della carrozzina è stato adottato un controllo in posizione in anello chiuso, in cui viene imposto come segnale di set la variabile β_{SET}, che viene confrontata con il segnale di feedback β_{FB} proveniente dal sensore che misura l'angolo tra la seduta e il sotto-telaio PC , e da questo confronto si genera l'errore angolare β_{ERR}. Questo errore angolare appena valutato viene fornito in ingresso al sistema di controllo C, che produce un segnale di riferimento V_{REF} che viene quindi utilizzato per mettere in moto il motore che fa alzare o abbassare il sedile, questo fino a quando la seduta non raggiunge il valore di set e quindi si genera un errore nullo che produce un segnale di riferimento anch'esso pari a zero e il motore si arresta.

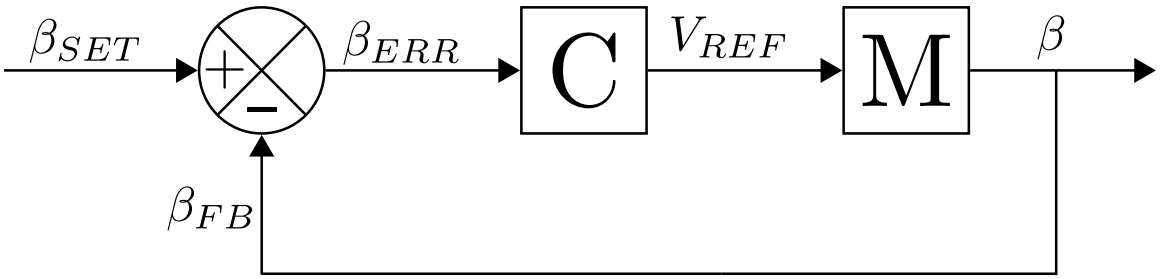


Figura 2.2.1: Modello sistema di controllo del sedile

Di seguito viene mostrato il blocco Simulink che contiene il sistema di controllo della seduta. In questo primo blocco vengono inviati in input i segnali β_{SET} e β_{FB}. Mentre in uscita da questo blocco troviamo i segnagli di riferimento in tensione che permettono di far ruotare il motore nell'una e nell'altra direzione.

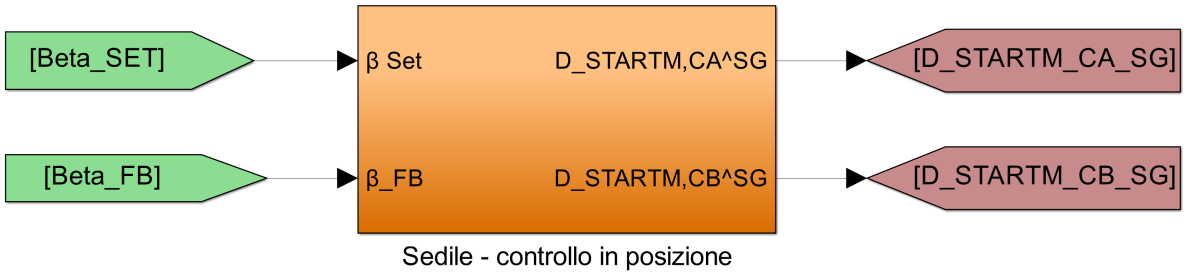


Figura 2.2.2: Blocco Simulink controllo sedile

In uscita dal blocco di *Figura 2.2.2* ritroviamo due segnali, uno permette il sollevamento del sedile, $D^{SG}_{STARTM,CA}$, mentre il segnale $D^{SG}_{STARTM,CB}$ consente l'abbassamento del sedile.

Tabella 2.8: Segnali input e output del sistema di controllo della seduta

Designazione	Significato
Beta_SET	Valore che si vuole imporre all'angolo β, in modo che il sedile assuma una determinata inclinazione per motivi di comfort o stabilità della carrozzina (°).
Beta_FB	Valore dell'angolo β che viene restituito dal sensore che rileva questa grandezza (°).
$D^{SG}_{STARTM,CA}$	Segnale di avvio per i sollevamento del sedile (0/5 V).
$D^{SG}_{STARTM,CB}$	Segnale di avvio per l'abbassamento del sedile (0/5 V).

All'interno del blocco arancione di *Figura 2.2.2* è presente il sistema di controllo mostrato in*Figura 2.2.3*.

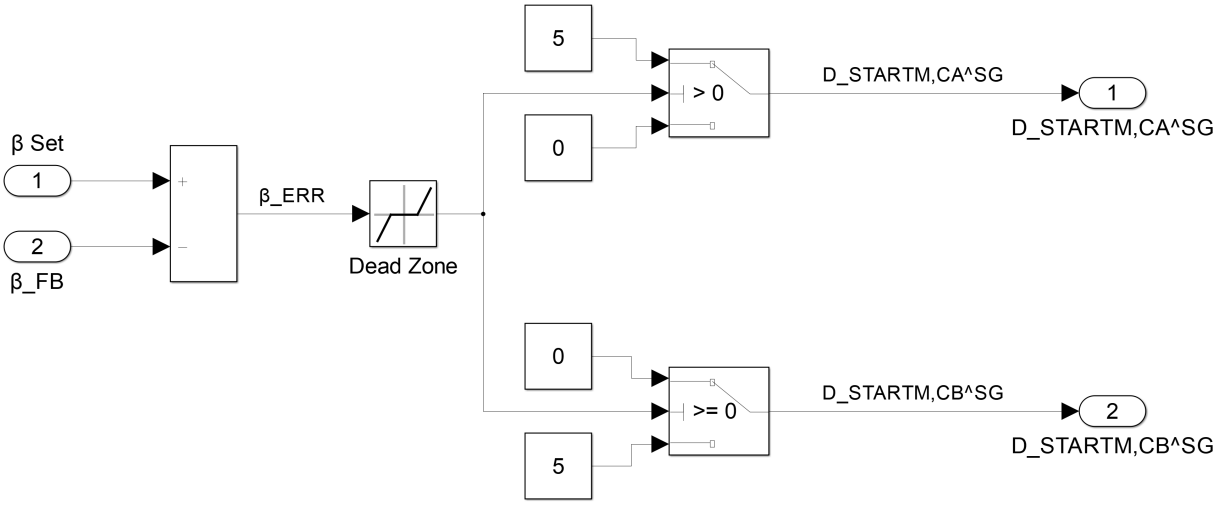


Figura 2.2.3: Sistema di controllo sedile

In questo sistema di controllo viene eseguito il confronto tra β_{SET} e β_{FB}, da questo confronto si ottiene l'errore β_{ERR}, che passa prima attraverso un blocco "Zona morta" il quale genera output nullo se il segnale in ingresso rientra nei limiti, inferiore (-0,2°) e superiore (0,2°), della zona morta, altrimenti il segnale di input e output coincidono. Inserire questo blocco di "Zona morta" garantisce che il motore venga messo in funzione per degli errori di posizione molto piccoli che sono magari causati dal rumore che causa delle interferenze sul segnale misurato dal potenziometro. Dopodiché il segnale in uscita dal blocco "Zona morta" viene inviato ai due blocchi "Switch" disposti in parallelo. Il funzionamento di un blocco di questo tipo è il seguente, nel primo ingresso troviamo il segnale che verrà trasmesso in uscita qualora il segnale inviato al secondo ingresso soddisfa la condizione mostrata nel blocco, viceversa se il segnale inviato al secondo ingresso del blocco non soddisfa la condizione imposta allora in uscita viene inviato lo stesso segnale che viene trasmesso alla porta di input numero 3. Quindi nel nostro caso abbiamo che:

- Se il segnale di errore è positivo, e si vuole quindi alzare il sedile, allora il blocco superiore trasmette un segnale in tensione di 5 V al motore che causa il sollevamento del sedile. Mentre il blocco inferiore trasmette al motore un segnale nullo 0 V;
- Se il segnale di errore è negativo allora vuol dire che si intende abbassare il sedile, di conseguenza questa volta è il blocco superiore a trasmettere un segnale nullo (0 V), mentre il blocco inferiore è quello che mette in funzione i motore inviando un segnale in tensione di 5 V, che fa ruotare il motore nel verso opposto rispetto al caso precedente causando l'avvicinamento del sedile al sotto-telaio PC.

2.2.2 Controllo in velocità delle ruote solari

Per i motori che controllano la rotazione delle solari destra e sinistra, oltre al controllo in posizione, si è reso necessario l'introduzione di un controllo in velocità delle solari. In questo sistema di controllo viene imposta la velocità che deve assumere il motore che porta in rotazione la ruota solare, $nMSX_{SET}$, questa viene confrontata con la velocità che proviene dal sensore che misura la velocità di rotazione del motore, $nMSX_{FB}$, avviene poi il confronto tra queste due grandezze e da questo si genera l'errore di velocità dei motori delle solari $nMSX_{ERR}$. L'errore di velocità viene inviato al sistema di controllo C, il quale produce una segnale di riferimento in tensione che va ad agire sul motore mettendolo in funzione.

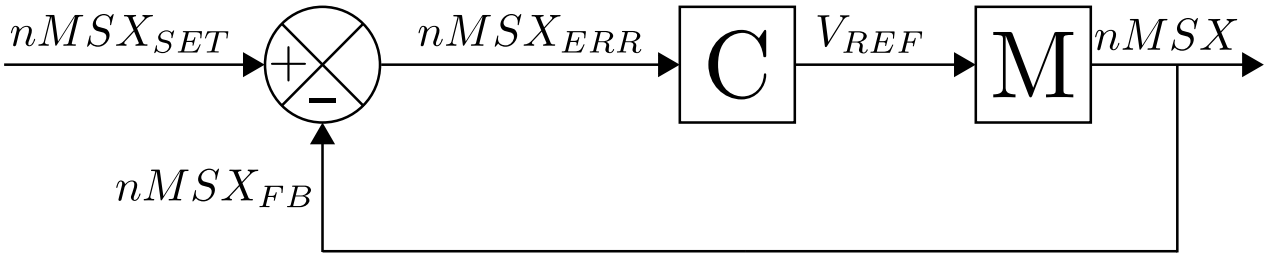


Figura 2.2.4: Modello sistema di controllo in velocità solari

In *Figura 2.2.5* si mostra il blocco Simulink in cui oltre al controllo in posizione, troviamo anche il controllo in velocità delle solari.

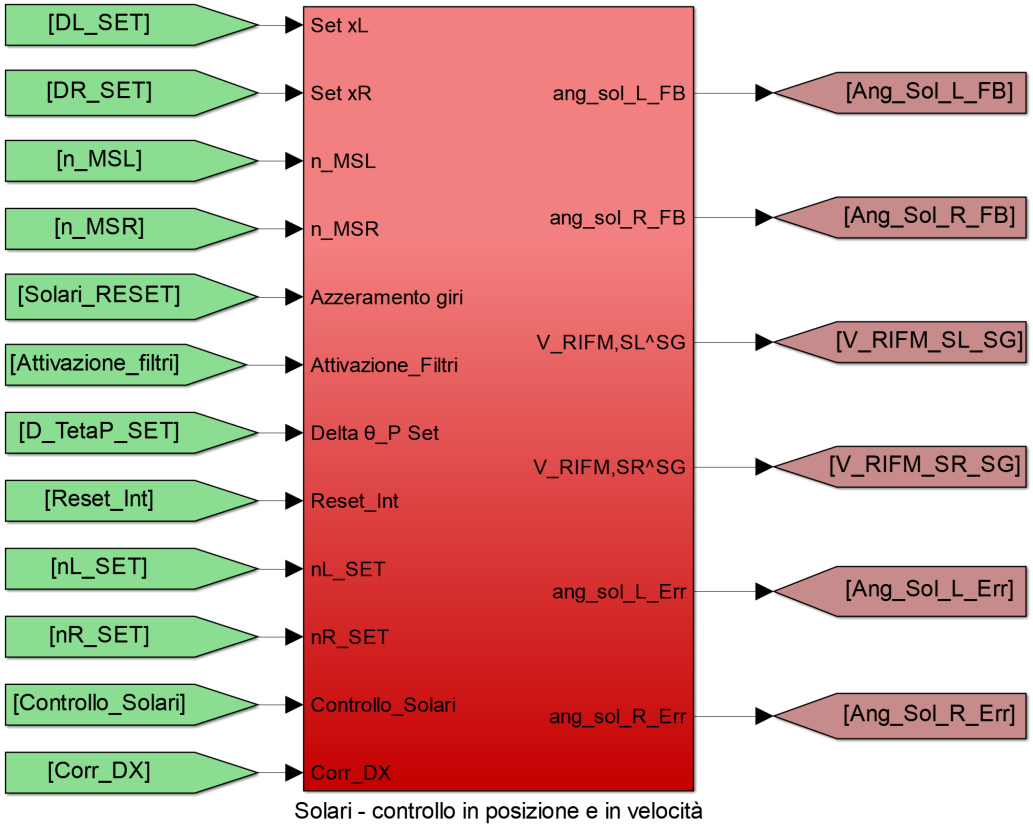


Figura 2.2.5: Blocco Simulink controllo in posizione e velocità solari

Tabella 2.9: Segnali input e output del sistema di controllo in velocità delle solari

Designazione	**Significato**
Reset_Int	Questa variabile permette di azzerare la parte integrativa del controllo in posizione e del controllo in velocità delle solari.
nL_SET	Valore di velocità con il quale deve ruotare il motore che comanda la ruota solare sinistra (rad/s).
nR_SET	Valore di velocità con il quale deve ruotare il motore che comanda la ruota solare destra (rad/s).
Controllo_Solari	Questa variabile permette lo scambio della tipologia di controllo applicato alle ruote solari, in particolare permette lo switch dal controllo in posizione a quello in velocità.
Corr_DX	Questa variabile permette lo scambio dei valori dei guadagni del controllo PI, a seconda che la carrozzina debba eseguire un riallineamento da destra o da sinistra.
$V^{SG}_{RIFM,SL}$	Segnale di riferimento in tensione del motore che aziona la ruota solare sinistra.
$V^{SG}_{RIFM,SR}$	Segnale di riferimento in tensione del motore che aziona la ruota solare destra.

Si descrive adesso la logica di funzionamento del sistema di controllo in velocità realizzato in Simulink, in particolare viene fatta questa descrizione per la ruota solare sinistra, ma il medesimo discorso vale anche per quella destra.

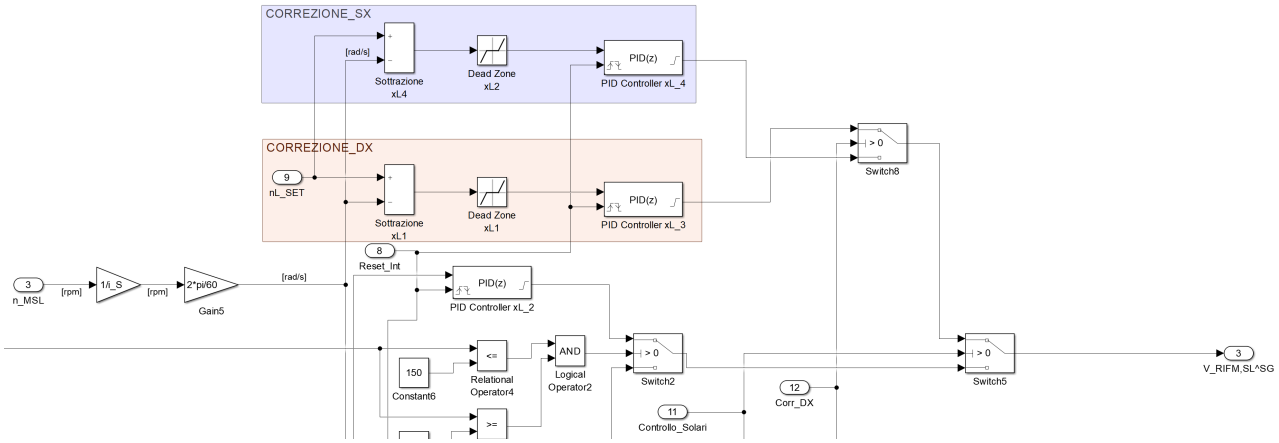


Figura 2.2.6: Sistema di controllo in velocità delle solari

Alla ruota solare sinistra viene imposto il comando di velocità con la quale questa deve muoversi, nL_SET, questa viene confrontata con la velocità di feedback proveniente dal motore, n_MSL trasformata in rad/s, e da questo si genera un errore in velocità, che viene trasmesso ad un blocco "Zona morta", che fornirà in output lo stesso segnale che riceve in ingresso a seconda che questo rientri o meno all'interno della banda morta creata da questo blocco. Il segnale viene inviato al controllore PID, dal quale viene inviato un segnale di riferimento in tensione. Prima di giungere nell'apposito blocco si ha il passaggio in uno primo blocco "Switch" comandato dalla variabile "Corr_DX", e a seconda che questa variabile soddisfi o meno la condizione imposta invia il segnale proveniente dal sistema "CORREZIONE_SX" oppure "CORREZIONE_DX". Dopo questo primo "Switch" ne è presente un secondo, questa volta governato dalla variabile "Controllo_Solari", che se maggiore di zero permette il controllo in velocità, viceversa privilegia quello in posizione.

2.3 Sequenza D - Discesa singolo scalino

La sequenza di *Discesa gradino* è un operazione completamente automatizzata in cui la carrozzina, partendo da una qualsiasi configurazione, è in grado di superare l'ostacolo in totale autonomia, ovvero nel momento in cui l'utente ha la necessità di superare un ostacolo avvia la sequenza automatica che permette di fare ciò, che sia essa per la salita o la discesa del gradino. Quindi una volta che l'utente avrà scelto la modalità che fa al suo caso, il sensore Lidar presente a bordo, avvia la scansione, cosi da riconoscere l'ostacolo ed individuarne le dimensioni che lo caratterizzano, da queste è poi possibile ricavare i comandi da fornire ai singolo attuatori. Le grandezze che definiscono lo scalino e che vengono valutate successivamente alla scansione sono le seguenti, *Figura 2.3.1*:

- distanza della carrozzina dal gradino (d);
- altezza del gradino (h);
- spazio presente dopo il gradino (e).

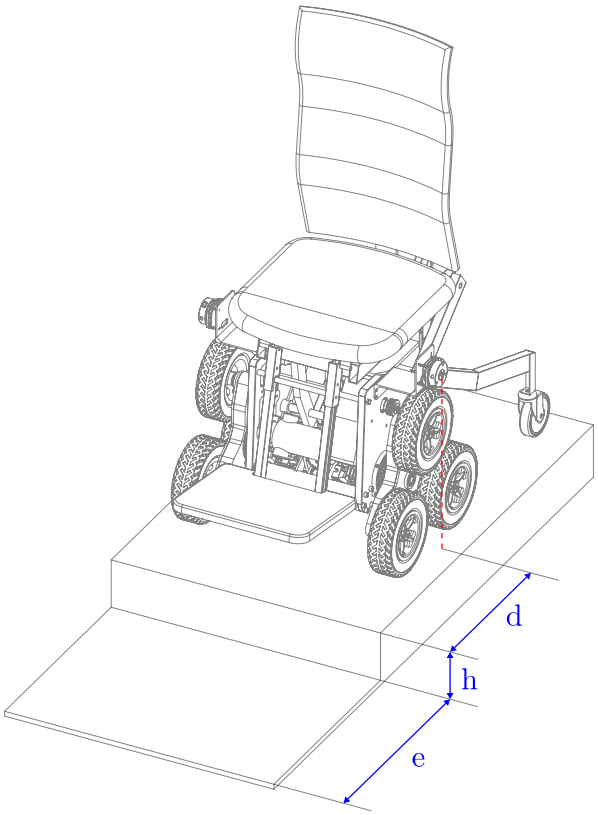


Figura 2.3.1: Dimensioni caratteristiche gradino

Dopo l'acquisizione di questi parametri viene eseguita una valutazione in base al fatto che la carrozzina sia in grado di superare l'ostacolo, e questo viene messo in evidenza dal valore che assume la variabile *condizione*.La prima importante verifica da eseguire è assicurarsi che il sensore Lidar si trovi ad una distanza (d) che permetta di eseguire una scansione di buona qualità e che i dati da essa ricavati siano attendibili, seppur con un certo margine di errore. Se il gradino si trova ad una distanza (d), maggiore di un valore soglia che garantisce una corretta scansione, allora la carrozzina provvede ad avvicinarsi in automatico al gradino, e questa sequenza viene ripetuta finché la distanza non soddisfa la condizione di una buona precisione di lettura. Una volta che la carrozzina si trova ad una distanza accettabile dal punto di vista della precisione di rilevazione, allora i dati acquisiti vengono salvati, e viene fatta una valutazione in termini di superabilità del gradino, ovvero una volta acquisite le grandezze presentate in precedenza si fa una distinzione in base alle diverse situazioni che si posso presentare, ovvero:

- Se l'altezza del gradino (h) è maggiore di un valore limite (h_{max}), allora la sequenza automatica si blocca, e la carrozzina torna ad essere in *"Modalità Manuale"*;
- Se lo spazio presente dopo il gradino (e), è minore di quello richiesto per accogliere la stessa(e_{min}), di nuovo la sequenza automatica si arresta e la carrozzina torna ad essere gestibile dal passeggero.

Se il gradino viene ritenuto superabile allora, a partire dalle grandezze acquisite, vengono prodotti i segnali da inviare ai sistemi di controllo degli attuatori e si procede al superamento del gradino. Una volta ultimato il procedimento, la carrozzina torna in *"Modalità Manuale"*, e l'utente può tornare a controllarla. Di seguito viene riporta lo schema logico seguito dall'algoritmo per valutare e superare un gradino.

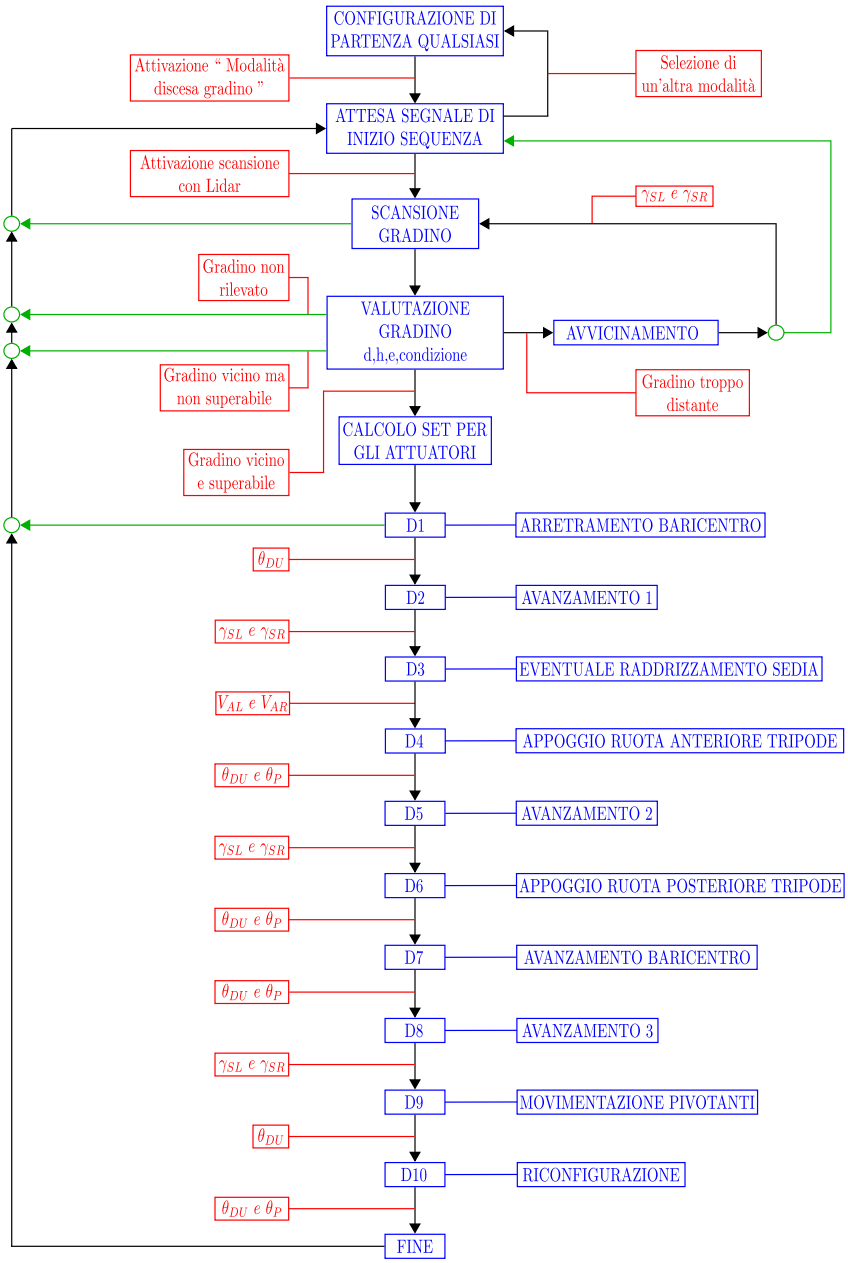


Figura 2.3.2: Sequenza logica discesa gradino

Analizziamo più nel dettaglio lo schema sopra:

- In blu sono evidenziate le *fasi* che vengono realizzate durante la sequenza automatica. In rosso sono indicate le *transizioni*: le transizioni sono presenti tra una fase a la successiva, e rappresentano la condizione che deve essere soddisfatta per passare da una fase all'altra. Le frecce in nero rappresentano il percorso che segue la sequenza automatica man mano che questa avanza. Le frecce di colore verde invece rappresentano i punti dai quali il passeggero può arrestare la fase automatica e riprendere il controllo della carrozzina.

- Le prime tre transizioni vengono accertate tramite l'attivazione di pulsanti, da parte dell'utente, presenti sull'interfaccia di controllo. Tutte le altre transizioni vengono invece verificate in maniera automatica dalla macchina a stati, la quale esegue tutte le verifiche necessarie sulle variabili che vengono fornite sia dal Lidar che dai sensori presenti a bordo macchina. Il principio di base prevede che ad ogni fase vengano assegnati dei valori ai segnali di set che vengono inviati agli attuatori, ed il confronto di questi con i segnali di feedback provenienti dai sensori permettono all'algoritmo di verificare la transizione e attivare la fase successiva.

- In questo setup è previsto un solo sensore Lidar posto sul lato sinistro della carrozzina, questo limita l'utilizzo della *"Modalità discesa gradino"* in quanto se la carrozzina dovesse trovarsi non parallela al gradino il sensore non sarebbe in grado di rilevare questa condizione e di conseguenza le misure della distanza dal gradino sarebbe falsate, provocando un non corretto svolgimento della sequenza stessa. Per i prossimi sviluppi si prevede l'inserimento di un secondo sensore sul lato destro, oppure di un sensore in grado di determina, oltre alle grandezze caratteristiche dell'ostacolo, anche la posizione relativa tra la sedia e quest'ultimo.

Si riporta una tabella riassuntiva delle grandezze presenti nello schema logico.

Tabella 2.10: Grandezze presenti nello schema logico

Simbolo	Significato
d	Distanza tra la carrozzina e il gradino, rilevata dal Lidar (mm)
h	Altezza del gradino, rilevata dal Lidar (mm)
e	Spazio presente dopo il gradino, rilevata dal Lidar (mm)
condizione	Valutazione del requisito di superabilità del gradino, assume valore 0 se il gradino è ritenuto non superabile, 1 nel caso contrario
γ_{SL}	Angolo di rotazione compiuto dalla solare sinistra (rad)
γ_{SR}	Angolo di rotazione compiuto dalla solare destra (rad)
ϑ_P	Angolo tripode (°)
ϑ_{DU}	Angolo ruote pivotanti (°)
V_{AL}	Segnale sensore di distanza sinistro
V_{AR}	Segnale sensore di distanza destro

2.4 Analisi delle fasi

Dopo essersi assicurati della presenza di un gradino ed aver rilevato le dimensioni di quest'ultimo si procede con le operazioni necessaria per la discesa del gradino. Si analizzano in modo dettagliato le singole fasi che compongono l'intera sequenza. Come già anticipato si tratta di una sequenza automatica che consente di superare un ostacolo partendo da una configurazioni qualsiasi della carrozzina, ovvero per qualunque valore assunto dai gradi di libertà. Il Lidar esegue una scansione quando viene attivata la *"Modalità discesa gradino"*, ricavando cosi i parametri geometrici di interesse. La logica con cui vengono vengono realizzate le varie operazioni è la stessa vista in precedenza.

2.4.1 Fase D1

Nella prima fase, *Figura 2.4.1*, si ha l'arretramento del baricentro in modo che la proiezione di questo, sul piano di appoggio, ricada tra la ruote posteriori dei tripodi e le ruote pivotanti. Per fare questo bisogna che la carrozzina esegua le seguenti operazioni:

1. Rotazione dei tripodi fino a che non si hanno in contatto due pneumatici. Il verso di rotazione dei tripodi viene scelto in modo tale da raggiungere la posizione desiderata percorrendo il minore angolo possibile.

2. Sollevamento delle ruote pivotanti allo scopo di arretrare il baricentro, cosi che questo vada a ricadere tra le ruote posteriori del tripode che sono a contatto e le ruote pivotanti.

La rotazione compiuta sia dal tripode che dalle pivotanti è indipendente dalla geometria del gradino.

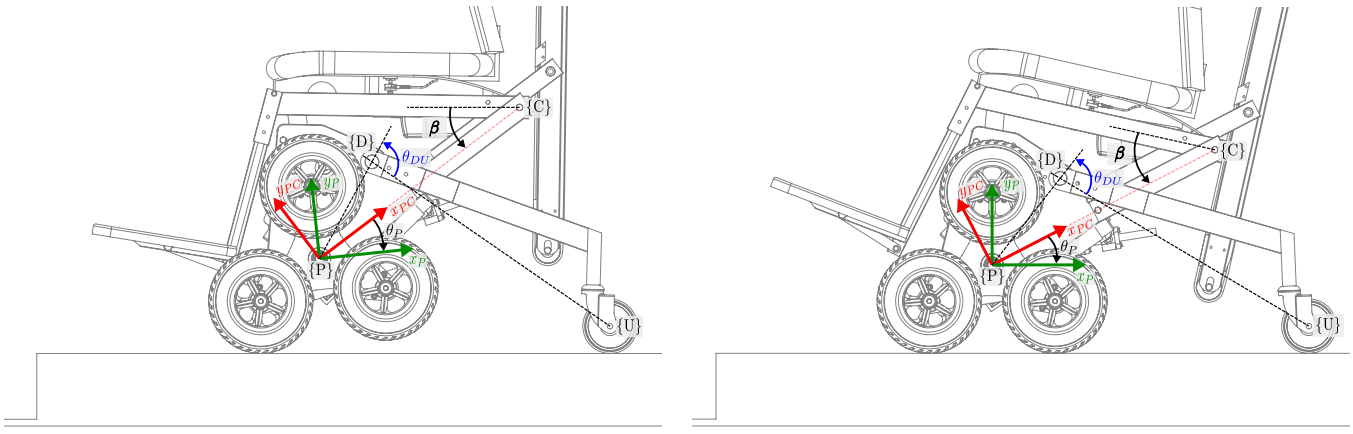


Figura 2.4.1: Fase D1 - Arretramento baricentro

La fase D1 termina quando la carrozzina raggiunge la configurazione voluta, ovvero le grandezze imposte raggiungono il valore obiettivo:

1. L'angolo θ_P dei tripodi deve essere coincidente con quello assegnato.

2. L'angolo θ_{DU} delle pivotanti deve raggiungere il valore stabilito.

Una volta che si verificano queste condizioni si procede all fase successiva.

2.4.2 Fase D2

In questa fase la carrozzina si muove in avanti avvicinandosi al gradino, fino a che la ruota anteriore del tripode sporga oltre la soglia dello stesso. Per avere maggiore sicurezza sull'effettiva posizione della carrozzina rispetto al bordo del gradino, sono stati inseriti due sensori di distanza ad infrarossi montati sul tubolare che collega le due piastre del sotto-telaio PC uno a destra e l'altro a sinistra e rivolti verso il basso, quando questi registrano una differenza sostanziale nella misura allora vuol dire che è stata superata la soglia del gradino. Da questo momento, conoscendo al distanza tra la ruota posteriore del tripode e la posizione di montaggio dei sensori, si impone ancora un piccolo avanzamento della carrozzina in modo che nella fase successiva, in cui si ha la rotazione del tripode e l'appoggio della ruota anteriore sul piano oltre il gradino, non ci siano interferenze tra la ruota e il gradino stesso. Questo nell'ipotesi che la carrozzina sia allineata con il gradino, ovvero se i due sensori di distanza rilevano lo stesso valore nello stesso momento.

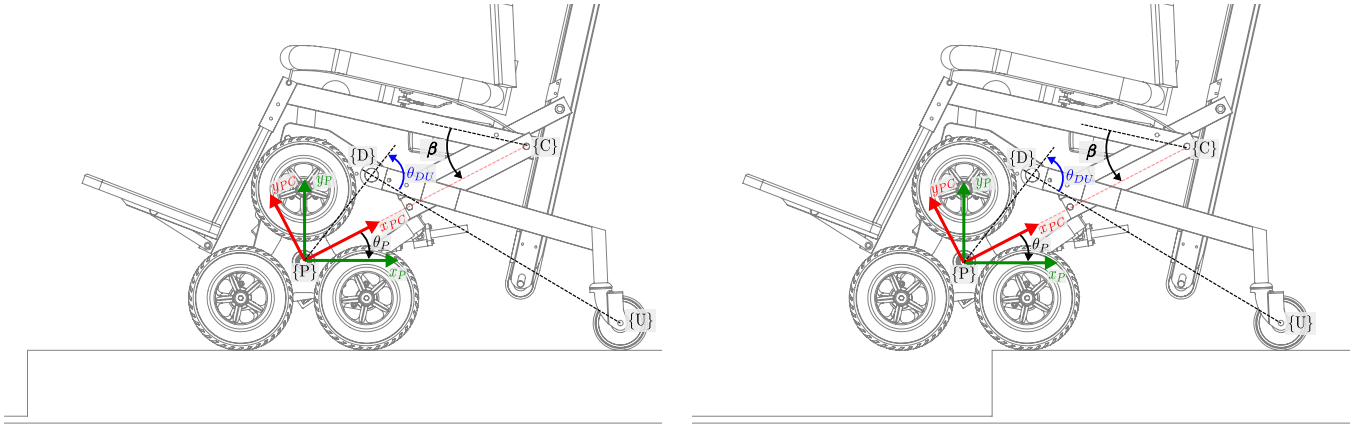


Figura 2.4.2: Fase D2 - Avvicinamento soglia gradino

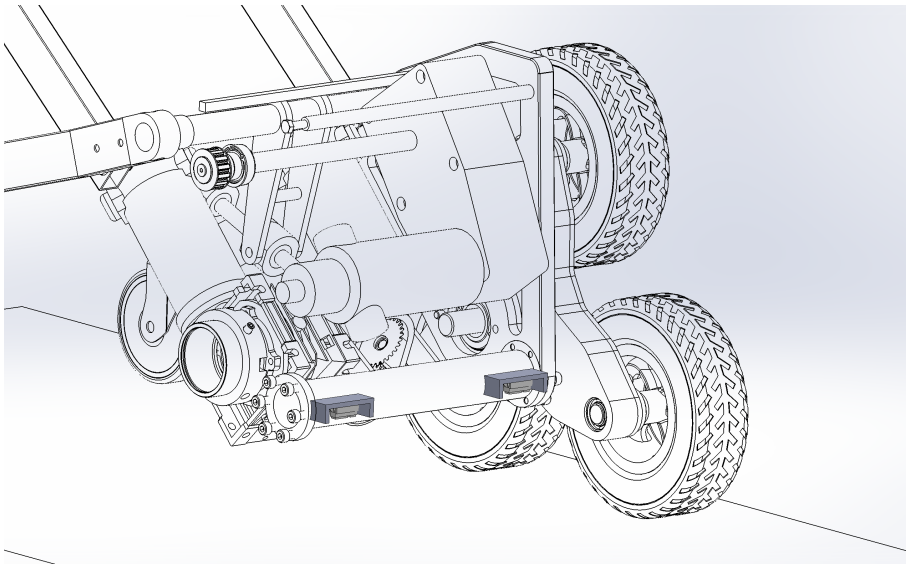


Figura 2.4.3: Sensore di distanza

Una volta che la carrozzina si è avvicinata della quantità imposta, la fase D2 giunge al termine è si passa alla fase successiva.

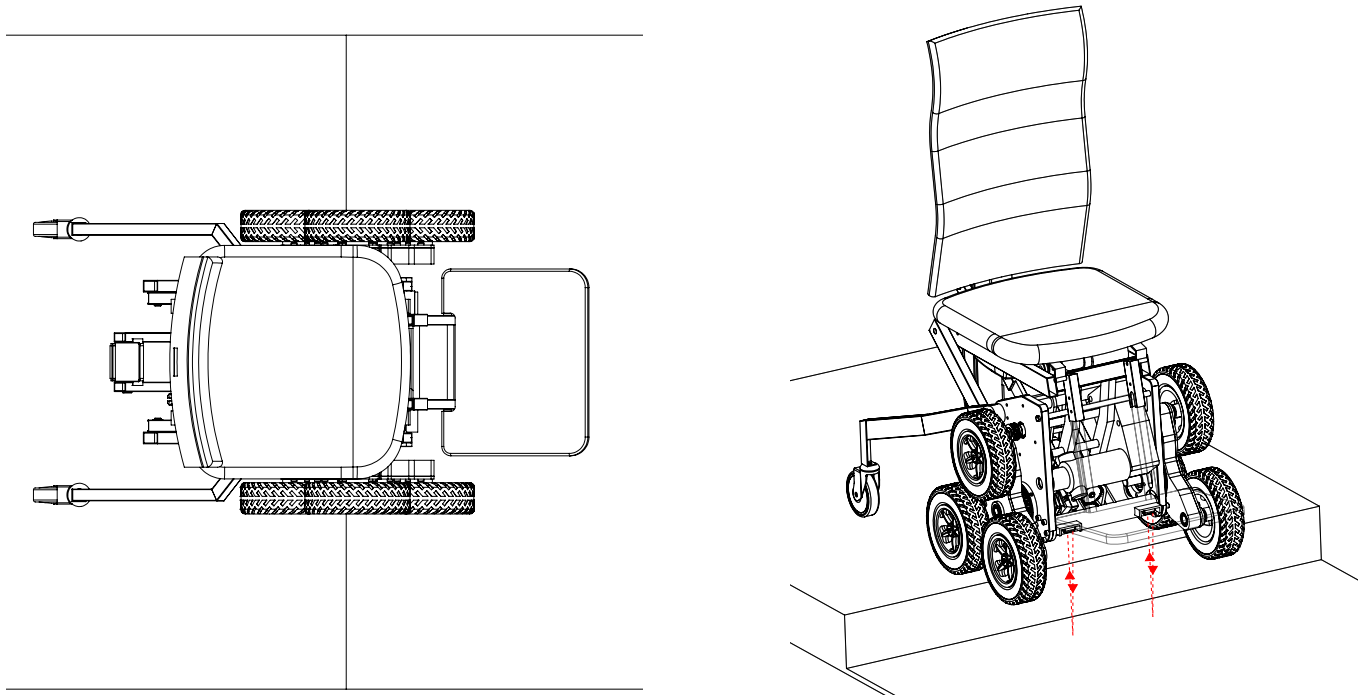


Figura 2.4.4: Carrozzina allineata al gradino

2.4.3 Fase D3

Questa fase viene attivata nel momento in cui la carrozzina dovesse trovarsi in una posizione diversa da quella rappresenta precedentemente, ovvero la carrozzina non è allineata al gradino. Per determinare la posizione relativa della carrozzina rispetto al gradino vengono utilizzati ancora una volta i sensori di distanza, nello specifico posso presentarsi due diverse situazioni:

- Il sensore di soglia posizionato a destra presenta una variazione della distanza misurata prima del sensore posizionato a sinistra, di conseguenza per avere il raddrizzamento della carrozzina la ruota destra dovrà ruota indietro mentre quella sinistra in avanti;
- Il sensore di soglia posizionato a sinistra presenta una variazione della distanza misurata prima del sensore posizionato a destra, di conseguenza per avere il raddrizzamento della carrozzina la ruota sinistra dovrà ruota indietro mentre quella destra in avanti;

In particolare in questa fase, le ruote solari, che ricordiamo essere attuate da due differenti motori, non vengono controllate in posizione bensì in velocità, in modo da imporre la giusta velocità alle due ruote per ottenere l'allineamento esatto della carrozzina rispetto al gradino.

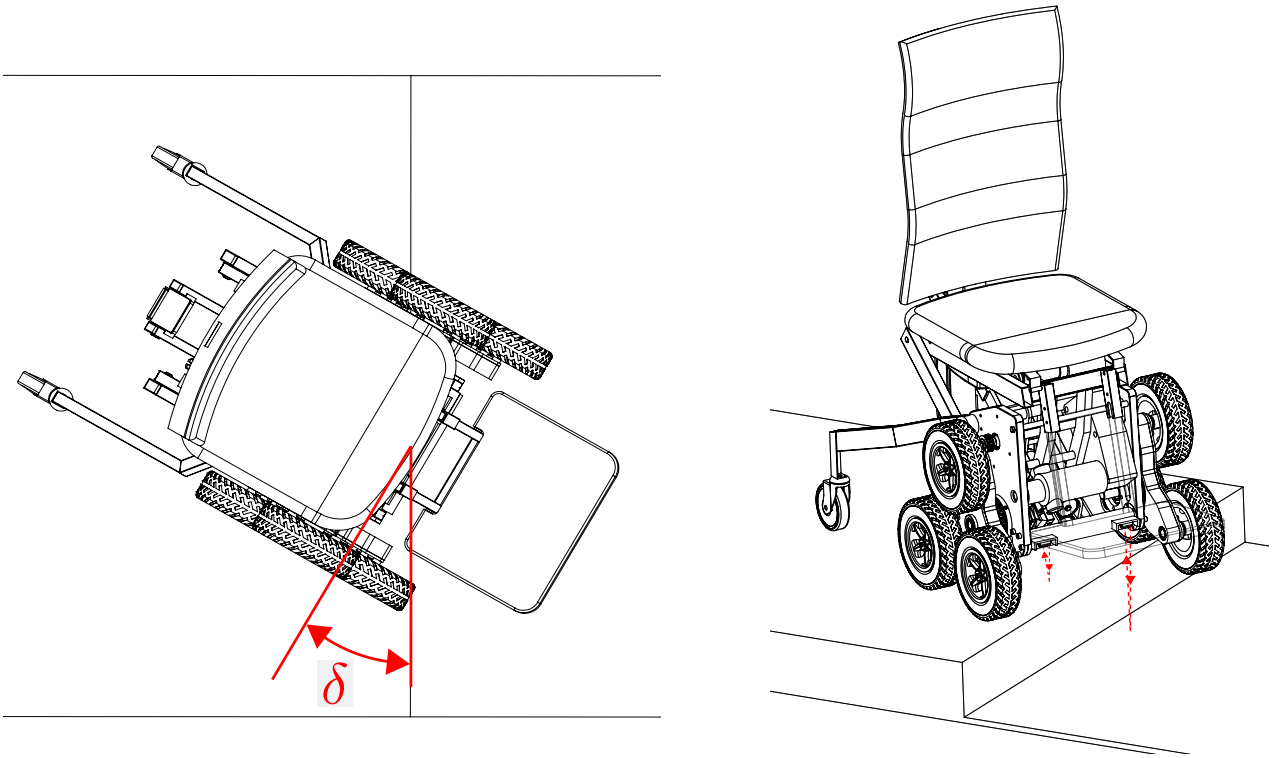


Figura 2.4.5: Fase D3 - Eventuale riallineamento

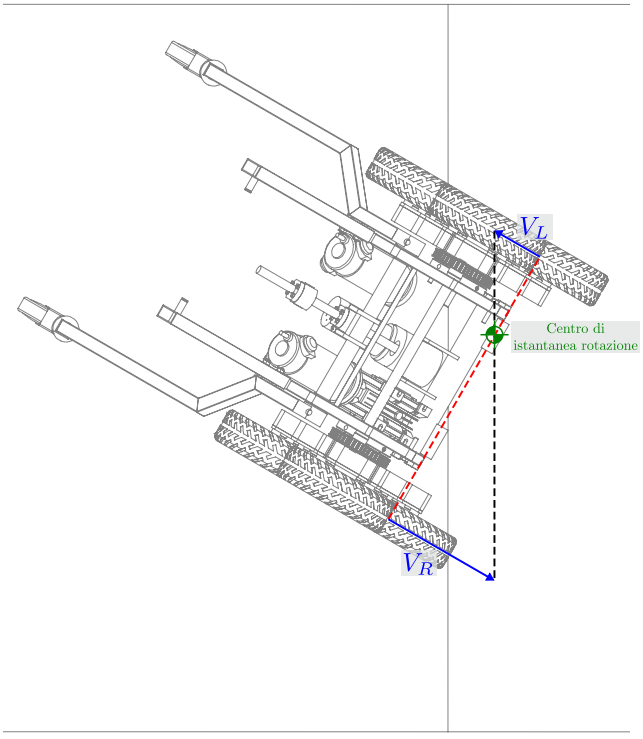


Figura 2.4.6: Configurazione cinematica per riallineamento

Questa fase di correzione della posizione relativa della carrozzina termina quando entrambi i sensori misurano una distanza superiore alla soglia.

2.4.4 Fase D4

Una volta che la carrozzina conclude l'avvicinamento alla soglia del gradino, ed un eventuale riallineamento allo stesso, si procede con la rotazione del tripode che porta la ruota anteriore dello stesso a contatto con il piano presente oltre il gradino. In particolare i componenti messi in movimento sono:

1. Il tripode che realizza una rotazione nella direzione di marcia, allo scopo di portare a contatto lo pneumatico anteriore con il piano oltre l'ostacolo;
2. Le ruote pivotanti che si sollevano in modo da garantire che il baricentro complessivo rimanga tra la ruota posteriore del tripode e le stesse pivotanti.

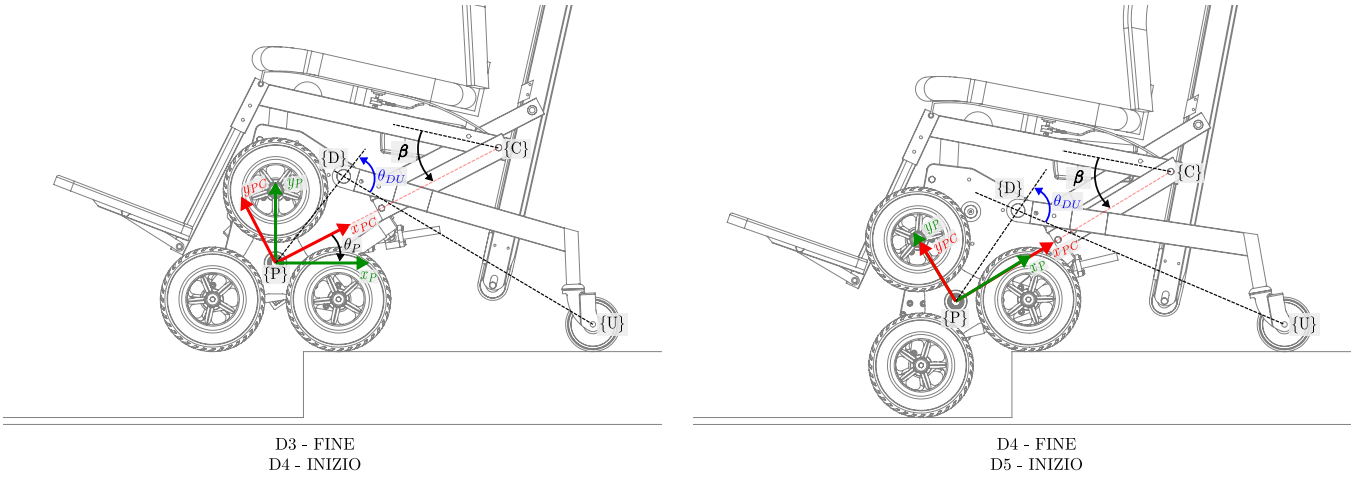


Figura 2.4.7: Fase D4 - Discesa tripode

Questa fase giunge al termine quando i vari organi raggiunge la configurazione finale imposta per questo stadio della sequenza, ed in particolare:

1. L'angolo θ_P dei tripodi deve raggiungere il valore imposto, tale valore dipende dall'altezza del gradino;
2. L'angolo θ_{DU} delle pivotanti di raggiungere il valore stabilito.

2.4.5 Fase D5

Nuova fase in cui si ha l'avanzamento della carrozzina di una quantità sufficiente, 400mm, tale che imponendo una rotazione oraria del tripode la ruota posteriore di questo non vada ad urtare contro il gradino, ma al contempo garantisca anche il contatto tra le ruote pivotanti ed il piano del gradino. La distanza percorsa dalla carrozzina in questa fase non dipende dalla geometria del gradino ma è una costante ottenuta tramite prove sperimentali.
Questa fase risulta conclusa quando la carrozzina avrà percorso la distanza imposta.

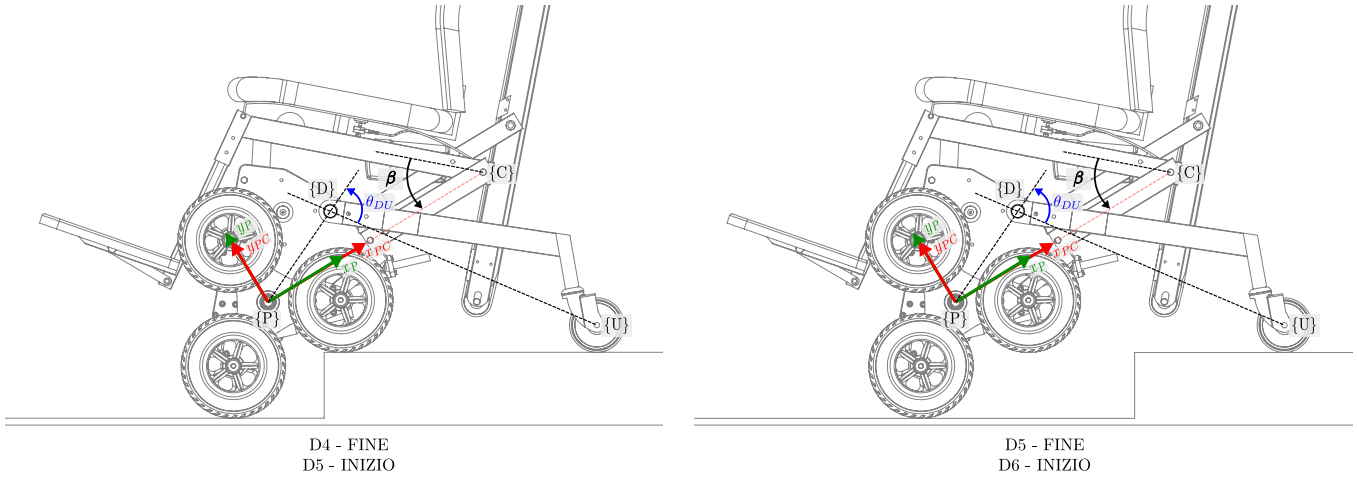


Figura 2.4.8: Fase D5 - Avanzamento

2.4.6 Fase D6

Una volta che la carrozzina si trova ad una distanza tale da garantire nessuna interferenza tra la ruota posteriore de tripode e il gradino allora avviene la rotazione del portatreno finché entrambe le ruote non siano a contatto con il pavimento. Contemporaneamente le ruote pivotanti iniziano a scendere in modo da incominciare a predisporsi per la fase successiva, in cui si avrà l'avanzamento del baricentro. Quindi in questa fase avvengono le seguenti manovre:

1. Rotazione all'indietro dei tripodi cosi da poggiare due pneumatici sul pavimento oltre l'ostacolo;
2. Spostamento verso il basso delle ruote pivotanti con lo scopo di iniziare l'operazione di avanzamento del baricentro che verrà conclusa nella fase successiva.

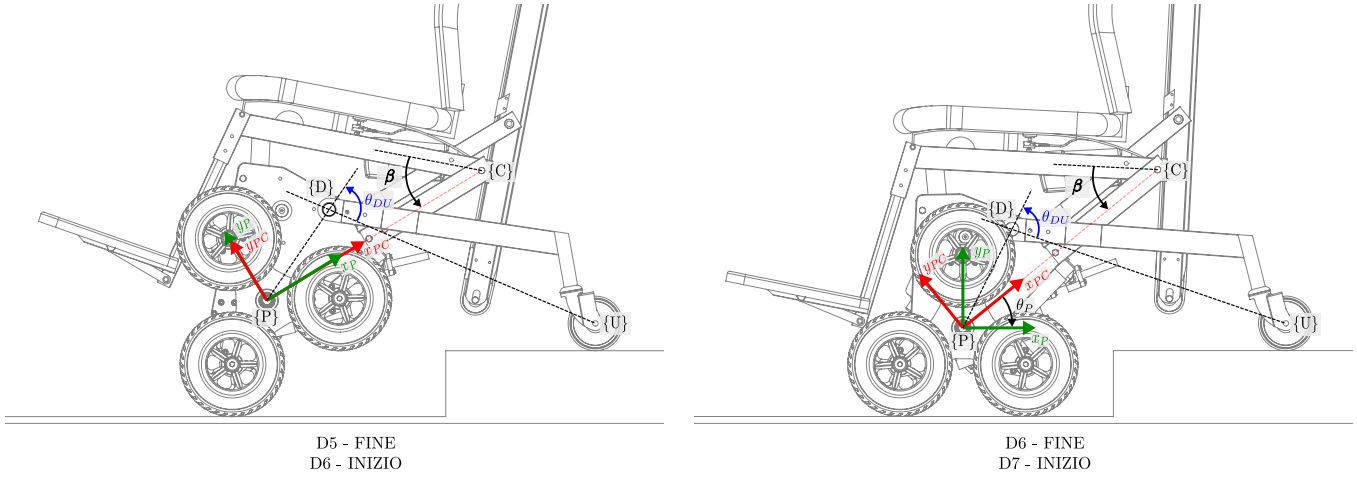


Figura 2.4.9: Fase D6 - Appoggio ruote tripode

Questa fase giunge al termine quando l'angolo θ_P di rotazione del tripode raggiunge il valore impostato.

2.4.7 Fase D7

Come già anticipato in questa fase avviene l'avanzamento del baricentro, in modo che la proiezione di questo ricada all'interno delle due ruote del tripode che sono a contatto con il pavimento, cosi da permettere il successivo spostamento stando in equilibrio sulle sole ruote del portatreno. Per realizzare questa operazione di avanzamento del baricentro dobbiamo intervenire sia sul movimento del tripode che su quello delle ruote pivotanti nonché sull'inclinazione della seduta, nello specifico si ha:

1. Rotazione all'indietro dei tripodi cosi da garantire sempre il contatto di 2 pneumatici a terra;
2. Spostamento verso il basso delle ruote pivotanti con lo scopo di avanzare il baricentro e fare in modo che questo ricada tra le due ruote dei tripodi a contatto, cosi che anche quando venga a mancare il contatto delle pivotanti l'equilibrio statico della sedia è comunque garantito.
3. Si ha una variazione di inclinazione della seduta per avere un miglior comfort per l'utente e una maggiore sicurezza per la posizione del baricentro.

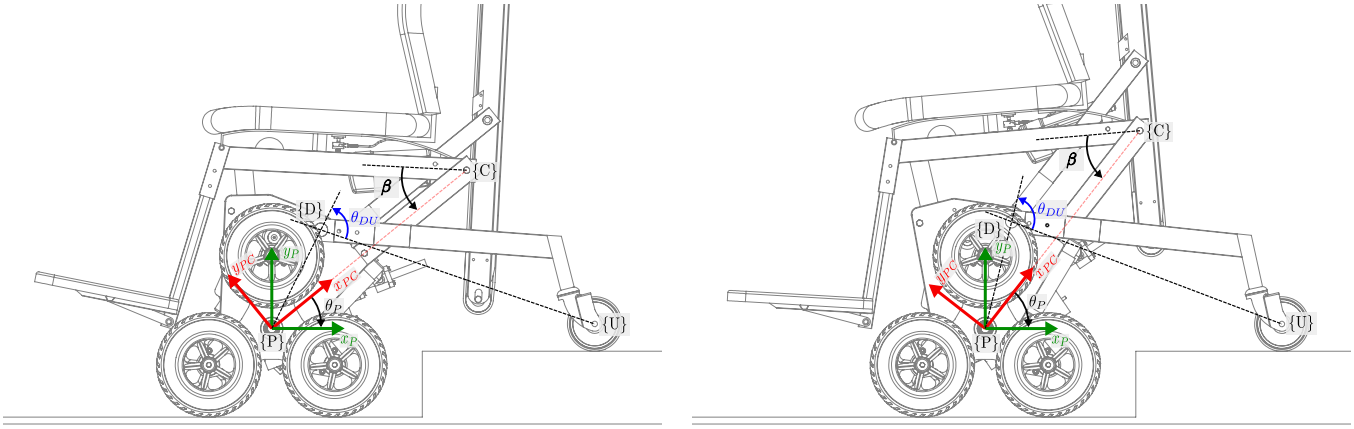


Figura 2.4.10: Fase D7 - Avanzamento baricentro

Questa fase si interrompe quando i vari organi raggiungono la configurazione finale imposta per questo stadio della sequenza, ed in particolare:

1. L'angolo θ_P dei tripodi deve raggiungere il valore imposto per avere due ruote a contatto con il terreno;
2. L'angolo θ_{DU} delle pivotanti di raggiungere il valore stabilito per portare il baricentro nella posizione voluta.
3. L'angolo β della seduta raggiunge il valore imposto.

2.4.8 Fase D8

La carrozzina si sposta lentamente in avanti stando in equilibrio sulle sole ruote dei tripodi, e percorre una distanza, 500 mm, tale da garantire che nel momento in cui le ruote pivotanti verranno abbassate non vadano a contatto con il gradino. Questa distanza, che risulta essere valore costante, non dipende dalla geometria del gradino, ma è figlia dell'ingombro della carrozzina nonché di prove sperimentali.

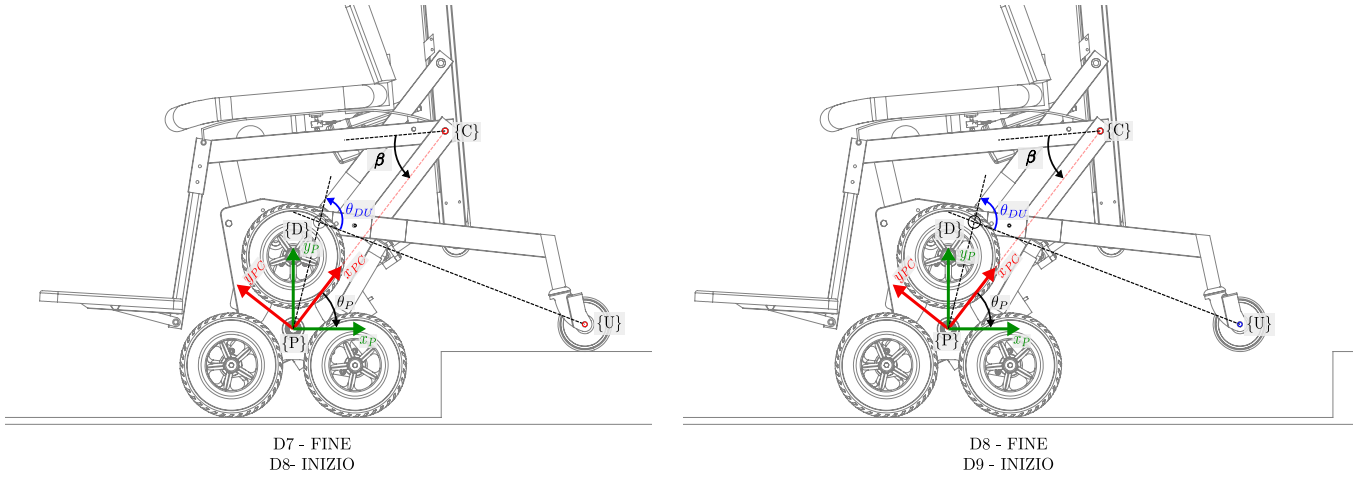


Figura 2.4.11: Fase D8 - Spostamento della carrozzina

Il movimento viene interrotto quando la carrozzina ha percorso la distanza necessaria a garantire lo spazio per accogliere la carrozzina.

2.4.9 Fase D9

Ora si può procedere con all'abbassamento delle ruote pivotanti fino a portarle a contatto con il terreno, questo viene ottenuto con andando ad agire sulla rotazione del tripode e senza intervenire sulle ruote pivotanti. L'angolo di rotazione del tripode dipende dalla geometria del gradino.

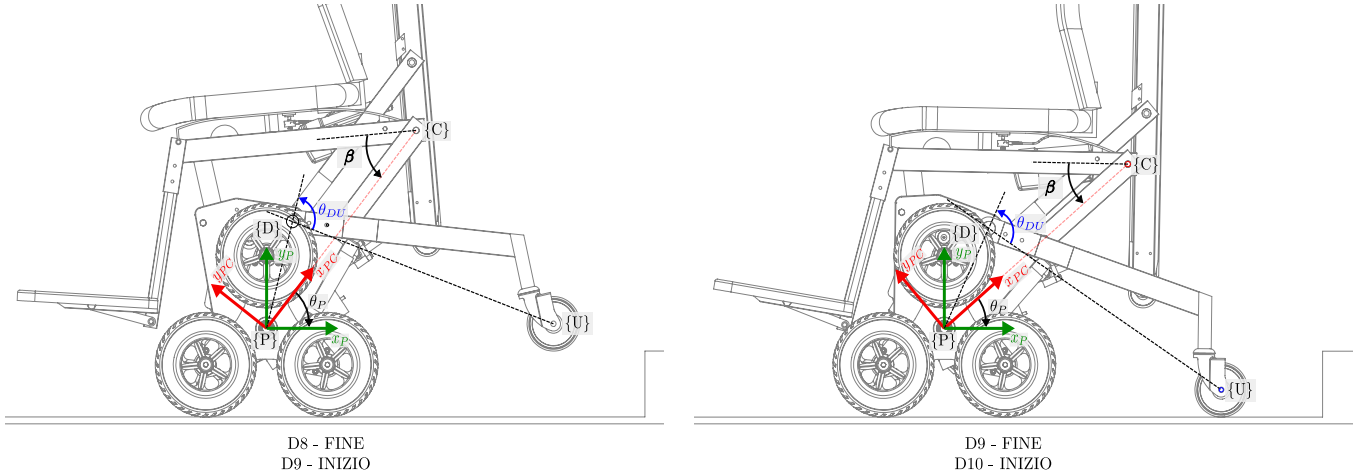


Figura 2.4.12: Fase D9 - Appoggio ruote pivotanti

Una volta che il tripode ha realizzato la rotazione necessaria a portare le ruote pivotanti a contatto con il terreno allora l'attuatore del portatreno viene fermato.

2.4.10 Fase D10

Adesso la carrozzina si ridispone nella configurazione di marcia in piano, e la sequenza automatica per la discesa del gradino giunge al termine e si torna nella modalità di comando manuale in cui è l'utente a gestire la carrozzina.

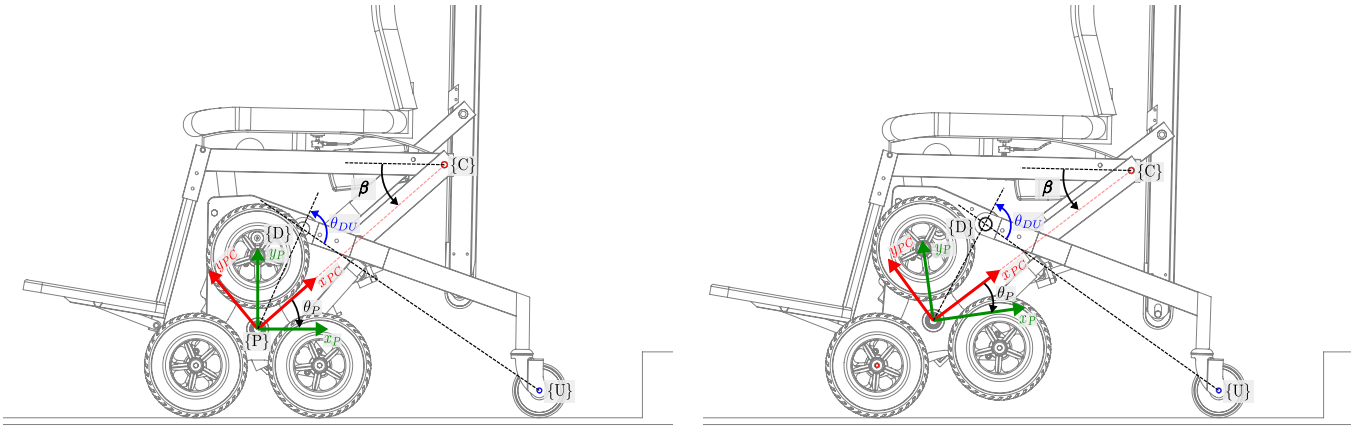


Figura 2.4.13: Fase D10 - Riconfigurazione marcia in piano

2.5 Baricentro

Per consentire alla sedia di affrontare con sicurezza la fasi a maggior rischio (o fasi più delicate), c'è bisogno di stimare la posizione corretta del baricentro dell'insieme utente + carrozzina, così da riuscire a valutare l'eventuale rischio di ribaltamento dello stesso. Per evitare che questo accada si deve fare in modo che la proiezione del baricentro sul piano del pavimento vada a ricadere all'interno di una determinata area delimitata dai quattro punti di appoggio a terra della carrozzina. La prima operazione è stata quella di suddividere l'intero sistema, molto complesso da analizzare nella sua interezza, in sottosistemi costituiti da un numero di componenti ragionevoli. Si è così creato un primo gruppo, denominato **masse sospese** *Figura 2.5.1*, composto dalle parti raccolte nella *Tabella 2.11*.

Tabella 2.11: Sottosistema masse sospese

	Componente	**Massa [kg]**
1	Seduta	8.0
2	Struttura telaio RC	5.0
3	Motore per la movimentazione della seduta	2.0
4	Cingolo con relativa struttura di supporto	8.1
5	Motore per la movimentazione del cingolo	4.0
6	Poggiapiedi	3.6
	Totale	30.7

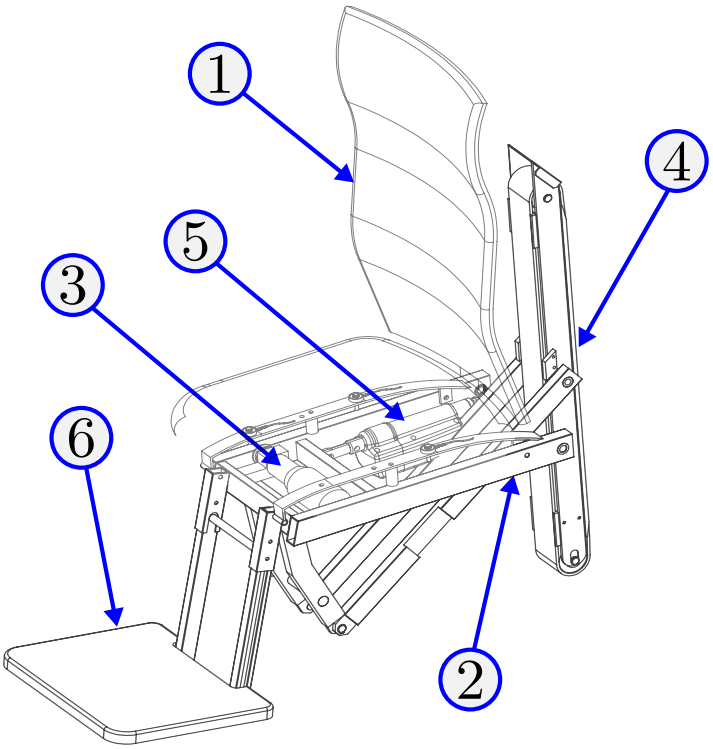


Figura 2.5.1: Schema masse sospese

Come prima si è creato sottosistema, **masse non sospese** mostrato in *Figura 2.5.4*, che si compone invece delle seguenti raccolte nella *Tabella 2.12*.

Tabella 2.12: Sottosistema masse non sospese

	Componente	**Massa [kg]**
1	Struttura telaio PC	13.6
2	Motori solari	16
3	Tripodi	23
4	Motore portatreno con annesso riduttore	12
5	Gruppo ruote pivotanti	12.3
	Totale	76.9

Infine l'utente viene considerato come un sottosistema a se stante.

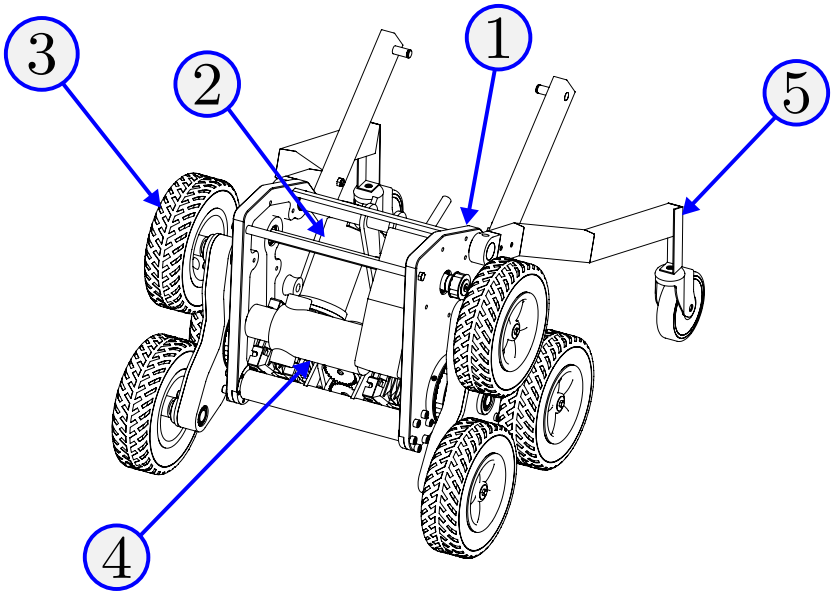


Figura 2.5.2: Schema masse non sospese

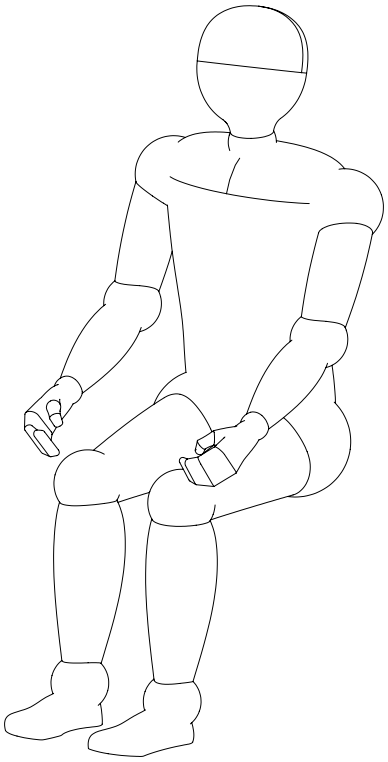


Figura 2.5.3: Schema utente

Per la valutazione della posizione del baricentro nei primi due sottosistemi si è utilizzato un software CAD, dove una volta assegnate la masse ai singoli componenti, si è calcolata la posizione del baricentro rispetto al sistema di riferimento che ha origine nel punto P. Per il sottosistema che comprende le masse sospese si sono ottenuti i valori presenti in *Tabella* **??**

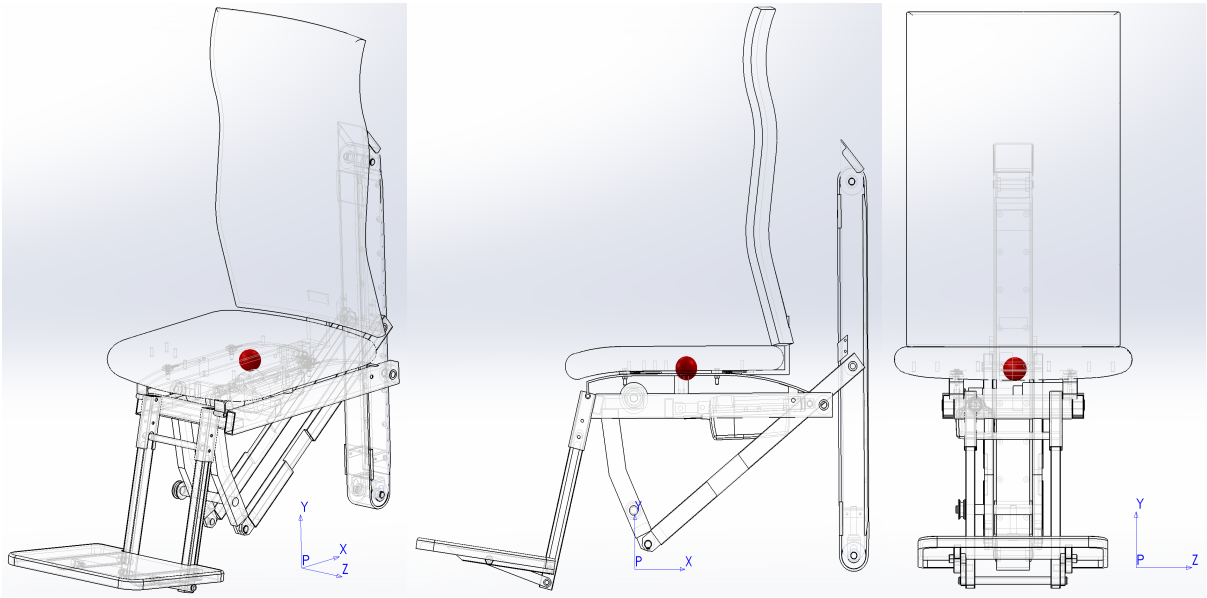


Figura 2.5.4: Posizione baricentro masse sospese

Tabella 2.13: Coordinate baricentro masse sospese nel sistema di riferimento (X_P, Y_P)

Quota	Valore [mm]
$x_{P,GSM}$	186.53
$y_{P,GSM}$	373.47
$z_{P,GSM}$	265.27

Per quanto riguarda le masse non sospese si ha invece:

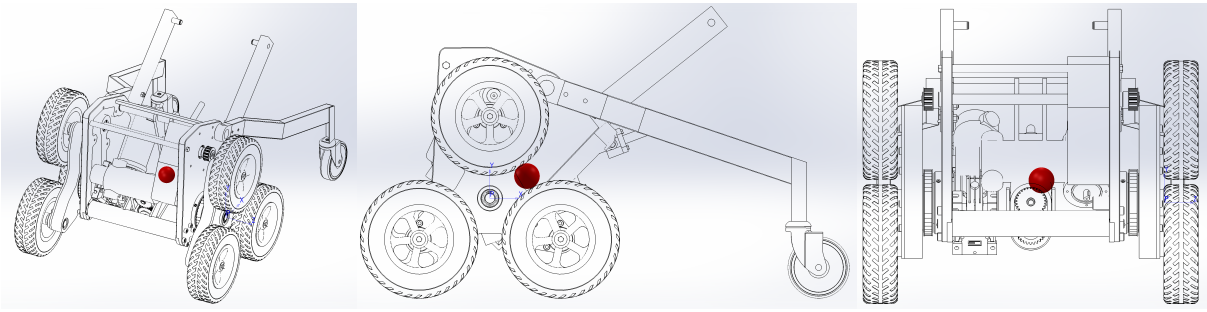


Figura 2.5.5: Posizione baricentro masse non sospese

Quota	Valore [mm]
$x_{P,GNSM}$	58.28
$y_{P,GNSM}$	46.60
$z_{P,GNSM}$	247.72

Tabella 2.14: Coordinate baricentro masse non sospese nel sistema di riferimento (X_P, Y_P)

2.6 Baricentro utente - Modello Yeadon

Riguardo l'utente invece la valutazione della posizione del baricentro si è cercato uno strumento più semplice e veloce, che permettesse una semplice riconfigurazione dell'utente tramite interfaccia grafica cosi da visualizzare la posizione dell'utente, e fornisca in tempo reale i nuovi dati legati alla posizione assunta dal modello virtuale di uomo. Per rispondere a queste esigenze, dopo una ricerca in rete, si è trovato un un'implementazione software open source, si tratta di una libreria particolare denominata **"Yeadon"**, sviluppata in linguaggio Python [4], che si basa su un metodo matematico, sviluppato dal matematico americano M.R. Yeadon. Il modello permette di calcolare i parametri inerziali del corpo umano conoscendo le misure geometriche delle varie parti del corpo che vengono fornite al software tramite un documento di testo con estensione **".txt"** prima di avviare la simulazione.

2.6.1 Installazione

Il pacchetto **"Yeadon"** è stato sviluppato per le versioni 2.7 e 3.3+ di Python, quindi come prima operazioni bisogna installare una delle due versioni. Una volta installata una delle due versioni, si prosegue con l'aggiunta del pacchetto **"Yeadon"** e di altri pacchetti/librerie che sono necessari per garantire il corretto svolgimento delle operazioni di lettura dei file in input, del calcolo delle variabili richieste e delle operazioni di interfaccia grafica. Di seguito vengono elencati tutti i pacchetti software da installare:

- **setuptools** per l'installazione
- **NumPy** per i calcoli
- **PyYAML** per analizzare i file in input
- **MayaVi** per visualizzare de interagire con la GUI
- **Sphinx** per creare documenti
- **numpydoc** estensione del pacchetto Sphinx utie per la formattazione dei documenti in stile NumPy

Le operazioni di installazione dei pacchetti/librerie avviene tramite un software di gestione dei pacchetti che si chiama **pip**, che viene installato automaticamente installando Python. Quindi bisogna aprire il prompt dei comandi,digitare il comando **cd** (change directory) ed inserire il percorso in cui è presente l'applicazione **pip**.

```
C:\Users\Giuseppe>cd C:\Users\Giuseppe\Scripts

C:\Users\Giuseppe\Scripts>
```

Figura 2.6.1: Percorso cartella Pip

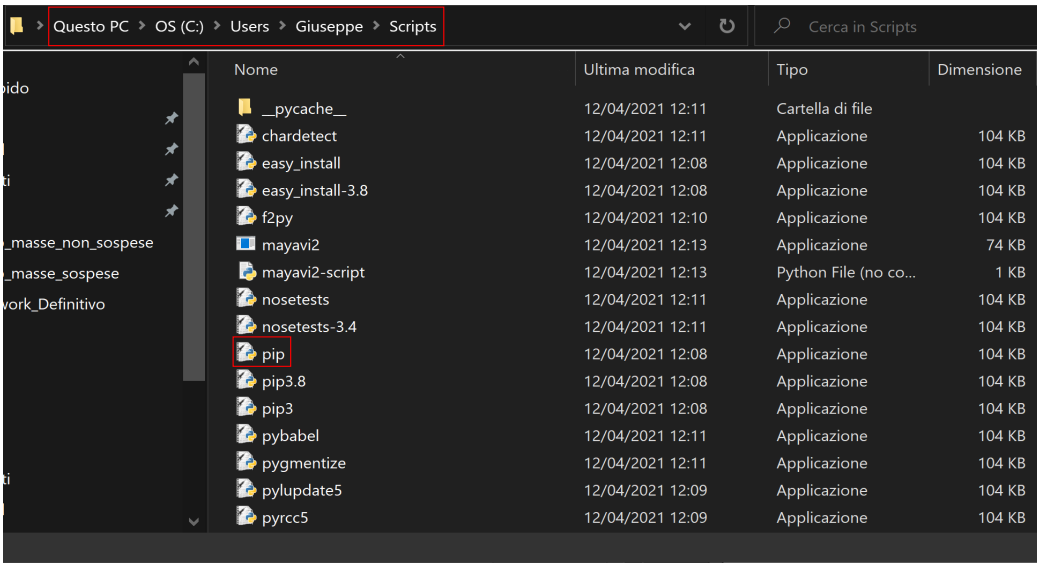


Figura 2.6.2: Percorso cartella Pip

Una volta all'interno della cartella in cui è presente il software **pip**, per installare i singoli pacchetti sempre da riga di comando andiamo a digitare ***pip install (nome pacchetto che si vuole installare)***.

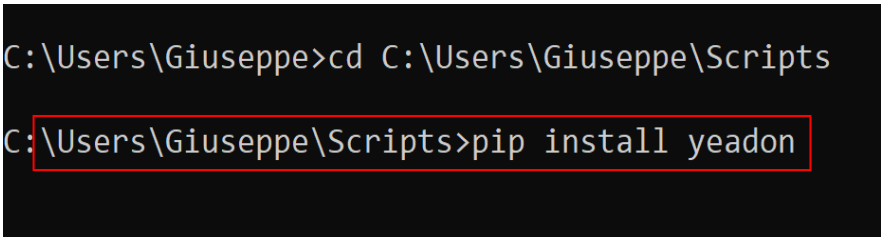


Figura 2.6.3: Sintassi installazione pacchetti

Terminato l'iter di installazione possiamo procedere con l'utilizzo per software, avviando il compilatore di Python, importando il pacchetto **yeadon**, e avviando l'interfaccia grafica.

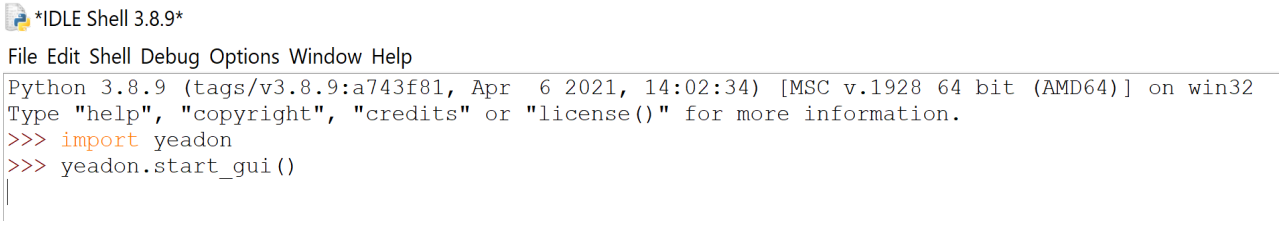


Figura 2.6.4: Avvio software Yeadon

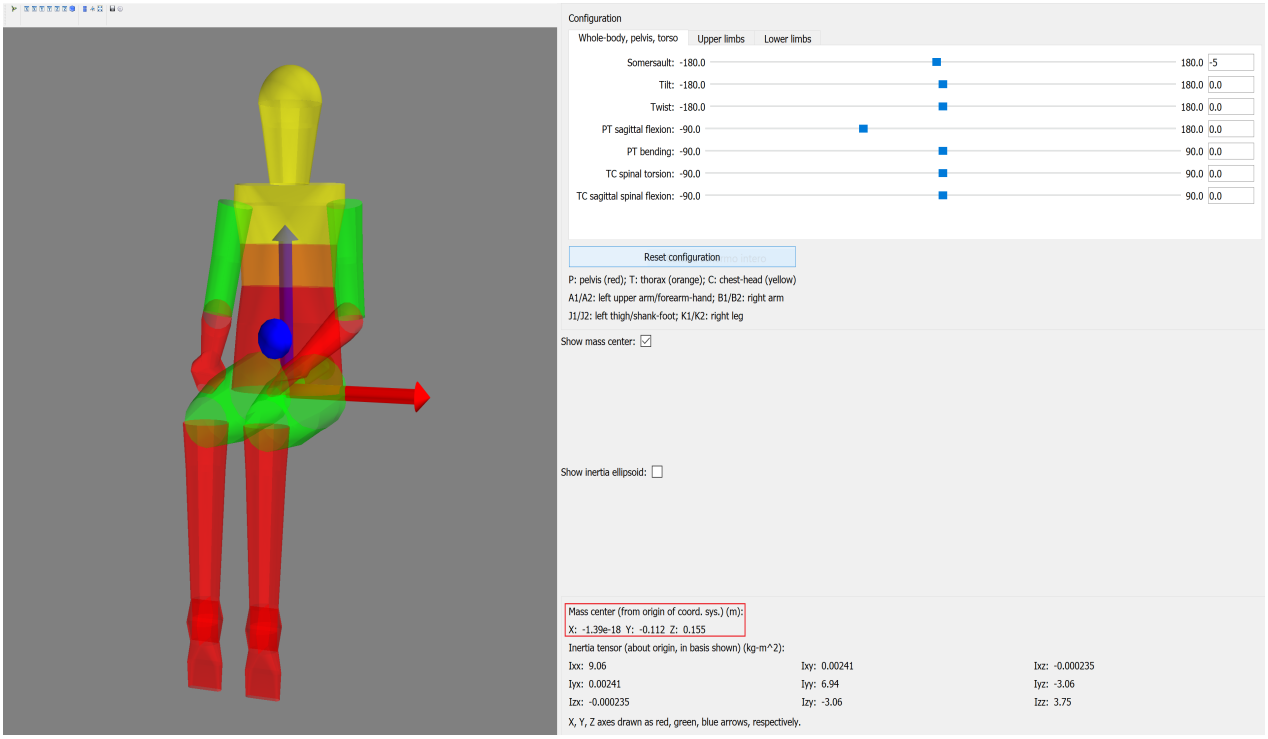


Figura 2.6.5: Interfaccia grafica Yeadon

2.6.2 Descrizione del modello

Il modello di essere umano utilizzato è suddiviso in segmenti, livelli e solidi. Si assume che il corpo umano sia formato da 11 segmenti rigidi, dove ciascuno dei 4 arti è composto da 2 segmenti e la restante parte è suddivisa tra testa e busto. Ognuno di questi segmenti è assimilabile ad un corpo rigido e ha almeno un grado di libertà rotazionale rispetto al segmento adiacente. Ogni segmento è contrassegnato con colori diversi che si alternano, e sono definiti con le lettere **P**, **A1**, ecc. Ogni segmento si compone di un certo numero di sezioni trasversali denominati livelli. Nel modello utilizzato si contano un totale di 45 livelli indicati con la sequenza " **L**<**s**>**#** ", dove <**s**> indica un segmento del corpo (come mostrato in *Figura 2.6.6* la lettera k viene individuata la gamba destra), mentre con # si denota l'indice del livello in quel segmento.

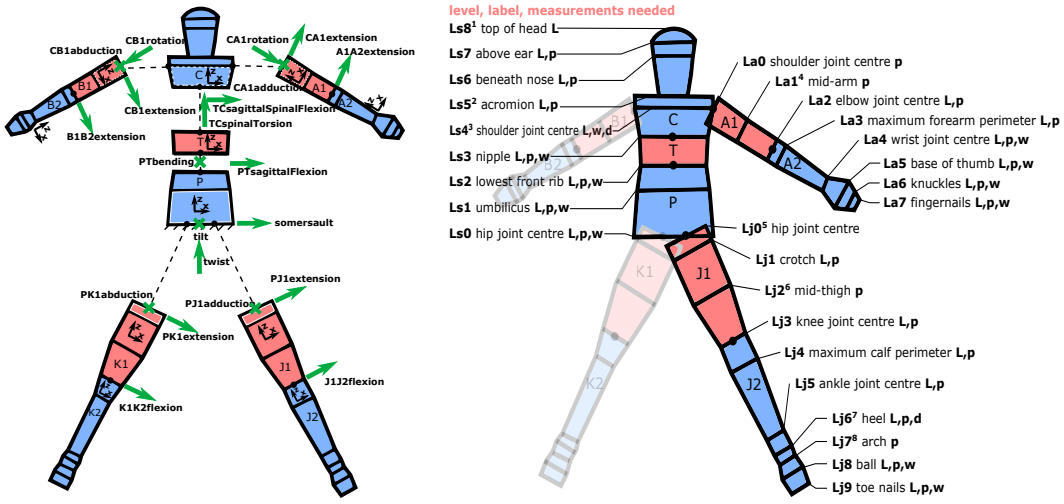


Figura 2.6.6: Modello essere umano

I livelli sono descritti da una forma geometrica particolare, che possiamo visionare in *Figura 3.3.1.* Per alcune parti del corpo questa forma degenera in un cerchio.

- perimetro **p**;
- raggio **r**;
- spessore **t**;
- larghezza **w**;
- profondità **d**;

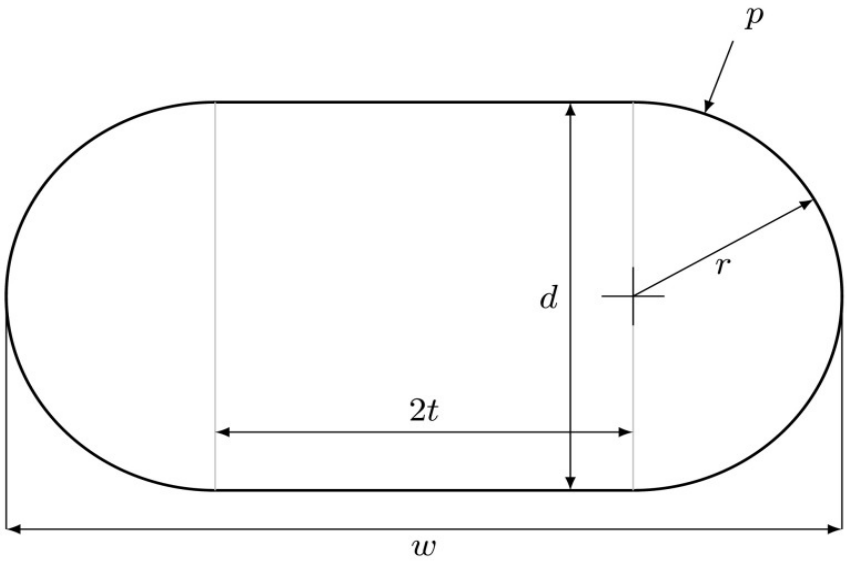


Figura 2.6.7: Geometria di base dei solidi

Ogni livello per essere definito ha bisogno di almeno di due delle cinque grandezze definite, per scegliere quali utilizzare si fa riferimento alla posizione del livello nel corpo umano. Ad esempio, è complicato misurare il perimetro intorno alle spalle, quindi si può utilizzare la profondità. Le proprietà inerziali di ciascun segmento vengono calcolate assumendo ogni segmento sia composto da un certo numero di solidi, nello specifico un segmento in cui sono presenti N livelli allora in questo troviamo N-1 solidi, questi sono poi definiti da una nomenclatura del tipo s0, a0, ecc. Tutti i solidi che appartengono ad uno stesso segmento condividono lo stesso asse longitudinale e la loro forma è definita dal profilo della sezione trasversale dei livelli che lo delimitano e dalla loro distanza longitudinale. Il modello utilizzato contiene un totale di 40 solidi. Il modello si può personalizzare andando a modificare le 95 misurazioni antropomorfe che caratterizzano il modello, andando cosi a variare le distanze tra gli stadi. Per intervenire sulla configurazione che si vuole far assumere al corpo si può agire su 21 angoli dei giunti articolati, vettori verdi, che uniscono i vari segmenti. I versi di rotazione di ogni giunto è dato dalla regola della mano destra applicata ad ogni vettore. I cerchi neri rappresentano i centri di rotazione di ogni articolazione.

2.6.3 Utilizzo

Una volta ultimata l'installazione, è possibile avviare il programma e iniziare con l'utilizzo. L'utilizzo risulta molto semplice, in quanto dall'interfaccia grafia è possibile impostare la posizione del modello tramite l'utilizzo di cursori che cambiano i vari gradi di libertà in tempo reale. Di seguito si descrive quindi cosa accade modificando la posizione dei molteplici cursori presenti nell'interfaccia grafica.

1. Whole-body, pelvis,torso: in questa prima categoria è possibile modificare la posizione dell'interno corpo tramite la rotazione di questo attorno ai 3 assi, in più è possibile modificare la posizione relativa tra il busto e il bacino.

2. Upper limbs: in questa seconda categoria è possibile modificare la posizione degli arti superiore del corpo in modo da averli vicino e distanti dal busto e variarne la distensione.

3. Lower limbs: in questa terza categoria è possibile modificare la posizione degli arti inferiori del corpo.

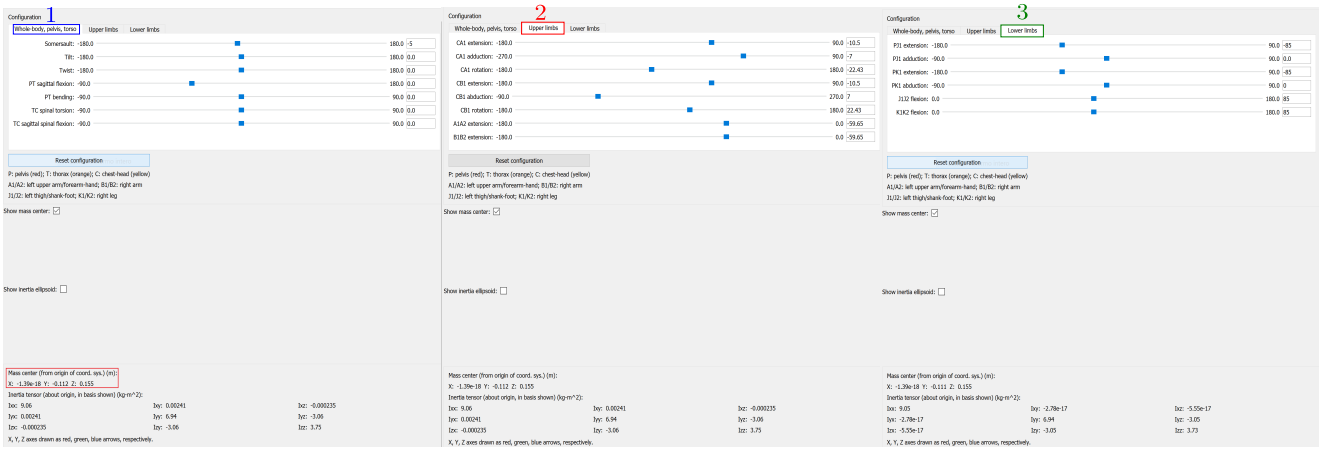


Figura 2.6.8: Interfaccia utilizzo Yeadon

2.7 Posizione baricentro

A questo punto si conosce la posizione del baricentro dei vari sottosistemi per cui possiamo valutare la posizione del baricentro totale.
Si valuta dapprima la posizione del baricentro che comprende l'utente e le masse sospese:

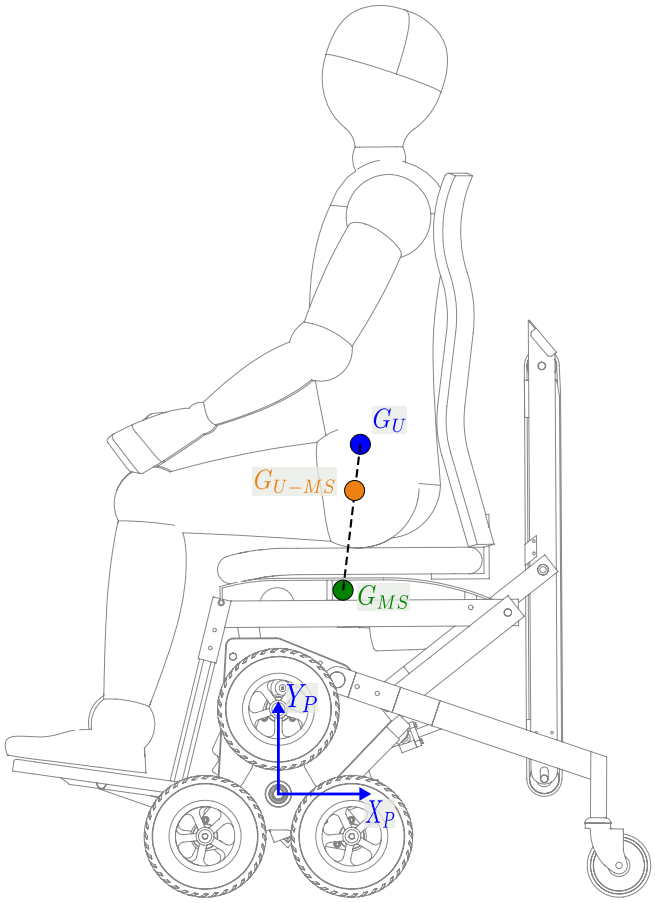


Figura 2.7.1: Posizione baricentro masse sospese e utente

$$\begin{cases} x_{P,U-MS} = \dfrac{x_{P,GSM} \cdot M_{SM} + x_{P,GU} \cdot M_U}{M_{SMP} + M_U} \\ y_{P,U-MS} = \dfrac{y_{P,GSM} \cdot M_{SM} + y_{P,GU} \cdot M_U}{M_{SMP} + M_U} \end{cases} \tag{2.1}$$

Ora possiamo determinare la posizione del baricentro totale dell'intero sistema carrozzina con utente a bordo:

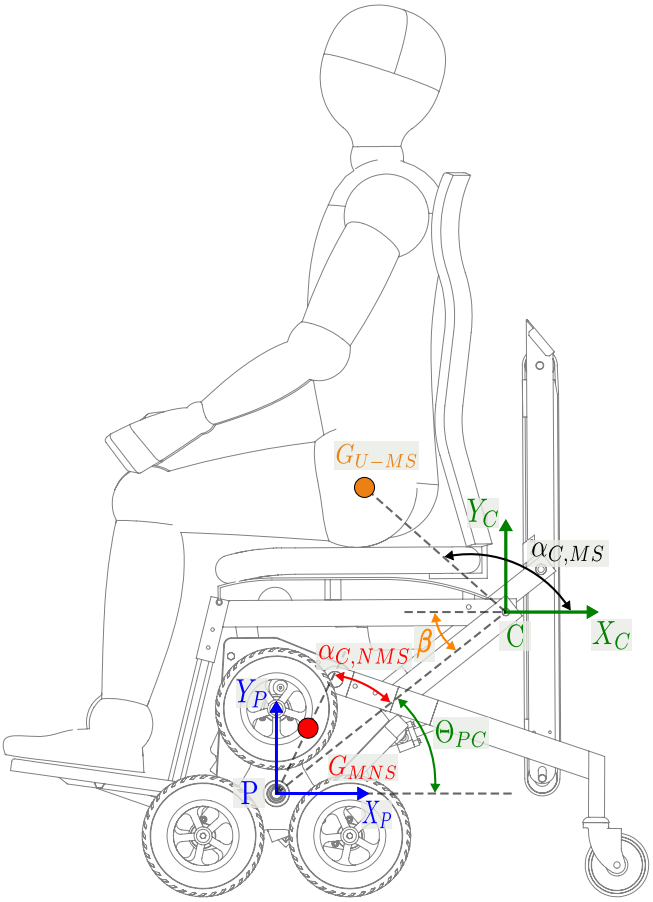


Figura 2.7.2: Posizione baricentro totale

$$x_{G_{TOT}} = \frac{[(l_{PG_{NSM}} \cdot cos(\Theta_{PC} + \alpha_{CG_{NSM}})) \cdot M_{NSM} + (l_{PC} \cdot cos(\Theta_{PC}) + l_{PG_{SM}} \cdot cos(\alpha_{CG_{SM}} - \Delta\beta)) \cdot M_{SM}]}{(M_{SNM} + M_{SM})} \tag{2.2}$$

$$y_{G_{TOT}} = \frac{[(l_{PG_{NSM}} \cdot sin(\Theta_{PC} + \alpha_{CG_{NSM}})) \cdot M_{NSM} + (l_{PC} \cdot sin(\Theta_{PC}) + l_{CG_{SM}} \cdot sin(\alpha_{CG_{SM}} - \Delta\beta)) \cdot M_{SM}]}{(M_{SNM} + M_{SM})} \tag{2.3}$$

Riportiamo le varie posizione che assume il baricentro del sistema carrozzina con utente al variare della massa dell'utente.

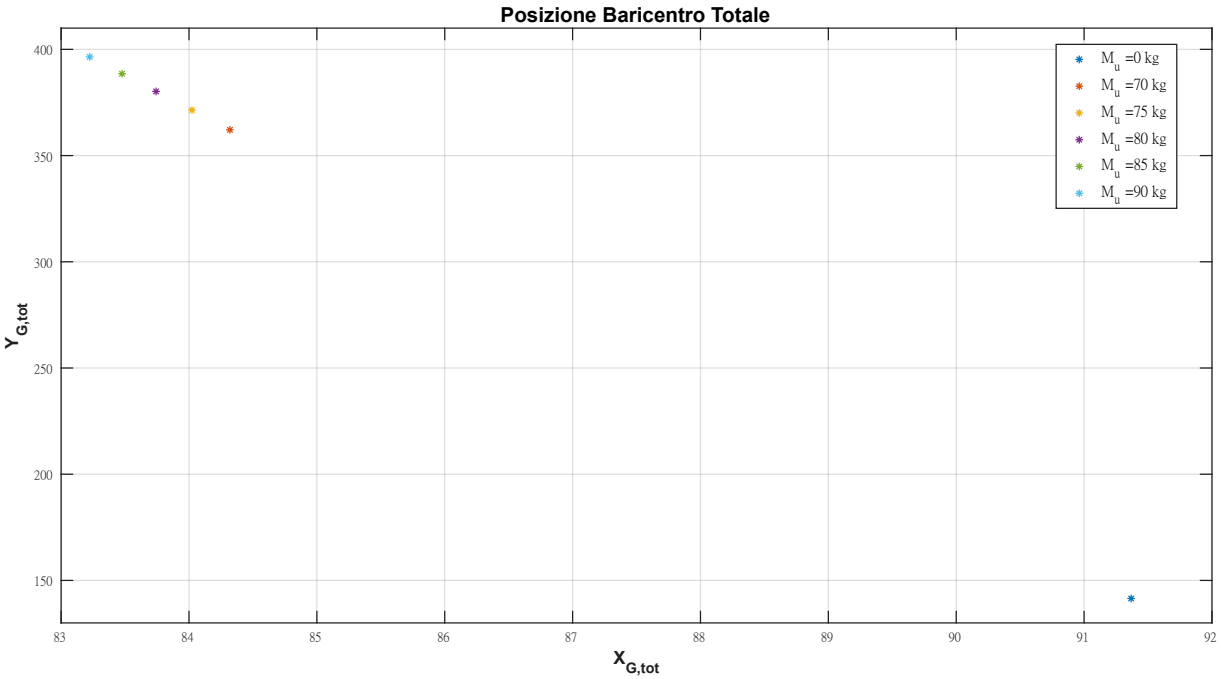


Figura 2.7.3: Posizione baricentro totale

Questi dati sono stati ottenuti imponendo i seguenti valori ai vari gradi di libertà:

Angoli	Valore (°)
β_0	38
ϑ_{P0}	-38
ϑ_{DU0}	96,53
Θ_{PC0}	38

Tabella 2.15: Valori gradi di libertà

In questo secondo grafico mostriamo invece l'andamento della posizione del baricentro al variare dell'angolo Θ_{PC}, mantenendo fisso l'angolo β_0 e con una massa di 80 kg. In questo ultimo grafico mostriamo invece

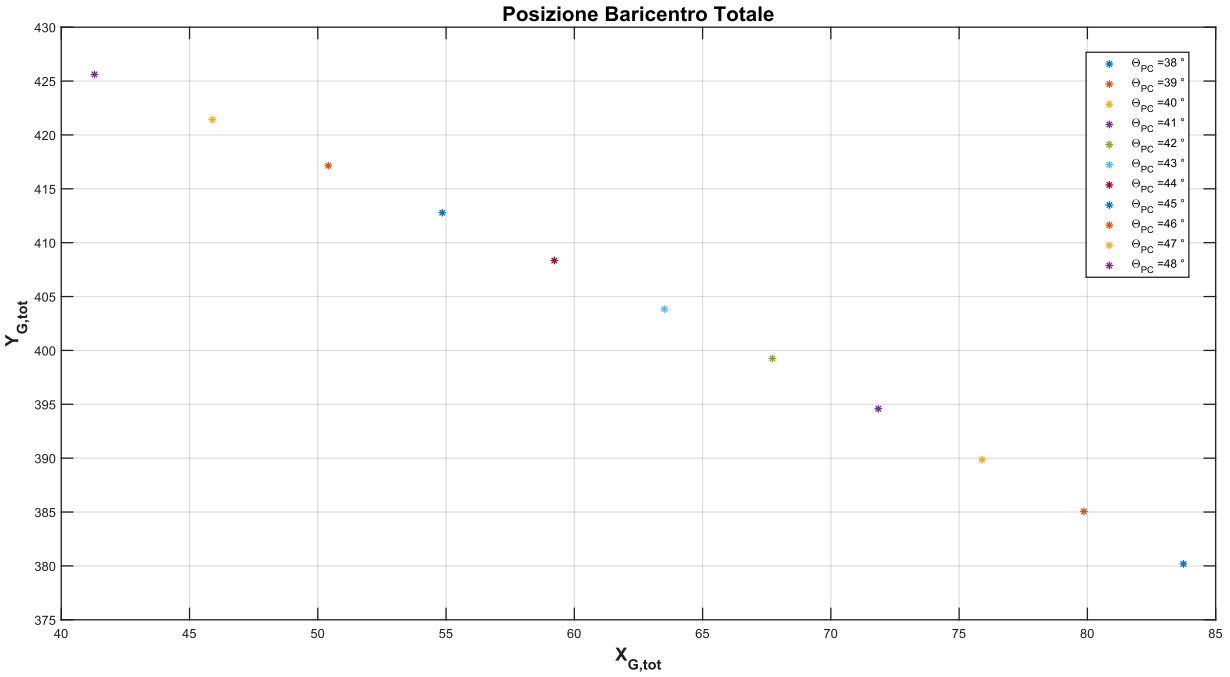


Figura 2.7.4: Posizione baricentro totale

l'andamento della posizione del baricentro al variare dell'angolo β, mantenendo fisso l'angolo Θ_{PC} e con una massa di 80 kg.

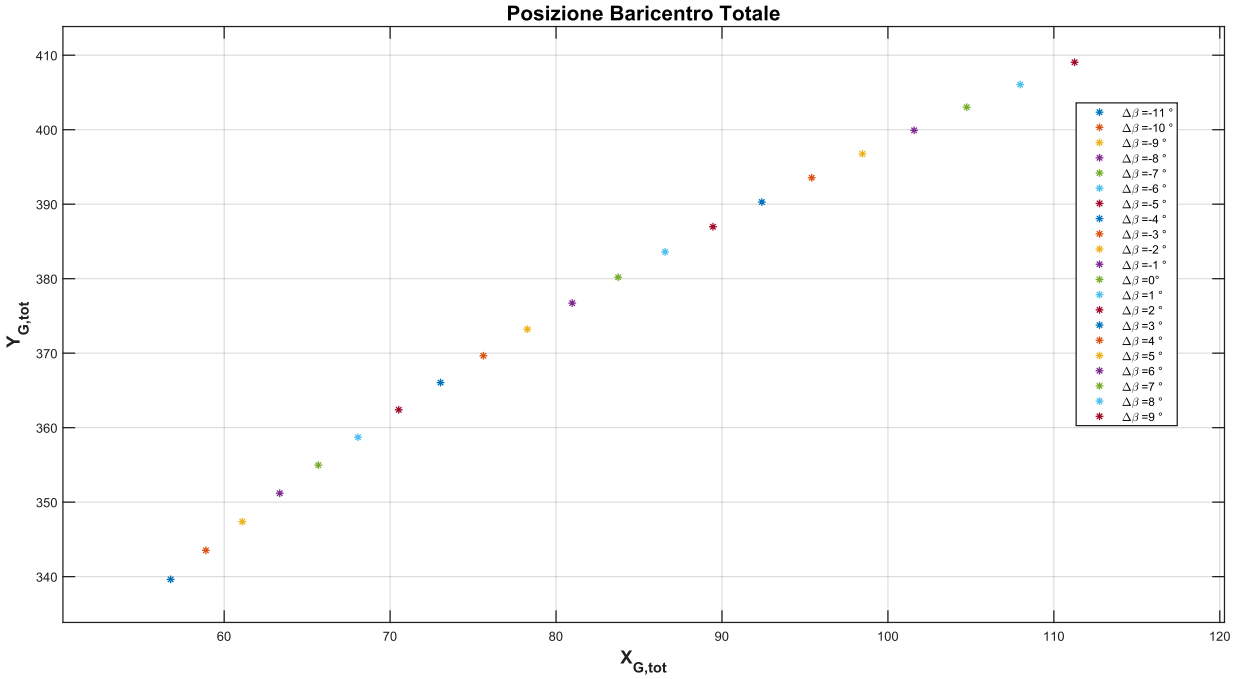


Figura 2.7.5: Posizione baricentro totale

2.8 Margine di stabilità

Possiamo adesso valutare il margine di stabilità in condizioni statiche in più configurazioni della sedia in modo da scegliere il margine più ampio possibile cercando di garantire comunque una condizioni confortevole per la persone che si trova sulla sedia. Si vuole quindi valutare come varia il margine di stabilità al variare dei parametri geometrici della sedia tenendo conto anche del fatto che a bordo possano trovarsi persone con masse diverse, e considerare la variabilità che queste ultime introducono. Il margine di nostro interesse è quello che riguarda l'equilibrio statico sui tripodi, che può essere cosi valutato:

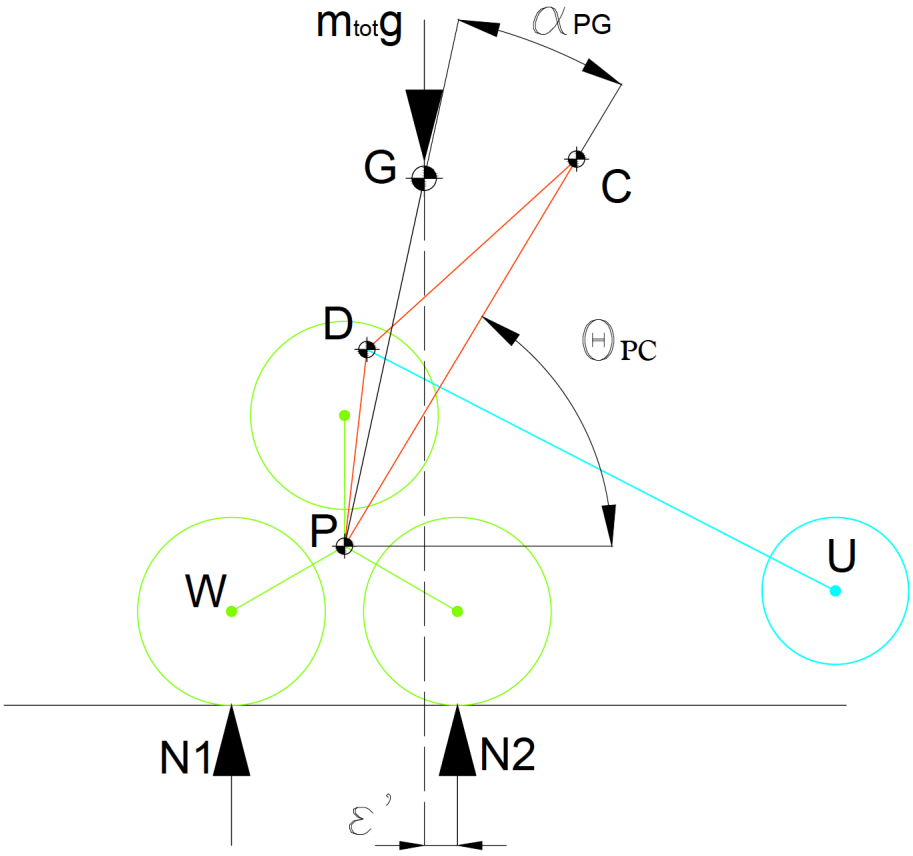


Figura 2.8.1: Schema per la valutazione del margine ε'

$$l_{PW} \cdot cos\frac{\pi}{6} - L_{PG} \cdot cos(\alpha_{PG} + \Theta_{PC}) = \varepsilon' \tag{2.4}$$

Qui mostriamo l'andamento del margine di stabilità ε' in funzione dell'angolo Θ_{PC} e della massa dell'utente M_u, mantenendo costante l'angolo $\beta = 38°$.

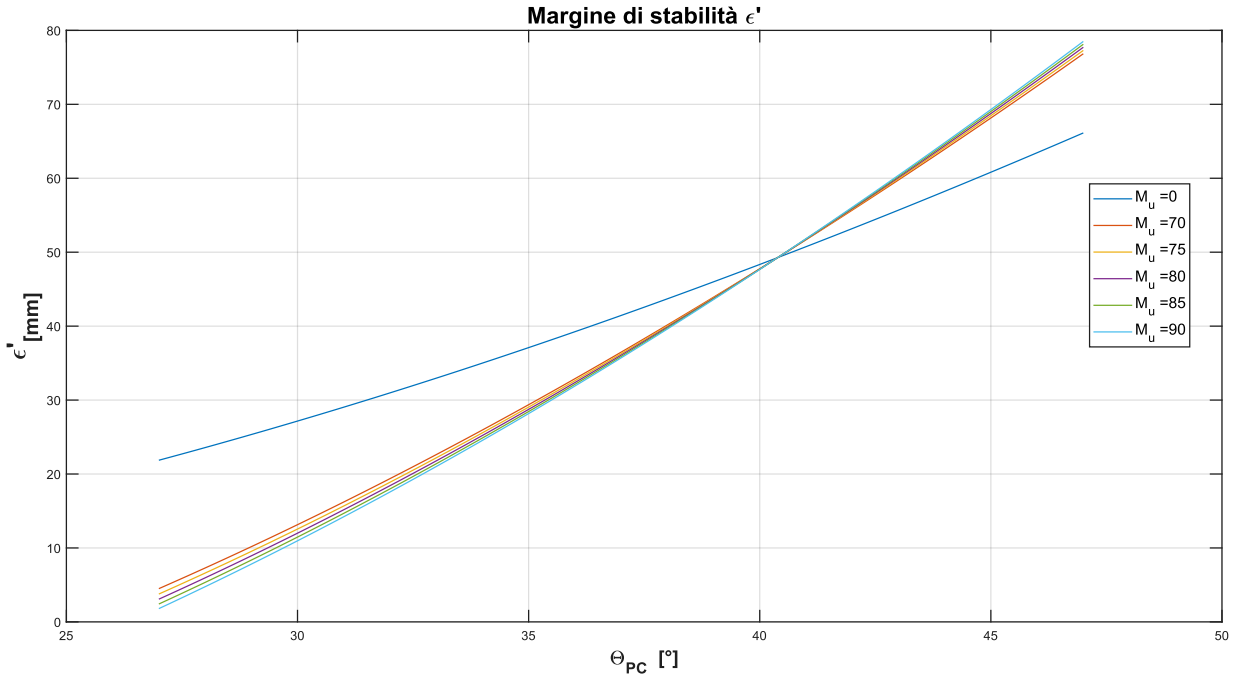


Figura 2.8.2: Andamento margine ε' in funzione di Θ_{PC} e M_u

In questa seconda immagine ritroviamo lo sviluppo del margine di stabilità ε' in funzione dell'angolo β e della massa dell'utente M_u, mantenendo costante l'angolo $\Theta_{PC} = 38°$.

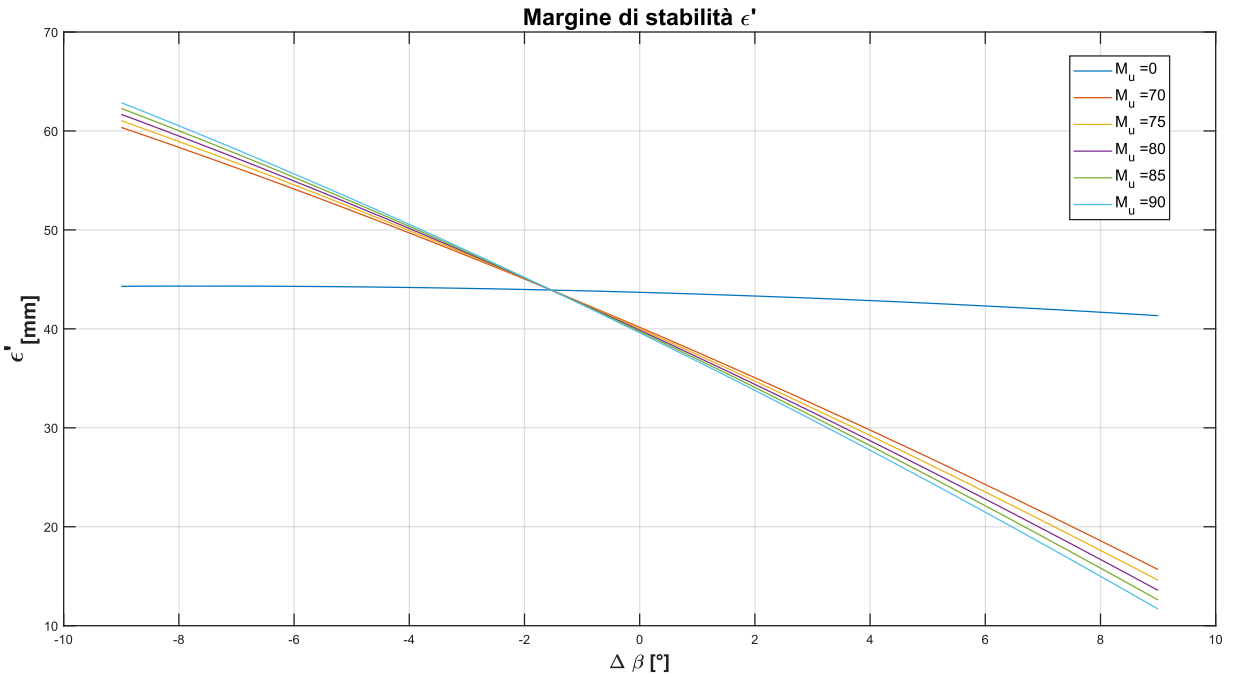


Figura 2.8.3: Andamento margine ε' in funzione di β e M_u

In questa seconda immagine ritroviamo lo sviluppo del margine di stabilità ε' in funzione dell'angolo Θ_{PC} e dell'angolo β, mantenendo costante la massa dell'utente $M_u = 80$ kg.

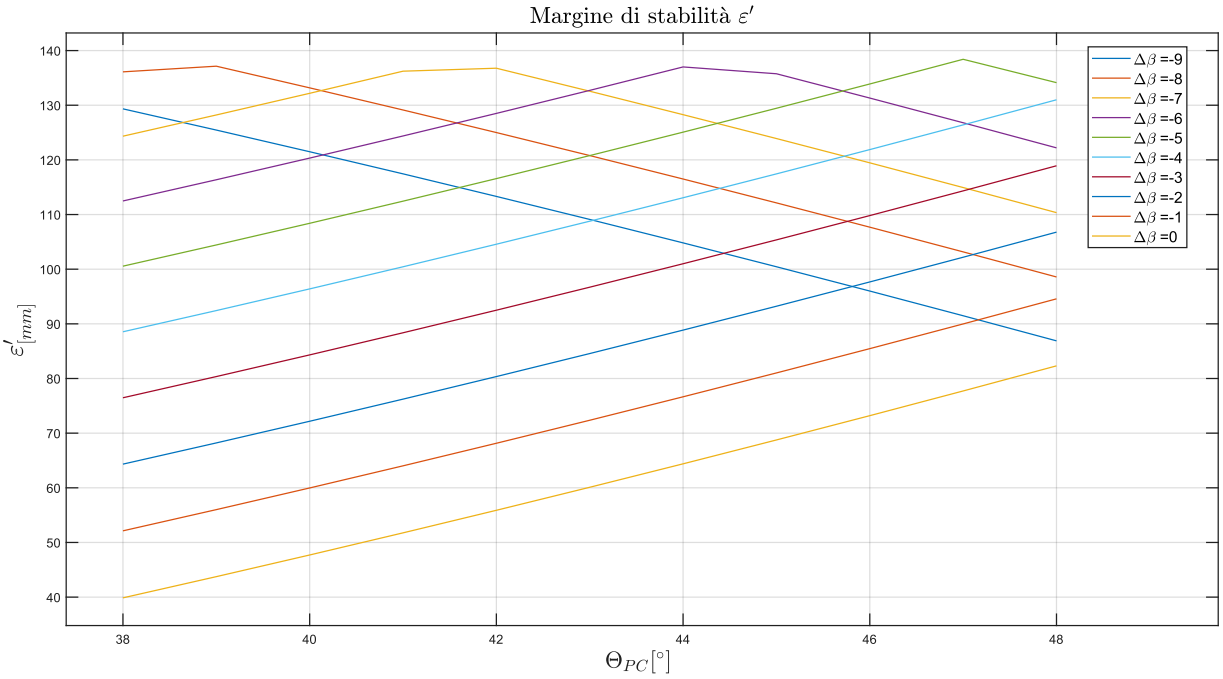


Figura 2.8.4: Andamento margine ε' in funzione di Θ_{PC} e β

3 Sensore Lidar e rilevazione gradino

3.1 Sensore Lidar RPLIDAR A1M8

Come già anticipato per ottenere le dimensioni di interesse degli ostacoli da superare si è optato per l'utilizzo di un sensore Lidar, che può essere utilizzato sia all'esterno che all'interno. Si tratta di uno di uno scanner laser a 360° 2D, che permette di rilevare le dimensioni di un ambiente fino ad una distanza massima di 12 metri, attraverso la realizzazione di una mappa dell'ambiente che lo circonda. La frequenza di scansione può essere può essere impostata fino ad un massimo di 10 Hz, ma quella consigliata da produttore è di 5.5 Hz. Si riporta nella *Figura 3.1.1* le dimensioni caratteristiche ed il peso del sensore:

Figura 3.1.1: Dimensioni e peso del Lidar

Item	Unit	Min	Typical	Max	Comments
Distance Range	Meter(m)	TBD	0.15 - 6	TBD	White objects
Angular Range	Degree	n/a	0-360	n/a	
Distance Resolution	mm	n/a	<0.5 <1% of the distance	n/a	<1.5 meters All distance range*
Angular Resolution	Degree	n/a	≤1	n/a	5.5Hz scan rate
Sample Duration	Millisecond(ms)	n/a	0.5	n/a	
Sample Frequency	Hz	n/a	≥2000	2010	
Scan Rate	Hz	1	5.5	10	Typical value is measured when RPLIDAR A1 takes 360 samples per scan

Figura 3.1.2: Scheda tecnica del Lidar

Questo sensore si compone di due parti principali,*Figura 3.1.3*, ovvero:

1. Un motorino elettrico che porta in rotazione il sistema di scansione laser, e controllando la velocità di rotazione si può variare la frequenza di scansione;
2. Modulo di scansione in cui troviamo un emettitore del raggio laser e un ricevitore che riceve il raggio luminoso riflesso.

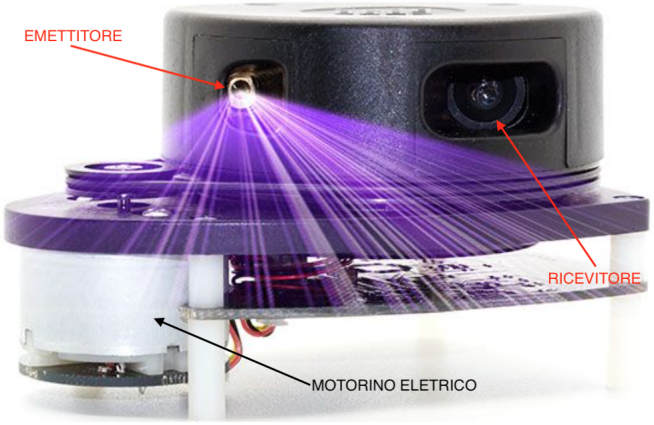


Figura 3.1.3: Costituzione del Lidar

Il principio di funzionamento è basato sulla triangolazione del sensore rispetto al punto da cui è stato riflesso il raggio laser, ovvero tramite il raggio che viene riflesso e che viene letto dal sistema di acquisizione si riesce a valutare la distanza tra il Lidar e il punto. In particolare il sistema processa i dati e fornisce in output delle matrici contenenti le coordinate polari dei punti acquisiti rispetto ad un sistema di riferimento che ha come origine il centro del Lidar.

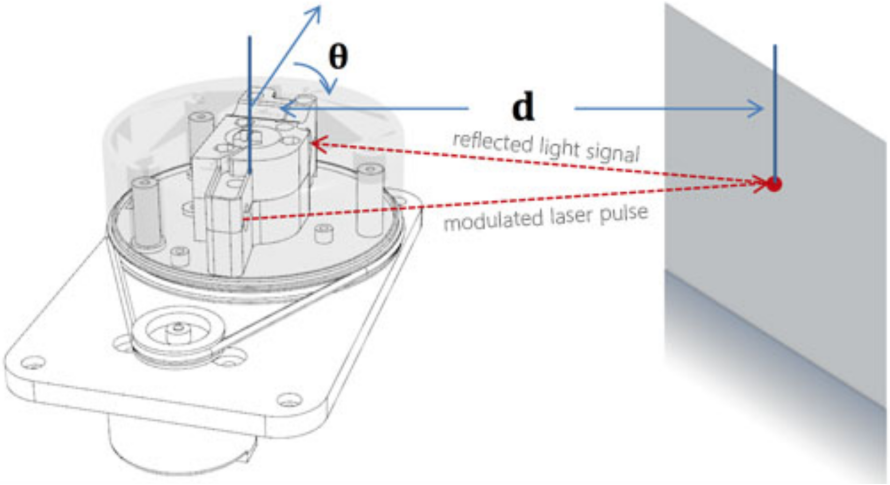
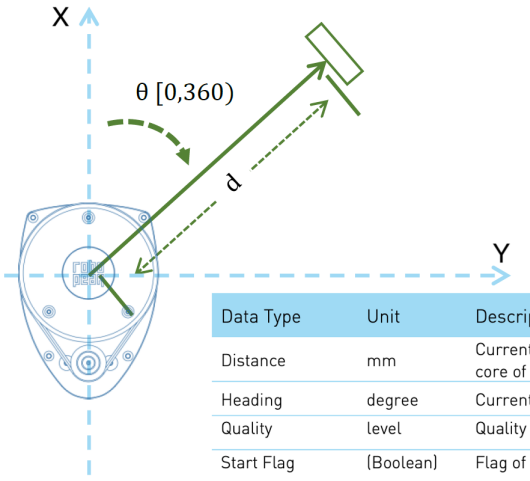


Figura 3.1.4: Triangolazione del Lidar

I dati che vengono forniti in uscita dal Lidar includono una serie di informazioni, riportate in *Figura 3.1.5*. In particolare ogni punto scansionato è caratterizzato dalle proprie coordinate polari (distanza dall'origine del sistema di riferimento (mm) e angolo rispetto all'asse x (°)).



Data Type	Unit	Description
Distance	mm	Current measured distance value between the rotating core of the RPLIDAR A1 and the sampling point
Heading	degree	Current heading angle of the measurement
Quality	level	Quality of the measurement
Start Flag	(Boolean)	Flag of a new scan

Figura 3.1.5: Sistema di riferimento e informazioni acquisite

3.2 Collegamento Lidar

Il layout di utilizzo del Lidar prevede il collegamento tra quest'ultimo e lo Speedgoat. Il collegamento tra Lidar e Arduino avviene tramite dei cavi jumper, mentre la connessione tra la scheda Arduino e lo Speedgoat avviene come riportato di seguito:

1. Collegare la scheda Arduino allo Speedgoat attraverso una porta USB-A, così che la scheda venga alimentata;
2. Collegare l'Arduino alla porta seriale COM1 presente sullo Speedgoat, attraverso un apposito adattatore e con l'ausilio di cavi Jumper.

Riportiamo lo schema di collegamento e le porte dello Speedgoat coinvolte in questa operazione.

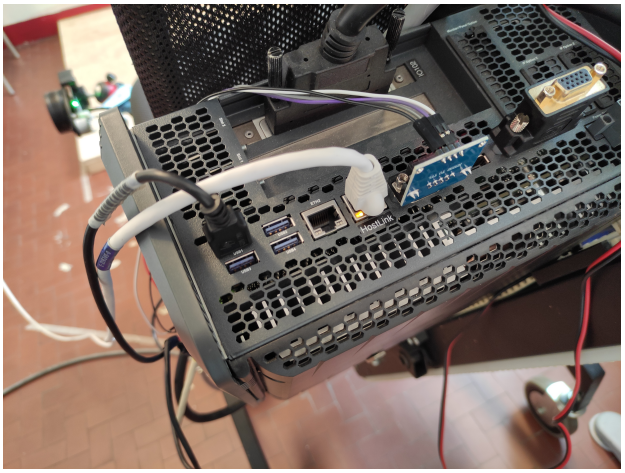


Figura 3.2.1: Porte dello Speedgoat coinvolte nel collegamento

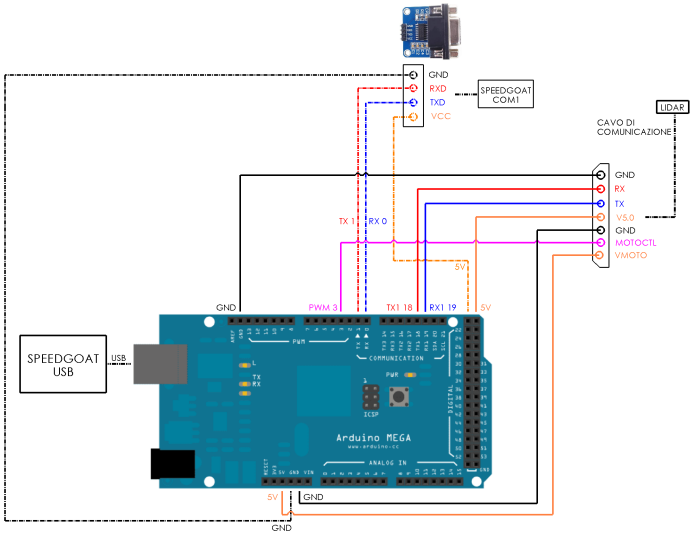


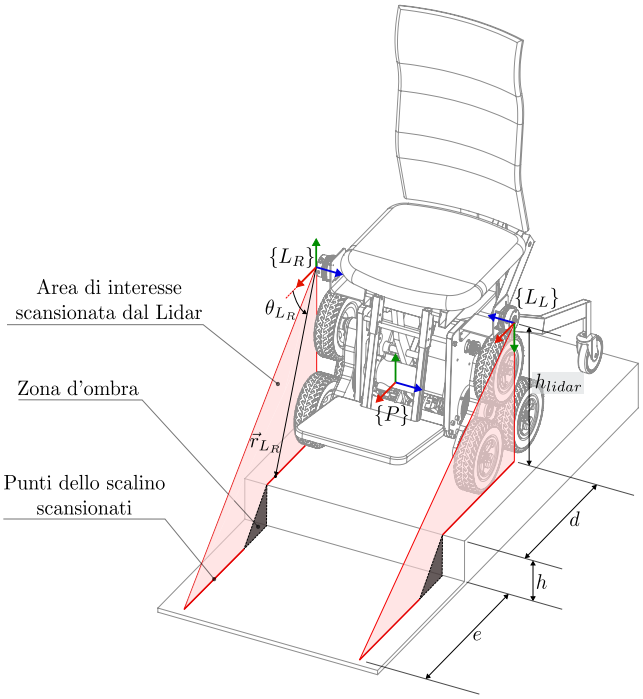
Figura 3.2.2: Collegamento Lidar/Arduino/Speedgoat

3.3 Modello scansione e misurazione del gradino

3.3.1 Introduzione

Prima di poter utilizzare il Lidar per l'acquisizione delle grandezze da utilizzare nell'algoritmo di controllo della carrozzina si è prima dovuto realizzare, attraverso l'uso di Matlab, un algoritmo in grado di ricevere in ingresso l'ambiente scansionato dal Lidar, individuare la zona di interesse, ricavare le grandezze che caratterizzano il gradino, rendendo questo processo quanto più veloce e preciso possibile. È stato quindi realizzato uno script Matlab in grado di acquisire i punti che vengono forniti dal sensore salvandoli in una matrice, dopodiché a partire dalla nuvola di punti acquisiti, passando successivamente attraverso una serie di step ognuno caratterizzato da una specifica funzione, si giunge all'ottenimento delle misure caratteristiche del gradino. Il concetto di base è quello di considerare il Lidar posizionato nell'origine di un sistema di coordinate polari, posizionato ad un'altezza dal piano pari ad *hlidar*, al di sotto di esso è presente il gradino di cui si vogliono ricavare le seguenti grandezze caratteristiche:

- h: altezza del gradino;
- d: distanza dal gradino;
- e: spazio disponibile dopo il gradino.



3.3.2 Modello per la valutazione delle dimensione del gradino

Adesso si presenta un modello che ci permetta di valutare quantitativamente le dimensioni del gradino, partendo dalla scansione eseguita dal sensore Lidar.

1. Si parte dal profilo del gradino approssimato dai punti letti dal Lidar, tra i molteplici punti si vanno a ricercare tutti quei punti la cui coordinata y, rientra all'interno di una banda, la cui semi-ampiezza è determinata dal valore di ε_d, a partire dal valore di altezza di montaggio del lidar *hlidar*. L'insieme di questi punti rappresenta una approssimazione del profilo del gradino su cui ci troviamo. Una volta individuato questo insieme di punti, si considera l'ultimo punto della serie e su di esso andiamo a rappresentare un marker, x_{mark1}, in modo da evidenziarlo. A questo punto valutando il valore dell'ascissa del punto "x_{mark1}" otteniamo la distanza (d) che intercorre tra il sensore e lo spigolo del gradino. Bisogna prestare una certa attenzione nello scegliere il valore del ε_d in quanto questo condiziona in maniera relativamente invasiva la precisione del valore che si ottiene.

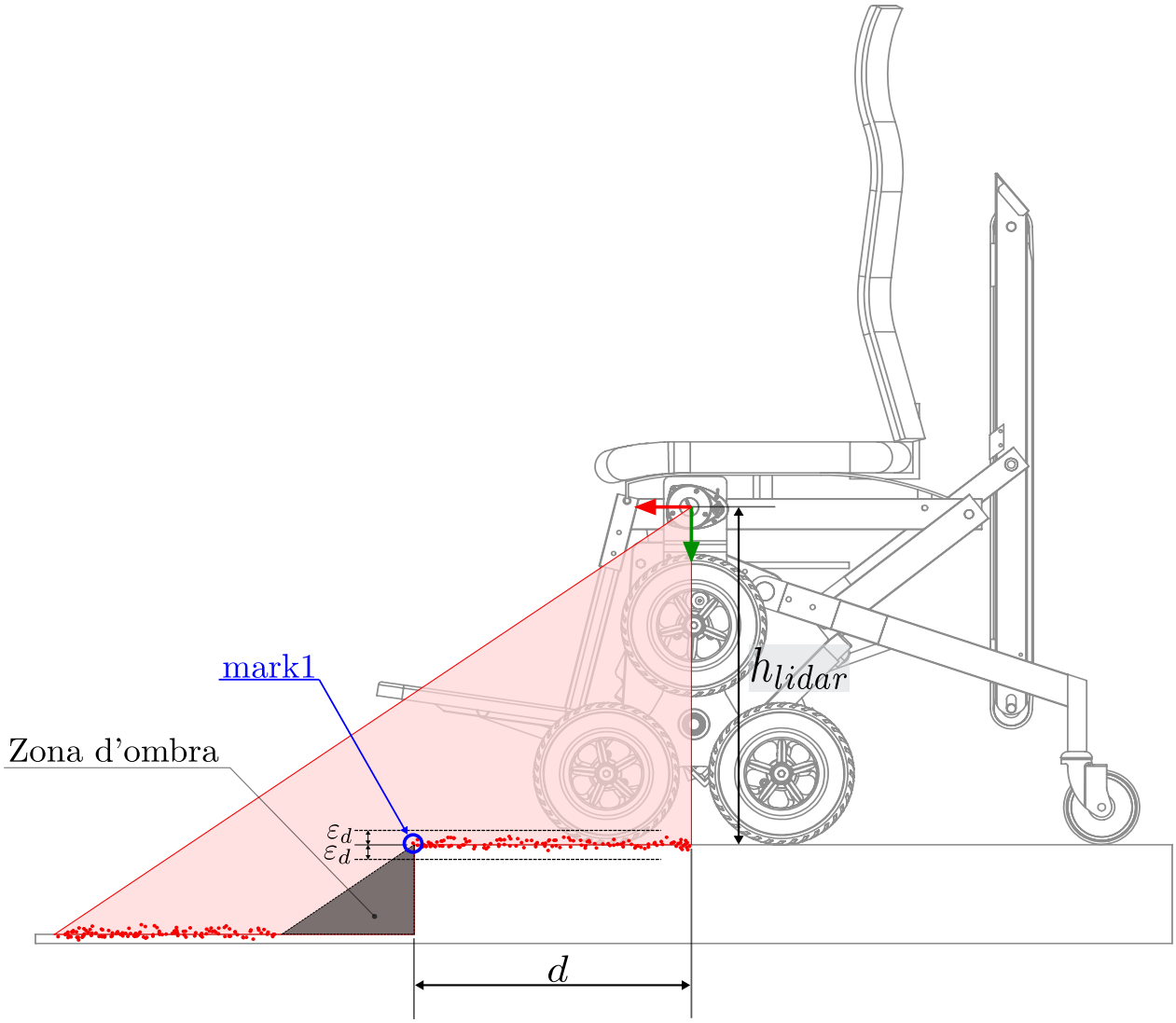


Figura 3.3.1: Valutazione distanza dal gradino (d)

$$d = x_{mark1}$$

2. Una volta raccolto l'insieme di punti che rappresenta il profilo superiore del gradino, vista la presenza di una zona d'ombra nella quale non si riesce a avere una rilevazione di punti, avremo allora un secondo insieme di punti i quali saranno caratterizzati da una coordinata y che si discosta in maniera netta rispetto a quella dell'insieme analizzato precedentemente, in quanto superano il valore di ε_d. Come fatto in precedenza anche in questo caso si va ad applicare un filtro ai punti rilevati in modo da avere solo quelli che approssimano meglio il piano successivo al gradino. In questo caso però non si ha una grandezza di confronto come *hlidar*, per cui si esegue una media mobile sui punti acquisiti. La media mobile viene eseguita su 5 punti, nello specifico sulla coordinata y dei vari punti, si ottiene cosi il valore di y_m.

$$y_m = \frac{y_{n-2} + y_{n-1} + y_n + y_{n+1} + y_{n+2}}{5}$$

A questo valore, y_m,si applica una soglia di accettabilità rappresentata dal valore di ε_e, per cui se il punto in questione rientra in questo intervallo viene considerato, altrimenti non lo si considera.

$$y_n < y_m + \varepsilon_e$$
$$y_n > y_m - \varepsilon_e$$

Dopo l'applicazione di questo filtro si ottiene un insieme di punti che approssimano il pavimento presente subito dopo il gradino. A questo punto si posiziona un nuovo marker, *mark2*, che evidenzi il primo dei punti che fanno parte di questo secondo elenco e lo indichiamo. A questo punto facendo la differenza tra la coordinata y del punto "y_{mark2}" e quella del punto "y_{mark1}" otteniamo l'altezza del gradino (h).

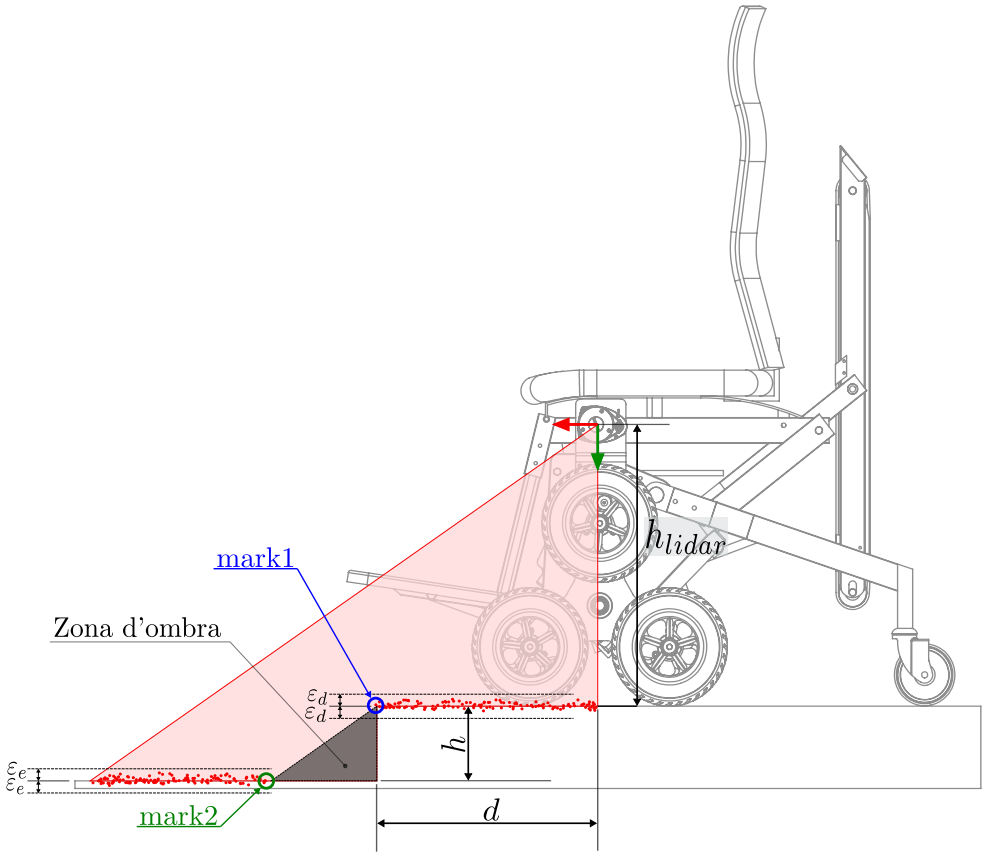


Figura 3.3.2: Valutazione altezza del gradino (h)

$$h = y_{mark2} - y_{mark1}$$

3. Ora che si è ricreato in maniera approssimativamente il profilo del gradino, possiamo valutare lo spazio presente dopo di questo, in maniera del tutto simile a quanto già fatto precedentemente. In particolare si colloca un ultimo marker sull'ultimo punto che fa parte del secondo insieme di punti, "x_{mark3}". A questo punto facendo la differenza tra le coordinate x_{mark3} e x_{mark1} si determina lo spazio presente successivamente al gradino (e).

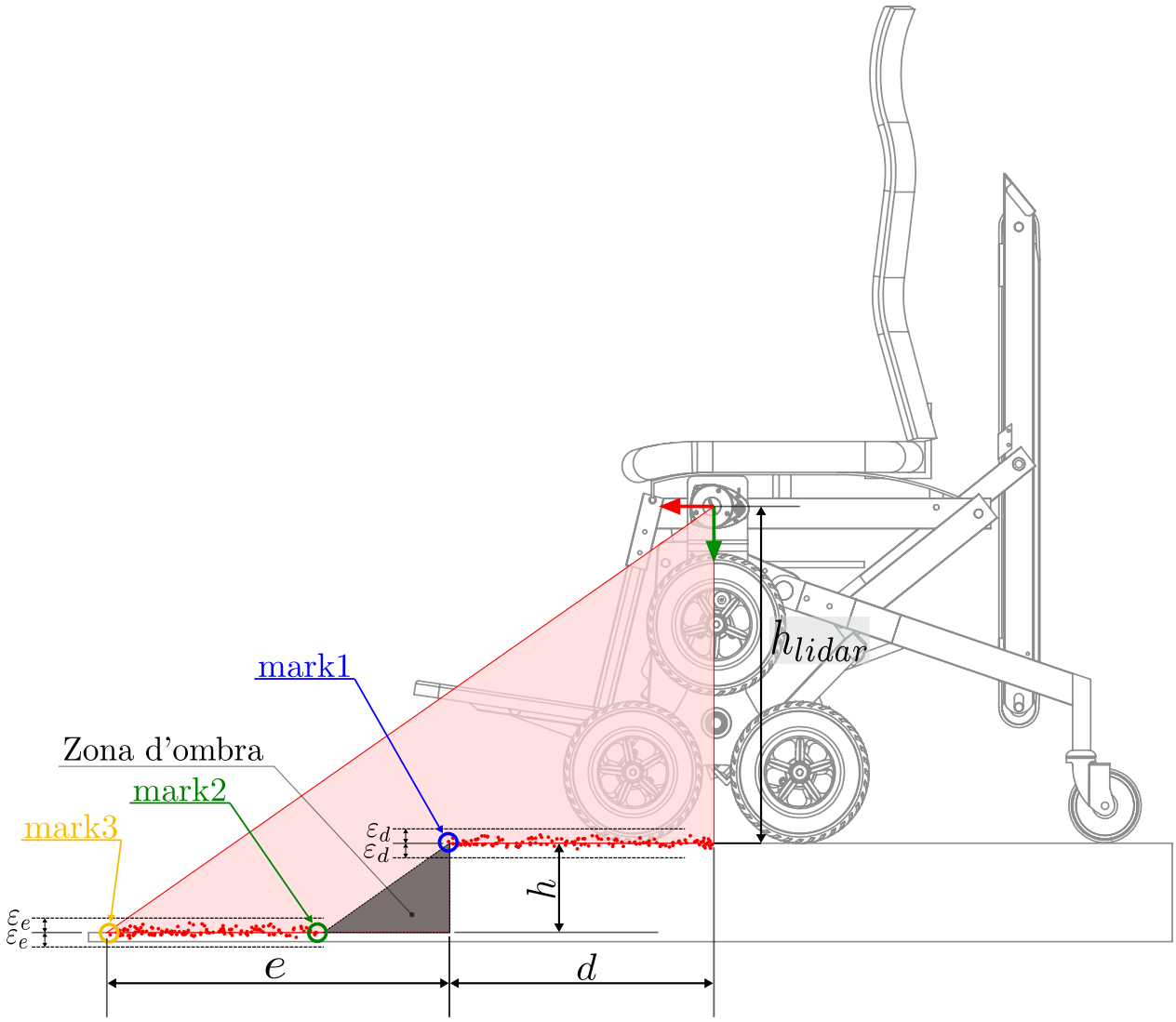


Figura 3.3.3: Valutazione spazio presente dopo il gradino (e)

$$e = x_{mark3} - x_{mark1}$$

3.4 Acquisizione sperimentale del gradino

Dopo la presentazione del modello con cui si ricavano le grandezze di interesse, si passa all'applicazione di alle prove sperimentali, in cui lidar viene realmente utilizzato per la misurazione vera e propria del gradino. Il questa fase il lidar è collegato tramite l'Arduino ad un PC, in modo che riceva l'alimentazione e al contempo il programma Simulink, denominato "*Ricevitore_ dati.slx*", possa ricevere i dati forniti dal Lidar.

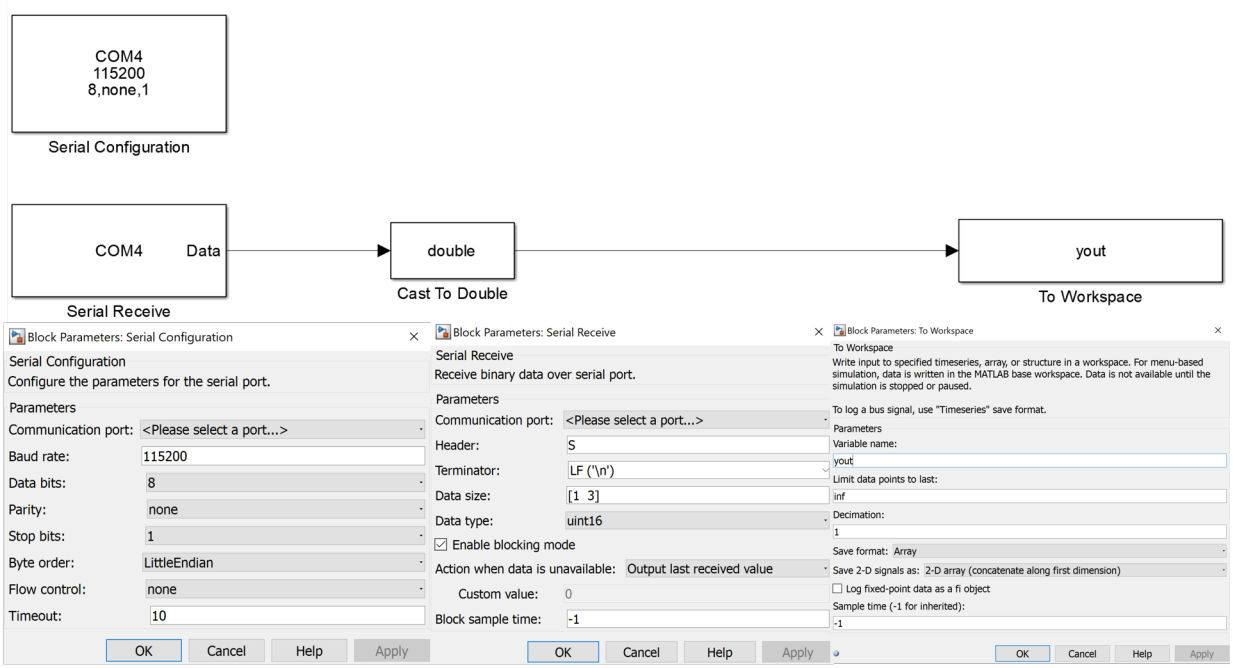


Figura 3.4.1: Ricevitore dati

Per realizzare lo schema Simulink in *Figura 3.4.1*, vengono utilizzati i seguenti blocchi, presenti all'interno delle librerie dello stesso programma:

1. *Serial Configuration*: una volta aperto questo blocco, appare il menu dedicato, in cui possiamo selezionare la "*Communication Port*", ovvero la porta USB alla quale è collegato il cavo dell'Arduino, che possiamo visualizzare nell'apposito menu dedicato alla gestione dei dispositivi esterni presente sia su Windows che su Mac OS. Si stabiliscono anche i parametri per trasferire i bit, e questi parametri sono frutto di impostazioni personalizzate che permetto una facile sincronizzazione dei dati.

2. *Serial Receive*: in questo blocco si riceve l'informazione dalla porta COM selezionata, in questo caso riceve una serie di bit da Arduino, e ogni serie di bit è caratterizzata da un intestazione "*Header*" (nello specifico è rappresentata dalla lettera "S") che indica l'inizio della sequenza, a seguire si ha una serie di numeri che rappresentano multipli della distanza (mm), dell'angolo (°) e la qualità del raggio riflesso, che risulta massima quando vale circa 10, mentre diminuisce quando ci si allontana da questo numero sia per valori minori che maggiori. Questa serie di numeri viene organizzata in un vettore riga 1x3, e ogni riga è cosi organizzata:

3. *To Workspace*: In questo blocco viene ricevuto il vettore 1x3, contenente le informazioni che riguardano la distnza, l'angolo e la qualità di misura e lo invia al Workspace tramite la variabile denominata "*yout*".

Per realizzare una scansione bisogna eseguire eseguire un "*Run*" del programma "*Ricevitore_ dati.slx*" per un intervallo di tempo di almeno 5 secondi con una frequenza di acquisizione di 1000 Hz, cosi da assicurarsi un numero di punti sufficienti per ottenere una buona rilevazione (con questi parametri si ottengono 5000 punti). Al termine dei 5 secondi si ottiene una matrice 5000x3 che contiene le coordinate dei vari punti

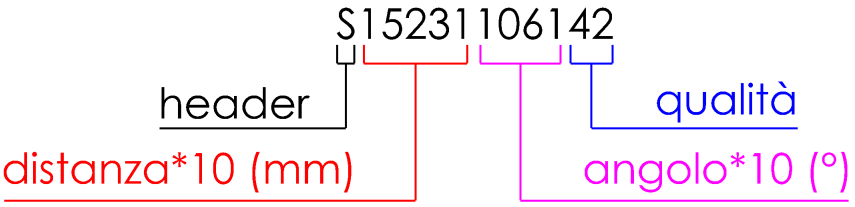


Figura 3.4.2: Organizzazione della stringa che esprime un punto rilevato.

rilevati. L'insieme di punti che ci vengono restituiti dopo la scansione non vanno a riprodurre in maniera del tutto fedele quello che effettivamente è presente nell'ambiente della scansione, questo probabilmente dovuto al setup di acquisizione, unitamente ad disturbi esterni. Quindi prima di applicare l'algoritmo che permette di ottenere le misure del gradino, bisogna eseguire una pulizia della nuvola di punti cosi da renderla più facilmente processabile, diminuendo i tempi richiesti, ed in contemporanea migliorare l'attendibilità dei parametri che si ottengono. Questa operazione preliminare viene eseguita da uno script Matlab nominato "*Manipolazione_ dati.m*", il quale esegue dapprima "selezione" dei punti di interesse dopodiché ricava le dimensioni di interesse. Di seguito viene riportato un esempio di acquisizione ed elaborazione dei dati che riguardano la scansione di un gradino riprodotto in laboratori tramite una pedana in legno.

3.4.1 Esempio

Il sensore Lidar viene collocato su un treppiede, e connesso al PC tramite la scheda Arduino. Il treppiede viene posto sulla pedana di legno, che ha le seguenti caratteristiche:

- Altezza $(h) = 90$ mm
- Spazio dopo il gradino $(e) = 2230$ mm

Il Lidar è collocato secondo le seguenti misure:

- Distanza dal gradino $(d) = 400$ mm
- Altezza del treppiede $(hlidar) = 770$ mm

Figura 3.4.3: Setup sperimentale per la rilevazione del gradino

Si passa alla descrizione dettagliata di tutte le fasi riportante nell'algoritmo di *Figura 3.4.4*.

1. Viene avviata la scansione la quale raccoglie punti per per 5 secondi, al termine dei quali viene creata una matrice 5000X3 contente le coordinate polari dei punti appena scansionati. Da questa matrice si prosegue alla creazione di 3 vettori rispettivamente uno per la distanza (mm), on per gli angoli(°)

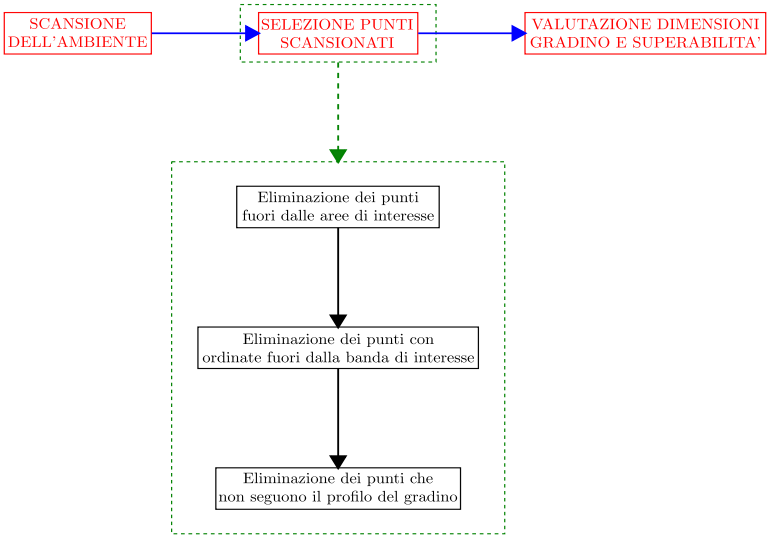


Figura 3.4.4: Operazioni di acquisizione, pulizia immagine e calcolo grandezze gradino

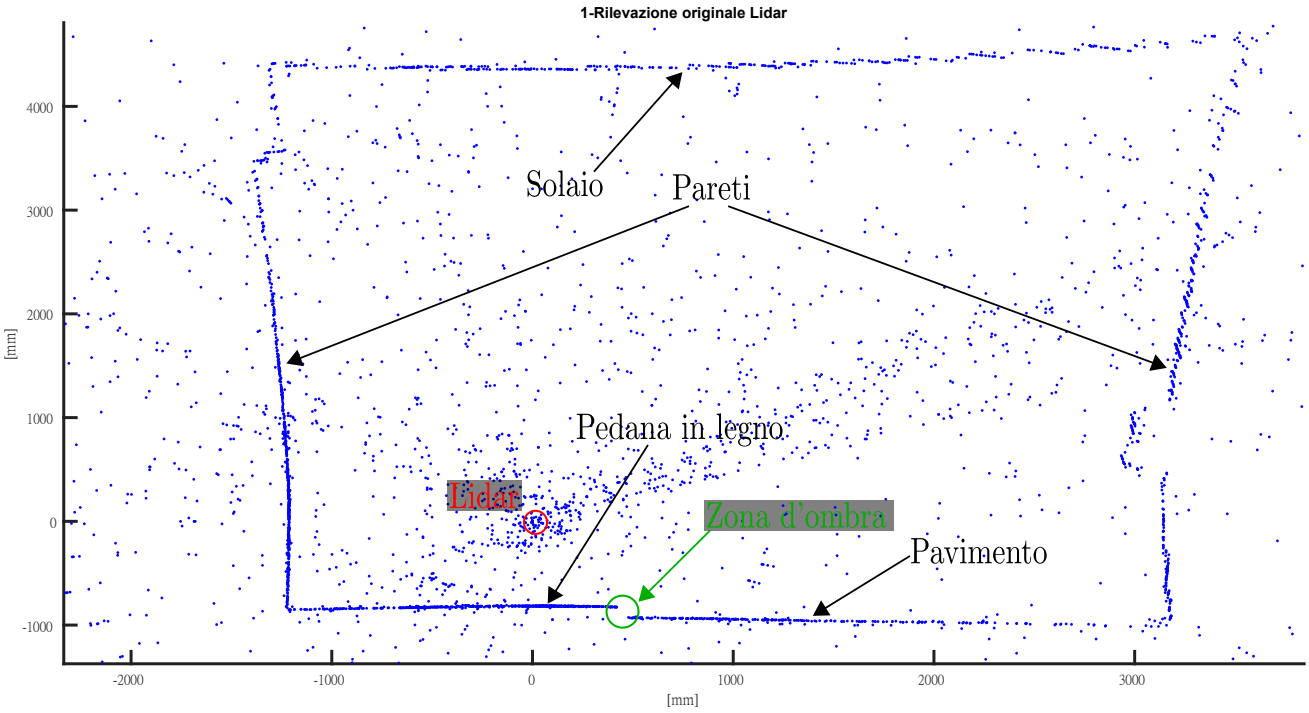


Figura 3.4.5: Acquisizione originale Lidar

e infine uno per la qualità. Successivamente si prosegue alla trasformazione da coordinate polari a cartesiane, da queste riusciamo quindi a rappresentare quello che è stato scansionato dal Lidar.

Si può notare che la *Figura 3.4.5*, riprodotta sulla base dei dati raccolti dal Lidar, è molto rumorosa, è presenta dei punti anche oltre le pareti e il pavimento, quindi va ripulita cosi da ottenere il solo profilo del gradino.

2. A questo punto si procede con una prima macro selezione dell'area che ci interessa analizzare, ovvero la porzione di spazio che si trova al di sopra del Lidar e quella posteriore non sono oggetto di interesse per cui possono essere tralasciate. Per fare questo si realizza una selezione dei punti basata sui l'imposizione di due limiti angolari, nella fattispecie $270° \div 355°$, e quindi si selezionano tutti i punti che rientrano in questi limiti, mentre gli altri vengono scartati. Il valore di questi limiti è stato scelto in modo tale

da riuscire a ritagliare l'area in cui è compreso il gradino senza avere problemi per distanze fino a 4 metri considerando un gradino con l'altezza massima superabile (240 mm).

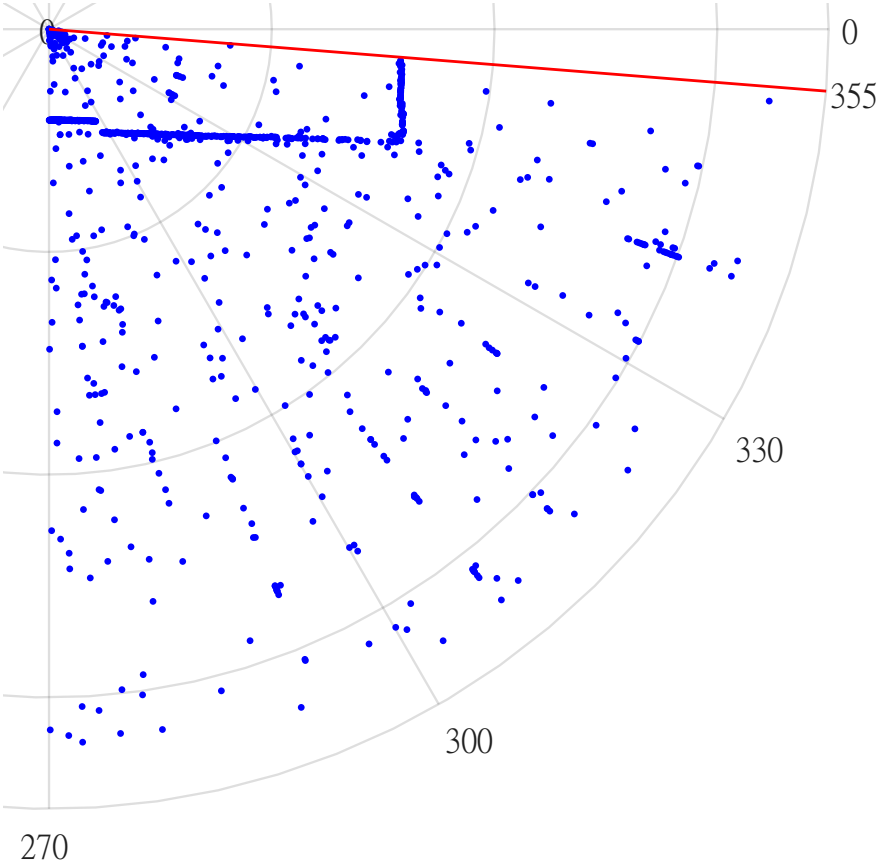


Figura 3.4.6: Eliminazione area di non interesse

3. Si procede adesso con l'eliminazione di tutti i punti che sono posizionati al di sotto del pavimento e quelli che si trovano molto al di sopra del piano del gradino. Per eliminare i punti che si trovano al di sotto del pavimento si è considerata l'altezza massima del gradino h_{max} che la carrozzina è in grado di superare, quindi si è sommato questo valore all'altezza di montaggio del lidar h_{lidar}, e si è fissato un limite inferiore. Per rimuovere i punti che si trovano invece al di sopra del piano del gradino si scelta una *soglia*, pari a 10 mm, che è stata sottratta al valore di h_{lidar}, andando a delimitare un limite superiore. Quindi questi due valori limite vanno a definire una banda di accettazione, per cui verranno considerati buoni solo i punti che si trovano all'interno di questa.

Figura 3.4.7: Eliminazione punti lontani dal profilo del gradino - Modello

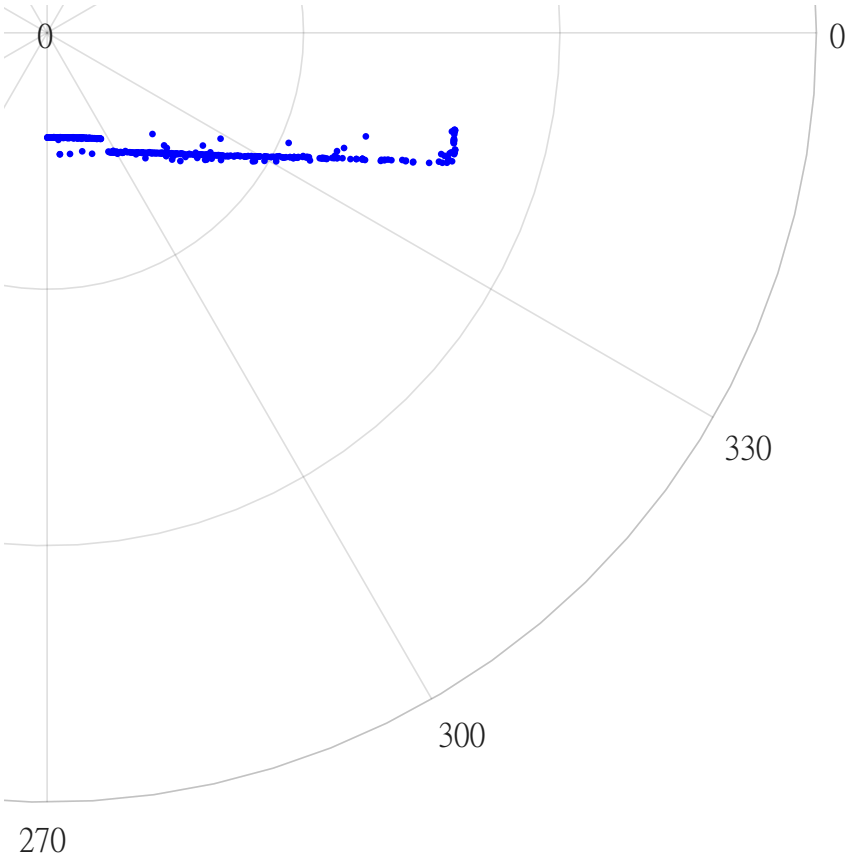


Figura 3.4.8: Eliminazione punti lontani dal profilo del gradino - Sperimentale

4. Per andare a rendere il profilo del gradino scansionato quanto più fedele a quello reale, si procede ad una ulteriore pulizia eseguita questa volta tramite una "*media mobile*". La media mobile viene fatta su 5 punti, ovvero considerando il punto in questione, si va a fare la media con i 2 punti immediatamente precedenti e con i 2 punti immediatamente successivi a quello considerato, e si confronta il risultato di tale media con la coordinata y del punto centrale. Se il punto in questo ha ordinata che si discosta dal valore medio per più di 10 mm allora il punto viene eliminato, viceversa il punto viene salvato. Questo procedimento viene eseguito per tutti i punti, cosi da ottenere un profilo che meglio approssima quello reale. Per avere una maggiore pulizia, il ciclo della media mobile viene lanciato 2 volte, ed il risultato che si ottiene è un profilo del gradino pulito e facilmente riconoscibile. La considerazione di usare 5 punti per la media mobile e di eseguire questa 2 volte per ogni punto deriva da considerazioni sperimentali che hanno dimostrato come questi parametri vadano ad ottimizzare i risultati che si ottengono.

Figura 3.4.9: Eliminazione punti tramite media mobile - Modello

Figura 3.4.10: Eliminazione punti tramite media mobile Sperimentale

5. Una volta eseguita la pulizia dei punti ed aver ottenuto un gradino ben distinguibile si possono valutare le grandezze di interesse nel modo in cui è stato spiegato nella sezione precedente.

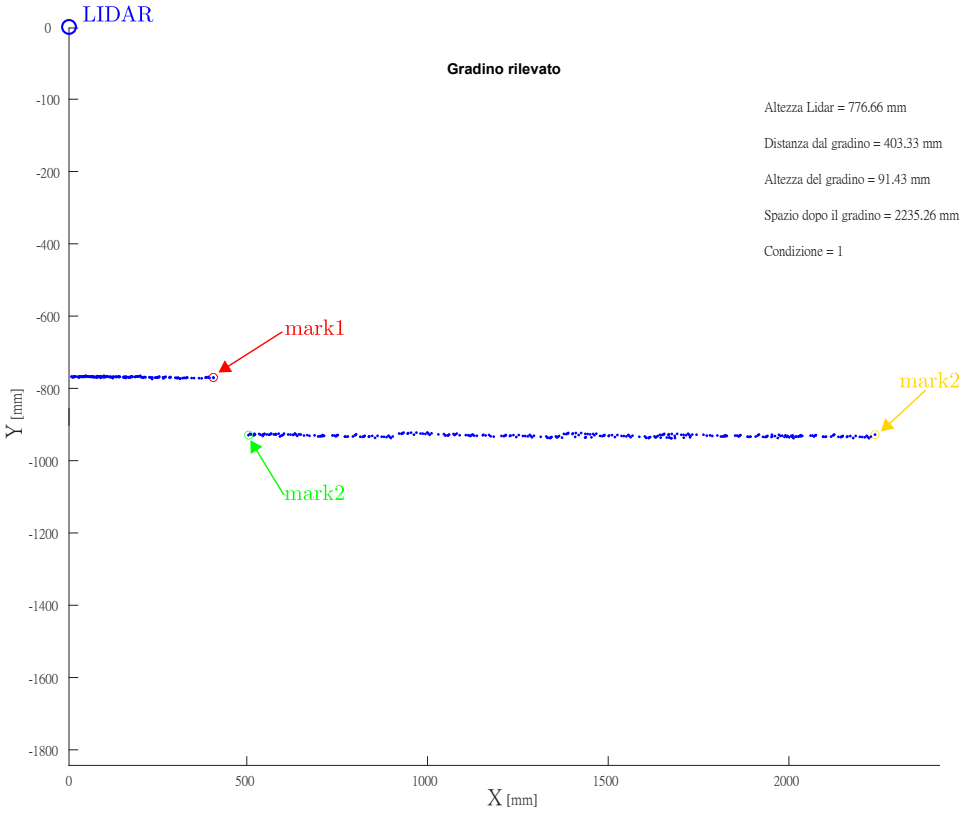


Figura 3.4.11: Gradino ottenuto alla fine della pulizia

In aggiunta alle dimensioni caratteristiche del gradino (d, h, e), viene valutato il valore assunto dalla variabile "*condizione*", la quale vale 0 se il gradino non è superabile, mentre vale 1 se risulta superabile. Le condizioni da soddisfare per far si che la sedia sia in grado di affrontare l'ostacolo sono:

- Altezza del gradino h minore dell'altezza massima superabile h_{max}: $h \leq h_{max}$(240 mm) ;
- Lo spazio presente dopo il gradino e sia maggiore dell'ingombro minimo della sedia e_{min}: $e \geq e_{min}$ (1400 mm).

Con questi valori di settaggio dell'esperimento vengono calcolati i seguenti dati:

Tabella 3.1: Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar

Misura (mm)	**Valori reali (mm)**	**Valori rilevati dal Lidar (mm)**	**Errore percentuale**
d	400	403,33	3,33 %
h	90	91,43	6 %
e	2230	2235,26	-11,32 %
Condizione	1	1	

Riportiamo i valori ottenuti con altre prove in cui venivano variati i parametri d, e ed h:

Tabella 3.2: Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar

Misura (mm)	**Valori reali (mm)**	**Valori rilevati dal Lidar (mm)**	**Errore percentuale**
PROVA 1			
d	500	524,63	4,93 %
h	68	71,5	5,15 %
e	2230	1980,34	-11,2 %
Condizione	1	1	
PROVA 2			
d	1000	1105	10,5 %
h	68	75,8	11,47 %
e	1500	1739,19	15,95 %
Condizione	1	1	
PROVA 3			
d	1250	1392,28	11,4 %
h	90	102,71	14,12 %
e	1300	1543,97	18,77 %
Condizione	0	1	

Tabella 3.3: Risultati ottenuti dall'acquisizione del Lidar

Misura (mm)	Valori reali (mm)	Valori rilevati dal Lidar (mm)	Errore percentuale
PROVA 4			
d	750	813,76,28	8,5 %
h	90	97,76	8,62 %
e	1500	1687,54	12,5 %
Condizione	1	1	

Dalla prove eseguite si possono fare le seguenti osservazioni:

1. Per distanze dal gradino maggiori a circa 1000 mm gli errori commessi nel valutare h ed e sono abbastanza grandi, ad esempio con una distanza di 1250 mm nonostante lo spazio dopo il gradino fosse minore a quello minimo richiesto la condizione di superamento ha dato comunque esito positivo. Si può quindi dedurre che per delle misurazioni attendibili, se la carrozzina è troppo lontana, conviene prima avvicinarsi al gradino e successivamente eseguire una seconda lettura.

2. Diminuendo la distanza dal gradino a circa 1000 mm, gli errori si sono ridotti ma di poco, e comunque non in misura tale da garantire una buona rilevazione delle misure del gradino.

3. Riducendo ulteriormente lo spazio tra lidar e gradino ad esempio a 750 o 500 mm i risultati ottenuti risultano essere accettabili, in quanto forniscono un buon grado di affidabilità nel ricavare le grandezze di interesse.

4. Se la misurazione avviene ad una distanza dal gradino minore a circa 1300, la scansione eseguita dal lidar fornisce dei valori sufficientemente attendibili riguardo la distanza d, anche se moderatamente maggiori a quelli reali.

5. Per avere una buona lettura dell'altezza h del gradino è necessario avere una distanza dal gradino minore a circa 750 mm, se maggiore il valore che si ottiene è poco fedele a quello reale, e si ha una sovrastima sempre maggiore.

6. Ottenere un valore dello spazio successivo al gradino e sufficientemente accurato è possibile solo per distanza dal gradino minori di 1000 mm. Per distanze maggiori si ha una forte sovrastima del valore.

Da queste considerazioni si può quindi valutare un valore soglia, per il quale se la distanza è minore di questo allora la misurazione è corretta e i valori ottenuti sono affidabili, se viceversa la distanza è maggiore del valore soglia allora è necessario avvicinarsi al gradino finché tale distanza non sia tale da garantire una buona precisione della scansione.

3.5 Acquisizione dati tramite Speedgoat

Si passa adesso al collegamento del lidar con lo Speedgoat, per fare ciò è stato indispensabile apportare dei cambiamenti al modello Simulink che riceve i dati dal sensore, in modo che lo Speedgoat riceva direttamente i dati inviati dal Lidar. Si riporta allora il modello modificato ad hoc per far comunicare lidar e speedgoat. In questa variante del modello simulink "*Ricevitore_ dati.slx*", vengono impiegati i seguenti blocchi:

- *Baseboard Serial F*: aprendo questo blocco appare una finestra in cui è possibile scegliere la porta a cui è collegato il Lidar (COM1), e modificare le impostazioni che riguardano il trasferimento delle informazioni, ovvero del trasferimento dei bit, dal Lidar a Speedgoat.

- *FIFO bin read 2*: entrando in questo blocco si inserisce l'informazione utile alla lettura della sequenza di bit inviati dal lidar che sono composti da 7 byte, il primo byte contiene l'intestazione del messaggio

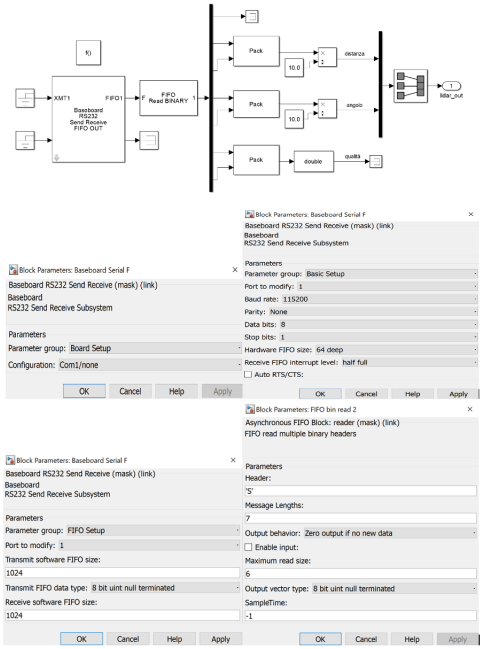


Figura 3.5.1: Modello Simulink modificato per Speedgoat

("*Header*") che in questo caso è la lettera "S", poi abbiamo altri 6 byte, dove 2 contengono l'informazione della distanza, 2 quella dell'angolo e altri due quella relativa alla qualità di misura. Nella sezione "*Maximum read size*" si inserisce in numero di byte da leggere, in questo caso sono 6 perché sono quelli che contengono le informazioni di interesse.

- Le informazioni di distanza e angolo vengono poi unite in un unico vettore riga 1x2 (*lidar_ out*), dove su ogni riga si hanno le coordinate polari di ogni singolo punto scansionato dal Lidar.

Una ulteriore modifica che si è resa indispensabile per permettere la scansione del gradino tramite Speedgoat, è stata quella di tradurre il programma matlab "*Manipolazione_ dati.m*" in una funzione di matlab denominata "*ricerca_ gradino_ discesa*". Si mostra di seguito lo schema logico relativo alla funzione appena citata.

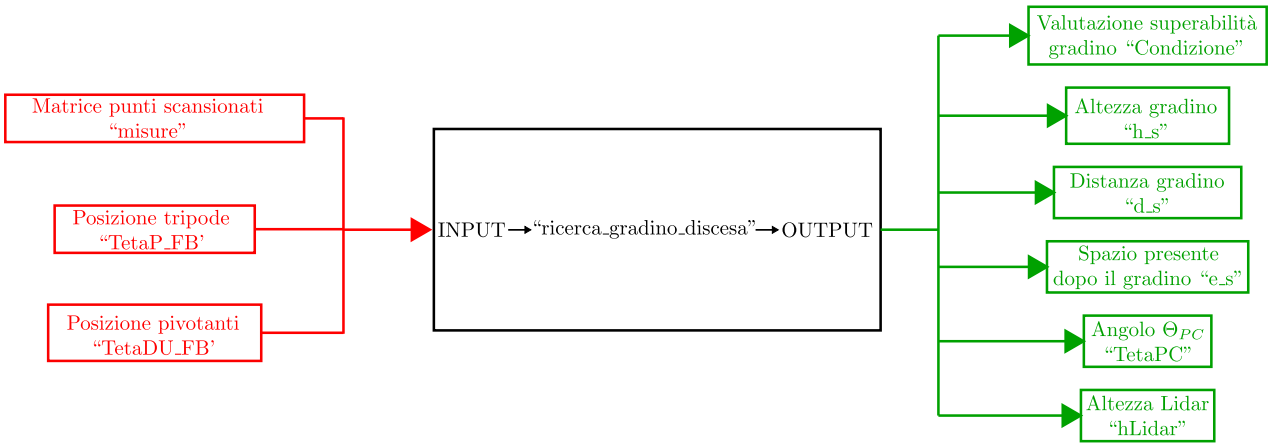


Figura 3.5.2: Schema logico funzione "*ricerca_ gradino_ discesa*"

Si è visto che quando si eseguivano le scansioni con il Lidar collegato al PC, il dato relativo all'altezza di montaggio, utilizzato per la selezione dei punti realmente utili al calcolo delle dimensioni del gradino, era noto e fornito in input al programma. Nel caso che si sta trattando adesso, ovvero acquisizione tramite Speedgoat il Lidar è collegato alla carrozzina, tramite un apposito supporto, e a seconda della configurazione che la carrozzina assume, il Lidar può variare la sua altezza e l'inclinazione rispetto all'orizzontale, in funzione degli angoli θ_P e θ_{DU}. Per rimediare a queste problematiche sono state implementate delle righe di codice, che in funzione degli angoli θ_P e θ_{DU} noti in quanto forniti dai sensori presenti a bordo della carrozzina, permettono di valutare l'altezza del lidar rispetto al piano di appoggio delle ruote e l'inclinazione che questo ha rispetto allo stesso piano.

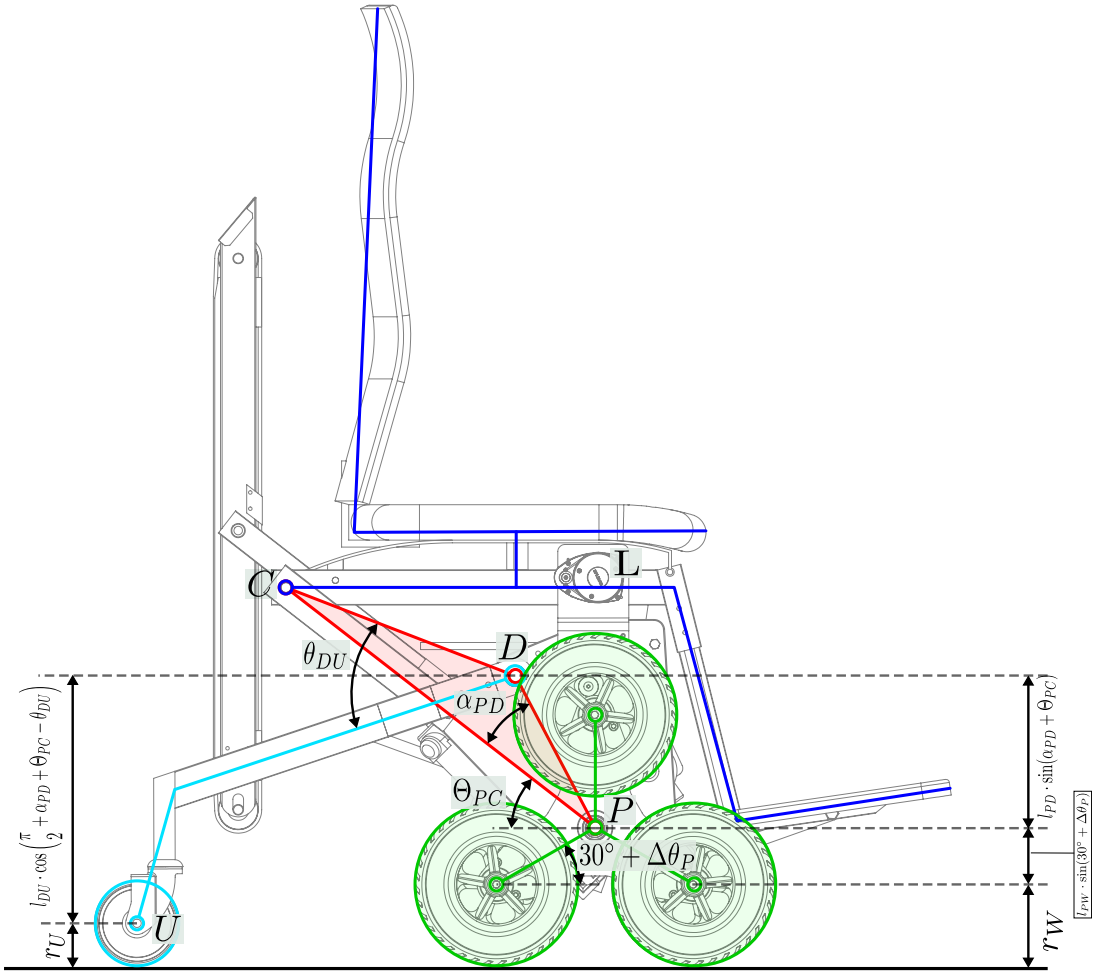


Figura 3.5.3: Schema per la valutazione dell'angolo assoluto Θ_{PC}

Con riferimento alla *Figura 3.5.3* possiamo scrivere la seguente equazione:

$$r_u + l_{DU}\ cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha_{PD} + \Theta_{PC} - \theta_{DU}\right) = r_W + l_{PD}\ sin\left(\alpha_{PD} + \Theta_{PC}\right) + l_{PW}\ sin\left(30 + \Delta\theta_P\right) \tag{3.1}$$

L'unica incognita di questa equazione è l'angolo Θ_{PC}, che si può quindi ricavare.

Ora che si conosce l'angolo Θ_{PC}, e conoscendo la distanza tra il punto P (centro del tripode) e il punto L (centro del Lidar) indicata con l_{PL}, e l'angolo che questo segmento crea con il segmento PD, indicato con α_{PL}, si può valutare l'altezza di montaggio del Lidar dal pavimento h_{lidar}.

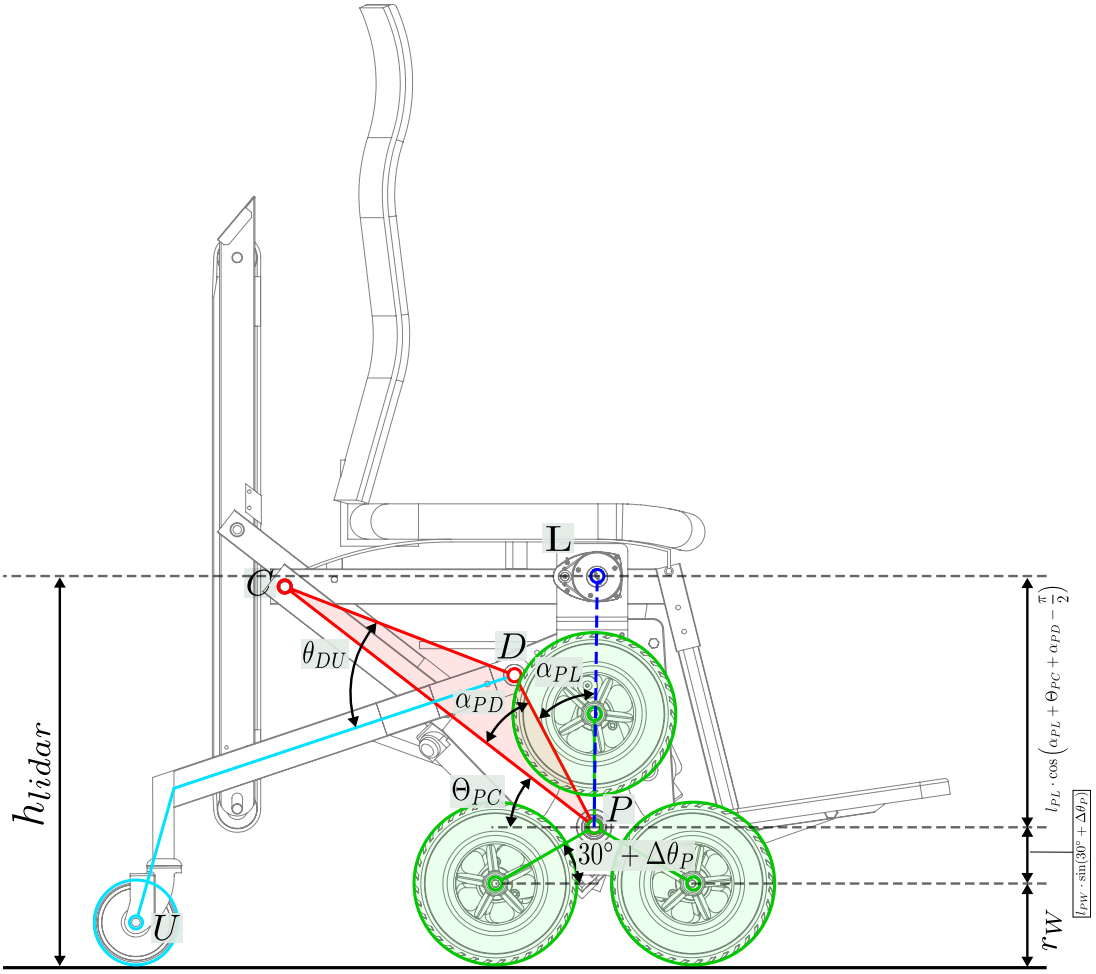


Figura 3.5.4: Schema per la valutazione dell'altezza di montaggio del Lidar h_{lidar}

Quindi si ottiene la seguente espressione:

$$hlidar = r_W + l_{PL}\ cos\left(\alpha_{PL} + \Theta_{PC} + \alpha_{PD} - \frac{\pi}{2}\right) + l_{PW}\ sin\,(30 + \Delta\theta_P) \tag{3.2}$$

Quando la sedia si trova nella modalità di marcia in piano, l'angolo Θ_{PC} assume il suo valore di default che viene indicato con $\Theta_{PC,0} = 38°$, e si ha che l'asse delle ascisse del sistema di riferimento del Lidar è parallelo al pavimento e la scansione del gradino avviene in modo corretto. Se la sedia assume una configurazione diversa da quella di marcia in piano, allora l'angolo Θ_{PC} può assumere un valore diverso da 38°, quindi la scansione avverrà con un offset pari alla differenza tra Θ_{PC} e $\Theta_{PC,0}$. Per correggere questo errore, nello script tutti gli angoli dei punti rilevati dal Lidar vengono corretti della stessa differenza. Apportando queste variazioni allo script si consente al Lidar di eseguire la scansione del gradino qualsiasi sia la configurazione assunta dalla carrozzina, evitando cosi che si debba disporre in una configurazione predefinita prima di eseguire la scansione.

3.5.1 Algoritmo di scansione

Si va ora ad analizzare lo schema che viene seguito quando si procede alla scansione del gradino, e quali sono i possibili scenari che posso presentarsi di fronte alla carrozzina. Le fasi principali sono:

a. *Attesa segnale di inizio scansione*: la carrozzina è ferma di fronte al gradino, ed attende che venga dato un input che avvii la scansione del gradino.

b. *Scansione gradino*: dopo che è stato inviato il segnale, viene avviata la scansione del gradino, e viene generata la matrice contente le coordinate dei punti rilevati.

c. *Valutazione gradino*: dai punti rilevati, dopo aver subito una selezione, vengono stimate le grandezze di caratteristiche di interesse, ovvero d, h, e, e da queste si procede alla valutazione della condizione di superabilità del gradino.

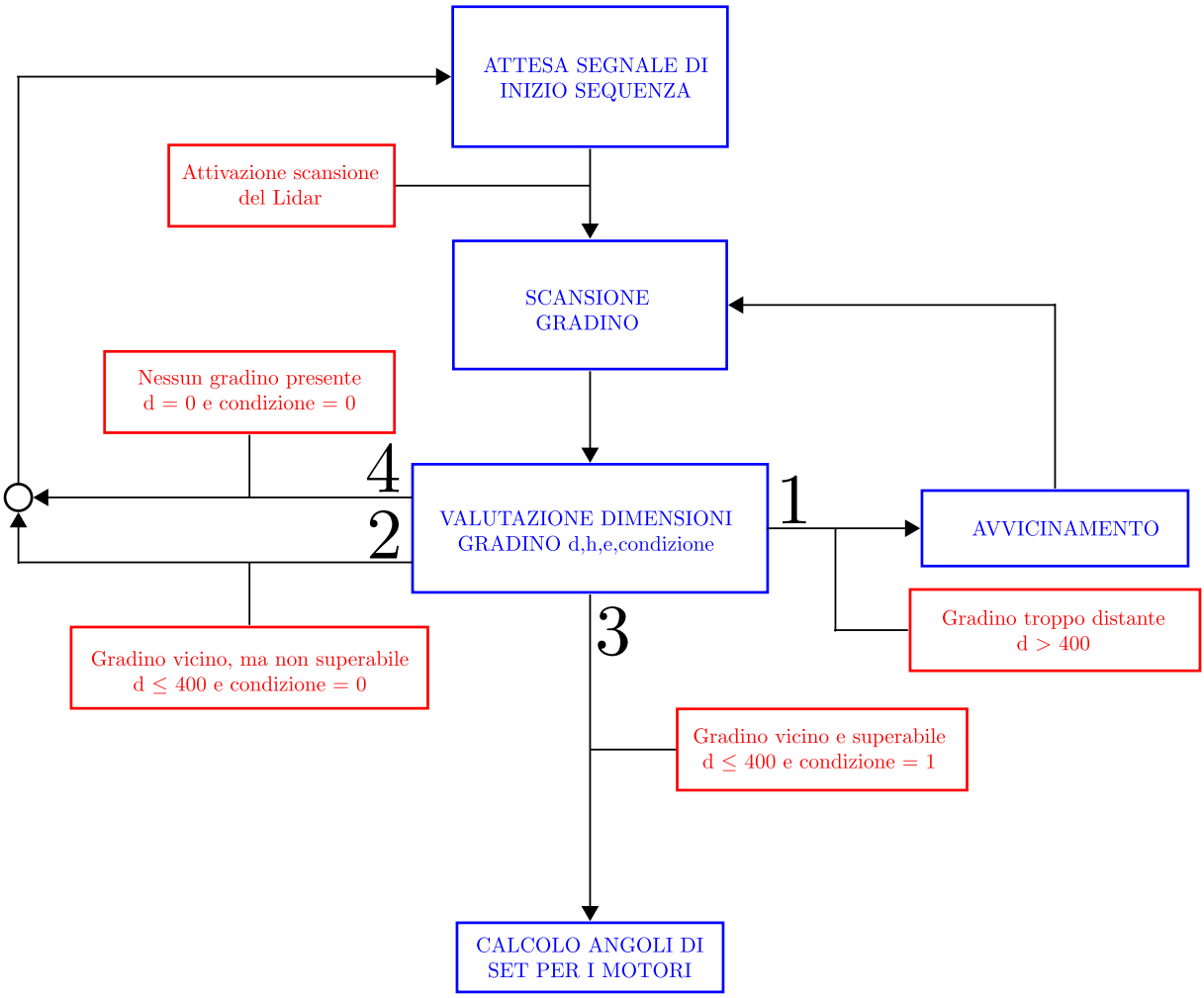


Figura 3.5.5: Scansione e algoritmo decisionale

Dopo quest'ultima fase si possono presentare diverse situazioni, che analizziamo qui di seguito:

1. Se viene restituito in output un valore $d > 400$ vuol dire che la carrozzina si trova troppo distante dal gradino per poter fornire delle misure accurate delle grandezze di interesse e di conseguenza sulla condizione di superabilità. Allora avviene una avanzamento verso il gradino finché la condizione di distanza minima per una buona scansione non viene soddisfatta. A questo punto avviene una seconda scansione dalla quale vengono ricavate le misure del gradino e a seguire la condizione si superabilità dello stesso.

2. Se la condizione di distanza è rispettata, cioè $d < 400$, ma la variabile *condizione*=0, vuol dire che il gradino non è superabile dalla carrozzina, quindi la sequenza si arresta e torna nella condizione di attesa.

3. Se entrambe le condizioni sono verificate, ovvero $d < 400$ e *condizione*=1, allora si può proseguire con la valutazione dei comandi da fornire agli attuatori e poi alla vera e propria sequenza di discesa del gradino.

4. Abbiamo un ultimo scenario possibile, vale a dire d =0 e *condizione*=0, questa situazione indica che il Lidar non ha scansionato alcun gradino di fronte alla carrozzina, quindi la sequenza si arresta e ritorna nella fase di attesa.

3.6 Installazione Lidar

Per collegare il sensore Lidar sulla carrozzina si è scelto come telaio di fissaggio il sotto-telaio PC, dove tramite una staffa appositamente realizzata, si collega il sensore alla carrozzina, con la relativa scheda arduino. La staffa ha la forma riportata nell'immagine sottostante, su una faccia della staffa è stato praticato un foro del diametro di 12 mm in modo da collegare questa tramite un golfare già presente sulla carrozzina. Mentre sulla faccia opposta sono presenti delle asole che permettono la regolazione dell'inclinazione del Lidar, e un foro ottagonale che permette il passaggio dei vari cavi di collegamento tra Lidar e Speedgoat. Questa staffa è stata realizzata tramite stampa 3D ed è quindi composta da materiale polimerico.

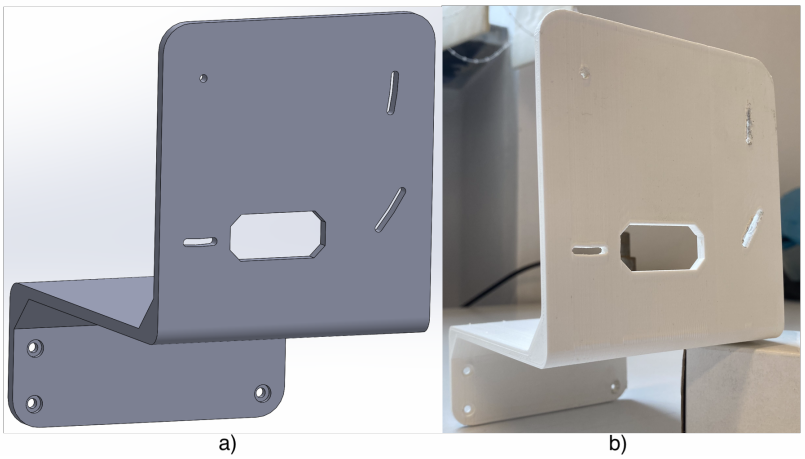


Figura 3.6.1: Staffa: a) Modello 3D; b) Realizzata tramite stampa 3D

Figura 3.6.2: Lidar montato sulla carrozzina

3.7 Sensori di soglia

Si è analizzata la necessità di utilizzare un sensore lidar per la misurazione delle grandezze che definiscono il gradino e che serviranno poi per realizzazione della sequenza automatica. Oltre a questo primo dispositivo, sono stati introdotti degli ulteriori sensori di distanza, montanti sulla parte anteriore della carrozzina, che vanno a misurare la distanza tra il pavimento e la posizione di montaggio di questi ultimi. I sensori in questione sono dei trasduttori ottici riflessivi modello "SHARP GP2Y0A21YK0F", di seguito viene mostrata la posizione di montaggio e le caratteristiche del sensore.

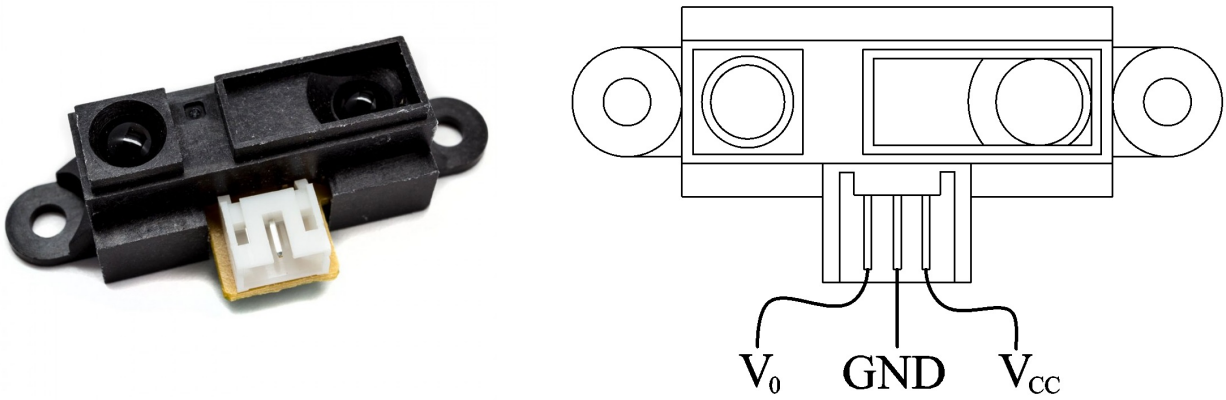


Figura 3.7.1: Trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F"

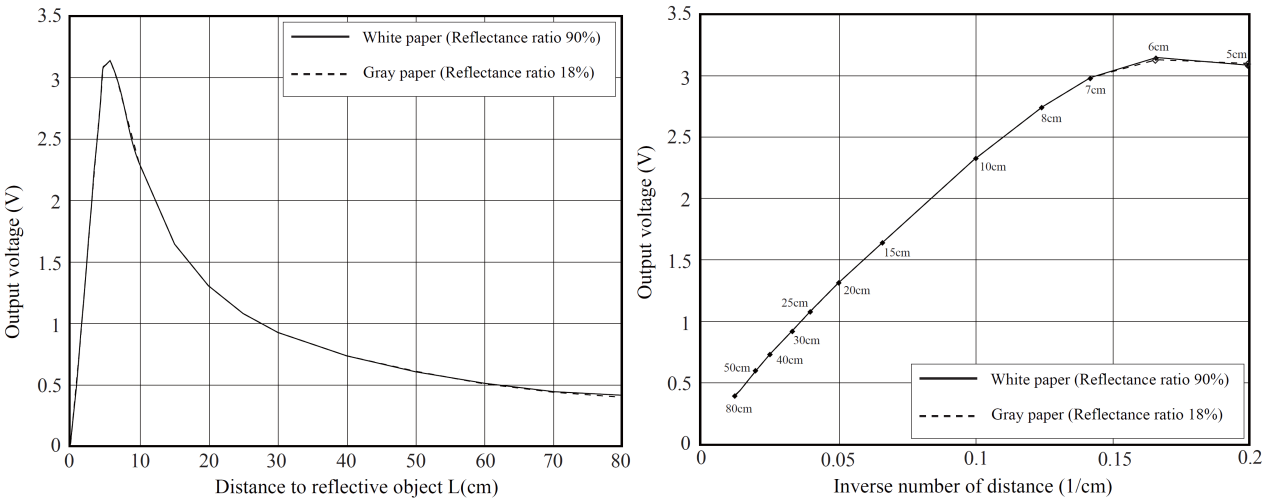


Figura 3.7.2: Caratteristica trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F"

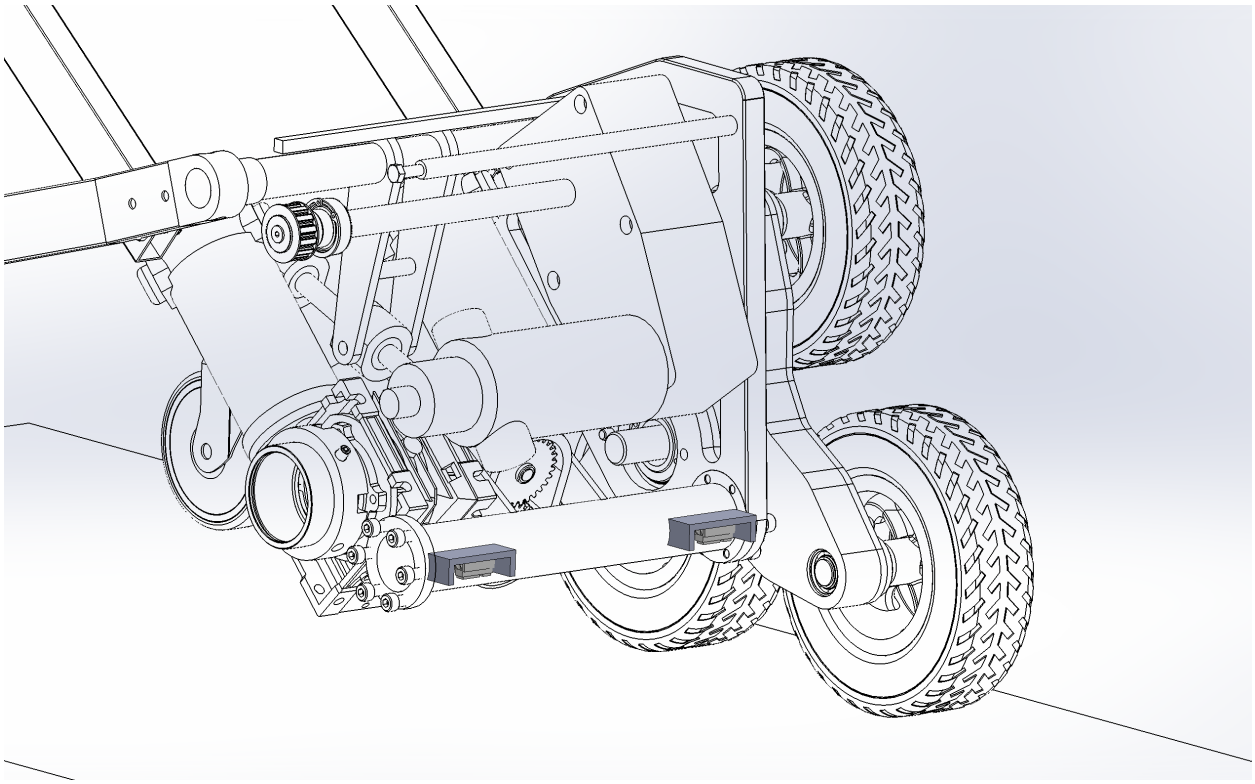


Figura 3.7.3: Montaggio dei trasduttore "SHARP GP2Y0A21YK0F" sulla carrozzina

Questo sistema di misura viene utilizzato per due scopi principali:

- avere una sicurezza sulla posizione relativa tra il bordo del gradino e la carrozzina, in modo da evitare che questa possa andare troppo in avanti causando un superamento non sicuro dell'ostacolo;
- avere in contemporanea i segnali provenienti dai due sensori permette di capire se la carrozzina è allineata o meno con il gradino, e nel caso intervenire.

4 Modalità automatica di Discesa gradino

In questo capitolo si introduce la logica di funzionamento della modalità automatica che consente la discesa di un singolo gradino. Per la realizzazione di questo algoritmo è stato utilizzato il software *Simulink* il quale permette la modellazione e simulazione di sistemi dinamici, in particolare si è utilizzato uno strumento logico di controllo, denominato "*Stateflow*", che consente di modellare una logica decisionale e sequenziale attraverso dei diagrammi di transizione di stato.

4.1 Modello Simulink - Modalità di Utilizzo e gestione segnali

Una volta lanciato il programma si passa in un primo ambiente Simulink, in cui sono collocati i segnali di Input ed Output, le modalità di funzionamento della carrozzina. Nello specifico possiamo ritrovare i seguenti blocchi, cosi organizzati:

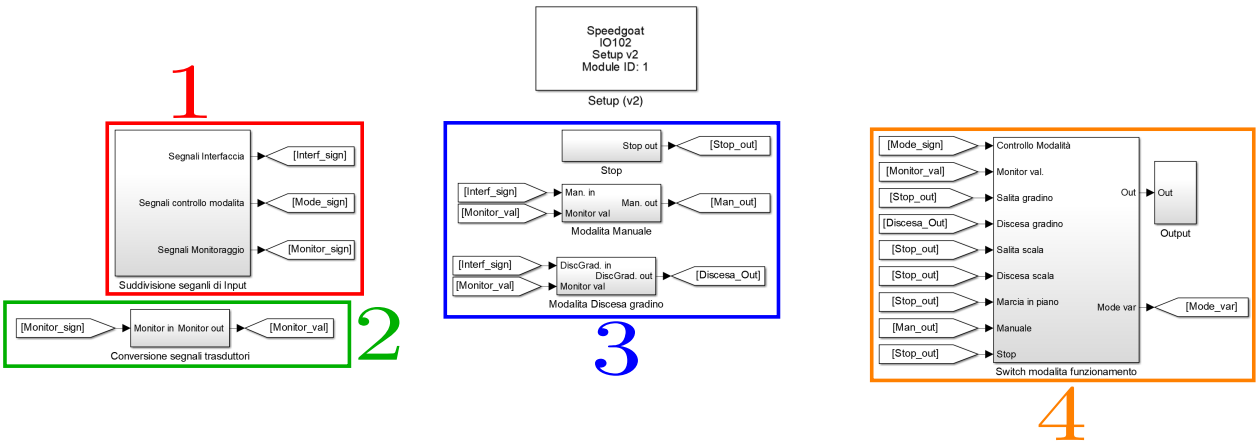


Figura 4.1.1: Modello Simulink - Ambiente primario

1. *Suddivisione segnali di input*: in questo blocco vengono suddivisi i segnali i segnali ricevuti dalle varie interfacce e trasduttori, in particolare vengono generati 3 diversi blocchi ognuno dei quali contiene informazioni provenienti da diverse fonti. I 3 blocchi di cui si compone questa prima parte sono i seguenti:
   a. *Interf_ sign*: in questo primo blocco vengono inviati tutti i segnali generati dall'interfaccia utente;
   b. *Mode_ sign*: nel secondo blocco vengono sistemati i segnali ancora originati dall'interfaccia utente ma che hanno il solo scopo di permettere la scelta, da parte dell'utente, di utilizzare una delle diversa possibilità di controllo della carrozzina;
   c. *Monitor_ sign*: nell'ultimo blocco vengono raccolti i segnali che derivano dai vari trasduttori presenti sulla carrozzina. Questi saranno poi fondamentali per la corretta realizzazione dei sistemi di controllo per i diversi attuatori utilizzati dalla carrozzina per la movimentazione dei vari organi.
2. *Conversione segnali dei trasduttori*: nel blocco presente nell'area evidenziata in rosso si procede alla conversione dei segnali generati dai trasduttori, si tratta quindi di grandezze elettriche (V), nelle relative

grandezze fisiche. Una volta terminate tutte le conversioni del caso, i dati derivati da queste vengono salvati nel blocco in uscita (a destra).

3. *Switch modalità di funzionamento*: in questa unità ci si occupa della riorganizzazione dei segnali destinati agli attuatori, che vengono generati dalle specifiche modalità di funzionamento. La scelta del blocco da utilizzare per fornire i comandi ai motori avviene in base alla scelta fatta dell'utente, tramite la ghiera presenta sul telecomando, con quale modalità controllare la carrozzina.Per scegliere quale vettore dovrà fornire i segnali ai motori, si fa riferimento alla posizione dello switch presente sul telecomando, il cui segnale viene salvato nel blocco *Mode_ sign*.

4. *Modalità di funzionamento selezionabili*: in questo "macro-blocco" troviamo più blocchi singoli ognuno dei quali si occupa di gestire un'unica modalità di funzionamento. I singoli blocchi ricevono in ingresso i segnali provenienti dai trasduttori, già convertiti in grandezze fisiche, ed i segnali di selezione della modalità di funzionamento scelta. In uscita si trova il blocco in cui sono contenuti tutti i segnali di set da inviare ai singoli attuatori. I segnali di output sono diversi a seconda della modalità selezionata, e le alternative di funzionamento previste sono:

    a. *Salita gradino*: questa modalità consente, in maniera del tutto autonoma, di superare il singolo gradino. In uscita da questo blocco troviamo il vettore *SalGrad_ out* contenente i segnali per gli attuatori che permettono di superare il gradino, il valore dei segnali dipende dalla geometria del gradino.
    b. *Discesa gradino*: permette la discesa dal singolo gradino in modo automatico;
    c. *Salita scala*: consente alla carrozzina di salire un'intera rampa di scale automaticamente;
    d. *Discesa scala*: rende possibile la discesa di una rampa di scale totalmente in autonomia;
    e. *Marcia in piano*: selezionando questa modalità i gradi di libertà della carrozzina si riconfigurano per la marcia in piano con un solo pneumatico a contatto, e il controllo della carrozzina è affidato all'utente, ma questo può controllare la sola traslazione della carrozzina mentre gli altri gradi di libertà rimangono fissi.
    f. *Manuale*: inserendo questa modalità tutti i gradi di libertà e le scelte vengono gestite dall'utente. Il vettore *Man_ out* contiene i comandi da inviare agli attuatori.
    g. *Stop*: in caso di emergenza viene attivata questa modalità tramite il pulsante rosso presente sul telecomando, quando attivata, questa modalità interrompe tutti i segnali inviati agli attuatori e la carrozzina si blocca nella configurazione che ha in quell'istante. Questa modalità elabora in output un vettore, *Stop_ out*, che contiene i segnali che bloccano gli azionamenti.

Nel paragrafo che segue entreremo nel dettaglio della modalità Modalità discesa gradino.

4.2 Modalità discesa gradino - Costituzione

All'interno del blocco *Modalità discesa gradino* si trovano diverse macro aree, ognuna delle quali ha una sua ben precisa funzione.

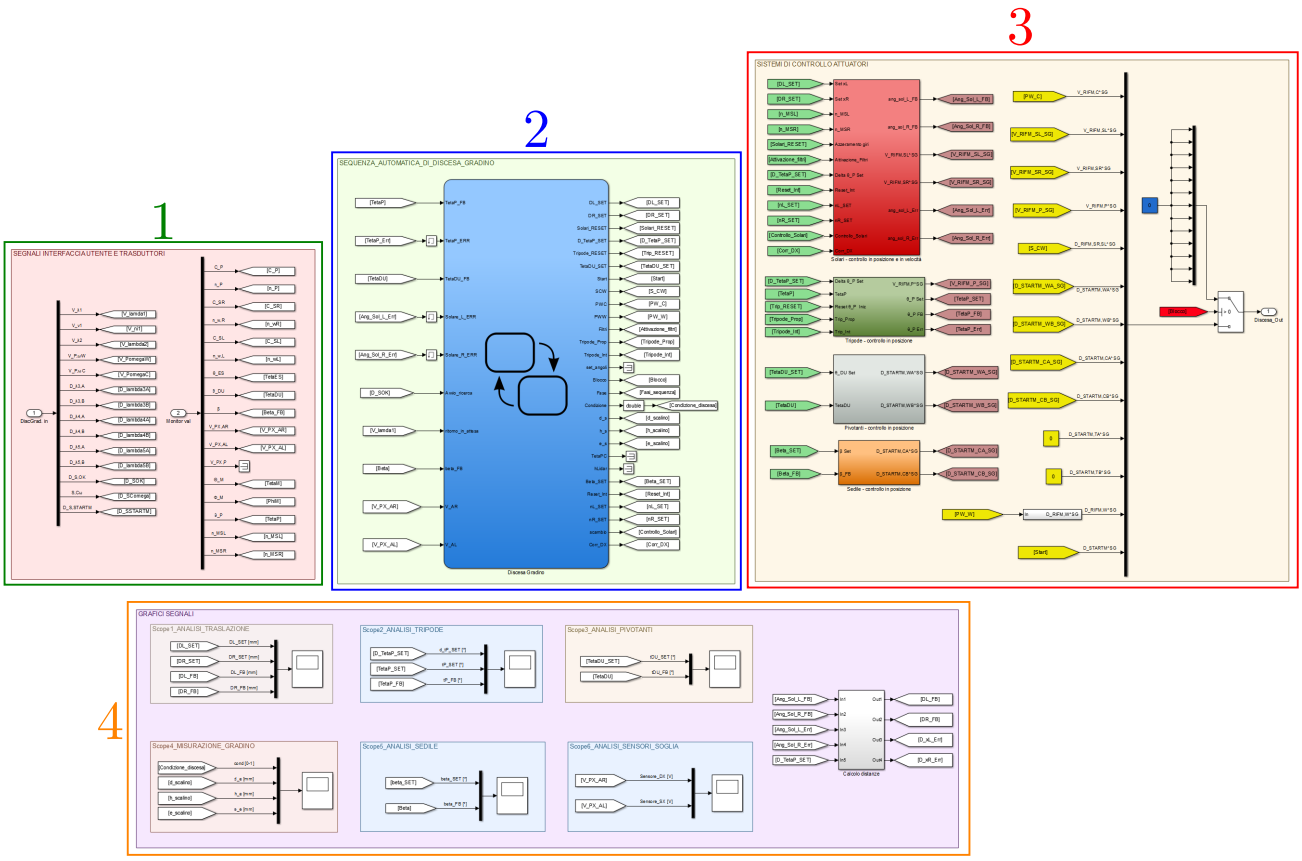


Figura 4.2.1: Comandi interfaccia utente e feedback

Si esegue adesso una descrizione delle singole unità che vanno a comporre questa modalità di funzionamento:

1. *Segnali interfaccia utente e trasduttori*: in questa macro area vengono gestiti i singoli segnali che provengono dall'interfaccia utente e dai trasduttori. In ogni blocco è quindi contenuta l'informazione proveniente dal da una di queste fonti, e questi vengono utilizzati o come segnali di comando oppure come segnali di feedback. Ad ogni singolo segnale è stato assegnato un blocco "*Goto*", ognuno dei quali ha una sua etichetta che richiama alla grandezza misurata o al segnale di comando, e questi blocchi inviano il segnale al rispettivo blocco "*From*" avente la medesima etichetta.

2. *Sequenza automatica di discesa gradino*: in questa sezione troviamo la "*Macchina a stati*" che governa la successione di operazioni richieste per la sequenza di discesa. In ingresso alla macchina a stati (parte sinistra), si hanno varie tipologie di segnali che possono provenire da:

   - Trasduttori;
   - Interfaccia utente;
   - Sistemi di controllo

   Le informazioni in uscita sono invece dei segnali destinati ai sistemi di controllo oppure agli "*Scope*" che permettono di visualizzare l'andamento del segnale nel domino del tempo.

3. *Sistemi di controllo attuatori*: nel blocco evidenziato in rosso sono collocati i sistemi di controllo che gestiscono tutti gli attuatori montati sulla carrozzina. Il sistema di controllo riceve le variabili di set e i feedback, ed in base ai valori di queste grandezze produce dei segnali di riferimento che saranno poi destinati ai motori.

4. *Grafici Segnali*: in questa regione sono stati inseriti dei blocchi chiamati "*Scope*", i quali permettono di tracciare l'andamento del segnale in ingresso in funzione del tempo. Il plot di questi segnali è utile per accertare che le varie sequenze siano eseguite nel modo corretto, e vengono in aiuto nel momento in cui le sequenze presentano dei problemi di esecuzione.

Questa soluzione articolata realizzata in Simulink, è figlia di uno schema semplice ma intuitivo che spiega in maniera concisa e diretta quanto visto sopra. In ingresso alla macchina a stati si hanno i seguenti segnali:

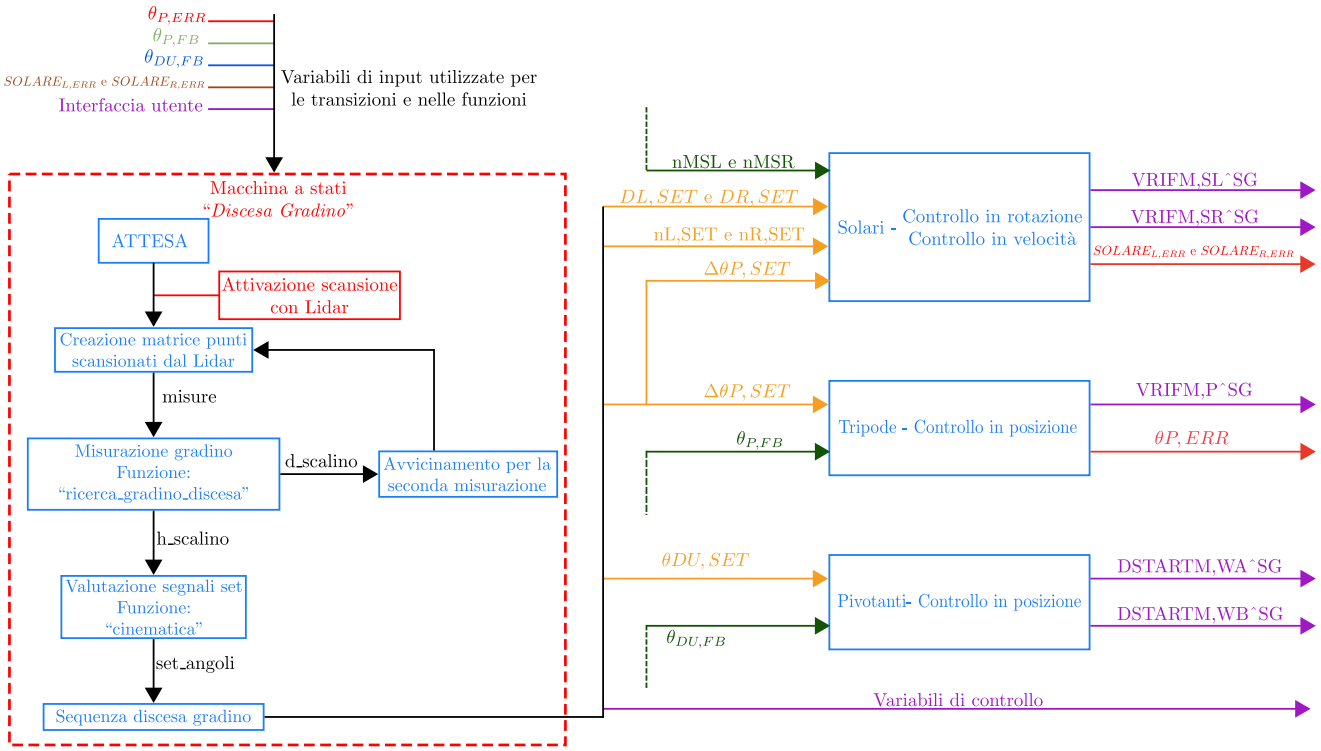


Figura 4.2.2: Schema logico modalità discesa gradino

- I feedback inviati dai sensori;
- Gli errori che vengono valutati dai sistemi di controllo;
- I segnali inviati dall'utente tramite l'interfaccia.

Tutti questi segnali sono fondamentali per il corretto svolgimento della sequenza automatica di discesa gradino, in quanto oltre ad avviare la sequenza stessa, la fanno proseguire in maniera corretta permettendo la successione da una fase all'altra solo se sono rispettate le condizioni imposte. All'uscita dello stateflow si hanno i segnali di set destinati ai sistemi di controllo degli azionamenti e segnali di controllo per il processo automatico.

4.3 Modalità discesa gradino - Segnali Interfaccia utente e Trasduttori

In questa area vengono gestiti i segnali che provengono dall'interfaccia utente e dai trasduttori, così da realizzare un elenco che tornerà utile in base alle esigenze, e le singole variabili verranno richiamate e utilizzate nei vari sistemi di controllo oppure per soddisfare le condizioni imposte dalle transizioni all'interno della macchina a stati.

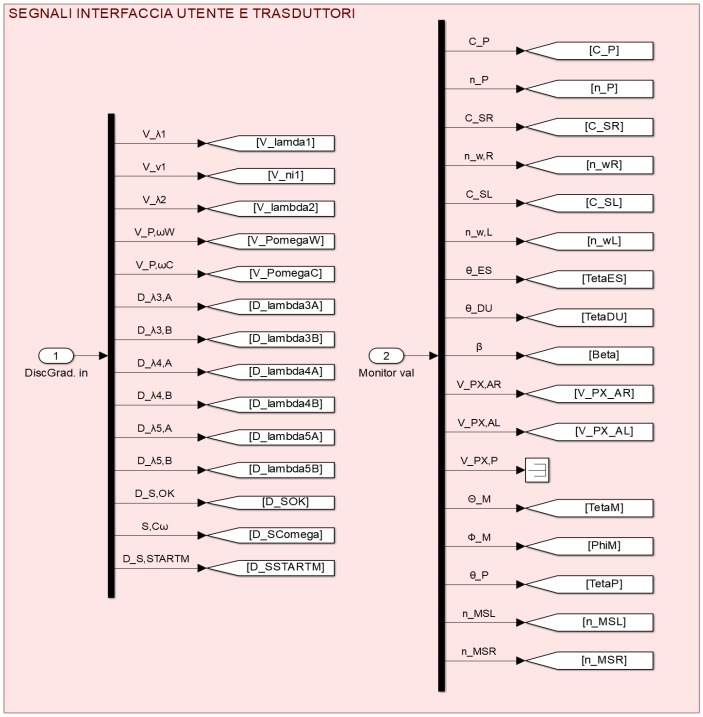


Figura 4.3.1: Comandi interfaccia utente e feedback

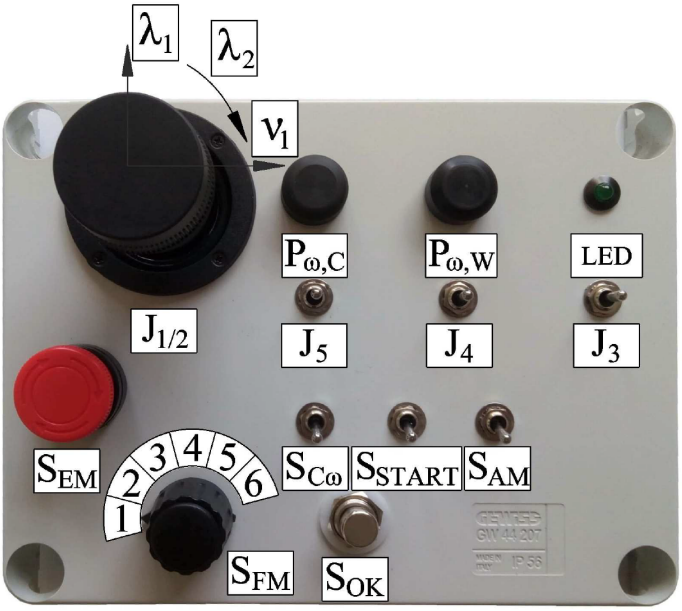


Figura 4.3.2: Interfaccia utente (telecomando)

Tabella 4.1: Elementi del vettore *Interf_sign*

Simbolo	**Descrizione**
$V_{\lambda 1}$	Riferimento azionamento ruota solare destra da interfaccia utente (±10 V).
$V_{\nu 1}$	Riferimento azionamento ruota solare sinistra da interfaccia utente (±10 V).
$V_{\lambda 2}$	Riferimento azionamento tripodi da interfaccia utente (±10 V).
$V_{P,\omega W}$	Riferimento di velocità azionamento ruote pivotanti da interfaccia utente (0 ÷ 10 V).
$V_{P,\omega C}$	Riferimento di velocità azionamento sedile da interfaccia utente (0 ÷ 10 V).
$V_{\lambda 3,A}$	Segnale avvio estensione attuatore cingolo da interfaccia utente (0/5 V).
$V_{\lambda 3,B}$	Segnale avvio accorciamento attuatore cingolo da interfaccia utente (0/5 V).
$V_{\lambda 4,A}$	Segnale avvio abbassamento ruote pivotanti da interfaccia utente (0/5 V).
$V_{\lambda 4,B}$	Segnale avvio sollevamento ruote pivotanti da interfaccia utente (0/5 V).
$V_{\lambda 5,A}$	Segnale avvio abbassamento sedile da interfaccia utente (0/5 V).
$V_{\lambda 5,B}$	Segnale avvio sollevamento sedile da interfaccia utente (0/5 V).
$D_{S,OK}$	Segnale avvio scansione Lidar da interfaccia utente (0/1 V).
$D_{S,C\omega}$	Segnale commutazione controllo coppia/velocità ruote solari da interfaccia utente (0/5 V).
$D_{S,STARTM}$	Segnale abilitazione azionamenti unità di locomozione e sblocco dei freni da interfaccia utente (0/5 V).

Tabella 4.2: Descrizione comandi interfaccia utente

Simbolo	**Descrizione**
C_P	Coppia applicata ai tripodi (Nm).
n_P	Velocità di rotazione dei tripodi (rpm).
C_{SR}	Coppia applicata alla ruota solare destra (Nm).
$n_{w,R}$	Velocità di rotazione delle ruote di destra (rpm).
C_{SL}	Coppia applicata alla ruota solare sinistra (Nm).
$n_{w,L}$	Velocità di rotazione delle ruote di sinistra (rpm).
θ_{ES}_FB	Angolo del cingolo (°).
β_FB	Angolo della seduta (°).
$V_{PX,AR}$	Segnale sensore di soglia anteriore destro (V).
$V_{PX,AL}$	Segnale sensore di soglia anteriore sinistro (V).
$V_{PX,P}$	Segnale sensore di soglia posteriore (V).
Θ_M	Angolo assoluto del telaio PC (°).
ϕ_M	Angolo di rollio della seduta (°).
$\theta_P_FB_1$	Angolo del tripode compreso tra 0 e 120 (°).
n_{MSL}	Velocità di rotazione motore della ruota solare sinistra (rpm).
n_{MSR}	Velocità di rotazione motore della ruota solare destra (rpm).

$J_{1/2}$	λ_1	↑	$V_{\lambda 1} > 0$	Velocità positiva ruota solare destra ($\omega_{SR} > 0$) (solo modalità manuale cablata)
		•	$V_{\lambda 1} = 0$	Arresto ruota solare destra ($\omega_{SR} = 0$) (solo modalità manuale cablata)
		↓	$V_{\lambda 1} < 0$	Velocità negativa ruota solare destra ($\omega_{SR} < 0$) (solo modalità manuale cablata)
	v_1	→	$V_{v1} > 0$	Velocità positiva ruota solare sinistra ($\omega_{SL} > 0$) (solo modalità manuale cablata)
		•	$V_{v1} = 0$	Arresto ruota solare sinistra ($\omega_{SL} = 0$) (solo modalità manuale cablata)
		←	$V_{v1} < 0$	Velocità negativa ruota solare sinistra ($\omega_{SL} < 0$) (solo modalità manuale cablata)
	λ_2	↻	$V_{\lambda 2} > 0$	Velocità negativa tripodi ($\Omega < 0$)
		•	$V_{\lambda 2} = 0$	Arresto tripodi ($\Omega = 0$)
		↺	$V_{\lambda 2} < 0$	Velocità positiva tripodi ($\Omega > 0$)
J_3		↑	$D_{\lambda 3,A} = 0$ V, $D_{\lambda 3,B} = 5$ V	Accorciamento attuatore cingolo ($\dot{\theta}_{ES} < 0$)

Figura 4.3.3: Descrizione comandi interfaccia utente(1)

	•	$D_{\lambda 3,A} = 0$ V, $D_{\lambda 3,B} = 0$ V	Arresto attuatore cingolo ($\dot{\theta}_{ES} = 0$)
	↓	$D_{\lambda 3,A} = 5$ V, $D_{\lambda 3,B} = 0$ V	Allungamento attuatore cingolo ($\dot{\theta}_{ES} > 0$)
J_4	↑	$D_{\lambda 4,A} = 5$ V, $D_{\lambda 4,B} = 0$ V	Sollevamento ruote pivotanti ($\dot{\theta}_{DU} < 0$)
	•	$D_{\lambda 4,A} = 0$ V, $D_{\lambda 4,B} = 0$ V	Arresto ruote pivotanti ($\dot{\theta}_{DU} = 0$)
	↓	$D_{\lambda 4,A} = 0$ V, $D_{\lambda 4,B} = 5$ V	Abbassamento ruote pivotanti ($\dot{\theta}_{DU} > 0$)
J_5	↑	$D_{\lambda 5,A} = 0$ V, $D_{\lambda 5,B} = 5$ V	Sollevamento sedile ($\dot{\beta} > 0$)
	•	$D_{\lambda 5,A} = 0$ V, $D_{\lambda 5,B} = 0$ V	Arresto sedile ($\dot{\beta} = 0$)
	↓	$D_{\lambda 5,A} = 5$ V, $D_{\lambda 5,B} = 0$ V	Abbassamento sedile ($\dot{\beta} < 0$)
$P_{\omega C}$	↻	$V_{P\omega C}$ ↑	Incremento riferimento di velocità azionamento sedile
	↺	$V_{P\omega C}$ ↓	Decremento riferimento di velocità azionamento sedile
$P_{\omega W}$	↻	$V_{P\omega W}$ ↑	Incremento riferimento di velocità azionamento ruote pivotanti
	↺	$V_{P\omega W}$ ↓	Decremento riferimento di velocità azionamento ruote pivotanti
$S_{C\omega}$	↑	$D_{S,C\omega} = 5$ V	Attivazione controllo coppia azionamenti ruote solari
	↓	$D_{S,C\omega} = 0$ V	Attivazione controllo velocità azionamenti ruote solari
S_{AM}	↑	$D_{S,AM} = 0$ V	Attivazione modalità tramite controllore
	↓	$D_{S,AM} = 5$ V	Attivazione modalità manuale cablata
S_{START}	↑	$D_{S,STARTM} = 5$ V	Abilitazione azionamenti ruote solari e tripodi
	↓	$D_{S,STARTM} = 0$ V	Disabilitazione azionamenti ruote solari e tripodi
S_{OK}	Premuto	$D_{S,OK} = 5$ V	-
	Rilasciato	$D_{S,OK} = 0$ V	-
S_{EM}	Premuto	$D_{S,EM} = 0$ V	Disalimentazione azionamenti
	↺	$D_{S,EM} = 5$ V	Alimentazione azionamenti
S_{FM}	↺ - ↻	$V_{S,FM}$ ↑ - $V_{S,FM}$ ↓	Variazione modalità di funzionamento (vedi Tabella 6-8)

4.4 Modalità discesa gradino - Sistemi di Controllo Attuatori

I segnali di riferimento dei vari attuatori vengono generati dai rispettivi sistemi di controllo, ai quali arrivano in ingresso i segnali di set dalla macchina a stati e quelli di feedback dai trasduttori. I sistemi di controllo generano dei segnali di riferimento da inviare agli attuatori. Si può notare dalla *Figura 4.4.1* è presente un blocco di switch che ha lo scopo di arrestare gli attuatori, bloccando immediatamente la carrozzina. L'esigenza di inserire questa modalità di blocco,che permette l'arresto immediato dei motori, deriva dal fatto che in alcuni momenti ci si potrebbe trovare in difficoltà durante lo svolgimento della sequenza automatica.

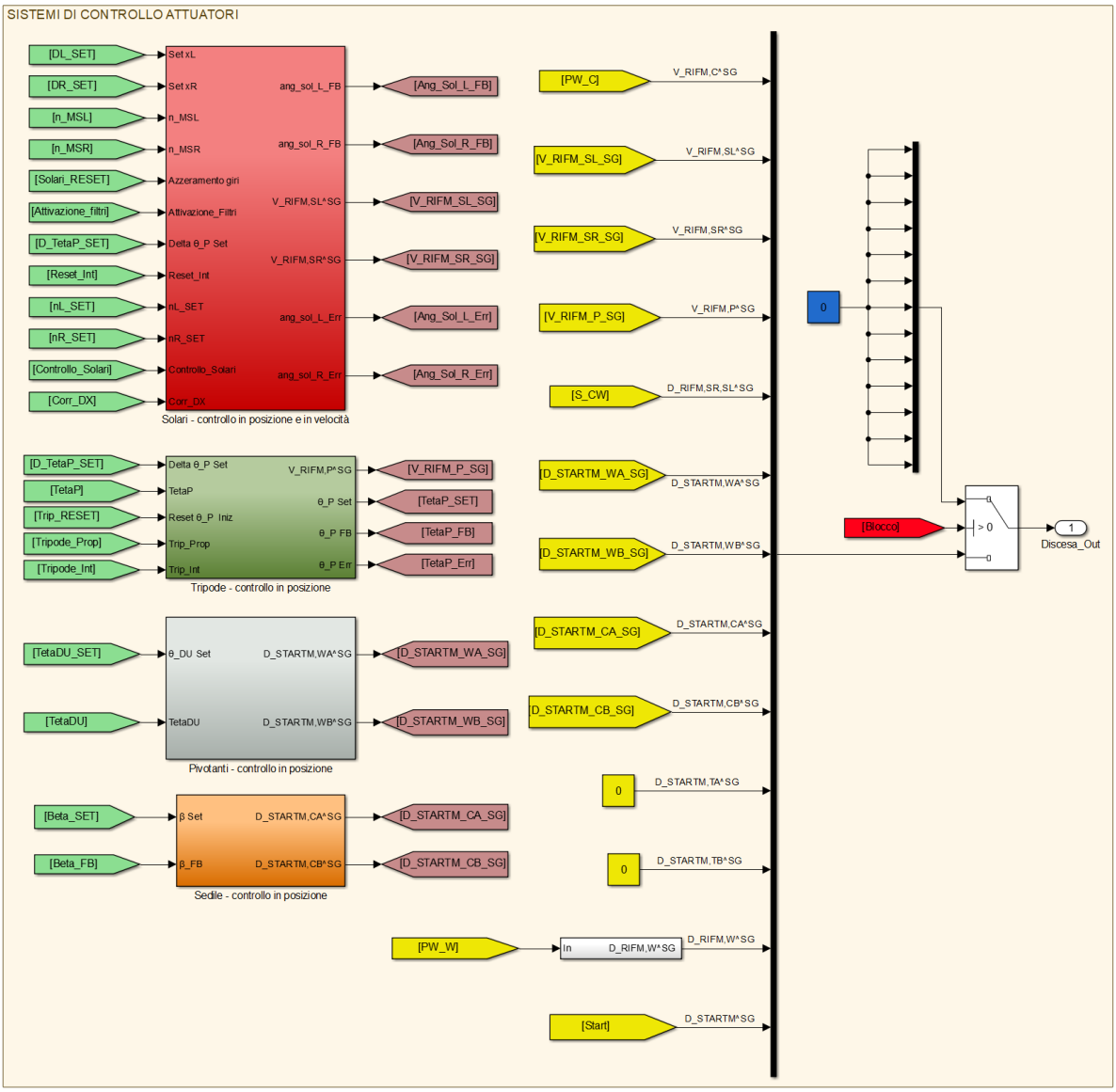


Figura 4.4.1: Sistemi di Controllo degli attuatori

Tabella 4.3: Elementi del vettore *Discesa_ out*

Simbolo	Descrizione
$\boldsymbol{V^{SG}_{RIFM,C}}$	Riferimento di velocità azionamento sedile da controllore speedgoat (0 ÷ 10 V).
$\boldsymbol{V^{SG}_{RIFM,SL}}$	Riferimento azionamento ruota solare sinistra da controllore speedgoat (0 ÷ 10 V).
$\boldsymbol{V^{SG}_{RIFM,SR}}$	Riferimento azionamento ruota solare destra da controllore speedgoat (0 ÷ 10 V).
$\boldsymbol{V^{SG}_{RIFM,P}}$	Riferimento di velocità azionamento tripodi da controllore speedgoat (± 10 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{RIFM,SR,SL}}$	Segnale commutazione controllo coppia/velocità ruote solari da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,WA}}$	Segnale avvio abbassamento ruote pivotanti da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,WB}}$	Segnale avvio sollevamento ruote pivotanti da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,CA}}$	Segnale avvio abbassamento sedile da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,CB}}$	Segnale avvio sollevamento sedile da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,TA}}$	Segnale avvio estensione attuatore cingolo da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM,TB}}$	Segnale avvio accorciamento attuatore cingolo da controllore speedgoat (0/5 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{RIFM,W}}$	Riferimento di velocità azionamento ruote pivotanti da controllore speedgoat (0 ÷ 10 V).
$\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM}}$	Segnale abilitazione azionamenti unità di locomozione e sblocco freni da controllore speedgoat (0/1 V).

4.5 Modalità discesa gradino - Grafici Segnali

Nell'area contente i grafici vengono riprodotti i diagrammi dei vari segnali sia di controllo che di feedback, in questo modo si può analizzare il comportamento dei vari attuatori durante l'intera sequenza automatica, oppure verificare eventuali criticità legate a valori di coppia o velocità troppo elevati. Quindi grazie ai vari scope si riesce a tracciare l'andamento dei vari segnali in funzione del tempo e confrontarli con quelli imposti dall'algoritmo di comando.

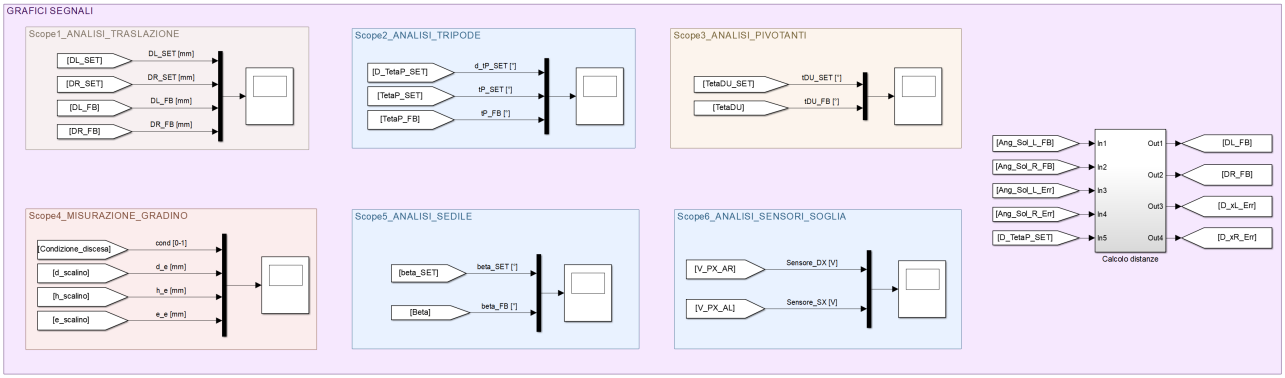


Figura 4.5.1: Grafici Segnali

Tabella 4.4: Descrizione della sezione grafici

Nome	Descrizione
Scope1 - Analisi Traslazione	Utilizzato per verificare che la carrozzina percorre le distanze giuste con un errore accettabile.
Scope2 - Analisi Tripodi	Si riportano gli andamenti degli angoli dei tripodi durante tutta la durata della discesa del gradino, così da aver un riferimento per i valori raggiunti da questi gradi di libertà.
Scope3 - Analisi Pivotanti	Si analizza l'andamento dell'angolo θ_{DU} delle ruote pivotanti così da analizzare il trend e la tempistica impiegata a raggiungere il valore di SET.
Scope4 - Misurazione Gradino	Si impiega questo diagramma per confermare che le dimensioni acquisite dal Lidar dell'altezza del gradino, della distanza e lo spazio dopo di questo, nonché della superabilità siano congrue a quelle effettive.
Scope5 - Analisi Sedile	Si controlla l'andamento dell'angolo della seduta, così da verificare che questo raggiunga in valore imposto.
Scope6 - Analisi Sensori soglia	Si verifica che i sensori misurino in maniera corretta l'istante in cui viene superato lo spigolo del gradino.

4.6 Modalità discesa gradino - Macchina a stati

In questo paragrafo si descrive la macchina a stati che permette di realizzare in maniera automatica tutte le azioni per superare il gradino nella fase di discesa. Il blocco centrale (azzurro) mostra in ingresso (lato sinistro) varie grandezze tra cui i feedback forniti da trasduttori, gli errori provenienti dai sistemi di controllo e segnali originati dall'utente tramite interfaccia di controllo, sul lato destro si hanno le grandezze in output in cui si trovano i segnali di set destinati agi attuatori, i segnali per i grafici ed altri segnali per il sistema di controllo. Per i segnali di uscita, in alcuni casi tra il segnale in input e la macchina a stati, è presente un blocco di memoria "*Memory*", che può tornare utile a fornire un segnale quando il sistema di controllo non ha ancora valutato gli errori.

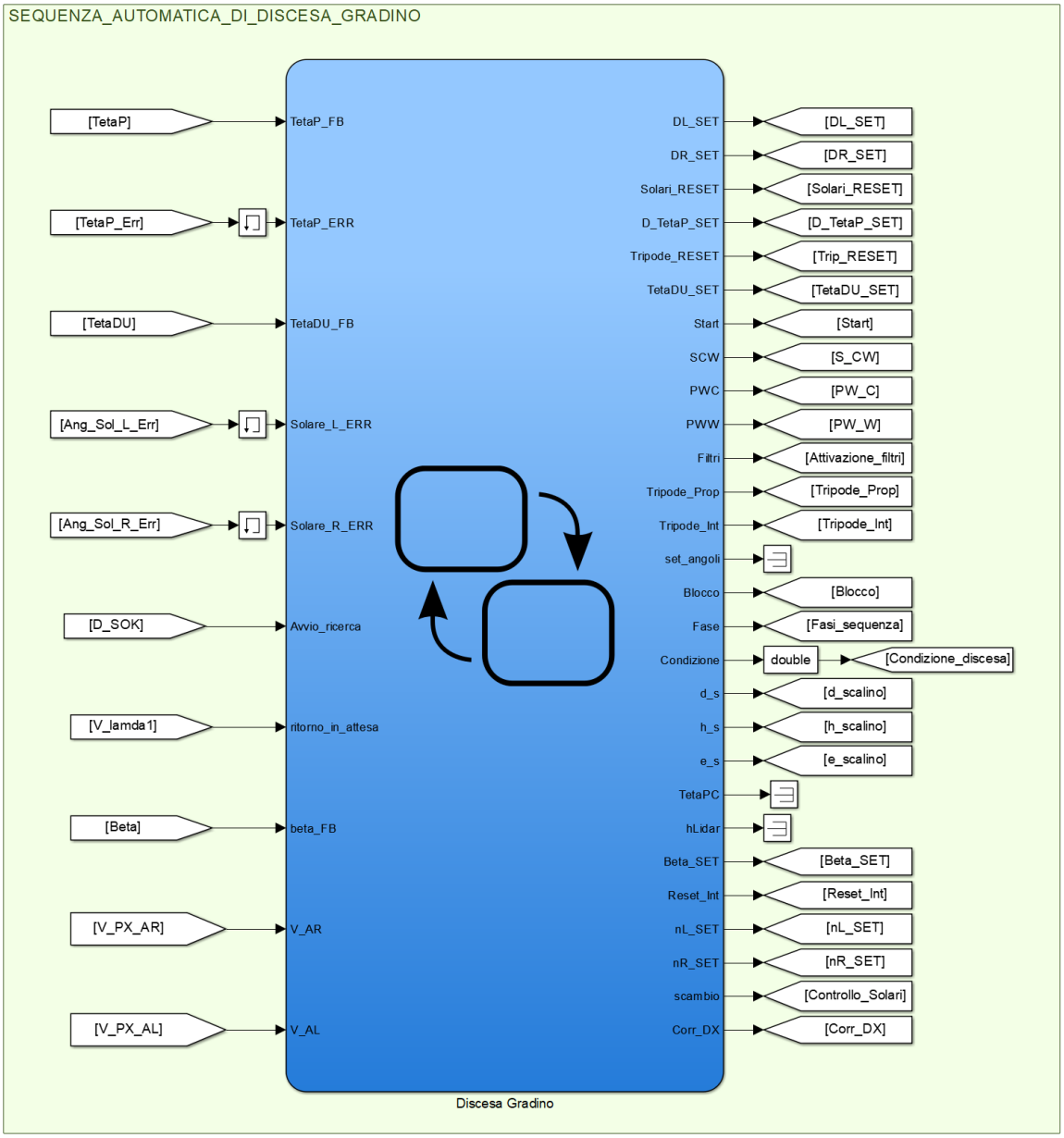


Figura 4.6.1: Sequenza automatica discesa gradino

Tabella 4.5: Elementi di uscita dalla macchina a stati

Simbolo	Descrizione
Start	Corrisponde al segnale $\boldsymbol{D^{SG}_{STARTM}}$ di abilitazione azionamenti unità di locomozione e sblocco freni da controllore Speedgoat (0/1 V).
SCW	Corrisponde al segnale $\boldsymbol{D^{SG}_{RIFM,SR,SL}}$ di commutazione controllo coppia/velocità ruote solari da controllore Speedgoat (0/5 V).
PWC	Corrisponde al segnale $\boldsymbol{V^{SG}_{RIFM,C}}$ di riferimento di velocità azionamento sedile da controllore Speedgoat ($0 \div 10$ V).
PWW	Corrisponde al segnale $\boldsymbol{D^{SG}_{RIFM,W}}$ di riferimento di velocità azionamento ruote pivotanti da controllore Speedgoat ($0 \div 10$ V).
set_angoli	Vettore che contiene tutti gli angoli di set della sequenza automatica e inviati al sistema di controllo.
Blocco	Variabile che invadila tutti i segnali contenuti nel vettore *DiscGrad_ out*, provocando l'arresto della carrozzina (0/1).
Fase	Variabile che indica in quale fase si trova la sequenza di discesa gradino.
Condizione	Variabile che indica se il gradino scansionato dal Lidar può essere superato o meno (0/1).
d_s	Variabile che indica la distanza tra il gradino ed il Lidar (mm).
h_s	Variabile che esprime l'altezza del gradino (mm).
e_s	Variabile che esprime lo spazio successivo al gradino (mm).
TetaPC	Angolo tra il telaio PC e l'orizzontale (°).
hlidar	Altezza di montaggio del Lidar (mm).
Beta_SET	Valore angolo di set da inviare al sistema di controllo della seduta della carrozzina (°).
Reset_Int	Questa variabile viene utilizzata per resettare la parte integrativa del controllo in posizione ed in velocità delle ruote solari.
nL_SET	Questo segnale viene inviato alla sistema di controllo in velocità della ruota solare sinistra, e viene utilizzato esclusivamente nella fase di allineamento della carrozzina al gradino (rad/s).
nR_SET	Questo segnale viene inviato alla sistema di controllo in velocità della ruota solare destra, e viene utilizzato esclusivamente nella fase di allineamento della carrozzina al gradino (rad/s).
Controllo_Solari	Questa variabile viene utilizzata per passare dal controllo in posizione a quello in velocità, e viceversa, della solari.
Corr_DX	La variabile in questione viene utilizzata quando la carrozzina si trova non allineata al gradino, in particolare quando la parte destra si trova più lontana dalla soglia rispetto alla parte sinistra.

4.6.1 Funzionamento Macchine a stati

All'interno del blocco centrale arancione, "*Stateflow Chart*", chiamato "*Discesa gradino*" si trova la macchina a stati adibita per la sequenza automatica, questa ha una sua logica di funzionamento che si descrive qui di seguito in modo da chiarire i passaggi che vengono seguiti da questa.

1. Gli stati, rappresentati da rettangoli nei quali è presente la singola fase dell'intera sequenza automatica, sono la componete principale di questo linguaggio grafico. All'interno del rettangolo sono presenti varie informazioni, nella prima riga è semplicemente specificato il nome della fase, nelle altre che seguono vengono fornite le informazioni necessarie per svolgere le azioni richieste in quella fase. È possibile inglobare uno stato all'interno di un altro stato, adottando questa struttura lo stato interno prende il nome di "*Children*", mentre quello che lo contiene pernde il nome di "*Parent*". Tra il nome della fase e le azioni da svolgere nella stessa è interposta una riga di codice che impone il momenti in cui si devo svolgere quelle azioni, per indicare questo si possono utilizzare diverse soluzioni, ovvero:

   - *On after (n,tick)*: le azioni vengono eseguite dopo che è trascorso un lasso di tempo pari a n time step, dopo l'attivazione della sequenza di riferimento;
   - *Exit o ex*: in questo caso le azioni vengono svolte quando si abbandona lo stato in cui quetse sono contenute;
   - *During o du*: con questo comando le operazioni contenute nello stato vengono realizzate continuamente ogni volta che ci si trova nello stato in questione con una cadenza pari ad un time step;
   - *Entry o en*: nel time step successivo all'attivazione dello stato le azioni vengono eseguite.

   Queste diverse soluzioni, che permettono di decidere quando eseguire le istruzioni, se necessario possono essere inserite in uno stesso stato, dove i diversi elenchi di azioni vengono anticipati dalla propria "*State Action Types*".

2. L'intera sequenza inizia con una transizione,"*default transition*" la quale presenta un cerchio che indica il punto di partenza dell'intera sequenza automatica,ed è seguito da una freccia la cui estremità termina sullo stato successivo. Tra uno stato e l'altro, a fare da ponte tra due stati consecutivi ci sono le "*Transizioni*", ovvero delle frecce di collegamento che stabiliscono il trasferimento allo stato successivo. Il passaggio da uno stato all'altro può avvenire in maniera semplice, ovvero senza condizioni passando allo stato successivo semplicemente eseguendo tutte le azioni dello stato precedente, oppure alla transizione è abbinata una condizione, questa può essere di diverso tipo:

   - [*conditions*]: il proseguimento allo stato successivo avviene solo se la condizione è verificata;
   - {*conditional actions;*} : nel passare allo stato successivo viene svolta l'istruzione specificata nelle graffe. Questa tipologia può essere presente anche nelle "*default transition*";
   - [*conditions*]{*conditional actions;*}: la condizione che permette il passaggio alla fase successiva è quella contenuta nelle quadre, se questa risulta verificata, allora viene eseguita l'istruzione contenuta nelle graffe prima di proseguire al successivo stato.

   Nelle condizioni si possono inserire dei "*Temporal Logic Operators*", e solitamente viene utilizzato l'operatore "*after(n,tick)*" che permette di verificare la condizione dopo un certo tempo, cioè dopo n time step, calcolato a partire dall'istante in cui lo stato, da cui la transizione parte, viene attivato. Se da uno stesso stato hanno origine più transizioni, queste verranno verificate in base alla priorità che gli viene associata tramite un numero presente vicino ad ognuna di esse.

3. Sono presenti dei cerchi chiamati "*connective junction*" e rappresentano dei punti di decisione in un percorso di transizioni, e vengono utilizzati per la gestione delle transizioni, ad esempio in uno di questi si possono far convergere più transizioni per poi crearne un sola, oppure possono essere utilizzati per per realizzare cicli come *if-then-else*, *while* o *for*.

Riassumendo, per passare da uno stato al successivo si ha bisogno che le condizioni imposte dalle transizioni vengano rispettate, finché queste non vengono rispettate si rimane all'interno della fase, dove si hanno delle azioni che devono essere svolte per completare una parte della sequenza automatica di insieme.

4.7 Descrizione macchina a stati per la discesa gradino

Come già descritto in precedenza, e come vedremo in questo caso lo stateflow è composto da una serie di stati collegati tra loro da transizioni, all'interno di ogni stato abbiamo un elenco di azioni che devo essere eseguite e l'insieme di questa azioni realizza l'intera fase di discesa del gradino. Il layout della macchina a stati che andremo ad analizzare è basato sullo schema già visto nel capitolo 2, e che viene riproposta nella *Figura 4.7.1* come promemoria.

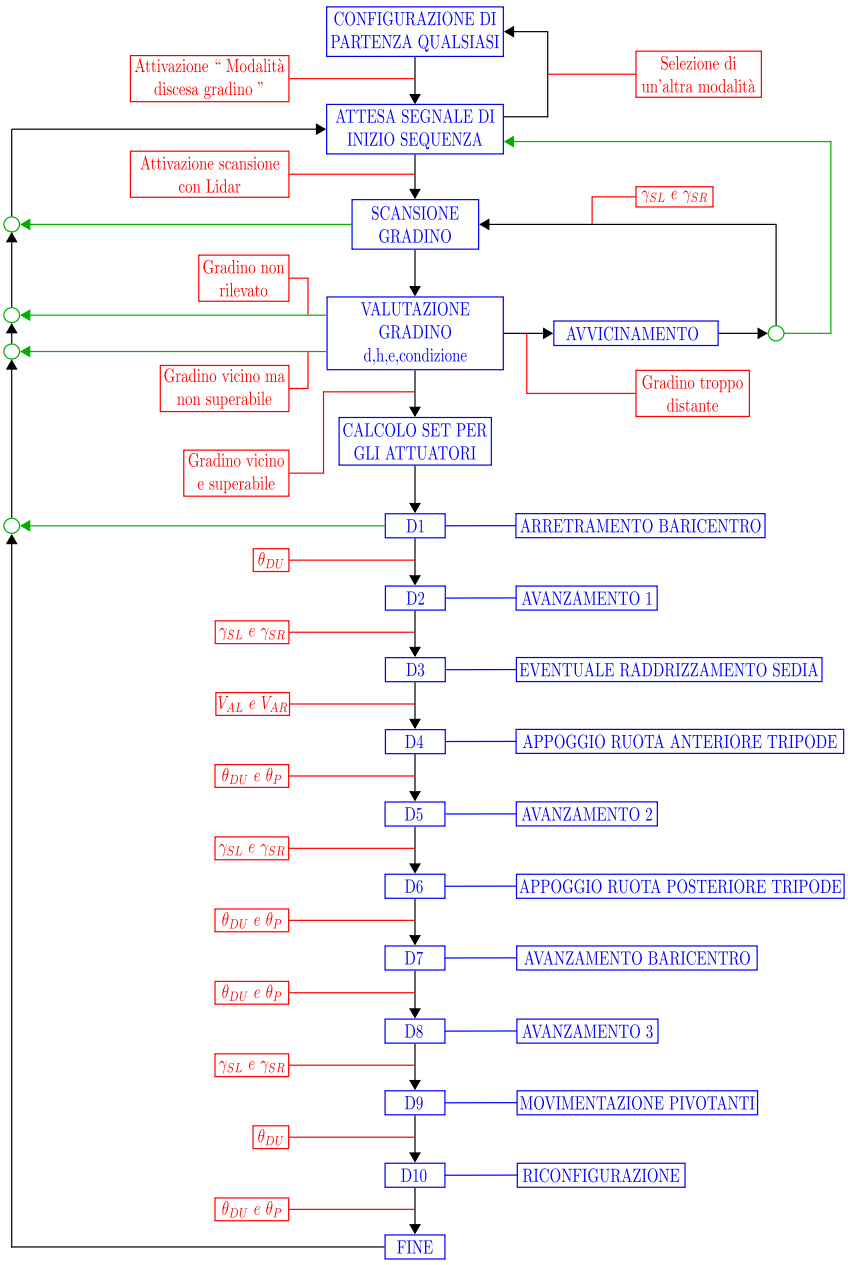


Figura 4.7.1: Sequenza logica discesa gradino

4.7.1 Fase "*Avvio Scansione Lidar*"

Quando la macchina riceve il segnale di avvio allora la transizione iniziale attiva la fase di scansione del lidar. All'interno di questa fase è presente la funzione "*scan_lidar*" che viene utilizzata per l'acquisizione delle coordinate polari dei punti rilevati, rispettivamente distanze e angoli, e queste vengono poi salvate nel vettore,"*lidar_out*". Tutti questi punti che il lidar acquisisce prima che riceva il segnale da parte dell'utente non vengono salvati all'interno del vettore, o meglio questi vengono continuamente sovrascritti, e questa è una grande limitazione di questo setup. Una modifica che potrebbe essere interessante realizzare, sarebbe quella di rendere attivo il sensore solo quando è necessario, e lo si arresti al termine della fase di interesse, in modo da rendere più piacevole la permanenza dell'utente a bordo della carrozzina, visto che il sensore, quando attivo, genera delle rumorosità dovute alla rotazione del motore che porta in rotazione il sensore. Ad oggi questo non è possibile in quanto la connessione tra il controllore attualmente presente sulla carrozzina e il sensore non permettere di attuare queste modifiche, si dovrebbe quindi collegare il sensore ad un dispositivo esterno che governi il Lidar, in modo da raccogliere i dati elaborarli ed infine trasmettere il risultato allo Speedgoat.

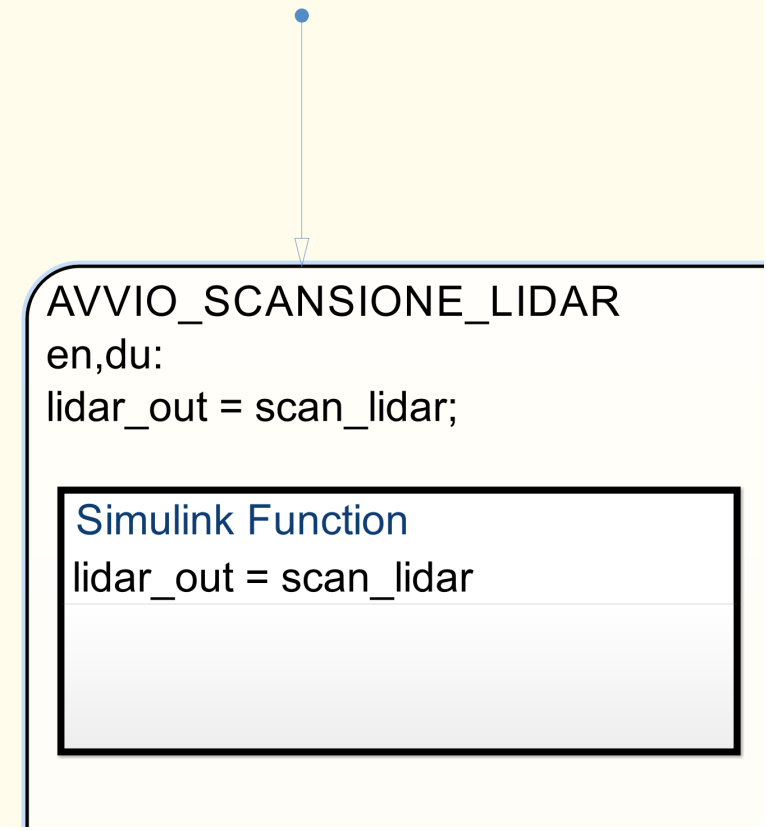


Figura 4.7.2: Stato "*Scansione Lidar*"

4.7.2 Fase "*Attesa*"

Insieme all'attivazione dello stato di avvio e scansione Lidar, viene attivato lo stato Attesa dove si ha una *conditional actions;* che crea una matrice "*misure*" le cui entrata sono degli zeri, che sarà poi utilizzata per l'acquisizione dei punti scansionati quando l'utente fornirà il comando tramite interfaccia di controllo. Quindi finché l'utente non schiaccia il tasto "S_{OK}" si rimane nello stato di Attesa, e finché si rimane in questo stato si possono selezionare le varie modalità tramite il selettore S_{FM} del telecomando. Una volta schiacciato il tasto "S_{OK}", che corrisponde al blocco "*Avvia_ricera*", viene soddisfatta la condizione imposta dalla transizione ed inizia la sequenza automatica che prosegue fino alla conclusione, se si ha però la necessità di arrestare la sequenza questo può essere fatto in due modi o tramite il pulsante di emergenza che blocca tutti gli attuatori, e una volta che si esce da questa modalità la sequenza riprende da dove era stata interrotta, oppure si può muovere il joystick in avanti, questo interrompe la sequenza e la riporta nello stato di attesa. Come si può notare, nel blocco che rappresenta lo stato di attesa, vengono dichiarate delle grandezze di cui si avrà bisogno per lo svolgimento dell'interna sequenza automatica di discesa.

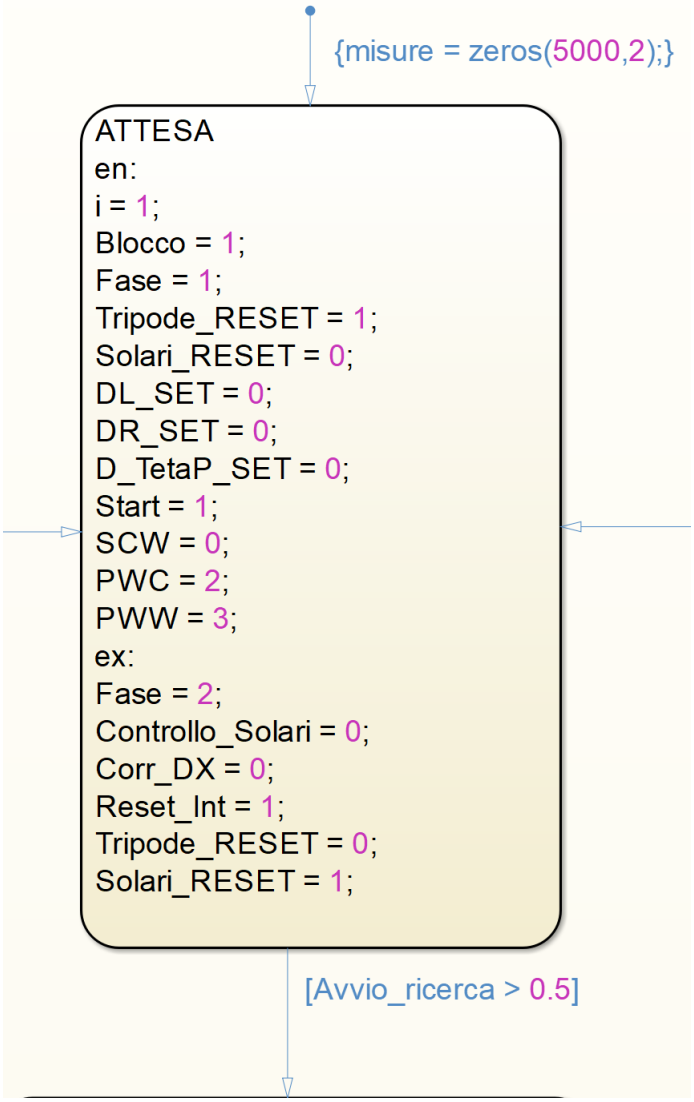


Figura 4.7.3: Fase "*Attesa*"

Tabella 4.6: Descrizione variabili presenti nello stato di *Attesa*

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
i	È un contatore che viene utilizzato per valutare quante scansioni compie il Lidar.	Si inizializza ad 1, e può assumere qualsiasi valore.
Blocco	Questa grandezza viene utilizzata per interrompere tutti i segnali inviati ai motori ottenendo cosi l'arresto degli stessi e quindi della carrozzina.	Inizialmente gli viene attribuito il valore 1, in questo modo la carrozzina è ferma, ed è giusto che lo sia in quanto si è in attesa del segnale da parte dell'utente (0/1).
Fase	Questa variabile specifica in quale fase della sequenza di discesa ci si trova.	Inizialmente le viene attribuito il valore 1, cosi da indicare che la carrozzina si trova nello stato di *Attesa*. Quando termina questa fase questa assume il valore 2, che indica la fase di scansione e valutazione delle grandezze del gradino.
Tripode_RESET	Questa permette di acquisire il valore della variabile TetaP_FB e di azzerare il conteggio del numero di giri compiuti dal tripode.	Assume inizialmente il valore 1. Per provocare il reset dell'angolo e del conteggio deve assumere il valore 0.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si va a resettare il conteggio dell'angolo di rotazione delle solari.	Inizialmente non avviene il reset del conteggio dell'angolo delle solari in quanto la carrozzina è ferma per cui non si ha la necessità di eseguire questa operazione. Verrà invece resettato quando si lascia lo stato.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina.	Le viene assegnata una distanza nulla in quanto inizialmente non deve percorre alcuno spazio.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina.	Le viene assegnata una distanza nulla in quanto inizialmente non deve percorre alcuno spazio.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che si vuole far realizzare dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Gli viene assegnata una rotazione nulla in quanto inizialmente non vi è la necessita di realizzare di alcuna rotazione.

Start	Questo segnale autorizza il movimento degli attuatori andando a disinserire i freni.	Viene attivata (1) e questo consente il movimento degli attuatori; questa condizione permane per tutta la durata della dell'operazione di discesa.
SCW	Questa variabile si occupa di cambiare la tipologia di controllo delle ruote solari dallo Speedgoat.	Per l'intera operazione di discesa è impostato il controllo in velocità (0).
PWC	Rappresenta il segnale di riferimento di velocità dell'attuatore che comanda il movimento della seduta.	Da prove sperimentali si è visto che utilizzando il valore 2 V si ha un giusto compromessi tra velocità e precisione.
PWW	Rappresenta il segnale di riferimento di velocità dell'attuatore che si occupa del movimento ruote pivotanti.	Da prove sperimentali si vi è visto che per ottenere una buona velocità di movimento e al contempo ottenere una buona precisione, bisogna utilizzare il valore 3 V.
misure	È la matrice che contiene i punti rilevati dal Lidar durante la scansione del gradino.	Come già visto la matrice viene inizializzata con tutte le entrate nulle.
Avvio_ricerca	Questo rappresenta il segnale inviato dall'utente tramite il telecomando e questo avvia la scansione.	Quando il pulsante viene schiacciato assume il valore di 1V e si ha il passaggio allo stato di scansione abbandonando quello di attesa.
Reset_Int	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento della parte integrativa del controllo in posizione e in velocità delle ruote solari.	Assume inizialmente il valore 1, in modo che se si torna in questa fase da un qualunque altro ci si assicura che il comportamento dei motori solari non sia influenzato dalle azioni precedenti.
Controllo_Solari	Mutando il valore di questa grandezza si ha il passaggio dal controllo in posizione a quello in velocità delle ruote solari.	Assume inizialmente il valore 0, in quanto la carrozzina necessita di un controllo in posizione in questa fase della sequenza.
Corr_DX	Mutando il valore di questa grandezza vengono l'utilizzati di controlli in velocità tarati per la correzione a destra della carrozzina, se viceversa il valore non viene modificato allora i controllori utilizzati sono quelli per l'allineamento a sinistra.	Assume inizialmente il valore 0, perché in questa fase non si ha la necessità di eseguire un riallineamento della carrozzina.

4.7.3 Fase "*Matrice punti scansionati*"

Una volta che l'utente ha fornito l'input, si passa alla realizzazione della matrice dei punti scansionati, ovvero i punti che il lidar ha scansionato nei 5 secondi che vanno contanti dall'istante in cui viene premuto il pulsante, di conseguenza la matrice con sole entrate nulle viene ora sovra-scritta con i punti acquisiti, man mano che i punti vengono inseriti nella matrice viene incrementato il valore della variabile *i*. Una volta concluse le operazioni di sovrascrittura della matrice, all'uscita della fase si hanno due condizioni, la prima che viene controllata è quella relativa alla variabile **i** e al fatto che questa abbia raggiunto il valore imposto (5001), la seconda transizione che viene verificata si accerta che il joystick sia stato mosso o meno in avanti, se questa risultasse verificata annullerebbe il salvataggio dei punti e ritornerebbe allo stato di *Attesa*. Nel caso che nessuna delle due condizione risultasse convalidata allora il codice verrebbe ripetuto e verrebbero salvati nuovi punti all'interno della matrice finché non raggiunge l'obiettivo di 5000 punti acquisiti.

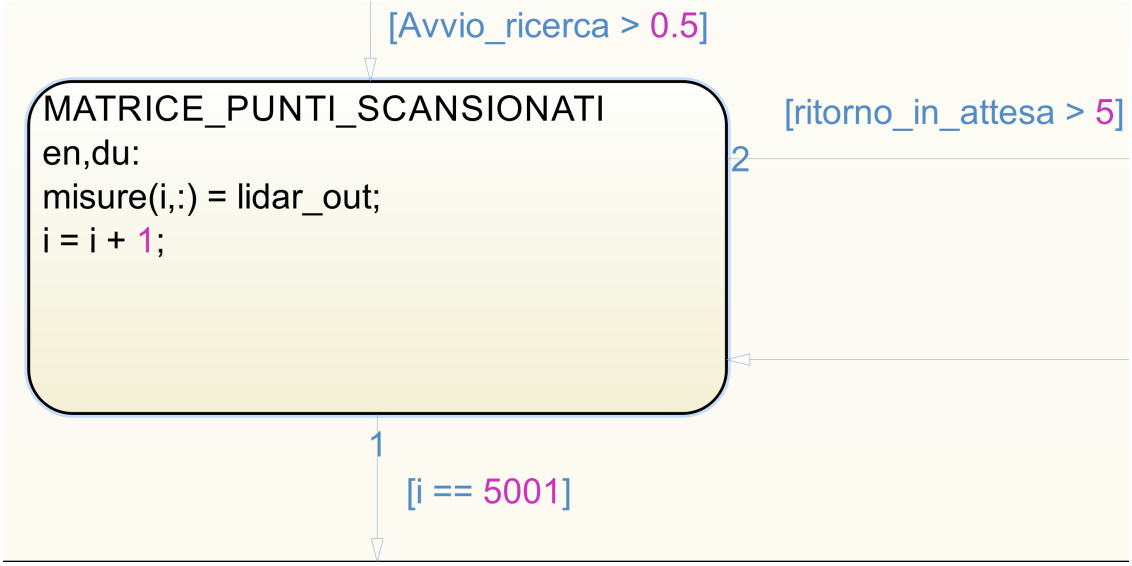


Figura 4.7.4: Fase "*Realizzazione matrice punti scansionati*"

Tabella 4.7: Descrizione variabili presenti nella fase *Matrice punti scansionati*

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
i	È un contatore che viene utilizzato per valutare il numero di punti scansionati dal Lidar.	È posta uguale a 1, alla fine della fase diventa 5001.
misure	È la matrice che contiene i punti rilevati dal Lidar durante la scansione del gradino.	Come già spiegato in precedenza questa viene sovra-scritta con punti rilevati.
lidar_out	In questi vettore sono presenti le coordinate polari di un punto rilevato.	Le componenti di questo vettore si aggiornano in continuazione.
ritorno_in_attesa	È il segnale che proveniente dal telecomando, quando l'utente aziona il Joystick.	Se il valore di questa variabile supera 5 V si ritorna nella fase di Attesa.

4.7.4 Fase "*Misurazione gradino*"

Concluso il riempimento della matrice con le coordinate dei punti rilevati dal Lidar, si passa alla fase di "MISURAZIONE_GRADINO", dove viene utilizzata la funzione Matlab "*ricerca_gradino_discesa*" la quale provvede alla valutazione delle misure del gradino. Ora che si conoscono le dimensioni dello scalino, si passa alla verifica delle condizioni attribuite alle varie transizioni presenti secondo l'ordine di precedenza imposto dalla numerazione, e a seconda di quale di queste condizioni viene soddisfatta si ha il proseguimento ad uno degli stati collegati alle giunzioni. Si ricorda che la variabile *condizione* è influenzata dall'altezza del gradino e dallo spazio presente dopo di esso.

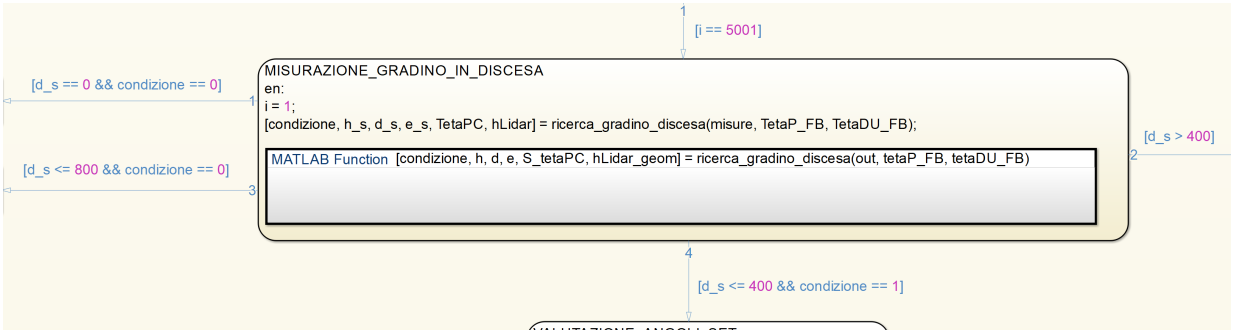


Figura 4.7.5: Fase di "*Misurazione gradino*"

Tabella 4.8: Descrizione variabili presenti nella fase di "*Misurazione gradino*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
TetaP_FB	È il segnale di feedback dell'angolo assunto dal tripode.	Questo varia da 0° a 120°, anche questo viene inviato alla funzione Matlab per ricavare l'altezza di montaggio del Lidar e l'angolo Θ_{PC}.
TetaDU_FB	È il segnale di feedback dell'angolo assunto dalle ruote pivotanti.	Anche questo viene inviato alla funzione Matlab per ricavare l'altezza di montaggio del Lidar e l'angolo Θ_{PC}.
Condizione	Specifica se il gradino presente dinanzi alla carrozzina può essere superato.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione ed è fondamentale per determinare la nuova fase da attivare.
h_s	Specifica l'altezza del gradino presenta dinanzi alla carrozzina.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione e sarà utilizzato per valutare gli angoli di set da trasmettere al sistema di controllo per realizzare l'intera sequenza di discesa.
d_s	Specifica la distanza che intercorre tra il gradino e il Lidar.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione ed è fondamentale per determinare la nuova fase da attivare e inoltre viene utilizzata per valutare di quanto la carrozzina debba avvicinarsi al gradino.
e_s	Specifica lo spazio presente dopo il gradino.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione e serve a valutare la condizione di salita.

TetaPC	Questo rappresenta l'angolo formato tra il sotto-telaio PC e l'orizzontale.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione e serve a valutare l'altezza di montaggio del lidar.
hLidar	Rappresenta l'altezza a cui è montato il Lidar.	Il valore di questa viene valutato dalla funzione e serve per la valutazione delle grandezze caratteristiche dello scalino.

4.7.5 Fase "*Avvicinamento seconda misurazione*"

Se viene verificata la condizione della transizione 2, vuol dire che la distanza dal gradino è maggiore di 400 mm, quindi viene attivato lo stato "*Avvicinamento_per_la_seconda_misurazione*". Questo stato permette di avvicinare la carrozzina al gradino portandola ad una distanza di 400 mm da quest'ultimo, e operare cosi una seconda scansione più accurata. Dopo avere eseguito l'accesso a questo stato, i motori che azionano le solari si attivano e la carrozzina inizia a muoversi verso il gradino finché l'errore sull'angolo delle solari non rientra nei parametri imposti. Quando è stata raggiunta la distanza obiettivo la carrozzina si ferma, e viene eseguita nuovamente la scansione dello scalino.

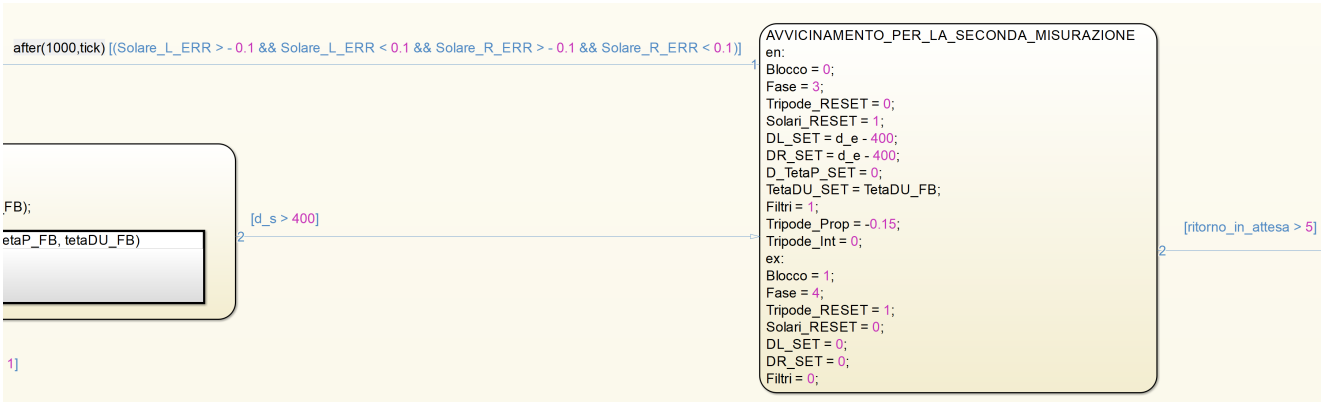


Figura 4.7.6: Fase "*Avvicinamento seconda misurazione*"

Tabella 4.9: Descrizione variabili presenti nello stato "*Avvicinamento seconda misurazione*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali inviati ai motori ottenendo così l'arresto degli stessi e quindi della carrozzina.	In prima battuta i motori sono sbloccati (0), cosi da permettere il moto della carrozzina, successivamente la carrozzina viene fermata (1).
Fase	Specifica in quale fase della sequenza di discesa ci si trova (0 ÷ 7).	Il valore di questa variabile diventa 3, specificando che ci si trova nella fase di avvicinamento per realizzare una seconda misurazione, quando termina l'avvicinamento viene posta uguale a 4, specificando che si è passati alla seconda scansione .

Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Si ha nuovamente l'azzeramento di questa variabile, così che anche se dovesse avvenire più di uno spostamento si evitando problemi di funzionamento.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Anche questa viene nuovamente inizializzata a 1, cosi che anche se dovesse avvenire più di uno spostamento si evitando problemi di funzionamento.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, a cui si sottrae 400 mm, cosi da portare la stessa ad una distanza di 400 mm dallo scalino, distanza che permette di eseguire una scansione con buona precisione. Si azzera una volta terminata la fase.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota destra della carrozzina, a cui si sottrae 400 mm, cosi da portare la stessa ad una distanza di 400 mm dallo scalino, distanza che permette di eseguire una scansione con buona precisione. Si azzera una volta terminata la fase.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Anche questa viene nuovamente azzerata, cosi che i tripodi non compiano nessun movimento.
TetaDU_SET	È l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Si eguaglia al valore di feedback (*TetaDU_FB*) cosi che l'azionamento non entri in funzione, e le pivotanti non si muovano.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene attivato (1) quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) posso essere reso più graduale e quindi non avere una risposta"nervosa" del sistema. Terminata la fase si riporta a 0, cosi da annullare immediatamente il segnale di set sulle solari.
Tripode_Prop	Guadagno proporzionale del controllore PI del tripode.	Da prove sperimentali si è visto che con un guadagno proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette il raggiungimento preciso del set.

Tripode_Int	Guadagno integrativo del controllore PI del tripode.	Da prove sperimentali si è visto che la parte integrativa ha poca influenza, quindi viene posta a 0.
Solare_L_ERR	Valore dell'errore, valutato rispetto al set, dell'angolo di rotazione della solare sinistra.	La condizione imposta dalla transizione è soddisfatta quando questo assume una valore che sta nel range ± 0,1 rad.
Solare_R_ERR	Valore dell'errore, valutato rispetto al set, dell'angolo di rotazione della solare destra.	La condizione imposta dalla transizione è soddisfatta quando questo assume una valore che sta nel range ± 0,1 rad.

4.7.6 Fase "*Valutazione angoli set*"

Se la distanza dal gradino è minore o uguale a 400 mm e dalle misure rilevate questo risulta superabile allora viene verificata la condizione della transizione 4, quindi si passa allo stato "*VALUTAZIONE_ANGOLI_SET*". In questo stato viene richiamata la funzione Matlab "*cinematica_discesa*", alla quale viene fornito in input il valore di altezza del gradino e la lettura dell'angolo θ_P_FB, e questa valuta i valori di set degli angoli dal fornire agli attuatori per ogni fase della sequenza automatica di discesa, e li fornisce in un vettore chiamato "*set_angoli*".

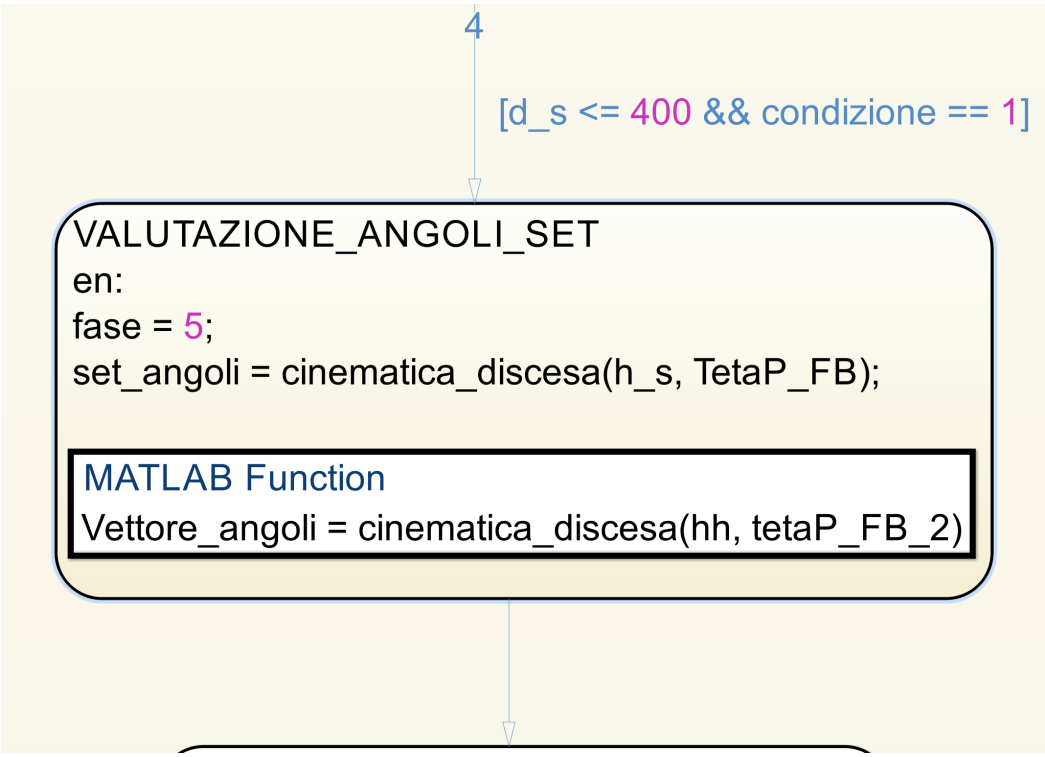


Figura 4.7.7: Fase "*Valutazione degli angoli di set*"

Tabella 4.10: Descrizione variabili presenti nella fase di "*Valutazione degli angoli di set*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Fase	Specifica in quale fase della sequenza di discesa ci si trova.	Il valore di questa variabile diventa 5, e tale valore non cambierà fino a che la sequenza di discesa non sarà conclusa.
h_s	Specifica l'altezza del gradino presenta dinanzi alla carrozzina.	Questa dimensione del gradino viene utilizzata dalla funzione *cinematica*, per desumere i valori dei segnali di set degli angoli per ciascuno step dell'intera sequenza di discesa.
TetaP_FB	È il segnale di feedback dell'angolo assunto dal tripode.	Questo varia da 0° a 120°, anche questo viene inviato alla funzione Matlab,*cinematica*, e viene utilizzato da questa per decidere il verso di rotazione tal da permettere di raggiungere il set nel minor tempo possibile, con una configurazione del tripode qualunque.
set_angoli	Vettore di dimensione 10x1, le cui componenti rappresentano i segnali di set degli angoli di ciascuna fase della sequenza di discesa.	Il valore delle componenti di questo vettore è funzione dell'altezza del gradino rilevato.

4.7.7 Fase "*D1 - Arretramento baricentro*"

Una volta che la funzione ha terminato il calcolo degli angoli necessari allo svolgimento dell'intera sequenza automatica, si procede allo svolgimento della prima fase di questa e si entra nello stato "*D1*". Vengono inviati gli angoli di set agli attuatori dei tripodi e delle pivotanti, così da arretrare il baricentro a farlo ricadere tra i tripodi e le pivotanti. Una volta verificata la condizione imposta dalla transizione si passa allo stato "*D2*". Il movimento in avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

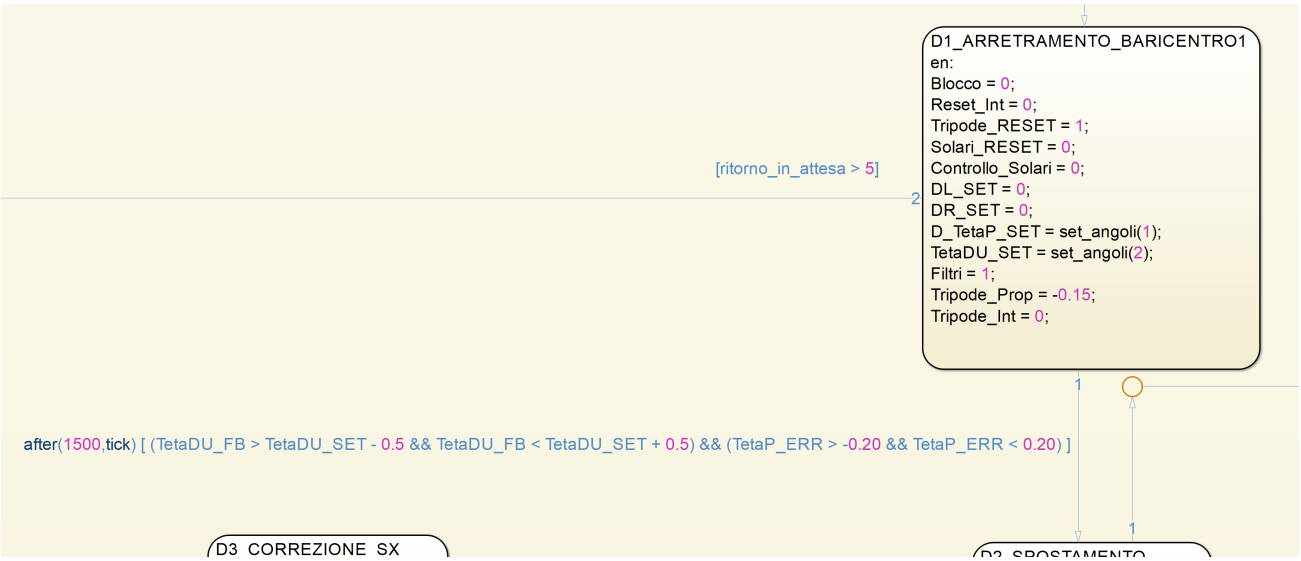


Figura 4.7.8: Fase "*D1 - Arretramento baricentro*"

Tabella 4.11: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D1 - Arretramento baricentro*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene imposto il valore 0, cosi da sbloccare gli attuatori e permettere il moto della carrozzina.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Si ha nuovamente l'azzeramento di questa variabile, per garantire una maggiore sicurezza anche nel caso in cui si sia sfruttata la fase di avvicinamento per la seconda misurazione.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Anche questa viene nuovamente inizializzata a 1, per garantire una maggiore sicurezza anche nel caso in cui si sia sfruttata la fase di avvicinamento per la seconda misurazione.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Dal vettore *ste_angoli*, si estrae la prima riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione del tripode.
TetaDU_SET	Specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Dal vettore *ste_angoli*, si estrae la seconda riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione delle pivotanti.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene attivato (1) quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) posso essere reso più graduale e quindi non avere una risposta"nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Tripode_Int	Parte integrative del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che la parte integrativa ha poca influenza, quindi viene posta a 0.
TetaDU_FB	Angolo di feedback delle pivotanti, misurato dal sensore.	La condizione imposta dalla transizione, ovvero il confronto con il valore di set, è soddisfatta quando la differenza tra i due è compresa tra ± 0,05°.

4.7.8 Fase "*D2 - Spostamento*"

Una volta terminata la fase D1, avviene il passaggio allo stato D2. Per 0,5 secondi dopo l'ingresso nello stato D2 non vengono forniti nuovi comandi agli attuatori, così che questi abbiano il tempo necessario per introdurre delle piccole correzioni cosi da avere imprecisioni minime. Terminati 0,5 secondi gli attuatori vengono arrestati e si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili, così che quando verranno forniti i nuovi segnali di set questi avranno come valore di partenza lo zero, a scanso di situazioni spiacevoli come la somma dei valori di set con conseguenti errori di posizionamento della carrozzina. Dopo aver atteso 0,6 secondi vengono resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set che riguardano le ruote solari che portano ad un avanzamento della carrozzina per un spazio pari a d_s e il motore della seduta aumenta il suo angolo da 38° a 42°. Non appena una delle condizioni imposte dalla transizioni viene soddisfatta si passa allo stato "*D3*", dove si verifica se la carrozzina è inclinata rispetto al gradino e se ne corregge questa eventuale inclinazione.Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

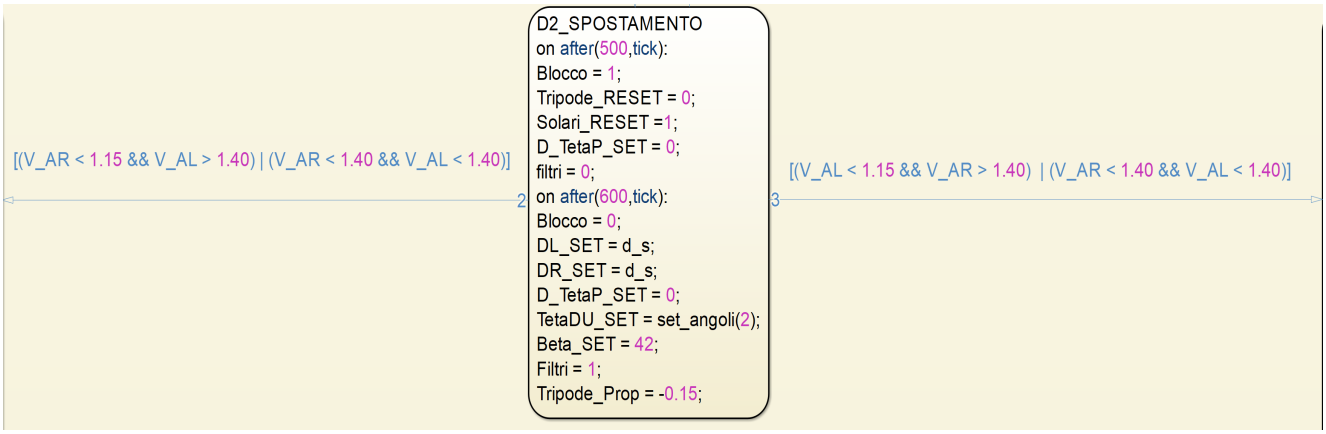


Figura 4.7.9: Fase "*D2 - Spostamento*"

Tabella 4.12: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D2 - Spostamento*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali inviati ai motori, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Le si assegna il valore 1, cosi si realizza il reset rispetto allo stato "*D1*".

Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa non viene resettata in quanto nella fase precedente non si è avuto nessuna traslazione della carrozzina.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Viene posta a 0 in quanto in questa fase non subisce variazioni.
TetaDU_SET	Specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Questo rimane lo stesso della fase precedente, ovvero non subisce variazioni.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set d_s cosi da avere la ruota anteriore sinistra del tripode che sporge dallo scalino.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set d_s cosi da avere la ruota anteriore destra del tripode che sporge dallo scalino.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Tripode_Int	Parte integrative del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che la parte integrativa ha poca influenza, quindi viene posta a 0.
V_AL	Valore della lettura del sensore di soglia sinistro.	Quando viene soddisfatta la condizione imposta nella transizione si procede al fase successiva.
V_AR	Valore della lettura del sensore di soglia destra.	Quando viene soddisfatta la condizione imposta nella transizione si procede al fase successiva.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta	Ha un campo di variazione che da 32° a 48°.

4.7.9 Fase "*D3 - Allineamento*"

Una volta terminata la fase D2, avviene il passaggio allo stato D3. A differenza di prima si procede immediatamente con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Vengono poi resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set alle ruote solari che a seconda dell'inclinazione della carrozzina riceveranno dei segnali di velocità differenti, tali da avere il sensore che si trova oltre il gradino come centro di istantanea rotazione. Appena verificata la condizione della transizione si passa alla fase "*D4*" e la carrozzina si blocca istantaneamente e questa risulta allineata al gradino.Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

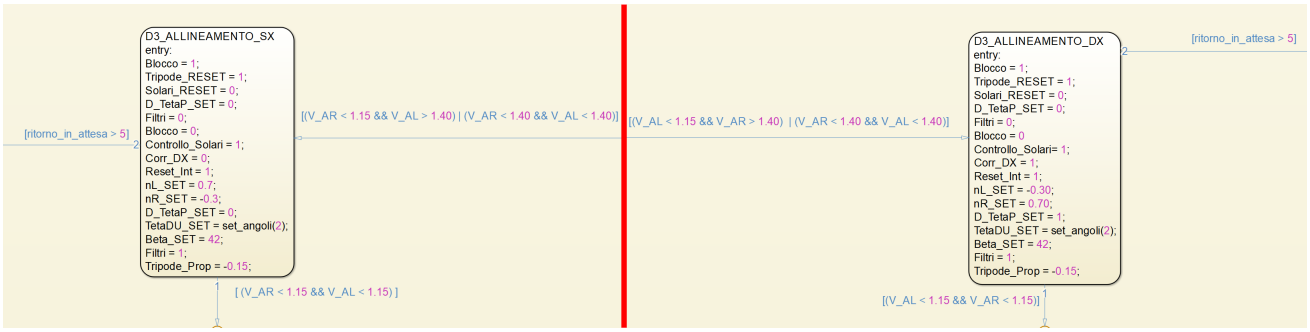


Figura 4.7.10: Fase "*D3 - Allineamento*"

Tabella 4.13: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D3 - Allineamento*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Questa non viene resettata in quanto nella fase precedente non si è avuto nessuna traslazione della carrozzina.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in quanto nella fase precedente si è avuta una traslazione della carrozzina.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Viene posta a 0 in quanto in questa fase non subisce variazioni.

TetaDU_SET	Specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Questo rimane lo stessa della fase precedente, ovvero non subisce variazioni.
nL_SET	Velocità che deve assumere la ruota solare sinistra (rad/s).	Il campo di variazione è limitato dalla massima velocità che può raggiungere il motore.
nR_SET	Velocità che deve assumere la ruota solare destra (rad/s).	Il campo di variazione è limitato dalla massima velocità che può raggiungere il motore.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Controllo_Solari	Permette lo switch dal controllo in posizione delle solari al controllo in velocità.	In questa fase in cui si ha necessita di controllare le solari in velocità questa assume valore 1.
Corr_DX	Va a cambiare i parametri del sistema di controllo in velocità a seconda che si debba realizzare un allineamento da destra o da sinistra.	Questa variabile può assumere valore 0/1 a seconda dell'allineamento che deve eseguire la carrozzina.
Reset_Int	Va a resettare la parte integrativa del controllo in posizione e in velocità delle solari.	In questo caso assume valore 1, ovvero viene resettata l'integrativa del controllo in velocità per permettere un corretto allineamento.

4.7.10 Fase "*D4 - Discesa Tripode*"

Portata a termine la fase di allineamento al gradino si procede con la fase con la discesa del tripode dal gradino in modo da poggiare la ruota anteriore sul pavimento. Si procede dapprima con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Vengono poi resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set al tripode così da permetterne la discesa della ruota anteriore, sospesa oltre la soglia, e poggiarla sul piano oltre lo scalino. Dopo un intervallo di tempo pari a 1,5 secondi dall'attivazione dello stato comincia la verifica della condizione imposta dalla transizione che porta allo stato "*D5*", dove si ha lo spostamento della carrozzina.Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

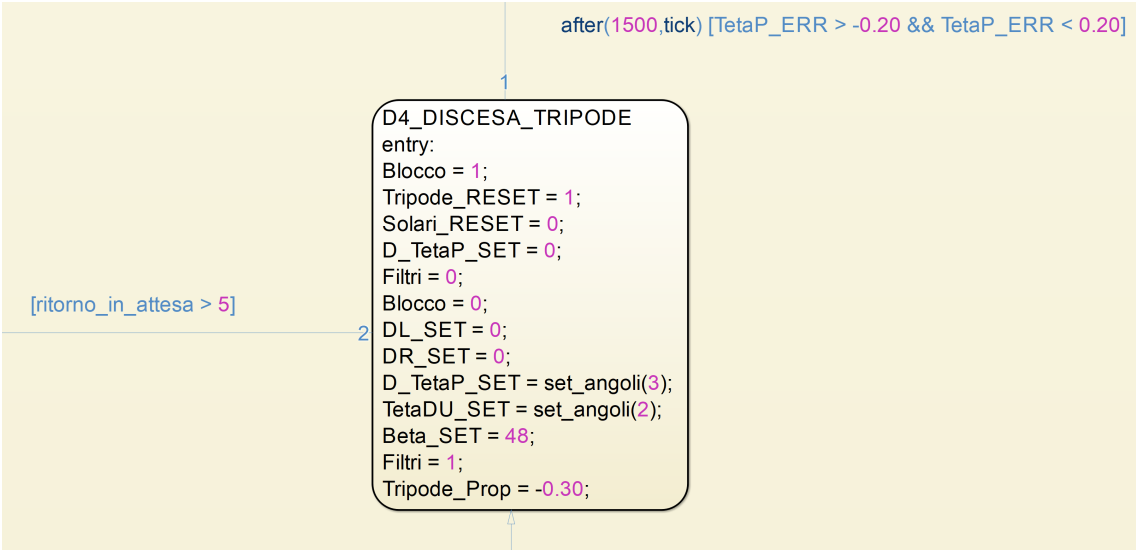


Figura 4.7.11: Fase "*D4 - Discesa tripode*"

Tabella 4.14: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D4 - Discesa Tripode*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_ Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Le si assegna il valore 1, cosi si realizza il reset rispetto allo stato precedente.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa non viene resettata in quanto nella fase precedente non si è avuto nessuna traslazione della carrozzina.

D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Dal vettore *ste_angoli*, si estrae la terza riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione del tripode.
TetaDU_SET	Questa specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Questo rimane lo stessa della fase precedente, ovvero non subisce variazioni.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,30 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta.	Ha un campo di variazione che da 32° a 48°, in questo caso passa da 42° a 48°.

4.7.11 Fase"*D5 - Spostamento*"

Una volta che la ruota anteriore del tripode ha toccata il pavimento la fase D4 termina e si procede con la fase D5. Come prima si attendono 0,5 secondi in modo che gli attuatori concludano i movimenti,dopodiché si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Dopo aver atteso 0,6 secondi vengono resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set alle solari, che fanno traslare la carrozzina di una quantità pari a quella specificata dai segnali DX_SET. Dopo un intervallo di tempo pari a 1 secondo dall'attivazione dello stato comincia la verifica della condizione imposta dalla transizione che porta allo stato "*D6-D7*".Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

Figura 4.7.12: Fase "*D5 - Spostamento*"

Tabella 4.15: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D5 - Spostamento*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Questa non viene resettata in quanto nella fase precedente non si è avuto nessuna traslazione della carrozzina.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in quanto nella fase precedente si è avuta una traslazione della carrozzina.

D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Viene posta a 0 in quanto in questa fase non subisce variazioni.
TetaDU_SET	Questa specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Dal vettore *set_angoli*, si estrae la ottava riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione delle pivotanti.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set 400 mm (valore ricavato sperimentalmente) cosi da avere la ruota posteriore sinistra del tripode ad una certa distanza dallo scalino.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set 400 mm (valore ricavato sperimentalmente) cosi da avere la ruota posteriore sinistra del tripode ad una certa distanza dallo scalino.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta	Questo rimane lo stesso della fase precedente, senza subire variazioni.

4.7.12 Fase "*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*"

Una volta che la carrozzina è avanzata di 40 cm, si procede con la fase D6-D7. Come prima si attendono 0,5 secondi in modo che gli attuatori concludano i movimenti,dopodiché si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Dopo aver atteso 0,6 secondi vengono resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set ai tripodi e alle pivotanti, in modo da entrambe le ruote del tripode poggino sul piano presente oltre il gradino, mentre le pivotanti vanno ad avanzare in baricentro in modo tale che questo rientri tra le due due ruote appoggiate del tripode. Dopo un intervallo di tempo pari a 1,5 secondi dall'attivazione dello stato comincia la verifica della condizione imposta dalla transizione che porta allo stato "*D8*".Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

Figura 4.7.13: Fase "*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*"

Tabella 4.16: Descrizione variabili presenti nella Fase"*D6-D7 - Appoggio ruota posteriore e avanzamento baricentro*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Le si assegna il valore 1, cosi si realizza il reset rispetto allo stato precedente, dove si è avuta una rotazione del tripode.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in quanto nella fase precedente si è avuta una traslazione della carrozzina.

D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Dal vettore *set_angoli*, si estrae la la quinta e la settima riga, e si sommano, il risultato che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione del tripode.
TetaDU_SET	Questa specifica l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Questo rimane lo stesso della fase precedente.
D_xL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
D_xR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
TetaDU_FB	Angolo di feedback delle pivotanti, misurato dal sensore.	La condizione imposta dalla transizione, ovvero il confronto con il valore di set, è soddisfatta quando la differenza tra i due è compresa tra ± 0,50°.
TetaP_ERR	Indica l'errore tra ila valore di set e il feedback dell'angolo θ_P	La condizione imposta dalla transizione, ovvero il confronto con il valore di set, è soddisfatta quando la differenza tra i due è compresa tra ± 0,20°.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta	Questo rimane lo stesso della fase precedente, senza subire variazioni.

4.7.13 Fase "*D8 - Spostamento*"

Una volta che la proiezione del baricentro si trova tra le due ruote del tripode a contatto, la carrozzina risulta essere in equilibrio su di esse, allora si procede con l'avanzamento lento della carrozzina in modo da avere spazio sufficiente per l'appoggio delle pivotanti, spazio che è stato determinato sperimentale e risulta essere pari a 50 cm. Si attende 1 secondo in modo che gli attuatori concludano i movimenti,dopodiché si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Dopo aver atteso 1,1 secondi vengono resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set alle solari, che fanno avanzare la carrozzina. Dopo un intervallo di tempo pari a 1,5 secondi dall'attivazione dello stato comincia la verifica della condizione imposta dalla transizione che porta allo stato "*D9-D10*". Il movimento di avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

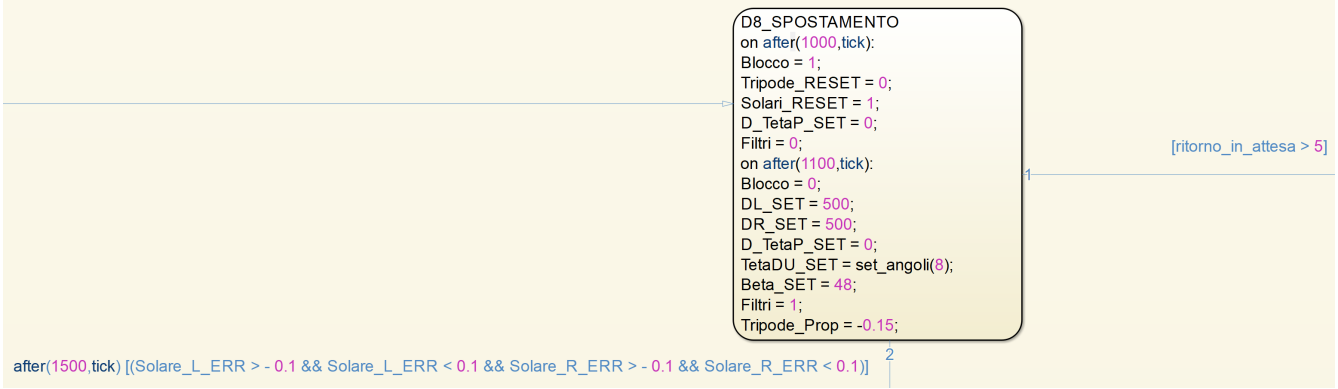


Figura 4.7.14: Fase "*D8 - Spostamento*"

Tabella 4.17: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D8 - Spostamento*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_ Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Questa non viene resettata in quanto si vuole tenere in considerazione il conteggio dei giri fatti nella fase precedente.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in seguita alla fase precedente.

D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Viene posta a 0 in quanto in questa fase non subisce variazioni.
TetaDU_SET	È l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Questo rimane lo stessa della fase precedente, ovvero non subisce variazioni.
DL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set 500 mm (valore ricavato sperimentalmente) cosi da permette alla ruota pivotante sinistra di oltrepassare lo scalino.
DR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone lo spazio che deve coprire la ruota sinistra della carrozzina, ovvero si impone come set 500 mm (valore ricavato sperimentalmente) cosi da permette alla ruota pivotante destra di oltrepassare lo scalino.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.
Tripode_Prop	Parte proporzionale del controllore PID.	Da prove sperimentali si è visto che con un proporzionale pari a -0,15 i tripodi hanno una velocità di rotazione tale da permette una raggiungimento preciso del set.
Solare_L_ERR	Valore dell'errore, valutato rispetto al set, dell'angolo di rotazione della solare sinistra.	La condizione imposta dalla transizione è soddisfatta quando questo assume una valore che sta nel range ± 0,1 rad.
Solare_R_ERR	Valore dell'errore, valutato rispetto al set, dell'angolo di rotazione della solare destra.	La condizione imposta dalla transizione è soddisfatta quando questo assume una valore che sta nel range ± 0,1 rad.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta	Questo rimane lo stesso della fase precedente, senza subire variazioni.

4.7.14 Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*"

Conclusa l'avanzamento, si dispone di uno spazio a sufficienza per permettere alla carrozzina di poggiare le ruote pivotanti sul pavimento e ritorna cosi una una situazione di maggiore sicurezza e stabilità. Dopodiché si passa alla riconfigurazione della carrozzina. Si attendono 0,5 secondi in modo che gli attuatori concludano i movimenti,dopodiché si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente. Dopo aver atteso 0,6 secondi vengono resi liberi i motori e inviati i nuovi segnali di set alle pivotanti e ai tripodi. Dopo un intervallo di tempo pari a 1 secondo dall'attivazione dello stato comincia la verifica della condizione imposta dalla transizione. Il movimento in avanti del joystick ha come effetto quello di ritornare allo stato di *Attesa*.

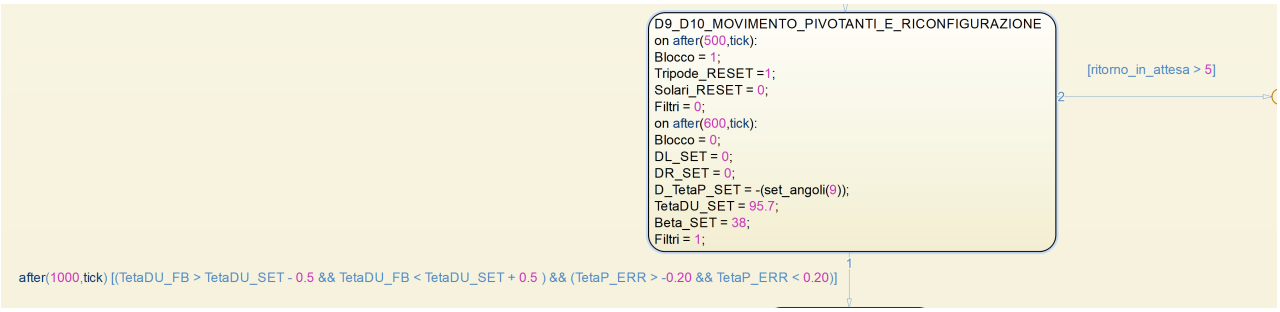


Figura 4.7.15: Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene dapprima imposto il valore 1, mentre si ha l'azzeramento dei segnali di set, successivamente cambiato ad 1 per permettere alla carrozzina di realizzare i movimenti dettati in questa fase.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Le si assegna il valore 1, cosi si realizza il reset rispetto allo stato precedente, dove si è avuta una rotazione del tripode.
Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in quanto nella fase precedente si è avuta una traslazione della carrozzina.

D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Dal vettore *set_angoli*, si estrae la nona riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione dei tripodi.
TetaDU_SET	È l'angolo che devono realizzare le pivotanti.	Dal vettore *set_angoli*, si estrae la decima riga che viene assegnata come segnale di set all'angolo di rotazione delle pivotanti.
D_xL_SET	Spazio che deve percorrere la ruota sinistra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
D_xR_SET	Spazio che deve percorrere la ruota destra della carrozzina (mm).	Si impone 0 in quanto la carrozzina non deve traslare.
TetaDU_FB	Angolo di feedback delle pivotanti, misurato dal sensore.	La condizione imposta dalla transizione, ovvero il confronto con il valore di set, è soddisfatta quando la differenza tra i due è compresa tra ± 0,05°.
Beta_SET	Valore che deve assumere l'angolo della seduta	Ha un campo di variazione che da 32° a 48°, in questo caso passa da 48° a 38°.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene dapprima disattivato (0) per resettare i segnali di set,e poi variato ad 1 quando inizia la fase così che il segnale di set sulle solari (gradino) possa essere reso più graduale e quindi non avere una risposta "nervosa" del sistema.

Tabella 4.18: Descrizione variabili presenti nella Fase "*D9-D10 - Movimento pivotanti e riconfigurazione*"

4.7.15 Fase "*Fine Sequenza*"

A termine della fase D9-D10 si procede allo stato "*FINE_ SEQUENZA*". Come prima si attendono 0,5 secondi in modo che gli attuatori concludano i movimenti,dopodiché si procede con l'azzeramento dei segnali di set e delle variabili utilizzate nello stato precedente e si arrestano gli attuatori. Dopo un intervallo di tempo pari a 1 secondo si riporta la sequenza allo stato di "*Attesa*". La sequenza automatica di discesa del gradino volge cosi al termine, e l'utente tramite il selettore presente sul telecomando può scegliere la modalità che meglio crede, oppure rimanere nella modalità di discesa gradino e ripetere la sequenza schiacciando nuovamente il tasto D_{SOK}.

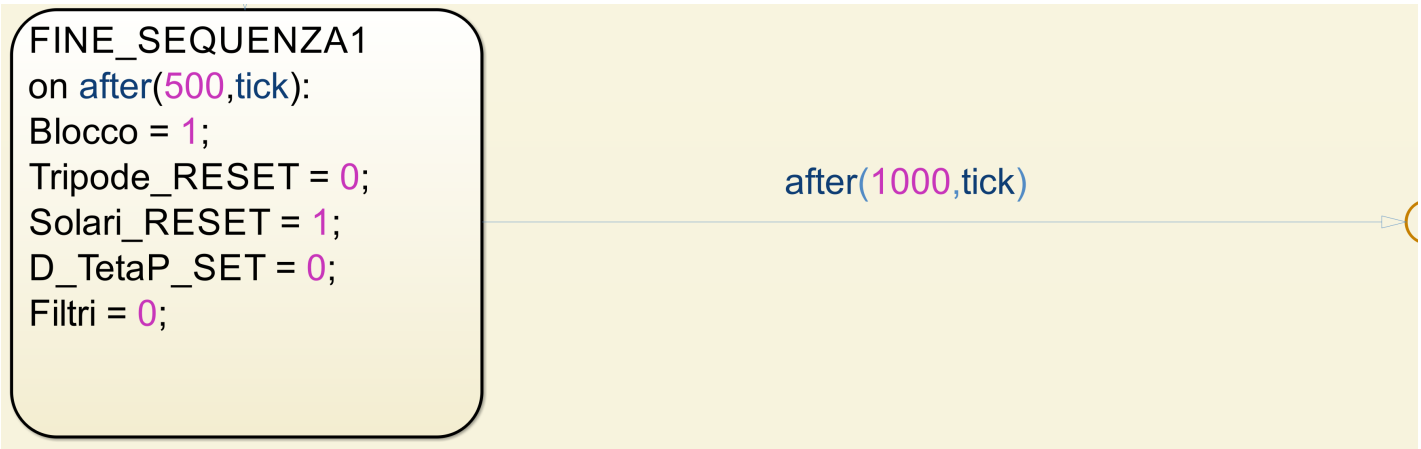


Figura 4.7.16: Fase "*Fine Sequenza*"

Simbolo	Descrizione	Range di variazione
Blocco	Grandezza utilizzata per interrompere tutti i segnali contenuti nel vettore *Discesa_ Out*, ottenendo cosi l'arresto degli attuatori e quindi della carrozzina (0/1).	Viene imposto il valore 1 in modo da bloccare la carrozzina.
Tripode_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette il salvataggio del valore della variabile TetaP_FB e il l'azzeramento del conteggio del numero di giri compiuti dal tripode (0/1).	Questa non viene resettata rispetto in quanto nella fase precedente non si è avuta una rotazione del tripode.

Solari_RESET	Mutando il valore di questa grandezza si permette l'azzeramento dell'integratore che conteggia l'angolo di rotazione delle solari.	Questa viene resettata in quanto nella fase precedente si è avuta una traslazione della carrozzina.
D_TetaP_SET	Gradiente di rotazione che deve essere completato dai tripodi. Specificando il segno di tale variabile si ottiene una rotazione dei tripodi in avanti (+) o all'indietro (-), misurato in (°).	Viene posta a 0 in quanto in questa fase non subisce variazioni.
Filtri	Agendo su questo si possono far intervenire o meno i filtri che intervengono sui segnali di set di distanza e rotazione dei tripodi.	Viene disattivato (0) per resettare i segnali di set.

Tabella 4.19: Descrizione variabili presenti nella Fase "*Fine Sequenza*"

5 Prove sperimentali modalità automatica discesa gradino

In questo ultimo capitolo vengono presentate le prove sperimentali della sequenza automatica di discesa gradino, specificando per ognuna di esse i dati iniziali, i risultati ottenuti e quelli attesi, tramite il commento dei grafici che accompagnano ogni prova.

5.1 Prove sperimentali di discesa gradino

Sono state eseguite diverse prove, in parte di queste è stata utilizzata la configurazione della pedana che simula un gradino alto 68 mm, e una seconda parte è stata eseguita inserendo degli spessori tali da portare la sua altezza a 90 mm. I test sono stati eseguiti posizionando la carrozzina sulla pedana, con una configurazione casuale dei gradi di libertà, per diverse distanze dal gradino stesso. Conclusa questa parte di preparazione, si è posizionato il selettore sulla *Modalità Discesa gradino*, ed è stato schiacciato il tasto S_{OK}, che attiva la sequenza automatica di discesa.

5.1.1 Test n°1 - Discesa gradino con carrozzina allineata

Nel test n°1, è stata adottata una configurazione della pedana con altezza pari a 90 mm e la carrozzina è stata posizionata ad una distanza dal gradino pari a 250 mm, dopo il gradino è presente uno spazio si 2240 mm. La configurazione dei gradi di libertà presenta una angolo iniziale dei tripodi pari a 36° e 87° per l'angolo delle pivotanti. Dopo questa prima descrizione si passa alla prova , dove la sequenza automatica attraversa le seguenti fasi, già descritte, nello stateflow:

1. *ATTESA*: inizialmente la sequenza si trova nello stato di attesa, dove la carrozzina a causa della variabile *Blocco*=1 è ferma. Quando l'utente schiaccia il pulsante D_SOK allora la condizione imposta dalla transizione viene verifica e si esce dallo stato di attesa, e si prosegue con il successivo.

2. *MATRICE PUNTI SCANSIONATI*: in questa fase vengono salvati nella matrice i punti che sono stati scansionati dal Lidar durante i 5 secondi successivi all'attivazione del pulsante D_SOK. Si ricorda che all'interno di questo stato la carrozzina rimane ancora ferma.

3. *VALUTAZIONE MISURE GRADINO IN DISCESA*: la funzione matlab, partendo dai punti rilevati le cui coordinate sono presenti nella matrice creata nella fase precedente, ricava le grandezze caratteristiche del gradino. Calcolati i parametri si procede con la verifica delle varie condizioni poste dalle transizioni, ovvero distanza massima dal gradino e se questo risulta superabile. Risultando verificata la transizione numero 4,ovvero distanza inferiore a 400 mm e gradino superabile, si procede alla valutazione degli angoli di set.

4. *VALUTAZIONE ANGOLI SET*: quindi si entra in questa fase e si determinano i segnali di set che verranno inviati successivamente a sistemi di controllo dei motori.

5. *D1* $\rightarrow$ *FINE_ SEQEUNZA*: viene avviata la sequenza automatica che prosegue fino alla conclusione.

6. *ATTESA*: conclusa la sequenza automatica la carrozzina ritorna nello stato di attesa, dove viene attivata nuovamente la variabile *Blocco*, che arresta la carrozzina.

Grafici

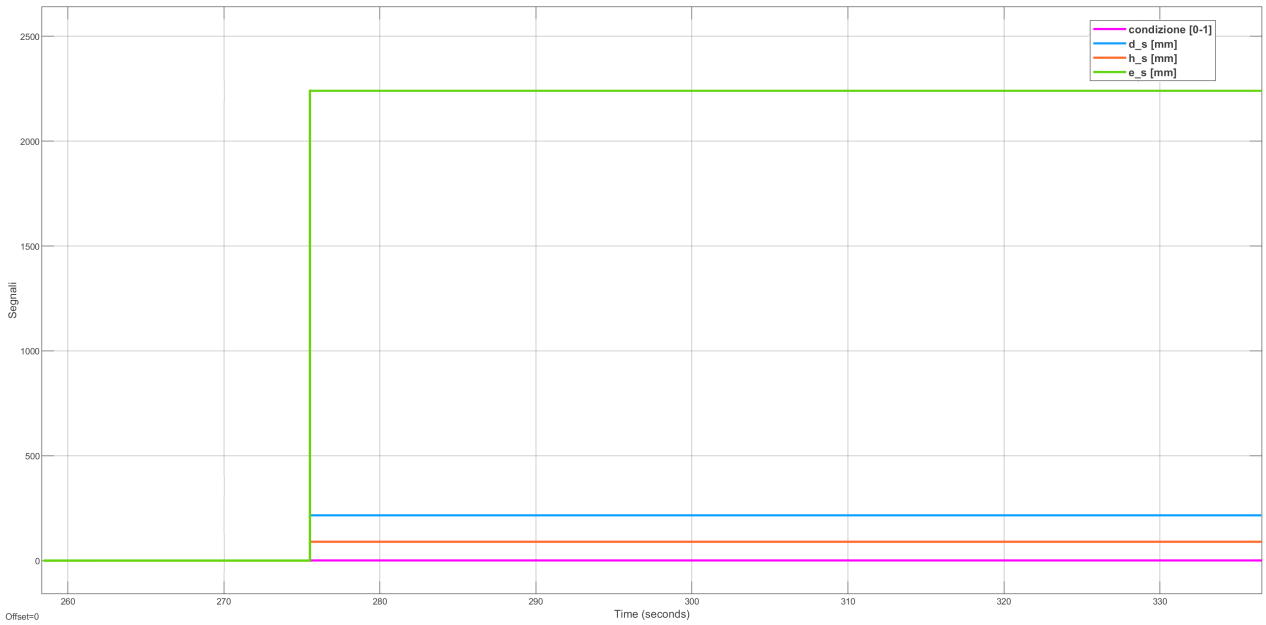


Figura 5.1.1: *Misure caratteristiche gradino*

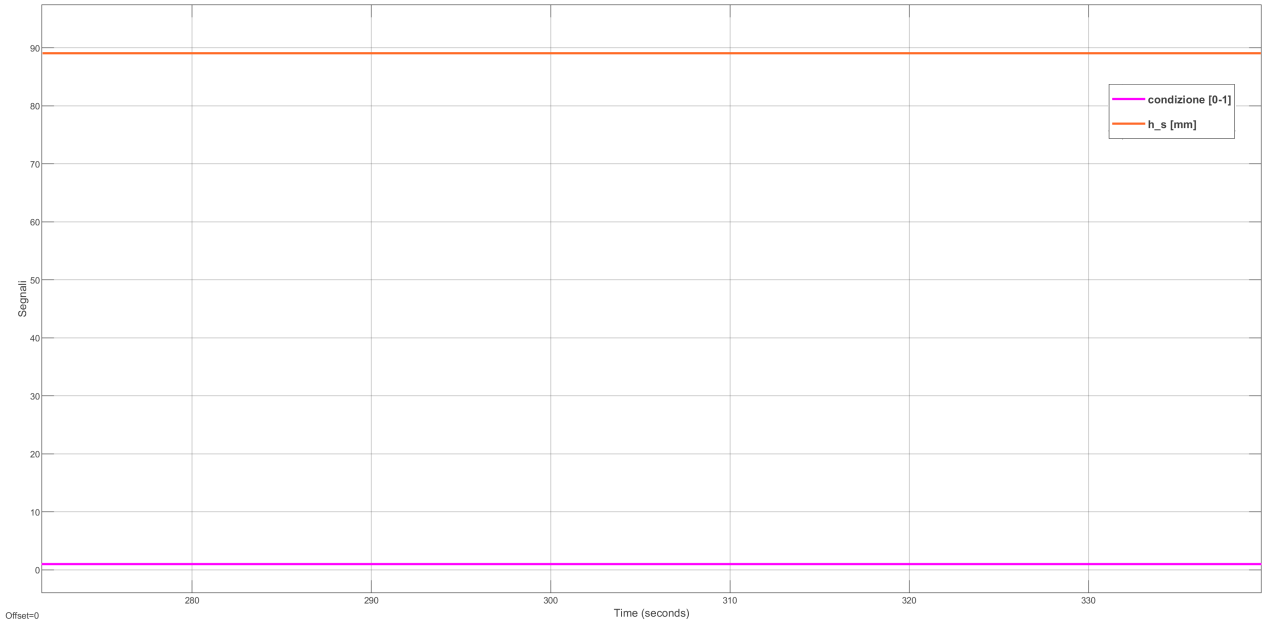


Figura 5.1.2: *Dettaglio misure caratteristiche gradino*

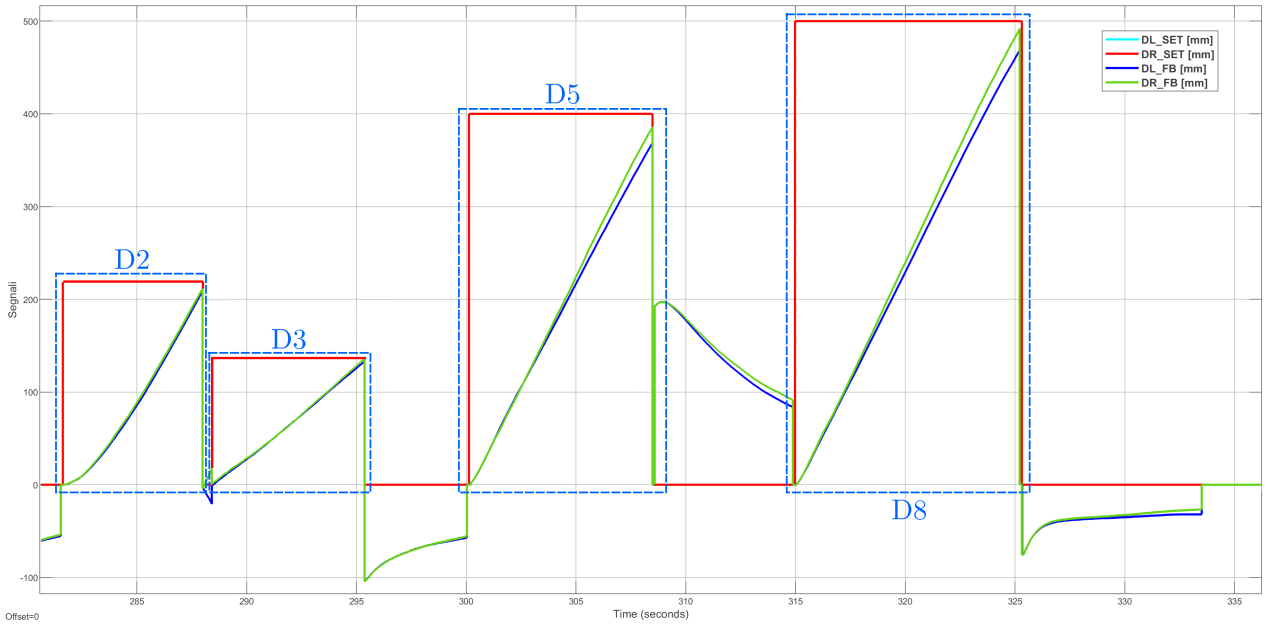


Figura 5.1.3: *Analisi completa traslazione carrozzina*

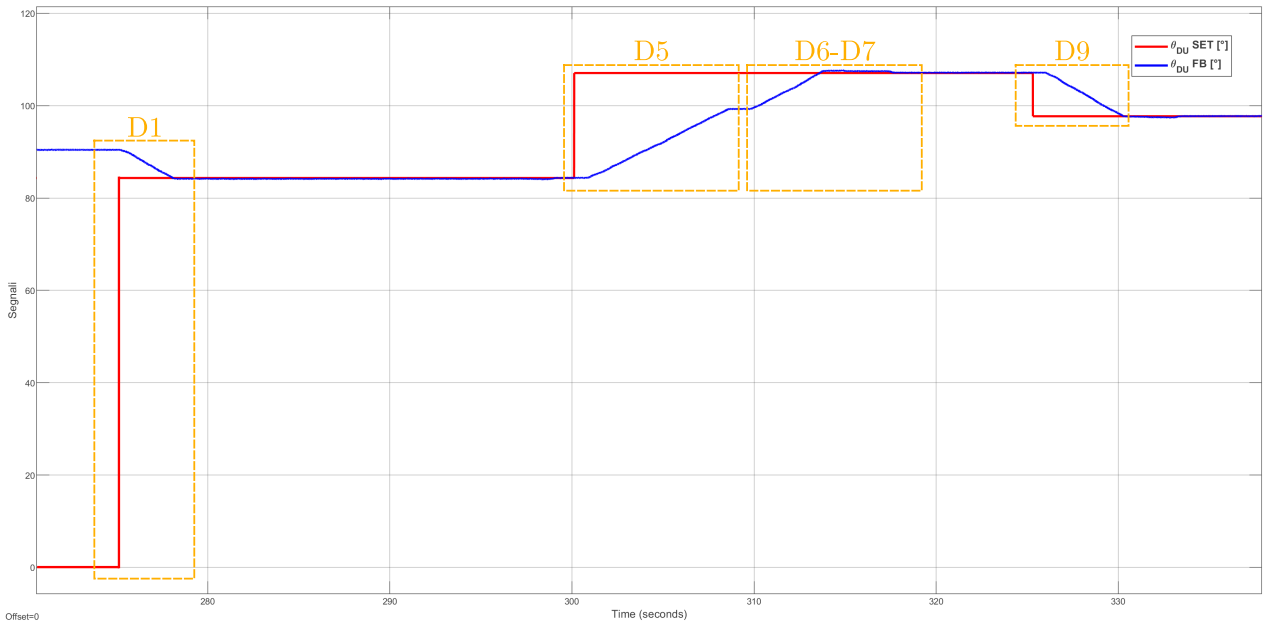


Figura 5.1.4: *Analisi completa pivotanti*

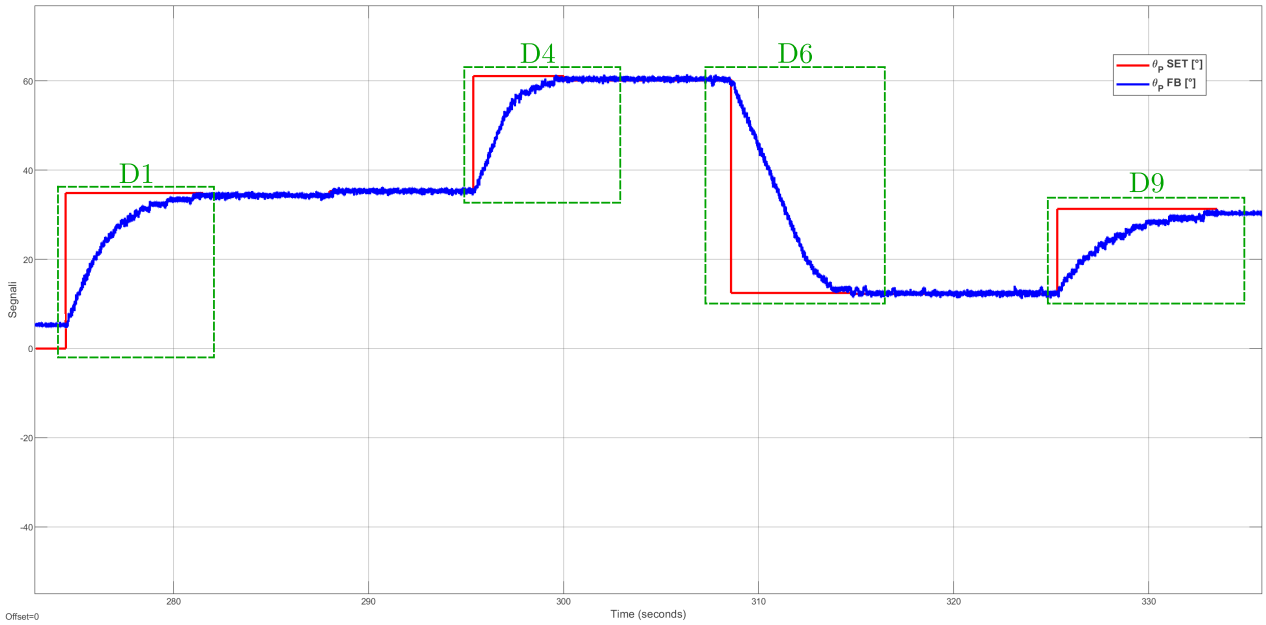


Figura 5.1.5: *Analisi completa tripodi*

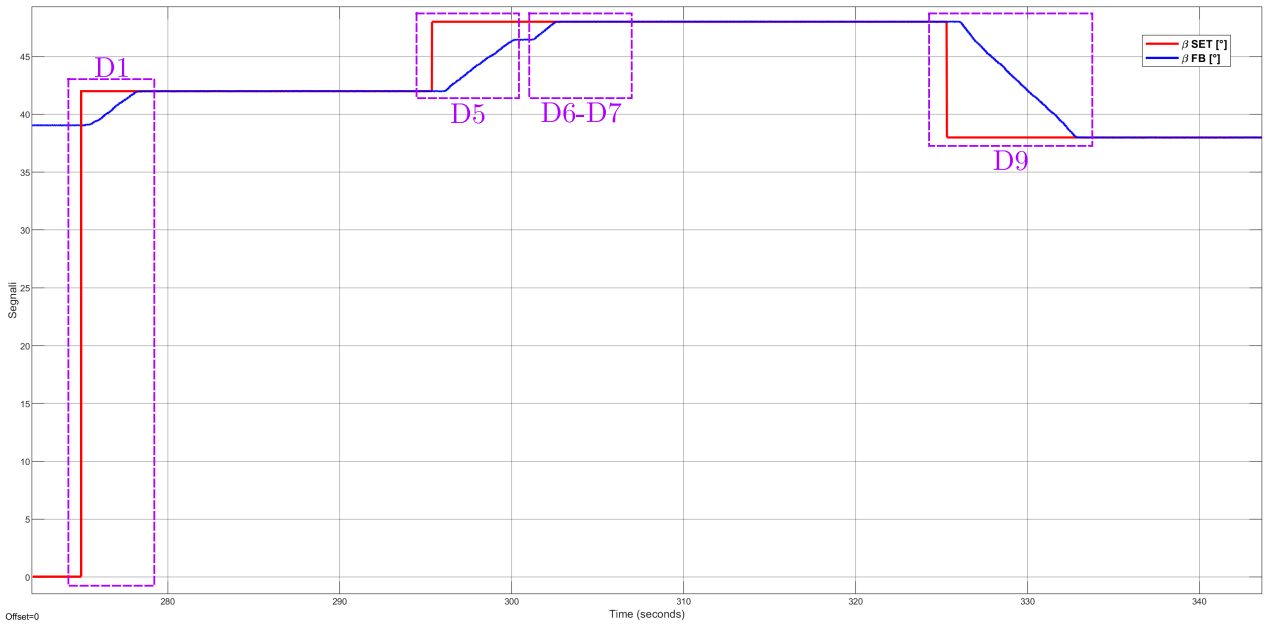


Figura 5.1.6: *Analisi completa seduta*

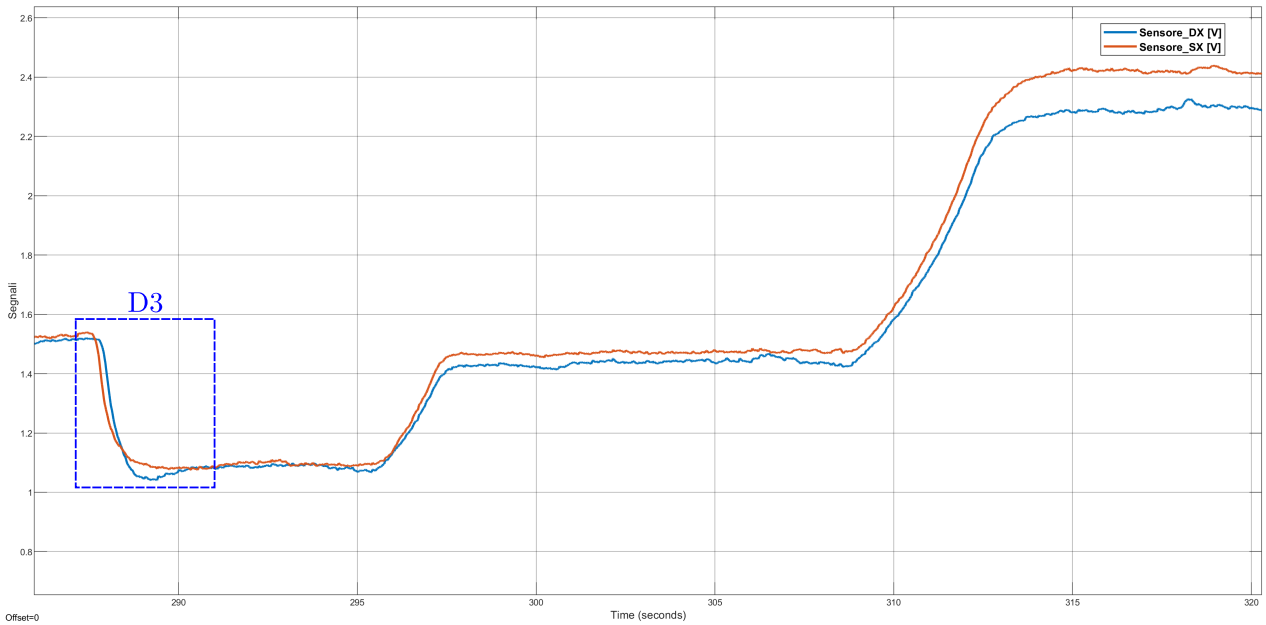


Figura 5.1.7: *Lettura sensori di soglia*

Figura 5.1.8: *Inizio Sequenza*

Figura 5.1.9: *Arretramento baricentro*

Figura 5.1.10: *Avvicinamento al gradino*

Figura 5.1.11: *Discesa tripodi*

Figura 5.1.12: *Spostamento*

Figura 5.1.13: *Avanzamento baricentro*

Figura 5.1.14: *Spostamento*

Figura 5.1.15: *Riconfigurazione*

5.1.2 Test n°2 - Discesa gradino con carrozzina disallineata

Nel test n°2, è stata adottata una configurazione della pedana con altezza pari a 68 mm e la carrozzina è stata posizionata ad una distanza dal gradino pari a 300 mm, dopo il gradino è presente uno spazio si 2240 mm. La configurazione dei gradi di libertà presenta una angolo iniziale dei tripodi pari a 68,4° e 95,5° per l'angolo delle pivotanti. Dopo questa prima descrizione si passa alla prova di discesa del gradino, dove la sequenza automatica attraversa le seguenti fasi, già descritte, dello stateflow:

1. *ATTESA*: inizialmente la sequenza si trova nello stato di attesa, dove la carrozzina a causa della variabile *Blocco*=1 è ferma. Quando l'utente schiaccia il pulsante D_SOK allora la condizione imposta dalla transizione viene verifica e si asce dallo stato di attesa, e si prosegue con il successivo.

2. *REALIZZAZIONE MATRICE PUNTI SCANSIONATI*: in questa fase vengono salvati nella matrice i punti che sono stati scansionati dal Lidar durante i 5 secondi successivi all'attivazione del pulsante D_SOK. Ricordiamo che all'interno di questo stato la carrozzina rimane ancora ferma.

3. *VALUTAZIONE MISURE GRADINO IN DISCESA*:la funzione matlab, partendo dai punti rilevati le cui coordinate sono presenti nella matrice creata nella fase precedente, ricava le grandezze caratteristiche del gradino. Calcolati i parametri si procede con la verifica delle varie condizioni poste dalle transizioni, ovvero distanza massima dal gradino e se questo risulta superabile.

4. *VALUTAZIONE DEGLI ANGOLI DI SET*: essendo verificata la transizione numero 4, ovvero distanza inferiore a 400 mm e gradino superabile, si procede alla valutazione degli angoli di set da inviare al sistema di controllo.

5. *D1 → FINE_SEQUENZA*: viene avviata la sequenza automatica che prosegue fino alla conclusione.

6. *ATTESA*: conclusa la sequenza automatica la carrozzina ritorna nello stato di attesa, dove viene attivata nuovamente la variabile *Blocco*, che arresta la carrozzina.

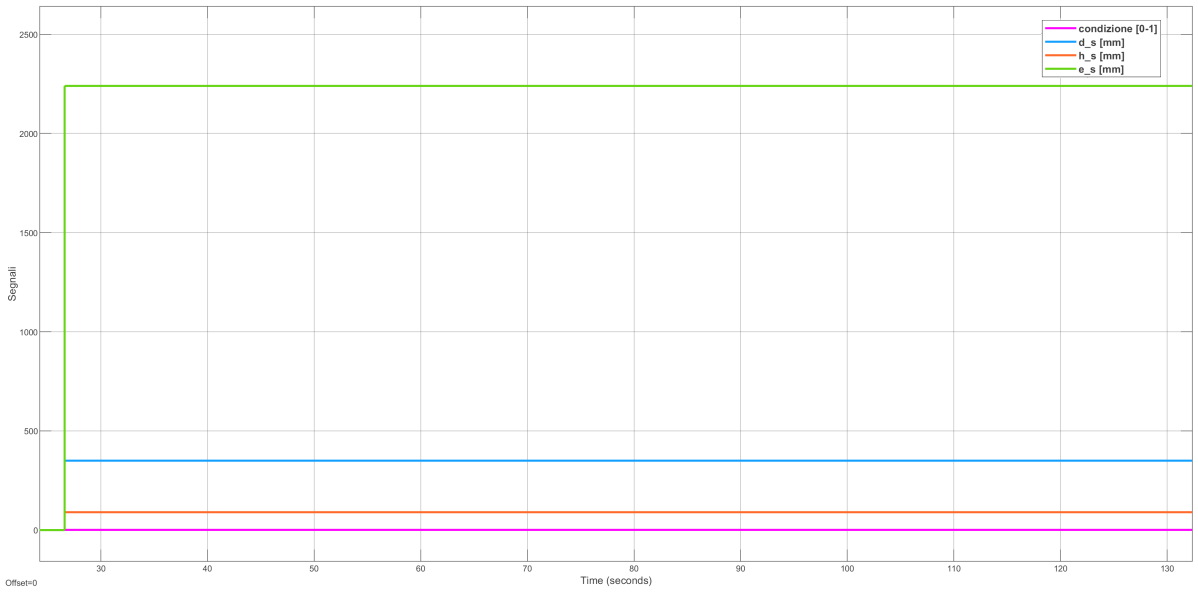


Figura 5.1.16: *Misure caratteristiche gradino*

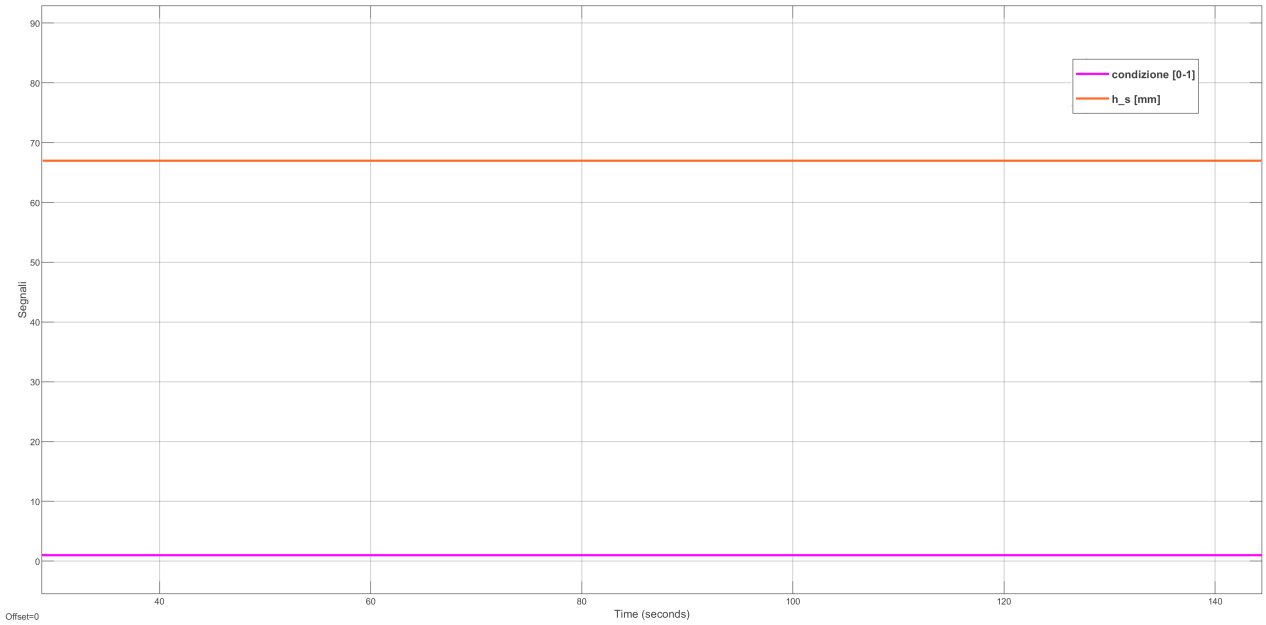


Figura 5.1.17: *Dettaglio misure caratteristiche gradino*

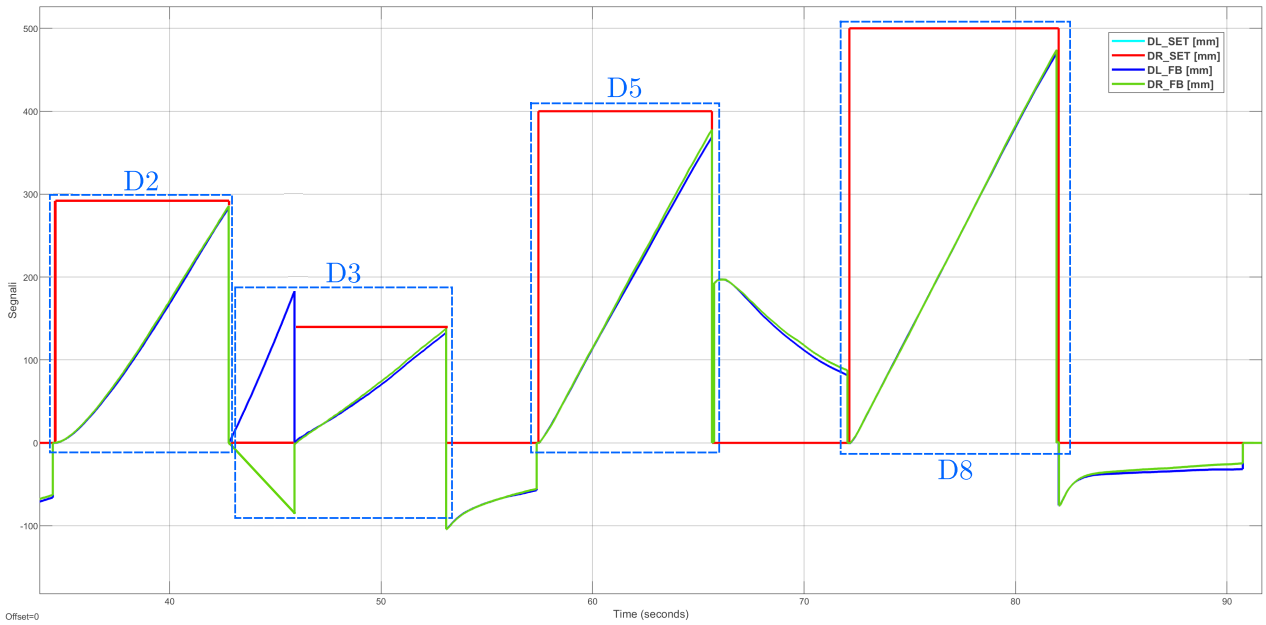


Figura 5.1.18: *Analisi completa traslazione carrozzina*

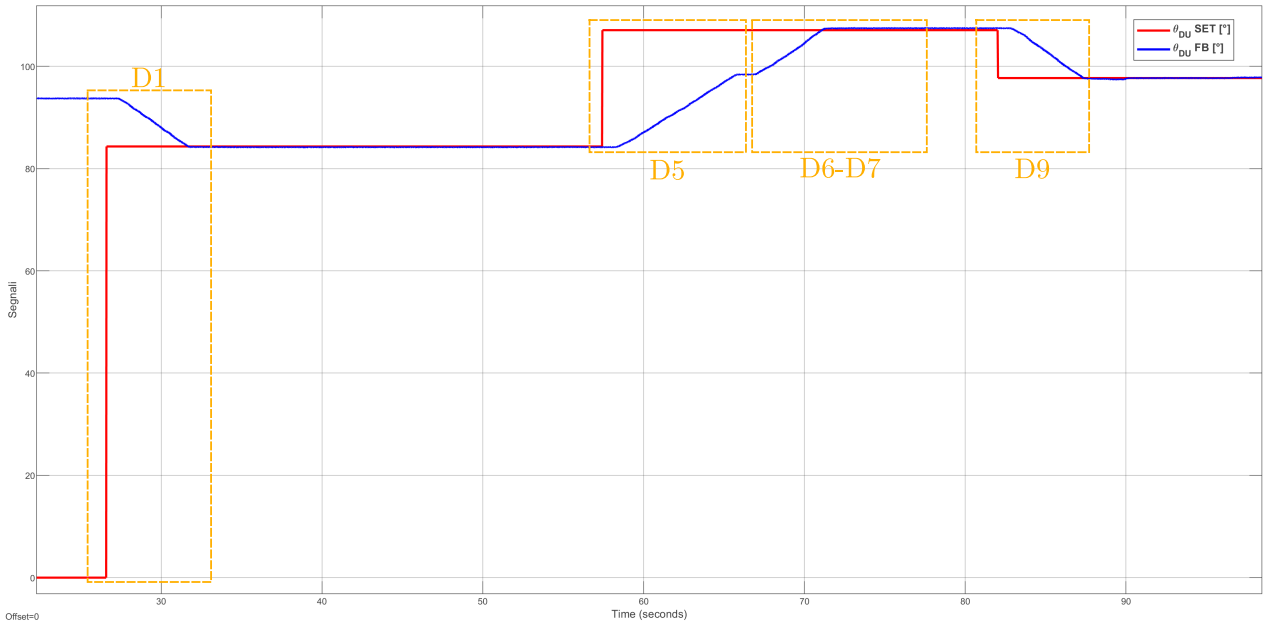


Figura 5.1.19: *Analisi completa pivotanti*

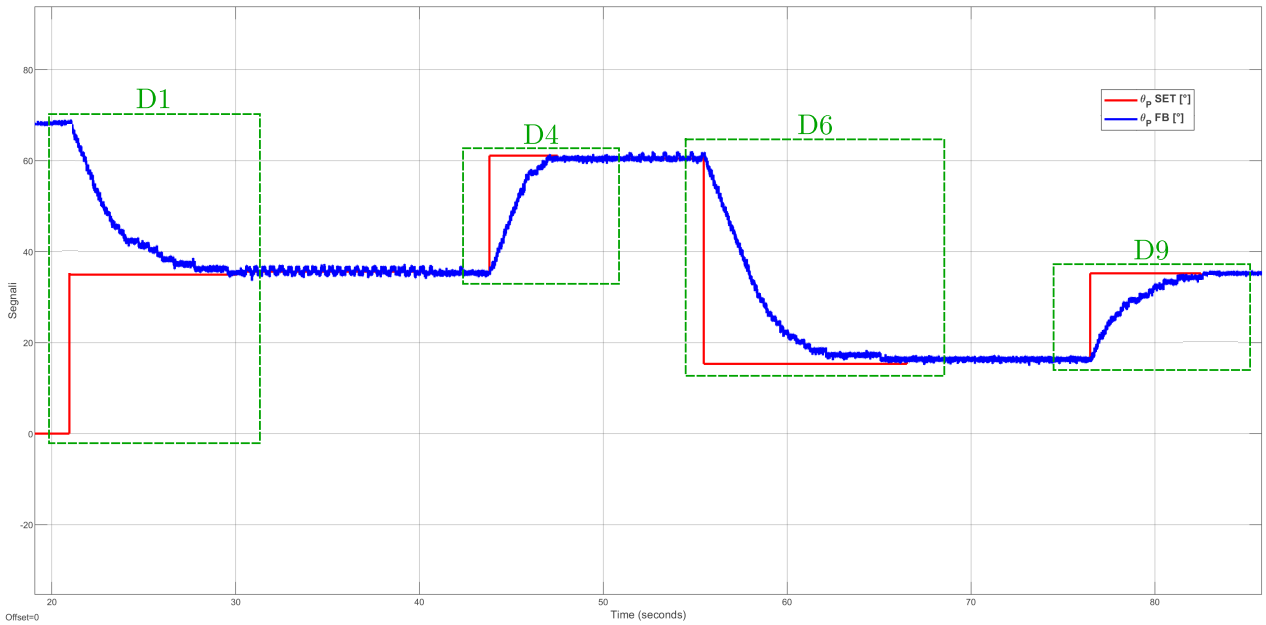


Figura 5.1.20: *Analisi completa tripodi*

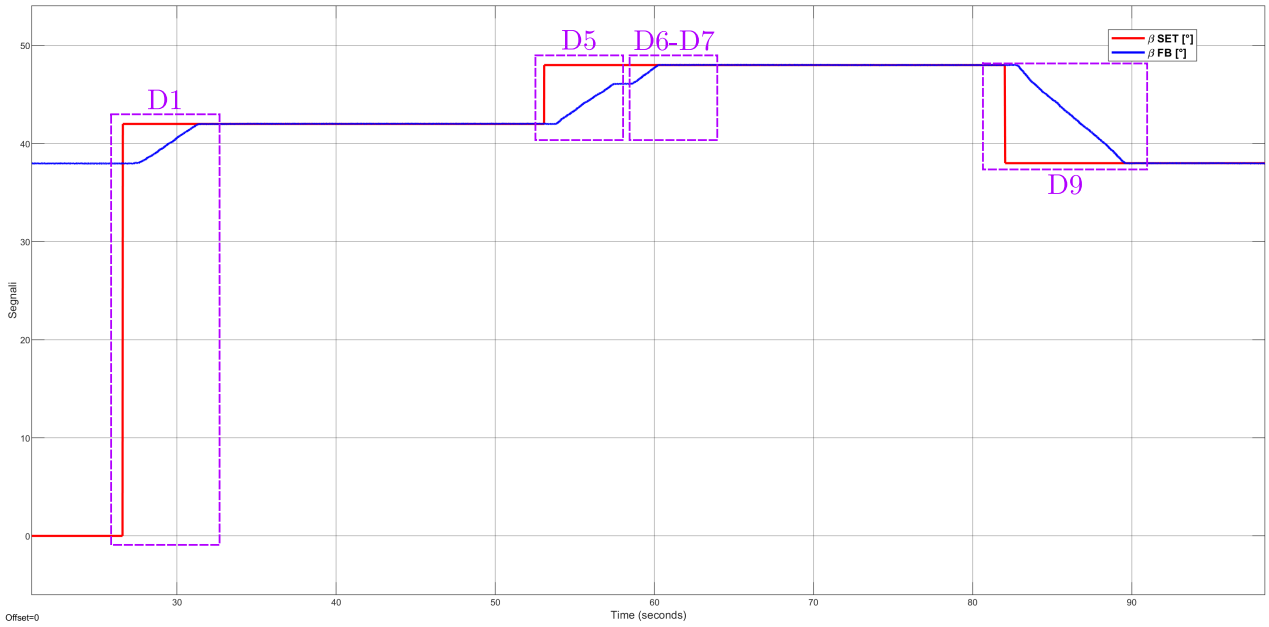


Figura 5.1.21: *Analisi completa seduta*

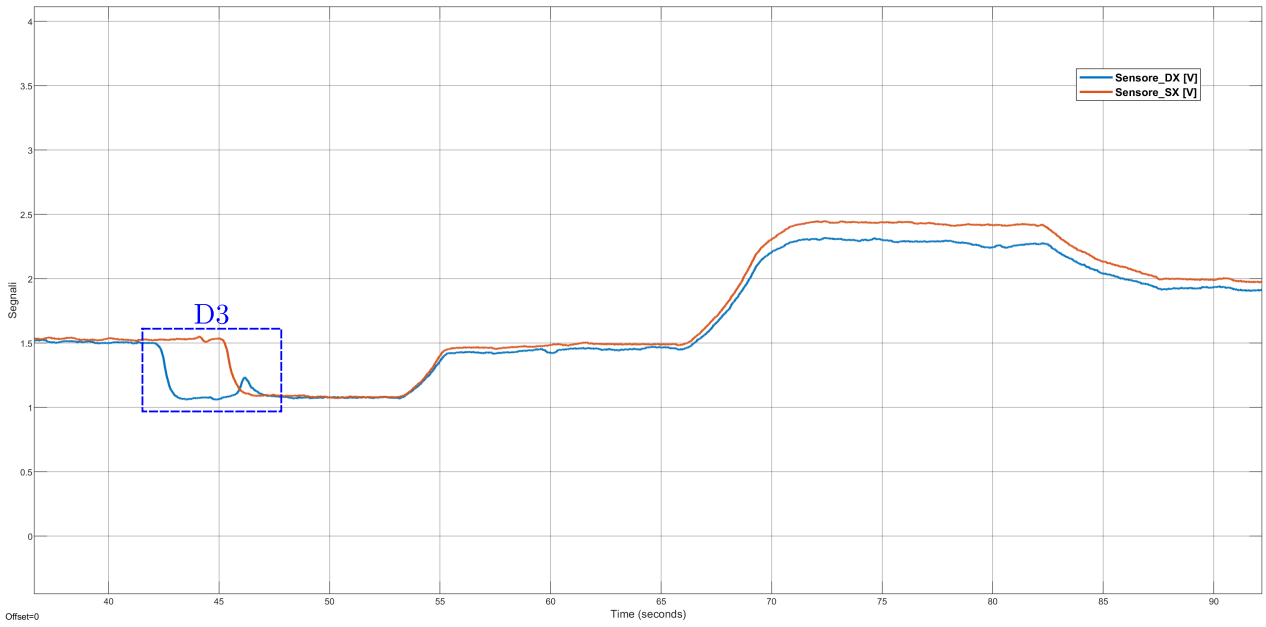


Figura 5.1.22: *Lettura sensori di soglia*

5.1.3 Test n°3 - Discesa gradino con carrozzina disallineata

Nel test n°3, la pedana è stata configurata con una altezza pari a 90 mm e la carrozzina è stata posizionata ad una distanza dal gradino pari a 260 mm, dopo il gradino è presente uno spazio si 2240 mm. La configurazione dei gradi di libertà presenta una angolo iniziale dei tripodi pari a 7,5° e 94,2° per l'angolo delle pivotanti. Dopo questa prima descrizione si passa alla prova di discesa del gradino, dove si passa attraverso le seguenti fasi, già descritte, dello stateflow:

1. *ATTESA*: inizialmente la sequenza si trova nello stato di attesa, dove la carrozzina a causa della variabile *Blocco*=1 è ferma. Quando l'utente schiaccia il pulsante D_SOK allora la condizione imposta dalla transizione viene verifica e si asce dallo stato di attesa, e si prosegue con il successivo.

2. *REALIZZAZIONE MATRICE PUNTI SCANSIONATI*: in questa fase vengono salvati nella matrice i punti che sono stati scansionati dal Lidar durante i 5 secondi successivi all'attivazione del pulsante D_SOK. Ricordiamo che all'interno di questo stato la carrozzina rimane ancora ferma.

3. *VALUTAZIONE MISURE GRADINO IN DISCESA*:la funzione matlab, partendo dai punti rilevati le cui coordinate sono presenti nella matrice creata nella fase precedente, ricava le grandezze caratteristiche del gradino. Calcolati i parametri si procede con la verifica delle varie condizioni poste dalle transizioni, ovvero distanza massima dal gradino e se questo risulta superabile.

4. *VALUTAZIONE DEGLI ANGOLI DI SET*: essendo verificata la transizione numero 4, ovvero distanza inferiore a 400 mm e gradino superabile, si procede alla valutazione degli angoli di set da inviare al sistema di controllo.

5. *D1 → FINE_SEQUENZA*: viene avviata la sequenza automatica che prosegue fino alla conclusione.

6. *ATTESA*: conclusa la sequenza automatica la carrozzina ritorna nello stato di attesa, dove viene attivata nuovamente la variabile *Blocco*, che arresta la carrozzina.

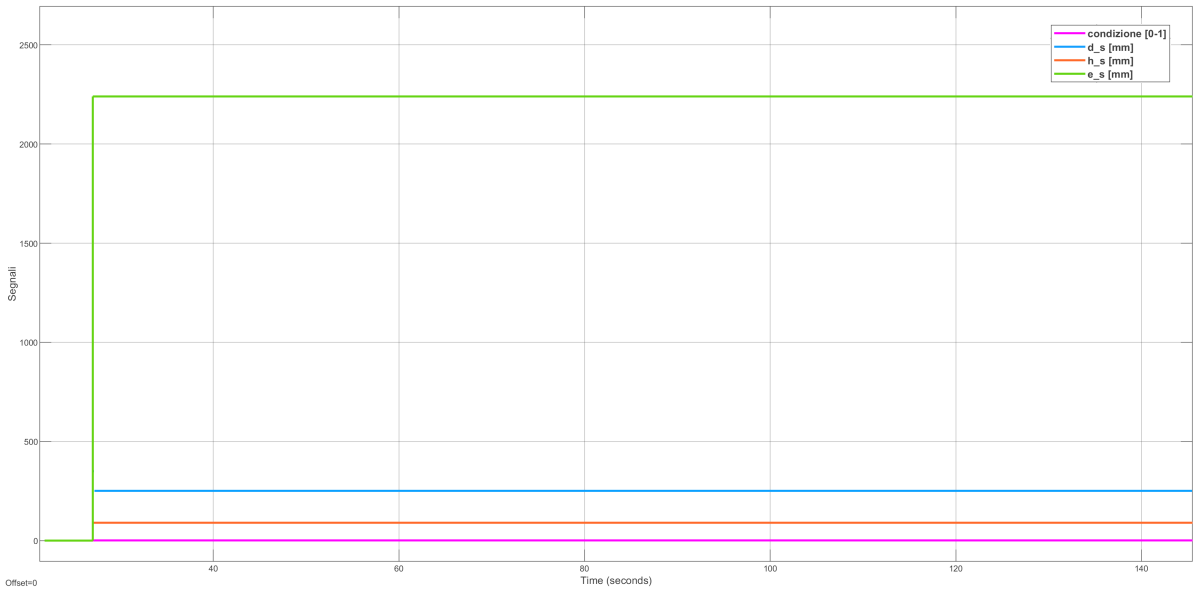


Figura 5.1.23: *Misure caratteristiche gradino*

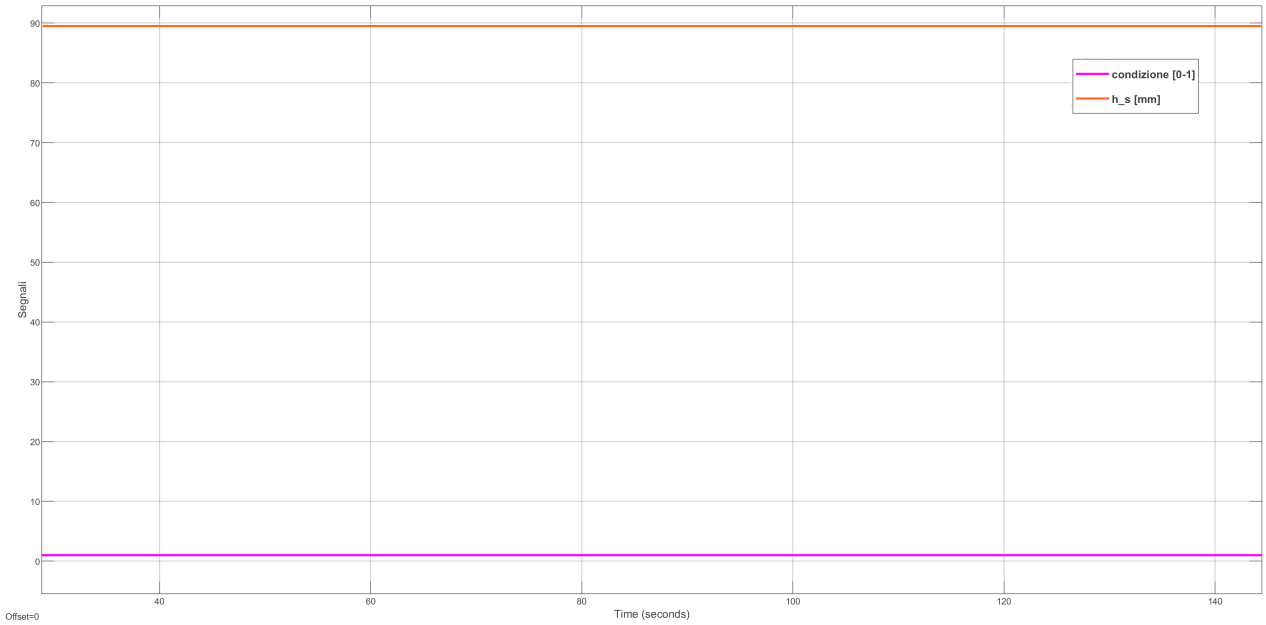


Figura 5.1.24: *Dettaglio misure caratteristiche gradino*

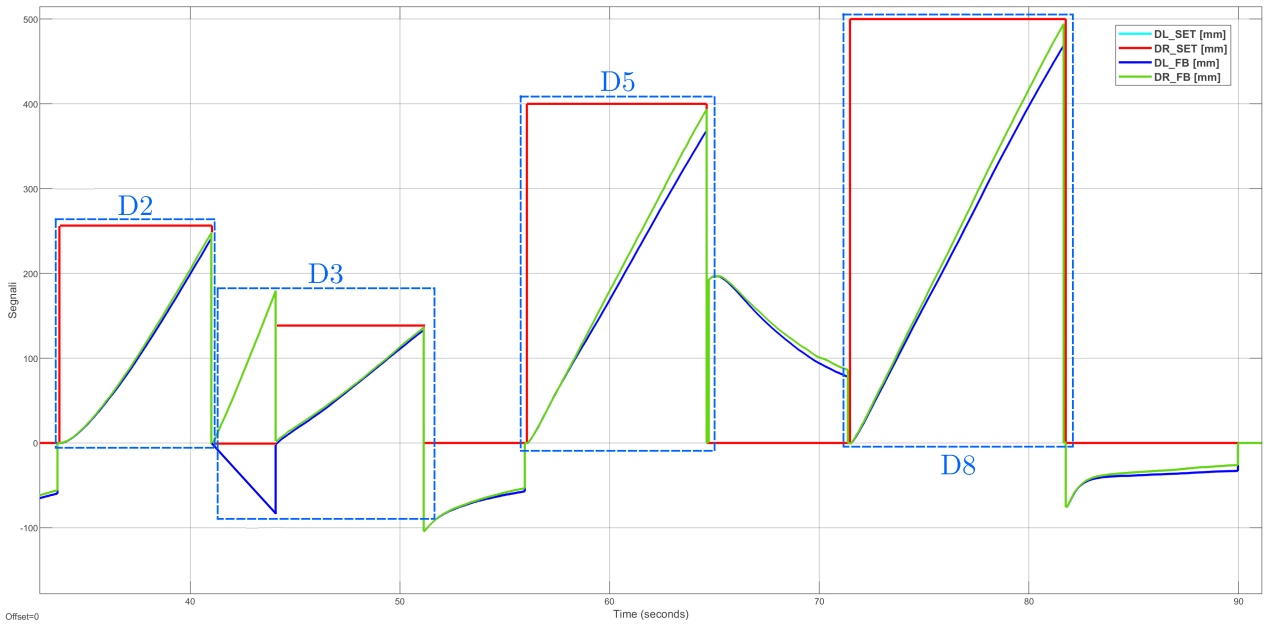


Figura 5.1.25: *Analisi completa traslazione carrozzina*

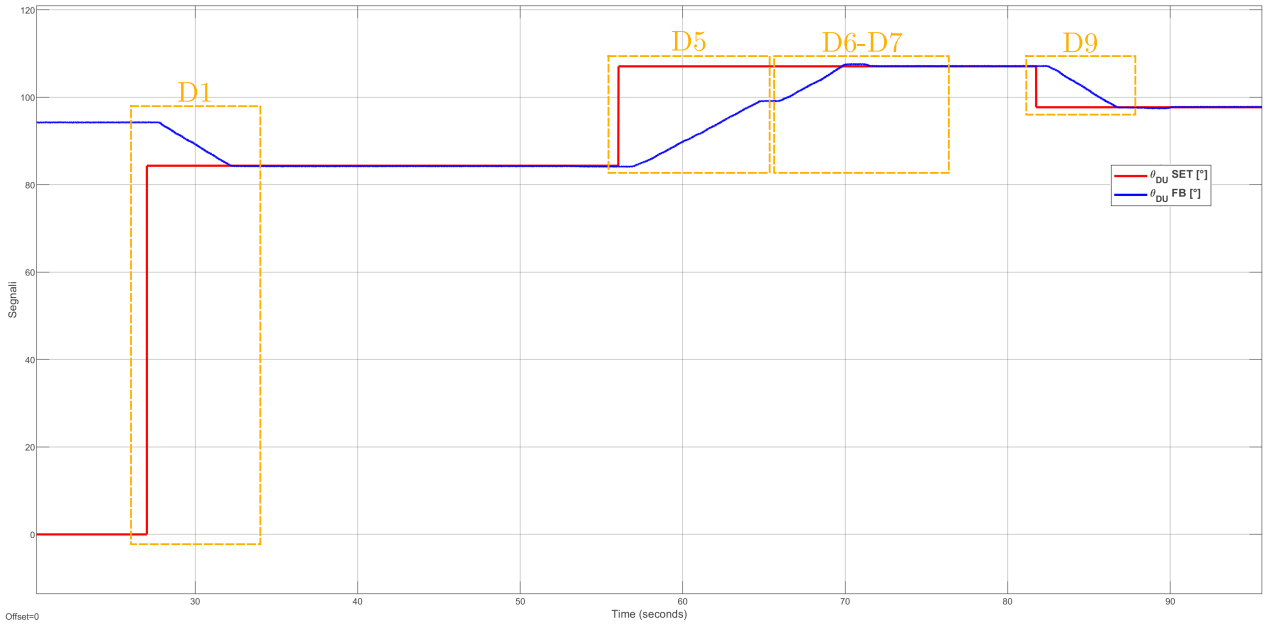


Figura 5.1.26: *Analisi completa pivotanti*

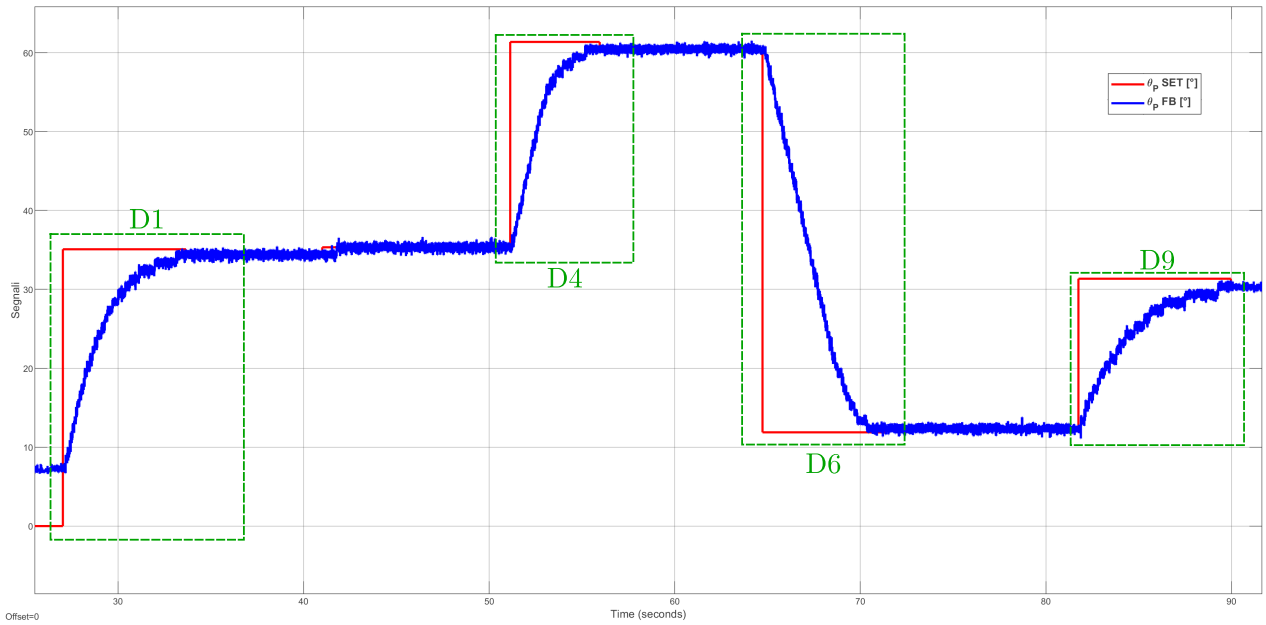


Figura 5.1.27: *Analisi completa tripodi*

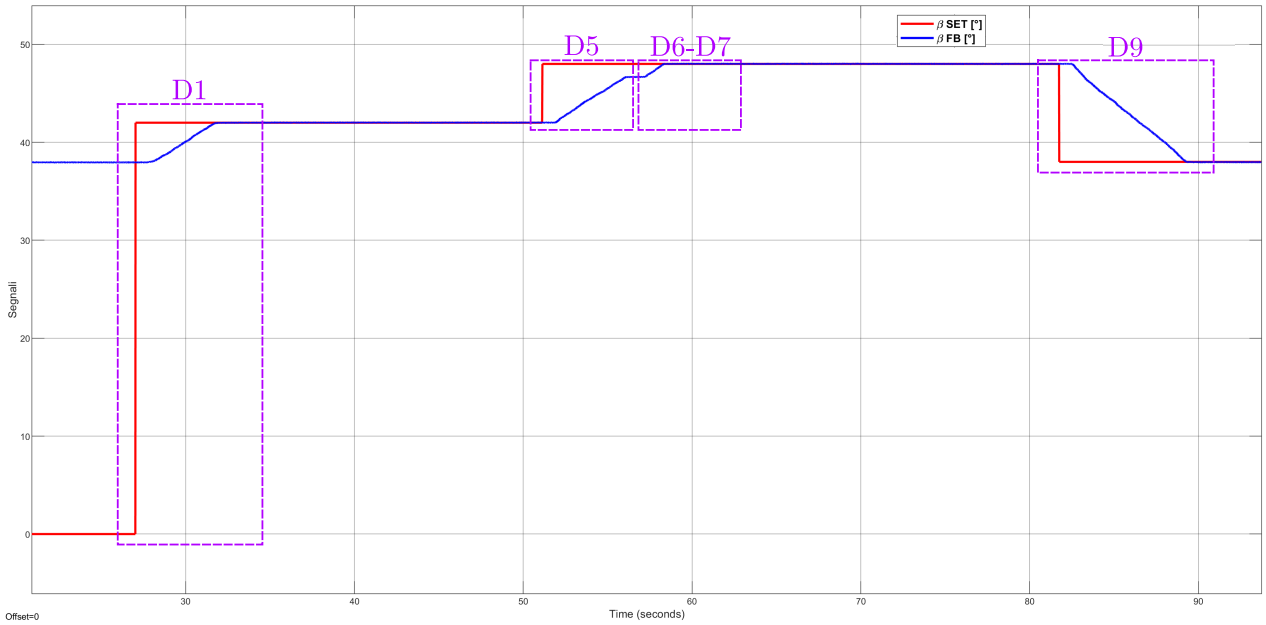


Figura 5.1.28: *Analisi completa seduta*

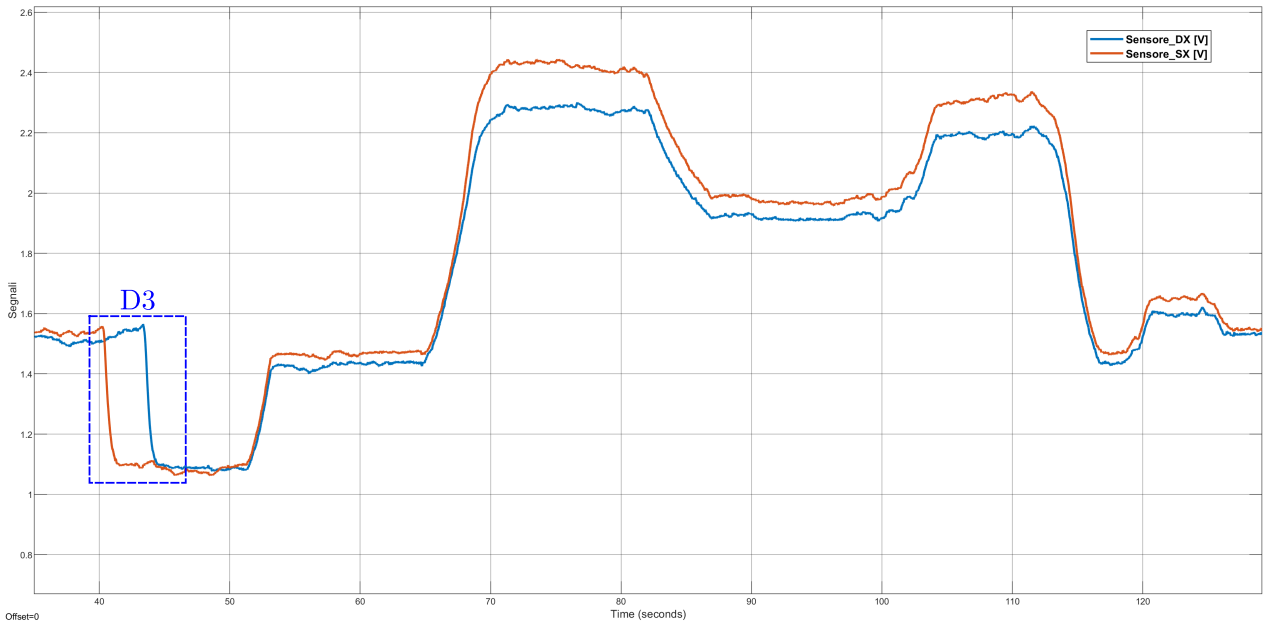


Figura 5.1.29: *Lettura sensori di soglia*

5.1.4 Test n°4

Nel test n°4, è stata adottata una configurazione della pedana con altezza pari a 68 mm e la carrozzina è stata posizionata ad una distanza dal gradino pari a 640 mm, dopo il gradino è presente uno spazio si 2240 mm. La configurazione dei gradi di libertà presenta una angolo iniziale dei tripodi pari a 8,7° e 95,5° per l'angolo delle pivotanti. Dopo questa prima descrizione si passa alla prova di discesa del gradino, dove la sequenza automatica attraversa le seguenti fasi dello stateflow:

1. *ATTESA*: inizialmente la sequenza si trova nello stato di attesa, dove la carrozzina a causa della variabile *Blocco*=1 è ferma. Quando l'utente schiaccia il pulsante D_SOK allora la condizione imposta dalla transizione viene verifica e si asce dallo stato di attesa, e si prosegue con il successivo.

2. *REALIZZAZIONE MATRICE PUNTI SCANSIONATI*: in questa fase vengono salvati nella matrice i punti che sono stati scansionati dal Lidar durante i 5 secondi successivi all'attivazione del pulsante D_SOK. Ricordiamo che all'interno di questo stato la carrozzina rimane ancora ferma.

3. *VALUTAZIONE MISURE GRADINO IN DISCESA*:la funzione matlab, partendo dai punti rilevati le cui coordinate sono presenti nella matrice creata nella fase precedente, ricava le grandezze caratteristiche del gradino. Calcolati i parametri si procede con la verifica delle varie condizioni poste dalle transizioni, ovvero distanza massima dal gradino e se questo risulta superabile.

4. *AVVICINAMENTO PER LA SECONDA MISURAZIONE*: in questo caso la transizione che risulta essere verificata è la numero 2, ovvero la distanza dal gradino d_s risulta maggiore di 400 mm. Quindi si procede con un primo avvicinamento al gradino, al termine del quale si procede con una seconda misurazione.

5. *VALUTAZIONE MISURE GRADINO IN DISCESA*: si esegue una seconda misurazione e la funzione matlab, partendo dai punti rilevati le cui coordinate sono presenti nella matrice creata nella fase precedente, ricava le grandezze caratteristiche del gradino. Calcolati i parametri si procede con la verifica delle varie condizioni poste dalle transizioni, ovvero distanza massima dal gradino e se questo risulta superabile.

6. *VALUTAZIONE DEGLI ANGOLI DI SET*: essendo verificata la transizione numero 4, ovvero distanza inferiore a 400 mm e gradino superabile, si procede alla valutazione degli angoli di set da inviare al sistema di controllo.

7. *D1* $\rightarrow$ *FINE_SEQEUNZA*: viene avviata la sequenza automatica che prosegue fino alla conclusione.

8. *ATTESA*: conclusa la sequenza automatica la carrozzina ritorna nello stato di attesa, dove viene attivata nuovamente la variabile *Blocco*, che arresta la carrozzina.

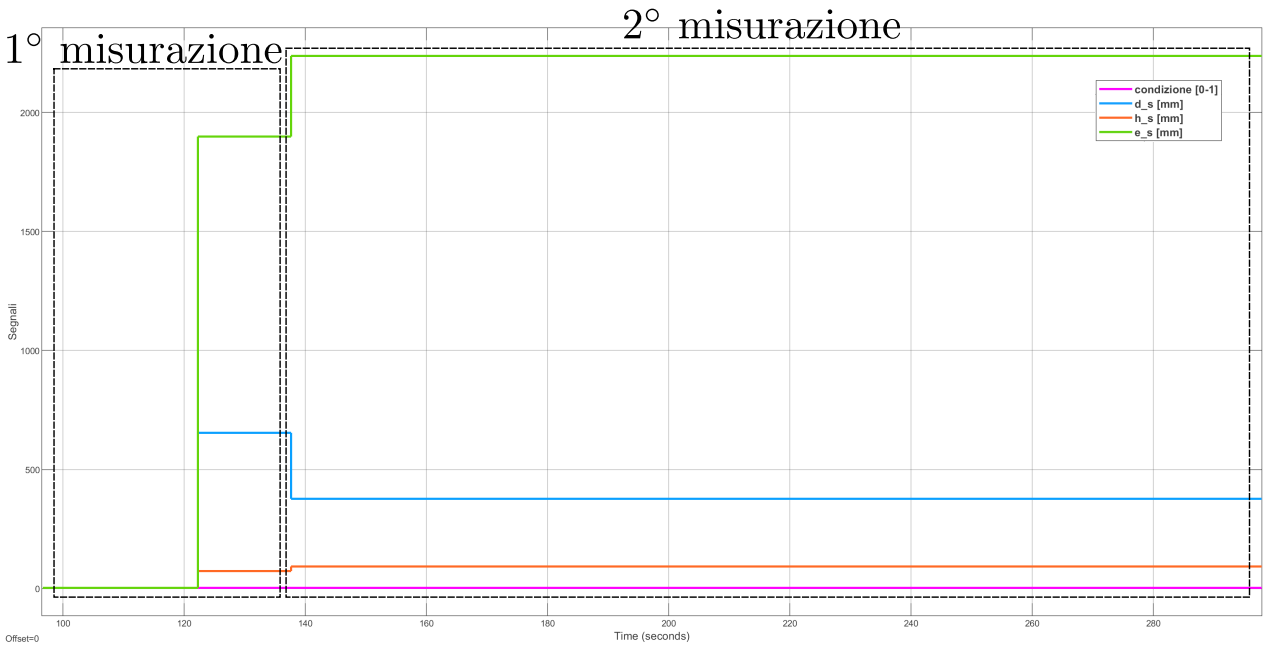


Figura 5.1.30: *Misure caratteristiche gradino*

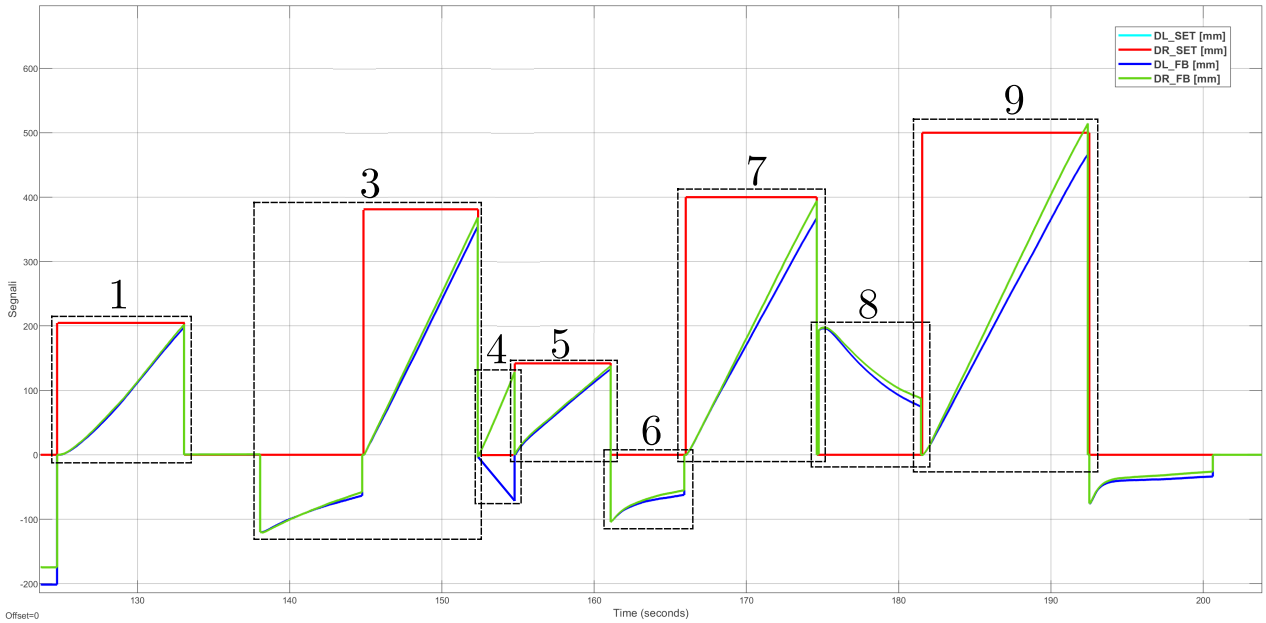


Figura 5.1.31: *Analisi completa traslazione carrozzina*

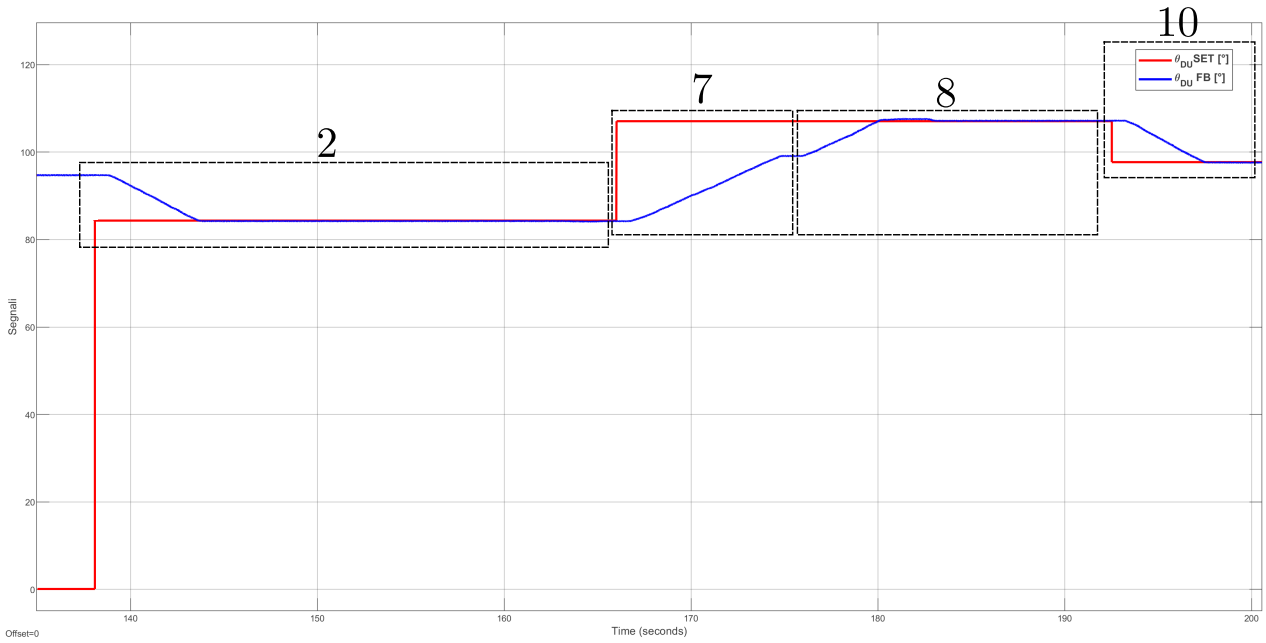


Figura 5.1.32: *Analisi completa pivotanti*

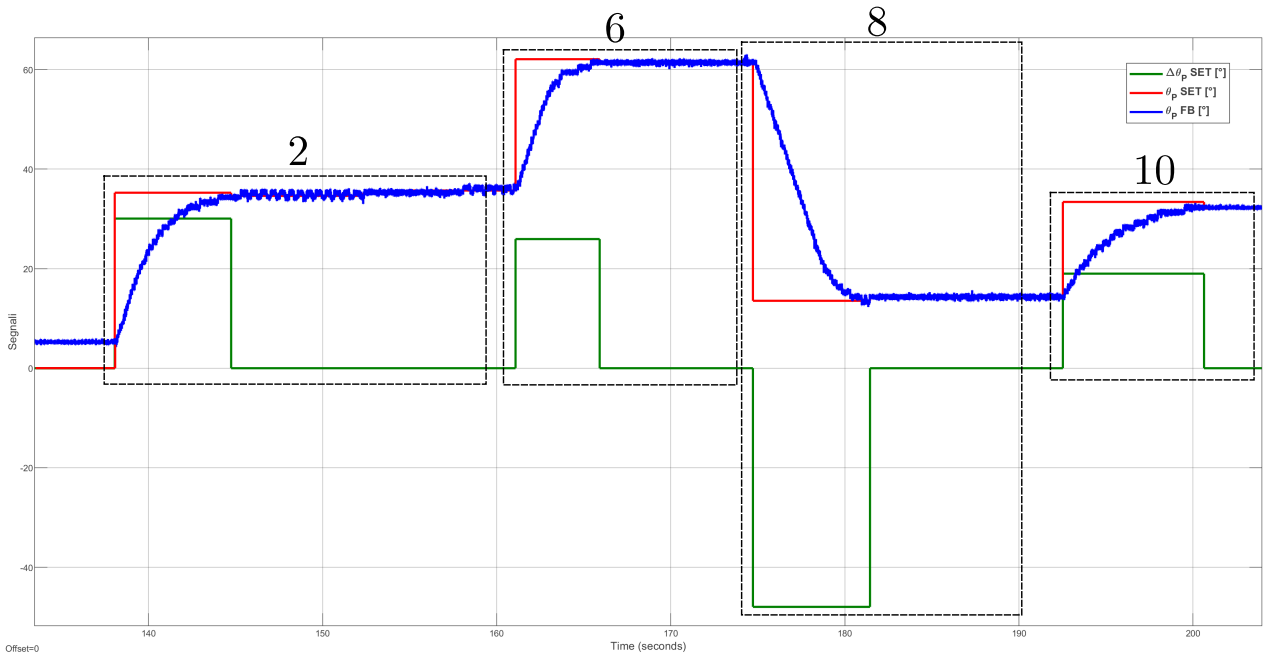


Figura 5.1.33: *Analisi completa tripodi*

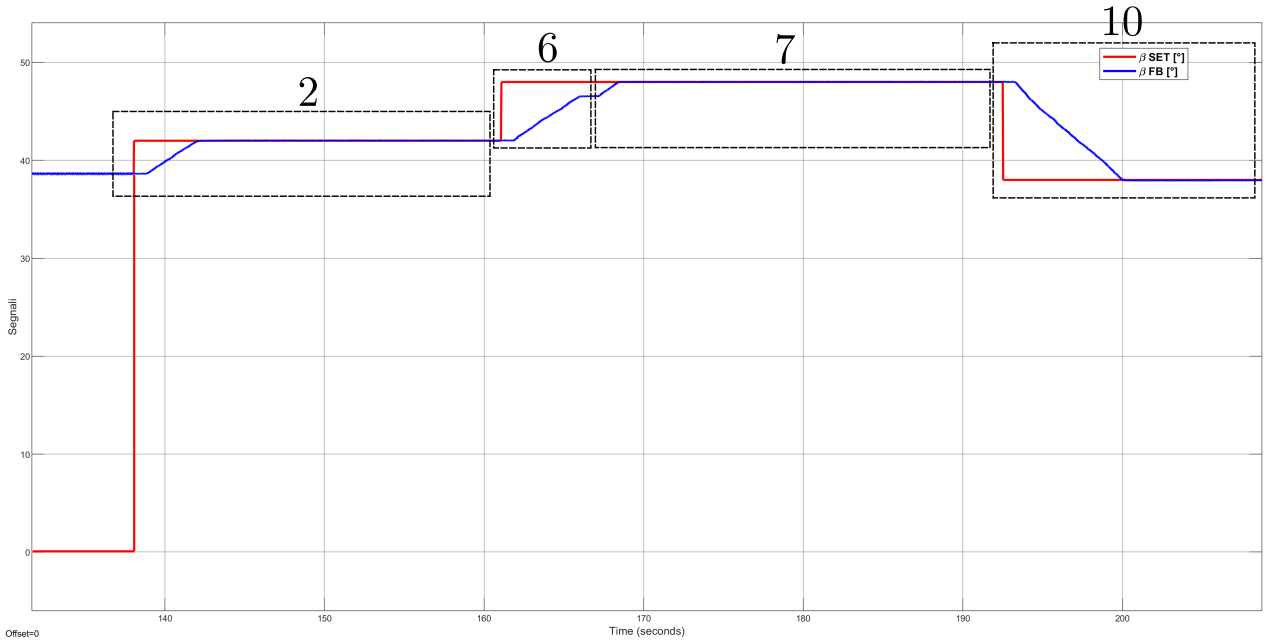


Figura 5.1.34: *Analisi completa seduta*

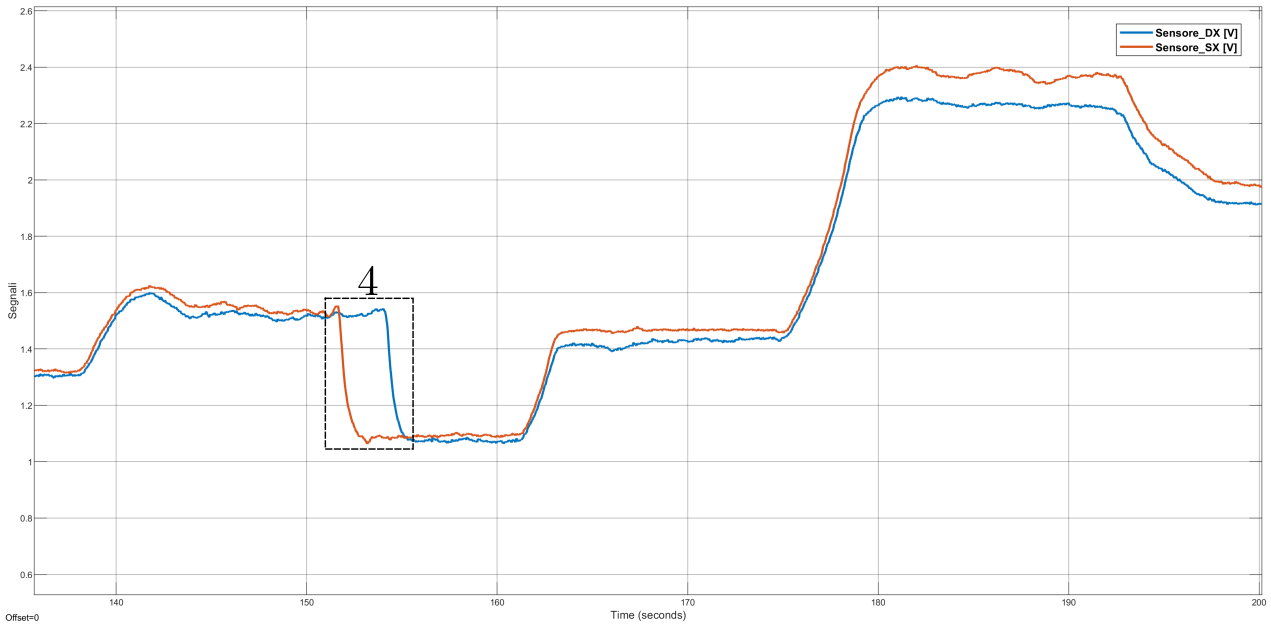


Figura 5.1.35: *Lettura sensori di soglia*

1. Nella prima parte della sequenza si ha il movimento della carrozzina che si avvicina al gradino in modo da ridurre la distanza tra quest'ultimo e il lidar, e consentire cosi una scansione che fornisca dei risultati più accurati. Come possiamo notare viene fornito un segnale di set alle ruote solari in modo che la distanza tra lo scalino ed il lidar diventi minore di 400 mm.

2. Successivamente alla seconda scansione, visto che la carrozzina si trova adesso alla giusta distanza, inizia la fase preparatoria per la discesa, in particolare si ha il movimento sincrono delle ruote pivotanti, che tendono a diminuire il valore di θ_{DU}, dei tripodi e del sedile. Questo porta ad un arretramento del baricentro cosi da far ricadere la proiezione di questo sul piano di appoggio, all'interno dello spazio tra le ruote pivotanti e i tripodi.

3. Si passa poi ad un secondo avvicinamento della carrozzina all'ostacolo,ma prima possiamo notare dal grafico le ruote solari prima di ricevere il set in posizione restituiscono un feedback negativo, questo perché durante la fase di arretramento del baricentro queste devono ruotare per compensare la rotazione del tripode e far rimanere la carrozzina nello stesso punto. Una volta ricevuto il set di posizione la carrozzina inizia a muoversi per poi fermarsi quando riceve il segnale che indica il superamento del gradino da parte dei sensori di soglia. Quindi l'avanzamento della carrozzina in questo caso termina perché il sensore posto sulla parte sinistra della carrozzina rileva che il gradino è stato superato.

4. Visto che i sensori di soglia presentano nello stesso istante di tempo una diversa lettura, ci fa intendere che la carrozzina non è allineata con il gradino, per cui si procede con il riallineamento di questa con il gradino. Per eseguire questa operazione si utilizza il controllo in velocità delle ruote solari, di fatti possiamo notare che il set di posizione risulta essere nullo, quindi viene imposta una differente velocità alle stesse sia in modulo che in verso, in modo da avere il sensore che per primo misura l'avvenuto superamento della soglia come centro di istantanea rotazione. Nel caso specifico la solare destra viene imposta una velocità positiva e maggiore di quella sinistra che invece procede con una velocità negativa. Una volta che anche il sensore posto sulla parte destra della carrozzina rileva il superamento della soglia dello scalino allora la carrozzina si ferma e si trova allineata al gradino.

5. Una volta ultimato il riallineamento, si torna al controllo in posizione delle pivotanti e si impone allora un set in posizione che porta la ruota posteriore del tripode vicina al limite del gradino. Questo ci da la certezza che durante la successiva fase non si abbia l'interferenza della ruota anteriore dei tripodi con l'alzata dello scalino.

6. Inizia adesso la fase di discesa dei tripodi, si quindi una rotazione positiva che porta la ruota anteriore a contatto il piano presente dopo l'ostacolo. Al contempo inizia la movimentazione del sedile per portarlo in una posizione quanto più vicina all'orizzontale per garantire un maggiore comfort dell'utente a bordo. Ancora possiamo notare un rotazione negativa delle solari che compensa la rotazione del tripode e consente alla carrozzina di rimanere ferma nello stesso punto.

7. Si prosegue con l'avanzamento della carrozzina in modo tale da avanzare i tripodi e avere spazio a sufficienza, indispensabile per la fase successiva, affinché questi possano ruotare e portare a contatto due ruote sul pavimento evitando il contatto con lo scalino. Intanto le ruote pivotanti iniziano ad abbassarsi causando cosi un primo parziale spostamento del baricentro verso la parte anteriore della carrozzina. Nel frattempo il sedile va ad ultimare il raggiungimento della posizione prescritta nella fase precedente.

8. Come anticipato possiamo osservare una rotazione negativa dei tripodi finché non si arriva ad appoggiare due ruote a terra, contemporaneamente le ruote pivotanti continuano a scendere cosi da avanzare il baricentro e far ricadere la sua proiezione lungo la verticale, all'interno delle due ruote dei tripodi. Nuovamente possiamo notare l'avanzamento delle ruote solari che vanno a compensare la rotazione del tripode.

9. A questo punto e necessario eseguire un ultimo avanzamento in modo tale da avere le ruote pivotanti al di fuori del piano del gradino, e poter ultimare le operazioni di discesa. Come possiamo vedere dal grafico viene fornito un set in posizione alle ruote solari che fa traslare la carrozzina.

10. Al termine dello spostamento la carrozzina si riconfigura, e come possiamo osservare questa operazioni coinvolge le ruote pivotanti, i tripodi e il sedile della carrozzina.

6 Conclusioni

Nel lavoro di tesi svolto sono stati affrontati i seguenti temi:

1. È stato sviluppato un algoritmo in grado di eseguire una selezione dei punti scansionati dal lidar, e successivamente procede alla valutazione delle grandezze caratteristiche del gradino. È stata poi svolta una campagna di prove sperimentali atte a validare ed affinare l'algoritmo sopra descritto;
2. Implementazione dei sensori di soglia nella sequenza di discesa, in particolare questi sono stati utilizzati per determinare quando la carrozzina si trova in prossimità del bordo del gradino e contemporaneamente valutare l'eventuale disallineamento della carrozzina rispetto a quest'ultimo e nel caso procedere alla correzione;
3. Sviluppo delle fasi necessarie per superare il gradino in sicurezza, con
4. Realizzazione del sistema di controllo del sedile e del sistema di controllo in velocità delle ruote solari;
5. Esecuzione di prove sperimentali della sequenza automatica per la discesa del gradino includendo l'utilizzo del sensore Lidar e dei sensori di soglia.

Gli sviluppi futuri che posso essere apportati a questa lavoro svolto sono:

1. Introduzione di sistemi per la rilevazione della massa dell'utente a bordo, in modo da poter valutare la posizione del baricentro dell'intero sistema al fine di ottimizzare la configurazione della carrozzina durante la fase di equilibrio sui tripodi, cosi da renderla più stabile;
2. Progettare le sequenze automatiche per che permettano la salita e la discesa di un'intera rampa di scale, non prima di aver riparato l'attuatore che si occupa del movimento del cingolo folle;
3. Introduzione di dispositivi che migliorino la stabilità della carrozzina durante il superamento di un ostacolo;
4. Nell'ottica di aggiungere ulteriori sistemi di controllo o di misura sarebbe fondamentale aumentare la quantità di sistemi di comunicazione, oltre al già presente *Speedgoat* i cui ingressi sono attualmente saturi.

7 Bibliografia

[1] Nisi M. (2013) Sviluppo di una carrozzina elettrica per il superamento delle barriere architettoniche.

[2] Martini F. (2017) Sistema di controllo per una carrozzina elettrica per il superamento delle barriere architettoniche.

[3] Perez B. (2017) Progettazione esecutiva di una carrozzina elettrica per il superamento delle barriere architettoniche.

[4] Dembia C, Moore JK, Hubbard M (2014) An object oriented implementation of the Yeadon huma inertia model.

[5] Bouhamed S.A, Kallel K.I, Masmoudi D.S (2013) Stair case detection and recognition using ultrasonic signal.

[6] Huang H, Fernie G (2005) The laser line object detection method in an anti-collisione system for powered wheelchairs.

[7] https://www.inail.it Ultima visita novembre 2020

[8] https://www.antanogroup.com/prodotto/lg2004/. Ultima visita marzo 2021

[9] https://www.thyssenkrupp-homesolutions.it/montascale/montascale-a-piattaforma.html. Ultima visita marzo 2021

[10] https://www.montascaleagile.it/prodotti/montascala-a-poltrona/curvilinei/a180. Ultima visita marzo 2021

[11] https://www.kspitalia.com/prodotti/n911/. Ultima visita marzo 2021

[12] https://tgr.it/it/prodotti/montascale-scoiattolo-s/. Ultima visita marzo 2021

[13] https://www.bfreetech.com/solutions-ranger. Ultima visita marzo 2021

[14] https://newatlas.com/topchair-s-stair-climbing-wheelchair/41421/. Ultima visita marzo 2021

[15] https://mobiusmobility.com/. Ultima visita marzo 2021

[16] https://www.scewo.ch/en/powerwheelchair-bro/. Ultima visita marzo 2021

[17] https://caterwil.com/product/stair-climbing-wheelchair-caterwil-gts3-advanced/. Ultima visita marzo 2021

[18] https://www.tankchair.com/wp-content/uploads/2014/05/Manual-for-Website.pdf. Ultima visita marzo 2021

[19] https://gajitz.com/reinventing-the-wheelchair-wheelchair-climbs-stairs/. Ultima visita marzo 2021

[20] L. Fang, T. Lu, W. He e K. Yuan , «Dynamic and tip-over stability analysis of a planetary wheeled stair-climbing wheelchair,» in International Conference on Mechatronics and Automation, Chengdu, China, 2012.