



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA INFORMATICA

L'efficacia degli smart walkers nella mobilità di anziani e disabili: una review sistematica della letteratura

RELATORE:

Prof. Emanuele Menegatti

CORRELATORE:

Dott. Stefano Tortora

LAUREANDO:

Castellan Niccolò

1227137

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

DATA DI LAUREA: 21/07/2023

Abstract

L'invecchiamento della popolazione sta aumentando rapidamente in tutto il mondo e la robotica sta offrendo soluzioni sempre più innovative per migliorare la vita degli anziani. Allo stesso modo, si stanno compiendo progressi significativi nella creazione di dispositivi che consentono alle persone disabili di vivere in modo indipendente. Gli *smart walker*, dotati di sensori e ruote motorizzate, sono una tecnologia emergente che assiste le persone con difficoltà motorie, offrendo loro maggiore autonomia nella mobilità. Questa tesi si propone di esaminare lo stato dell'arte nel campo degli smart walker attraverso una revisione sistematica della letteratura. Le domande chiave affrontate sono: (1) Quali sono attualmente i diversi approcci utilizzati per garantire la sicurezza agli utenti in fase di assistenza e riabilitazione? (2) Quali sono le tecnologie utilizzate per implementare tali approcci? (3) Quali sono i problemi che limitano lo sviluppo dei dispositivi analizzati? Il processo di selezione e valutazione degli studi in questa ricerca è stato fatto seguendo le linee guida del protocollo *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis* (PRISMA). La camminata assistita e la raccolta di parametri sono alcuni tra i metodi più rilevanti individuati, insieme all'uso esteso di sensori di forza e telecamere RGB. Vengono poi discusse le criticità legate a queste tecnologie, che possono essere utilizzate come punto di partenza sul quale lavorare per ulteriori sviluppi nel merito dell'assistenza motoria.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Background	1
1.2	Smart walker	2
1.3	Sensori	4
1.4	Scopo e struttura della tesi	12
2	Metodologia	13
2.1	Prisma statement	13
2.2	Obiettivi	13
2.3	Processo di selezione	14
2.3.1	Materiali e metodi	14
2.3.2	Stringa di ricerca	15
2.3.3	Screening di titolo e abstract	17
2.3.4	Screening dei full-text	18
3	Risultati	21
3.1	Analisi preliminari	21
3.2	Analisi dei sensori e delle strategie	24
3.2.1	Utilizzo dei sensori	26
4	Discussione	43
4.1	Risposte ai quesiti di ricerca	43
5	Conclusione	49
5.1	Conclusione e lavori futuri	49
	Appendice	51
	Bibliografia	57

1

Introduzione

1.1 BACKGROUND

L'invecchiamento della popolazione è diventato uno dei principali cambiamenti sociali del ventunesimo secolo. Il miglioramento della qualità della vita e lo sviluppo economico di molti paesi ha portato ad un aumento demografico di oltre un miliardo di persone negli ultimi dieci anni. Il numero di individui che popolano il pianeta ammonta nel 2023 a 7.9 miliardi, con una conseguente crescita in numero ed in proporzione della popolazione anziana. I dati demografici evidenziano come dal 1950 al 2015 l'aspettativa di vita sia passata da 46.5 a 71 anni (Figura 1.1) [1] [2].

Un altro fattore rilevante oltre all'aumento in termini assoluti di questa fetta di popolazione è quello del tasso di crescita. Infatti, facendo riferimento alle Nazioni Unite, le persone oltre i 60 anni di età stanno crescendo, in numero, più rapidamente rispetto alla popolazione "giovane" [3]. Sebbene l'aumento dell'aspettativa di vita sia un fattore positivo riguardo la crescita e il benessere della popolazione è importante ricordare che l'invecchiamento spesso comporta disagi quali la menomazione fisica e la difficoltà nello svolgimento di attività motorie di base, pertanto vi è un elevato bisogno di fornire agli anziani un supporto per permettere loro di vivere una vita il più indipendente possibile, così come è importante fornire ad essi strumenti di riabilitazione per il mantenimento delle funzionalità motorie. Un gruppo di persone che necessita particolare attenzione è quello formato da soggetti con disabilità visiva, in particolare facendo riferimento al report della World Health Organization sappiamo che 1.3 miliardi persone nel mondo soffrono di qualche disabilità visiva [4], di questi circa 39 milioni risultano in stato di cecità e altri 250 milioni soffrono di gravi problemi alla vista [5].

L'importanza di sviluppare dei dispositivi dedicati alle esigenze di persone che soffrono di queste problematiche diventa cruciale per permettere loro di vivere una quotidianità migliore e partecipare attivamente alla società.

1.2. SMART WALKER

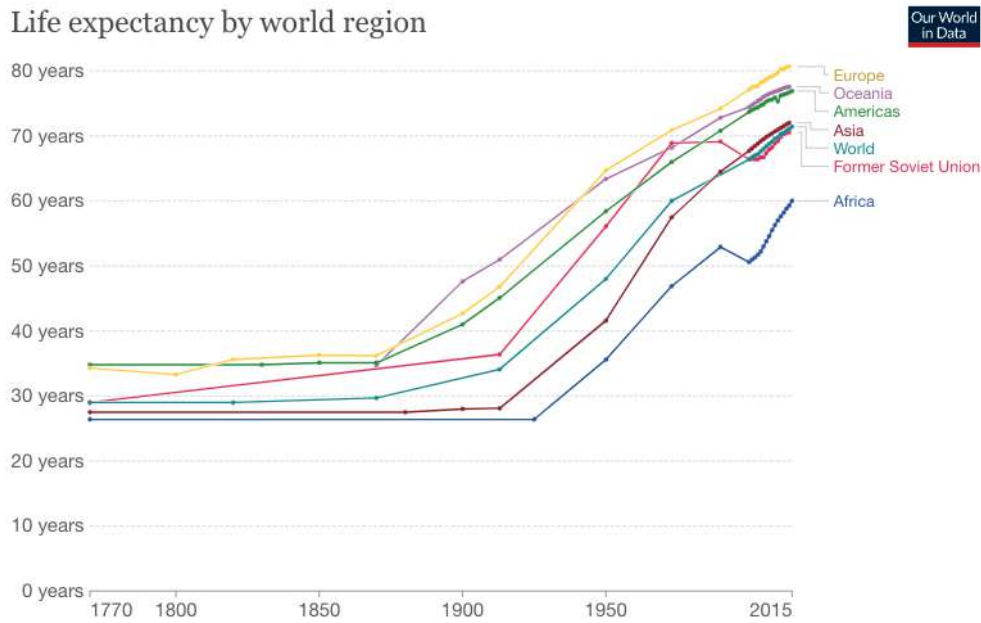


Figura 1.1: Evoluzione dell'aspettativa di vita

<https://ourworldindata.org/life-expectancy>

1.2 SMART WALKER

Negli ultimi anni i deambulatori intelligenti sono diventati sempre più popolari come strumenti per aiutare le persone con difficoltà di deambulazione a mantenere la loro mobilità e indipendenza. Un deambulatore intelligente (*smart walker*) è un dispositivo di assistenza alla camminata che si differenzia da un deambulatore tradizionale (Figura 1.2) per la presenza di una serie di sensori atti a raccogliere e monitorare dati dall'ambiente circostante o parametri dell'utente stesso e/o un sistema di attuazione elettromeccanico su tutte o alcune delle ruote (Figura 1.3).



Figura 1.2: Deambulatore tradizionale

<https://www.salutefacile.it/>

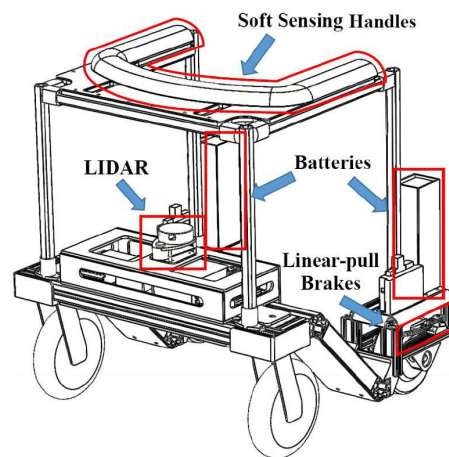


Figura 1.3: Smart walker [6]

Questi dispositivi sfruttano le informazioni raccolte in diversi modi [7]:

- Attuazione di strategie di controllo per la prevenzione della salute del paziente
- Fornire sostegno alla camminata
- Fornire vari tipi di feedback all'utente per avvisare di una particolare situazione
- Raccolta di parametri biomedici utili nella riabilitazione motoria

Le caratteristiche principali degli smart walkers includono la possibilità di regolare la velocità, di evitare ostacoli e di seguire un percorso prestabilito, inoltre, molti sono dotati di funzionalità aggiuntive, come ad esempio il supporto per la postura, il monitoraggio della frequenza cardiaca e la possibilità di inviare richieste di soccorso ad altri dispositivi.

Nella sezione successiva verranno introdotti i principali concetti riguardanti i sensori maggiormente utilizzati negli smart walker. Questa sezione fornirà le conoscenze di base utili a comprendere l'utilità di questi sensori.

1.3 SENSORI

I sensori sono dispositivi sensibili a grandezze fisiche, in grado di modificare il proprio stato se soggetti ad uno stimolo esterno di qualsiasi natura (elettrica, meccanica, idraulica, ecc.). Essi comunicano attraverso un segnale fisico con apparecchi chiamati trasduttori che hanno il ruolo di convertire tale segnale in elettrico. Molte volte l'insieme di questi due elementi viene definito esso stesso sensore.

I sensori possono essere classificati in vari modi, uno di questi è in base al tipo di grandezza misurata. Un altro modo per classificare i sensori in robotica [8], nell'ambito della componentistica è identificarli in due gruppi che elenchiamo di seguito.

Il primo li suddivide in:

- Sensori esteroceettivi: misurano grandezze esterne al robot, ovvero quelle che caratterizzano l'interazione tra l'ambiente e la macchina (es. distanza da un muro, posizione di un oggetto, ecc.)
- Sensori propriocettivi: misurano grandezze "proprie" ovvero relative allo stato interno del robot (es. velocità delle ruote, carica della batteria, ecc.)

Il secondo gruppo è quello formato da:

- Sensori passivi: utilizzano l'energia fornita dall'ambiente per effettuare le rilevazioni, convertono l'energia fornita in energia in uscita, senza dover essere alimentati dall'esterno (es. trasformano energia luminosa in energia elettrica)
- Sensori attivi: utilizzano energia propria (es. sensori che sfruttano le capacità resistive dei materiali)

Nella tabella (Tabella 1.1) vengono riportate alcune tra le grandezze rilevabili più importanti nell'ambito dello sviluppo di smart walkers e degli esempi di sensori che permettono di effettuare misurazioni su tali grandezze.

Misurazione	Esempi	Descrizione	Tipologia 1	Tipologia 2
Posizione	1. potenziometro	Rilevano la posizione o il moto angolare e lo convertono in un segnale elettrico	esterocettivo	passivo
	2. inclinometro			
	3. encoder			
Velocità/accelerazione	4. dinamo tachimetrica	Rilevano la velocità e/o accelerazione, attraverso vari metodi	propriocettivo	passivo
	5. accelerometro			
	6. accelerometro laser			
Immagine	7. telecamera RGB/RGB-D,	Catturano la luce	esterocettivo	attivo
	8. IR camera			
	9. LiDAR			
Suono	8. sensori ad ultrasuoni	Misurano il tempo che impiega un'onda sonora (ultrasonica solitamente), emessa dal sensore stesso a ritornare all'origine dopo essersi riflessa su un corpo	esterocettivo	attivo
Coppia	9. sensori di coppia	Rilevano la coppia torcente agente su un corpo	propriocettivo	passivo
Carico	10. celle di carico	Utilizzati per misurare la forza applicata ad un oggetto	esterocettivo	passivo
Posizione geografica	11. GPS	Fornisce ad un terminale informazioni sulle proprie coordinate geografiche	esterocettivo	passivo

Tabella 1.1: Tipologie di sensori

Nelle prossime sottosezioni vengono approfondite le varie tipologie di sensori suddivise per tipologia di grandezza ricercata.

1.3. SENSORI

POSIZIONE

I sensori tenuti in considerazione per il rilevamento della posizione sono tre:

Potenziometro Il potenziometro (figura 1.4) misura la caduta di tensione¹ in corrispondenza dello spostamento dei contatti elettrici lungo la traccia resistiva, di conseguenza la posizione sarà proporzionale alla tensione in uscita.

Nonostante siano soggetti ad usura e abbiano una struttura delicata essi sono ampiamente utilizzati per via del loro basso costo.

Inclinometro Un inclinometro (figura 1.5) permette di misurare un angolo di orientamento di un oggetto rispetto alla forza di gravità. Lo strumento misura l'effetto della forza di gravità su una piccola massa sospesa in una struttura elastica. Quando il dispositivo si inclina, la massa si muoverà leggermente rispetto alla struttura di supporto, provocando una differenza di capacità che viene misurata per calcolare l'angolo.

Encoder Il trasduttore di posizione angolare viene comunemente chiamato encoder (figura 1.6). Questo dispositivo permette di tradurre il moto angolare (o la posizione) in un segnale digitale. Esistono diversi tipi di encoder, da qui in avanti si farà riferimento all'encoder rotativo. L'encoder rotativo converte la posizione angolare del suo asse rotante in brevi impulsi elettrici che necessitano di essere elaborati da un circuito di analisi del segnale sotto forma di segnali numerici digitali.



Figura 1.4: Potenziometro

<https://www.robotstore.it/Potenziometro-10Kohm-Lineare>



Figura 1.5: Inclinometro

<https://www.amazon.it/Preciso-sensore-inclinazione-inclinometro-precisione/dp/B08LK6HN92>



Figura 1.6: Encoder

<https://www.robotstore.it/en/Encoder-rotativo-con-pulsante>

¹Differenza di potenziale tra due punti di un conduttore.

VELOCITÀ

Per la misurazione della velocità e l'accelerazione considereremo tre sensori:

Dinamo tachimetrica La dinamo tachimetrica (figura 1.7) fornisce un segnale elettrico in uscita proporzionale alla velocità di rotazione dell'albero rotante del dispositivo stesso. Essa viene utilizzata nei sistemi di retroazione per il controllo dei motori elettrici a corrente continua, dove il segnale in uscita dalla dinamo viene utilizzato come riferimento di velocità dell'azionamento digitale.

Accelerometro L'accelerometro (figura 1.8) tramite la misurazione della forza impressa su un oggetto rispetto alla sua massa effettua il calcolo dell'accelerazione e fornisce un segnale proporzionale ad essa. Gli accelerometri vengono utilizzati nelle misurazioni dell'accelerazione gravitazionale statica, che consente di determinare l'angolo di deviazione dell'oggetto misurato rispetto al piano verticale, nonché trovano impiego nelle misurazioni dell'accelerazione dinamica a seguito di urti, movimenti, impatti o vibrazioni.

Accelerometro laser Questo sensore (figura 1.9) è un particolare tipo di accelerometro che funziona in maniera concettualmente diversa rispetto a quello "tradizionale" descritto in precedenza. Esso si basa sul principio fisico di accelerazione come derivata della velocità rispetto al tempo. In questo dispositivo un interferometro laser misura istante per istante lo spostamento dell'oggetto in moto, un computer ad esso collegato effettua la derivata seconda rispetto al tempo, ottenendo così direttamente il valore d'accelerazione.



Figura 1.7: Dinamo tachimetrica

<https://www.rotex-el.com/le-dinamo/versione-asse-cavo/serie-dd/serie-dd-10>

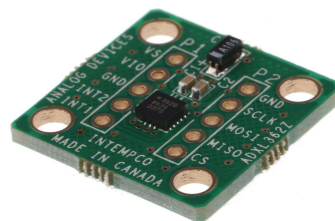


Figura 1.8: Accelerometro

<https://www.rs-online.vn/p/breakout-board-for-adxl362-accelerometer/>



Figura 1.9: Accelerometro laser

<https://www.instrumentation.it/it/prodotti/per-automotive/asc-4221/>

IMMAGINE

Telecamera RGB/RGB-D La telecamera RGB è un dispositivo dotato di un sensore CMOS che cattura la luce visibile (lunghezza d'onda compresa tra i 400nm e i 700nm). In particolare questo sensore cattura la luce nelle lunghezze d'onda del rosso, verde e blu (da qui RGB). Verranno considerate solo telecamere digitali, il cui sensore trasforma le informazioni di luce catturate in segnali elettrici. Il sensore di immagine della telecamera è composto da milioni di fotorilevatori (ognuno corrispondente ad un pixel²). Ogni rilevatore assorbe i fotoni e li converte in elettroni, trasformando la luce in un segnale elettrico. Quando la registrazione è conclusa viene misurata la carica elettrica di ciascun pixel e l'immagine (o sequenza nel caso di un video) viene ricostruita digitalmente.

Una telecamera RGB-D fornisce informazioni anche sulla profondità della luce catturata. Le informazioni sulla profondità sono recuperabili tramite una mappa di profondità creata da un sensore di profondità 3D. Le telecamere RGB-D sono in grado di eseguire un'unione pixel a pixel di dati RGB e informazioni sulla profondità ed unire entrambi in un singolo fotogramma.

IR-camera Questo strumento, anche detto termocamera è una particolare telecamera sensibile alla radiazione infrarossa³.

Essa è dotata di sensori in grado di catturare la radiazione di un corpo in funzione alla temperatura di esso in maniera analoga a come una telecamera RGB cattura i fotoni. La caratteristica fondamentale è la possibilità di ottenere immagini anche in condizioni di oscurità in quanto non è necessaria una luce ambientale ma solo la radiazione emessa dalla superficie di un oggetto. Come per le fotocamere classiche viene effettuata una mappatura, in questo caso della temperatura e successivamente viene costruita un'immagine con un determinato numero di pixel. La lente di messa a fuoco del sensore di questi dispositivi non può essere realizzata in vetro poiché blocca la luce infrarossa, vengono quindi utilizzati altri materiali che rendono la termocamera un oggetto costoso.

²L'unità minima che compone un'immagine digitale

³Radiazione elettromagnetica con banda di frequenza inferiore alla luce visibile, lunghezza d'onda compresa tra 700nm e 1mm.

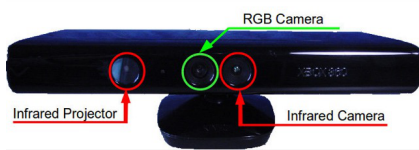


Figura 1.10: Kinect camera di Microsoft incorpora sia una RGB-camera che una IR-camera

<https://learn.microsoft.com/it-it/windows/apps/design/devices/kinect-for-windows>

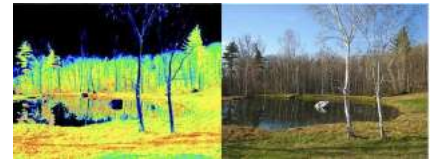


Figura 1.11: Immagine di una telecamera RGB ed una termocamera a confronto

<https://publiclab.org/wiki/near-infrared-camera>

LIDAR LiDAR (figura 1.12) è l'acronimo di *light detection and ranging* ed è uno strumento di telerilevamento⁴. Esso permette di determinare la distanza di un oggetto misurando il tempo necessario alla luce emessa da un laser per riflettersi su un corpo/superficie e tornare al ricevitore. La sorgente luminosa del laser è appunto un laser ovvero un fascio di luce con una lunghezza d'onda compresa tra i 700nm e i 1000nm.

In genere la potenza del laser utilizzato è limitata per renderli sicuri ed evitare possibili inconvenienti che possono danneggiare l'occhio umano. Nonostante il laser montato possa essere economico, il costo di un dispositivo completo può variare ed arrivare a cifre elevate poiché composto da ulteriori parti ovvero uno scanner, un'ottica, un ricevitore ed ulteriori parti elettroniche.



Figura 1.12: Lidar commerciale

<https://www.robot-italy.com/it/lidar-lite-v3.html>

⁴Tecnica che permette di ricavare informazioni su oggetti posti a distanza da un sensore tramite misure di radiazione elettromagnetica che interagisce con determinate superfici.

SUONO

In questa categoria rientra il sensore ad ultrasuoni (o comunemente *sonar* (figura 1.13)) che viene generalmente utilizzato per il rilevamento di oggetti in prossimità di esso e ne misura la distanza. Questi dispositivi sono sostanzialmente formati da due parti, un emettitore ed un ricevitore.

L'emettitore genera un impulso sonoro⁵ che viene propagato nell'aria, quando questo colpisce una superficie viene riflesso cambiando direzione e verso.

Il ricevitore cattura l'onda riflessa e la trasforma in un segnale elettrico. Il sensore misura il tempo che intercorre tra l'impulso ad ultrasuoni trasmesso e l'eco ricevuto, determinando la distanza dall'oggetto mediante la velocità acustica⁶.

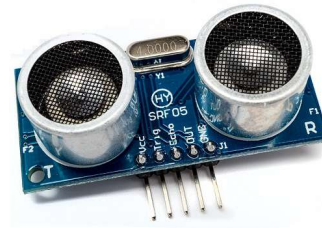


Figura 1.13: Sonar commerciale

<https://store.fut-electronics.com/products/ultrasonic-sensor-module>

COPPIA

I sensori di coppia⁷ (figura 1.14) vengono utilizzati per misurare le forze di coppia che agiscono su un corpo. La misura di coppia avviene tramite una parte rotante, solidale con l'organo in rotazione e che include la parte sensibile alla coppia e da una parte statica da cui si preleva il segnale. La forza di coppia misurata viene conseguentemente trasformata in un segnale elettrico.



Figura 1.14: Sensore di coppia

<https://store.minitools.com/it/sei-sen09-sensore-di-coppia-cavo-viola-7-fili.html>

⁵Gli ultrasuoni sono onde con una frequenza che varia tra i 20kHz e 2MHz soggetti a fenomeni di rifrazione e riflessione.

⁶Velocità di propagazione del suono.

⁷In cinematica la coppia è un sistema di due corpi che si muovono in moto relativo tra loro. In questa tesi facciamo riferimento alla coppia motrice, ovvero il momento meccanico del sistema di forze esercitate da un motore su una trasmissione.

CARICO

La cella di carico (figura 1.15) è un particolare tipo di trasduttore che permette la misurazione di una forza applicata in un oggetto. La cella genera un segnale elettrico proporzionale alla deformazione che la forza produce su questo oggetto. La cella, solitamente fatta di acciaio è dotata di molti estensimetri ovvero dei piccoli sensori che permettono la misurazione della forza leggendo la variazione della resistenza elettrica del materiale (in genere il materiale che si deforma è un conduttore) deformato dall'azione della forza. Il segnale elettrico che si ottiene è molto piccolo, per cui viene amplificato tramite un amplificatore e successivamente elaborato da un algoritmo che lo trasforma nella corretta unità di misura. Questo sensore viene utilizzato nell'ambito di questa ricerca per la misurazione di sforzi meccanici e di spinta.



Figura 1.15: Cella di carico con capacità di 10Kg

<https://www.homotix.it/vendita/celle-carico/cella-carico-10kg>

GPS

Il sistema GPS (acronimo di *global positioning system*) è un sistema di geo-localizzazione radio-satellitare. Permette di determinare le coordinate geografiche di un piccolo dispositivo di ricezione (figura 1.16) su un qualunque punto della superficie terrestre (o dell'atmosfera). Attraverso una rete di satelliti artificiali in orbita, il ricevitore ottiene informazioni sulle sue coordinate geografiche e sul suo orario in ogni condizione meteorologica. La localizzazione avviene tramite la trasmissione di un segnale radio da parte di ciascun satellite e l'elaborazione dei segnali ricevuti da parte del ricevitore. La diffusione questo sistema ha permesso di ridurre il costo dei ricevitori che sono diventati ampiamente utilizzati (ogni smartphone moderno possiede un modulo GPS).



Figura 1.16: Modulo GPS per arduino

<https://italian-makers.com/modulo-gps-gy-neo6mv2-per-arduino.html>

1.4 SCOPO E STRUTTURA DELLA TESI

Questa tesi ha l'obiettivo di studiare lo stato dell'arte dei dispositivi di supporto e riabilitazione a persone anziane e disabili. In letteratura, le revisioni in questo ambito sono ancora limitate; sono presenti lavori che si pongono obiettivi diversi, ad esempio rispondere a domande come "Quali ricerche sono in corso per l'integrazione della robotica nella cura degli anziani?" [7] o focalizzati sulla valutazione degli studi dal punto di vista dell'utente [9], altri ancora invece analizzano dispositivi utilizzati per il trattamento di malattie specifiche (ad esempio il Parkinson [10]).

Questa revisione si propone di offrire un punto di vista quantitativo sulle tecnologie utilizzate in quest'ambito e le loro applicazioni pratiche, andando a marcare le differenze tra i vari dispositivi per avere una panoramica sullo stato dell'arte nell'ambito dei dispositivi per il supporto alla deambulazione.

In questa tesi vengono presi in considerazione solo *walkers* (camminatore senza rotelle), *rollators* (camminatore con ruote piroettanti) e bastoni intelligenti. L'obiettivo dello studio è infatti analizzare tutti i mezzi che lasciano un certo grado di libertà all'utente per permettergli di svolgere l'attività motoria in maniera semi-autonoma, si fa riferimento quindi solo a strumenti che non forniscono muscolatura artificiale all'utente. Vengono perciò esclusi esoscheletri, sedie a rotelle e piattaforme di deambulazione con supporto lombare o di altro tipo.

La tesi è così strutturata: il primo capitolo della tesi introduce l'ambito e gli obiettivi della tesi. Nel secondo capitolo viene definita la metodologia utilizzata per effettuare la revisione sistematica. Nel terzo capitolo vengono presentati gli esiti della ricerca e i risultati ottenuti. Il quarto capitolo presenta le risposte ai quesiti di ricerca ed una discussione sui risultati ottenuti. L'ultimo capitolo, la conclusione, propone possibili spunti per sviluppi futuri.

2

Metodologia

2.1 PRISMA STATEMENT

Per valutare lo stato dell'arte dei sistemi di deambulazione intelligente è stata condotta una revisione sistematica di articoli pubblicati in 5 anni tra il 2017 e il 2022, seguendo le direttive fornite da *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [11]. *PRISMA statement* è un insieme di linee guida per il reporting delle revisioni sistematiche e delle meta-analisi. Queste linee guida, pubblicate inizialmente nel 2009 forniscono un modello standard per la rappresentazione dei risultati di una revisione sistematica e mirano a garantire che la ricerca sia trasparente, affidabile e riproducibile, includendo elementi obbligatori e opzionali per la presentazione della ricerca, come la descrizione dei criteri di inclusione e di esclusione, l'elenco delle fonti di dati utilizzate, l'analisi della qualità degli studi inclusi e la rappresentazione dei risultati.

La versione più recente è stata distribuita nel 2020, essa si compone di una *checklist* di 27 *items* aventi l'obiettivo di guidare l'autore in una rigorosa descrizione del lavoro effettuato, partendo dal titolo fino alle conclusioni.

2.2 OBIETTIVI

Nella fase di pianificazione per questa ricerca il primo passo è stato quello di definire le *research questions* ovvero i quesiti a cui vogliamo rispondere attraverso la revisione sistematica della letteratura. L'obiettivo principale della revisione è quello di valutare i sistemi di deambulazione più moderni, analizzandoli singolarmente per poi confrontarli, evidenziando aspetti positivi o possibili migliorie.

Come è possibile vedere nella Tabella 2.1 ci sono due gruppi di domande separate, questo perché per la ricerca si è voluto differenziare concettualmente due tipologie di smart walkers, il primo

2.3. PROCESSO DI SELEZIONE

tipo è chiamato robot assistivo, ed è progettato con lo scopo di fornire supporto alla camminata ma soprattutto offre svariati sistemi di sicurezza per permettere all'utente di poter deambulare in maniera indipendente e in totale sicurezza. Il secondo è chiamato riabilitativo ed è pensato per essere utilizzato a scopo medico per la riabilitazione e l'allenamento dei pazienti che soffrono o hanno sofferto di problematiche compromettenti la camminata.

RQ No.	Research questions
RQ1	Quali sono i diversi approcci e strategie di controllo utilizzate nei dispositivi di camminata per preservare la salute di persone anziane o con disabilità?
RQ2	Quali sono i sensori/strumenti che permettono la realizzazione di tali approcci?
RQ3	Quali sono le criticità che i robot assistivi presentano?
RQ4	Quali sono le funzionalità offerte dagli smart walker utilizzati nell'ambito della riabilitazione medica?
RQ5	Quali sono i sensori/strumenti che permettono la realizzazione di tali funzionalità?
RQ6	Quali sono le criticità che gli smart walker riabilitativi presentano?

Tabella 2.1: Quesiti di ricerca

2.3 PROCESSO DI SELEZIONE

2.3.1 MATERIALI E METODI

Il secondo passo della fase preparatoria è stato quello di scegliere dove ricercare gli studi da includere nella revisione, l'opzione scelta è stata Scopus¹, una banca dati di riferimento per la comunità scientifica, aggiornata periodicamente e che copre una vasta letteratura in diversi campi *Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)*.

Scopus è curato da un team di esperti che permette di garantire l'affidabilità e la validità degli studi raccolti tramite la revisione e la valutazione delle fonti e dei lavori stessi. Il database inoltre, utilizza un algoritmo per calcolare l'impatto e la visibilità delle pubblicazioni, rendendo più facile valutare la qualità degli studi trovati.

Per lo screening degli articoli raccolti è stato usato il tool Rayyan Systems Inc². Questo software

¹<https://www.scopus.com/>

²<https://www.rayyan.ai/>

open-source semplifica la gestione degli articoli nelle revisioni sistematiche da fonti multiple, attraverso un processo di valutazione degli studi importati, ognuno di essi può essere etichettato come selezionato, scartato o rimandato. Il processo di selezione di titolo e abstract viene così velocizzato tenendo traccia di ogni articolo.

2.3.2 STRINGA DI RICERCA

Per poter identificare la base di articoli su cui effettuare lo screening è stata formulata una stringa di ricerca (Tabella 2.2) per l'interrogazione del database. La ricerca delle pubblicazioni è stata inizialmente condotta nel periodo temporale 2011-2022, range nel quale si nota un incremento considerevole degli studi in tale campo (Figura 2.1).

Successivamente si è posta una limitazione a partire dall'anno 2017 in modo da poter esaminare le tecnologie più recenti e tutt'ora in uso andando ad escludere studi non più attuali.

Database	Query	Risultati
Scopus	TITLE-ABS-KEY (((walker OR rollators) AND (robot* OR assist* OR rehab* OR smart) AND (locomotion OR walking OR gait) AND (design* OR control*) AND (mobility OR elder* OR leg* OR stab* OR patient* OR user* OR clinic*))) AND PUBYEAR > 2010 AND PUBYEAR < 2023 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"NEUR")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR,2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR,2017))	259

Tabella 2.2: Stringa di ricerca

<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basicbasic>, Feb 24, 2023 18:16:23 CET

La stringa è stata selezionata per acquisire tutte le ricerche relative allo sviluppo di robot assistivi, riabilitativi e le strategie di controllo adottate. Inoltre è stata applicata una restrizione alle ricerche appartenenti esclusivamente alle aree di *Engineering*, *Computer Science* e *Neuroscience*.

2.3. PROCESSO DI SELEZIONE

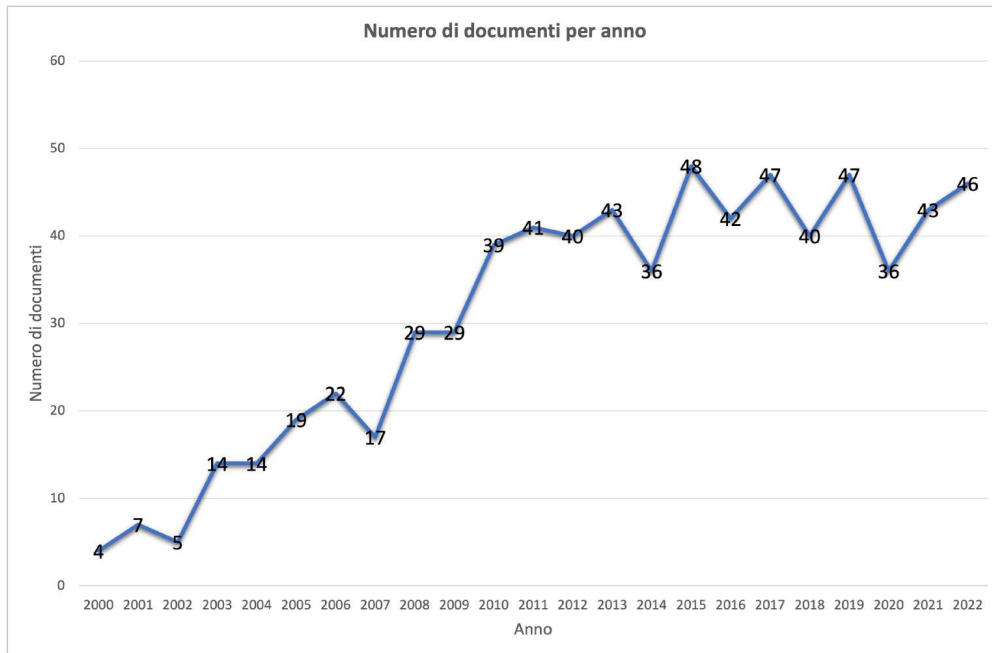


Figura 2.1: Numero di pubblicazioni per anno

La Tabella 2.3 riassume il significato dei comandi utilizzati nella stringa.

Codice	Descrizione	Esempio
*	Sostituisce più caratteri alla fine della parola	stab* restituisce documenti contenenti le parole stability, stable, stabilize e altre parole aventi come prefisso stab
AND	Operatore booleano che se inserito tra due parole, ricerca i documenti contenenti entrambe le parole	locomotion AND design* restituisce solo documenti che contengono entrambe le parole
OR	Operatore booleano che se inserito tra due o più parole, ricerca i documenti contenenti almeno una delle parole	design* OR control* restituisce documenti contenenti solo design* o solo control* oppure entrambi
LIMIT-TO	Limita la ricerca ai soli documenti che soddisfano la condizione stabilita	LIMIT-TO(LANGUAGE, "English") restituisce solo documenti in inglese
TITLE-ABS-KEY	Effettua la ricerca di testo nel titolo, labstract e le keyword dei documenti	

Tabella 2.3: Sintassi della query

2.3.3 SCREENING DI TITOLO E ABSTRACT

CRITERI DI ELEGGIBILITÀ

Una volta rimossi i duplicati è stato il momento dello screening di titolo e abstract, per effettuare ciò sono stati stilati una serie di criteri di eleggibilità, ovvero dei requisiti di inclusione (Tabella 2.4) o esclusione (Tabella 2.5) a cui far riferimento per decidere se lo studio potesse far parte o meno della ricerca.

No	Criterio di inclusione
1.	Il titolo o l'abstract forniscono indicazioni esplicite o fanno riferimento a studi sulla progettazione, analisi o discussione di deambulatori o sui sistemi di sicurezza/ monitoraggio ad essi associati
2.	L'articolo ha come argomento centrale l'analisi o la presentazione di uno smart walker, smart rollator, piattaforma di deambulazione o bastone intelligente
3.	L'articolo propone o analizza uno o più metodi per il controllo, assistenza o riabilitazione nell'ambito della deambulazione assistita

Tabella 2.4: Criteri di inclusione

No	Criterio di esclusione
1.	Full-text non accessibile
2.	L'articolo tratta di deambulatori standard
3.	L'articolo discute solo il design di un deambulatore senza far riferimento al suo funzionamento
4.	L'articolo tratta di esoscheletri, strumenti di deambulazione che offrono supporto artificiale o robot non inerenti alla camminata assistita
5.	L'articolo tratta di analisi dell'andatura o stima dell'andatura
6.	L'articolo presenta o discute deambulatori specifici per bambini
7.	L'articolo presenta un lavoro in cui il walker non è l'oggetto di studio ma lo strumento per la raccolta dati

Tabella 2.5: Criteri di esclusione

RISULTATI DELLO SCREENING

In questa fase è stato letto il titolo e l'abstract dei 259 articoli prodotti dalla ricerca tramite parole chiave, il processo di screening ha portato all'esclusione di 128 pubblicazioni, non compatibili con i criteri di eleggibilità.

Lo strumento Rayyan System ha permesso di evidenziare (verde per le parole volute e rosso per le parole non volute), per ogni articolo una serie di parole chiave che hanno aiutato nell'identificazione di studi inerenti.

2.3.4 SCREENING DEI FULL-TEXT

Per prima cosa sono stati eliminati 10 ulteriori articoli il cui full-text non era disponibile, una volta fatto ciò i 121 articoli rimanenti sono stati letti interamente. Questo processo ha portato all'esclusione di 68 articoli in quanto non compatibili con i criteri di eleggibilità scelti. In particolare, gli articoli rimossi possono essere identificati in 3 macrocategorie:

- Studi riguardanti dispositivi quali esoscheletri, piattaforme di deambulazione che offrono sostegno completo alla camminata e altri strumenti non inerenti all'argomento della ricerca.
- Studi riguardanti deambulatori tradizionali.
- Studi che riguardano l'analisi dell'andatura, forniscono esclusivamente modelli matematici di essa e/o analizzano parametri medici.

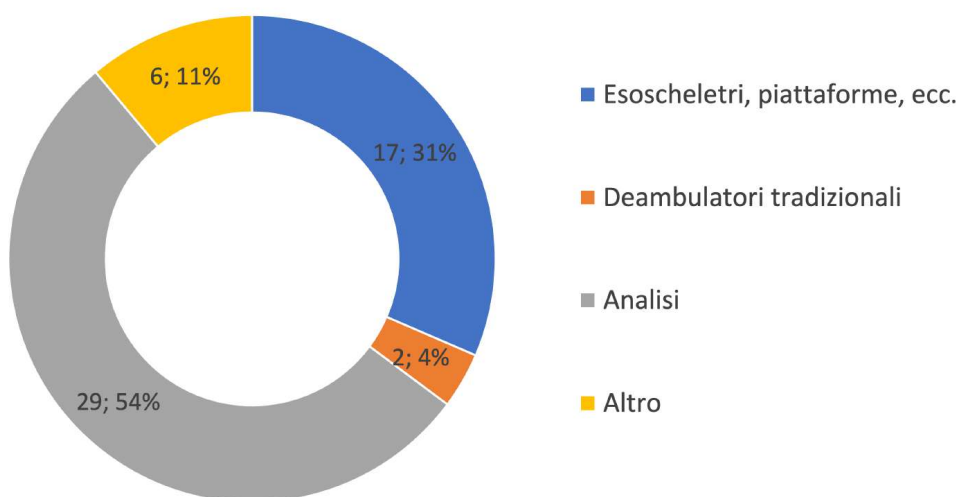


Figura 2.2: Numero di studi esclusi per tipologia

L'intero processo di identificazione degli studi viene schematizzato nel diagramma di flusso (Figura 2.3) ufficiale del *PRISMA* statement. Gli studi inclusi nella revisione sistematica ammontano a 53, ognuno di essi risulta coerente con i criteri di inclusione/esclusione stabiliti all'inizio.

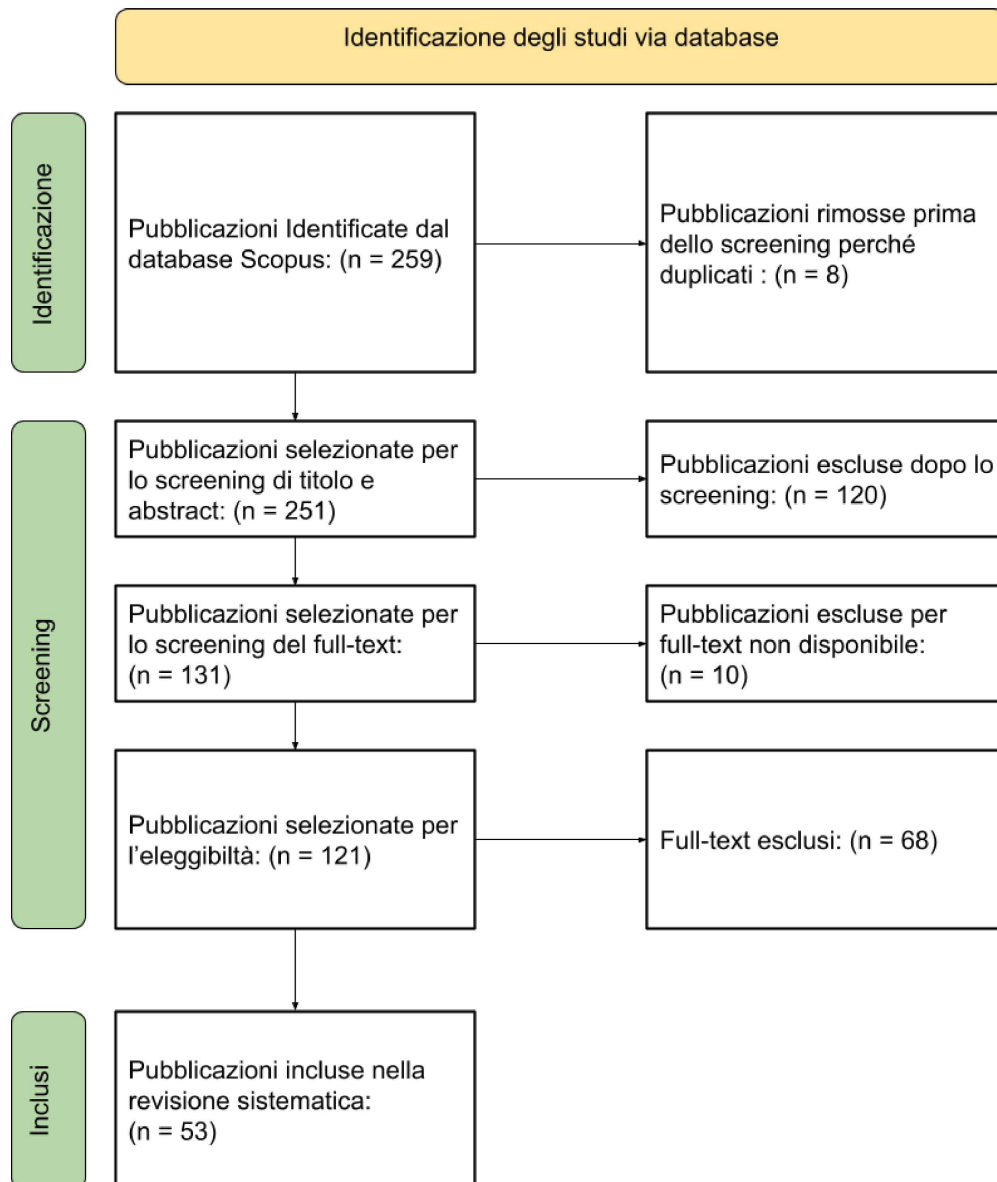


Figura 2.3: Diagramma di flusso del processo di selezione

3

Risultati

3.1 ANALISI PRELIMINARI

Questa sezione presenta alcuni risultati preliminari di carattere generale, ottenuti attraverso un'analisi globale degli studi. In particolare, si è voluta fornire una panoramica su alcune caratteristiche rilevanti, che non sono strettamente legate ai sensori o alle strategie utilizzate, ma che possono comunque contribuire alla comprensione del contesto in cui gli studi sono stati condotti.

La prima indagine è stata quella di suddividere gli articoli inclusi nella revisione in tre gruppi. I tre gruppi sono stati pensati per evidenziare il tipo di tecnologia presentata. I 53 articoli sono distribuiti nel seguente modo (Figura 3.1):

- 17 presentano un walker atto all'**assistenza personale**.
- 14 presentano un walker per la **riabilitazione**.
- 22 articoli propongono una **strategia di controllo** e ne effettuano un test su un walker già presentato in precedenza, nello specifico:
 - 9 presentano un sistema di navigazione.
 - 5 presentano un metodo di tracciamento dell'utente.
 - 5 presentano un algoritmo (classificazione, elaborazione dell'intenzione, ecc.).
 - 3 presentano un sistema di feedback.

3.1. ANALISI PRELIMINARI

In particolare fanno parte del primo gruppo gli articoli nei quali si presenta un dispositivo studiato per utenti che non necessitano di una riabilitazione (o non soffrono di patologie specifiche) ma di un supporto alla deambulazione per poter eseguire le attività di tutti i giorni.

Il secondo gruppo si riferisce agli articoli nel quale viene presentato un deambulatore con il preciso scopo di assistere pazienti in specifiche operazioni di fisioterapia o in generale nell'allenamento, in modo da poter performare meglio ed ottenere una riabilitazione il più efficace possibile.

Il terzo gruppo riguarda invece gli articoli in cui non viene mostrato un walker ma bensì vi è la proposta di una nuova strategia di controllo (comunque testata/collaudata mediante l'ausilio di un deambulatore robotico).

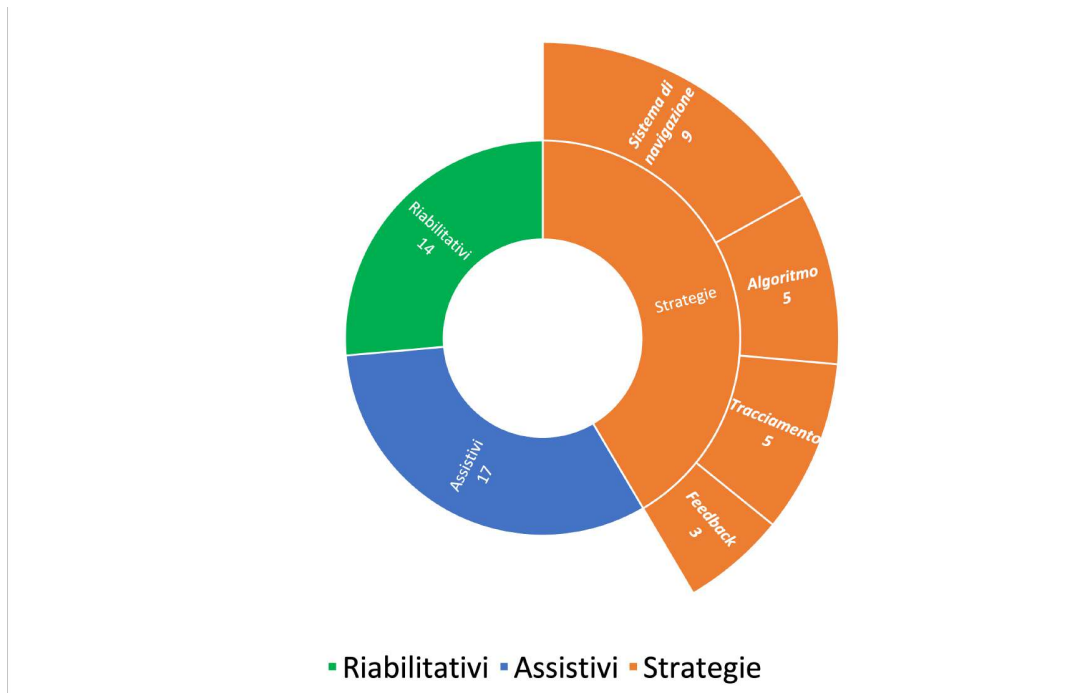


Figura 3.1: Numero degli studi analizzati, divisi per tipologia

La seconda analisi ha definito le tipologie di dispositivi di deambulazione presente in letteratura. Nella Figura 3.2 vediamo il numero di strumenti di deambulazione presenti negli articoli inclusi nella revisione, divisi per tipologia.

L'analisi è stata effettuata su tutti gli studi, quindi anche sul gruppo di articoli che presentavano una strategia. Infatti anche nel gruppo appena citato veniva sfruttato uno strumento di deambulazione per testare il funzionamento e l'efficacia della strategia proposta.

Nel grafico, la parola "deambulatore", viene utilizzata per definire i deambulatori a scorrimento, senza ruote.

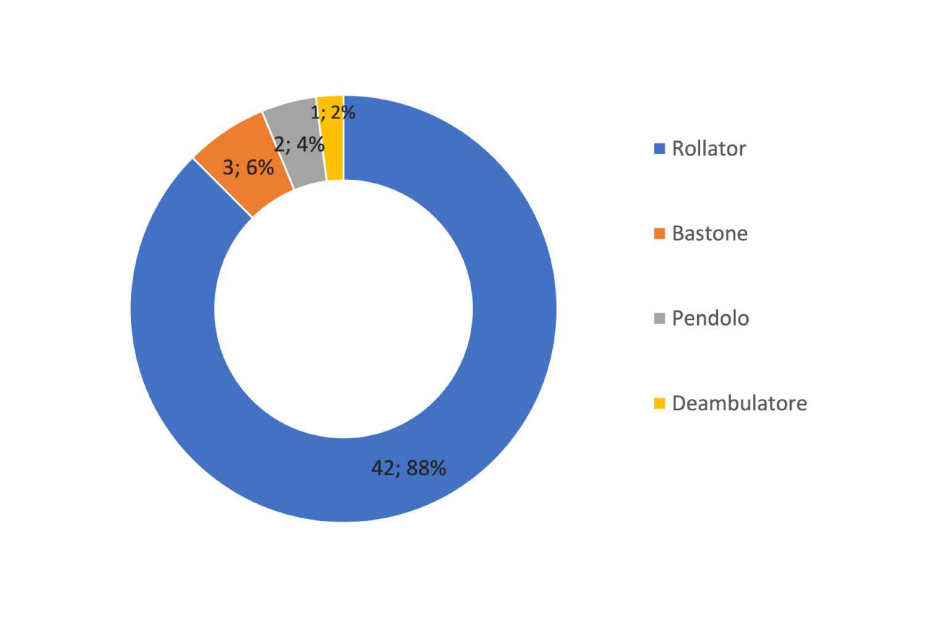


Figura 3.2: Tipologie e numero di dispositivi riscontrati negli studi

L'ultimo approfondimento riguarda il *feedback*, in questo caso riferito al metodo che il dispositivo utilizza, per fornire informazioni all'utente. La presenza di esso è molto significativa, in quanto manifesta la volontà (a livello progettuale) di lasciare il più possibile libertà di azione all'utente. Attraverso il feedback infatti, l'utente ha la possibilità di prendere autonomamente delle decisioni, sulla base delle informazioni ricevute, lasciando che il dispositivo intervenga solo in caso di inevitabile pericolo. La Figura 3.3 mostra il numero e le percentuali di articoli in cui viene presentato un walker che fa uso di feedback ed il tipo di quest'ultimo.

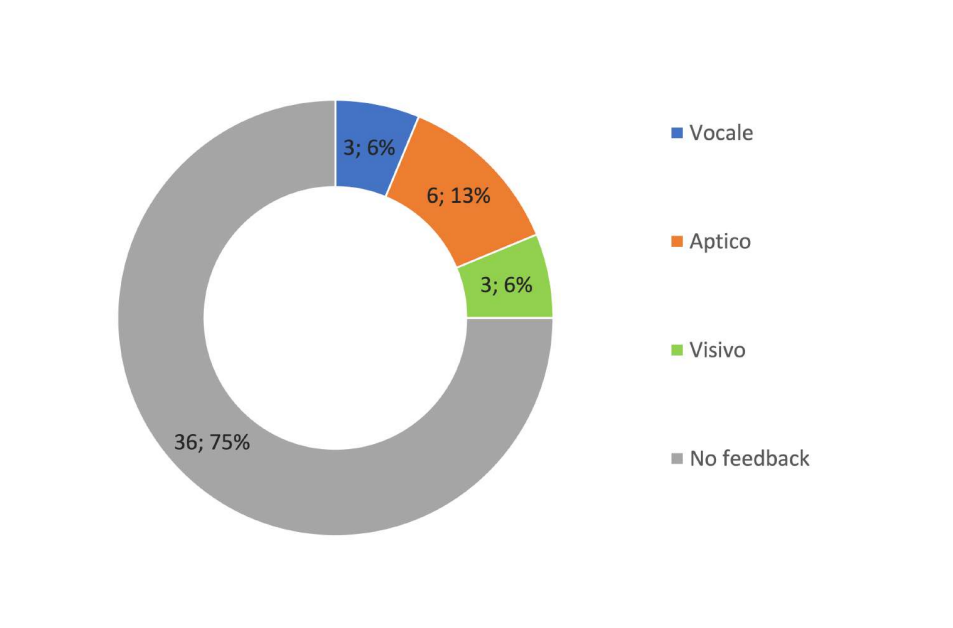


Figura 3.3: Numero di articoli in cui si utilizzata feedback divisi per tipo

3.2 ANALISI DEI SENSORI E DELLE STRATEGIE

In questa sezione vengono presentati i risultati dell'analisi effettuata per ogni articolo, l'obiettivo è stato quello di indagare i sensori utilizzati, le metodologie offerte e le strategie adottate da ogni documento.

Di seguito, nella Tabella 3.1 vengono riportati quanti (e quali) studi fanno uso di un determinato sensore, i sensori sono raggruppati per tipologia.

Nella Tabella 3.2 vengono invece riportati quanti (e quali) studi adottano una strategia, anche qui divise per macrogruppi.

Tipologia	Numero totale	Studi
Sensori di forza (cella di carico)	27	[12-13],[16-17],[19-20],[22-24],[27],[32-33],[39],[41],[43],[45],[47-48],[50-51],[53-55],[57-58]
IMU, accelerometro, giroscopio	16	[6],[13],[15-17],[20],[22-23],[27-28],[32],[37],[40],[47],[61]
Sensori IR (radiazione infrarossa (camera, diodo, ecc.))	12	[6],[12],[21-22],[29],[31],[33],[52],[54]
Camera RGB/RGB-D	12	[12],[18-19],[33-35],[38],[42],[45],[54],[56],[58]
LiDAR	7	[6],[15],[19],[42-43],[59],[62]
Laser (scanner, Laser Finder Range)	7	[25],[36],[39],[41],[43],[45],[53]
Sensore ad ultrasuoni	6	[19],[20],[22],[37],[51],[58]
Sensore di pressione	5	[6],[49],[52],[55],[63]
Sensore Leap Motion	3	[12],[33],[54]
Encoder	3	[6],[19],[47]
Sensore di battito cardiaco	3	[16],[23],[47]
GPS	3	[21],[22],[23]
Altro	10	[6],[21],[23-24],[28],[31],[40],[56-57],[61]

Tabella 3.1: Numero di sensori individuati, per tipologia

Come si può vedere dal grafico sottostante (Figura 3.4) il sensore maggiormente impiegato nei vari dispositivi è la cella di carico, impiegata esclusivamente per misurare la forza applicata dall'utente (solitamente alle maniglie del deambulatore).

Viene fatto poi largo uso di sensori quali IMU (per monitorare la dinamica del movimento del walker), sensori infrarossi e camere RGB/RGB-D (solitamente disposti in modo da tracciare parametri fisici dell'utente o il suo stato di deambulazione).

La categoria "altro", forma il 9% dei sensori presenti,¹ questo insieme racchiude tutti i sensori utilizzati meno di 3 volte negli articoli selezionati.

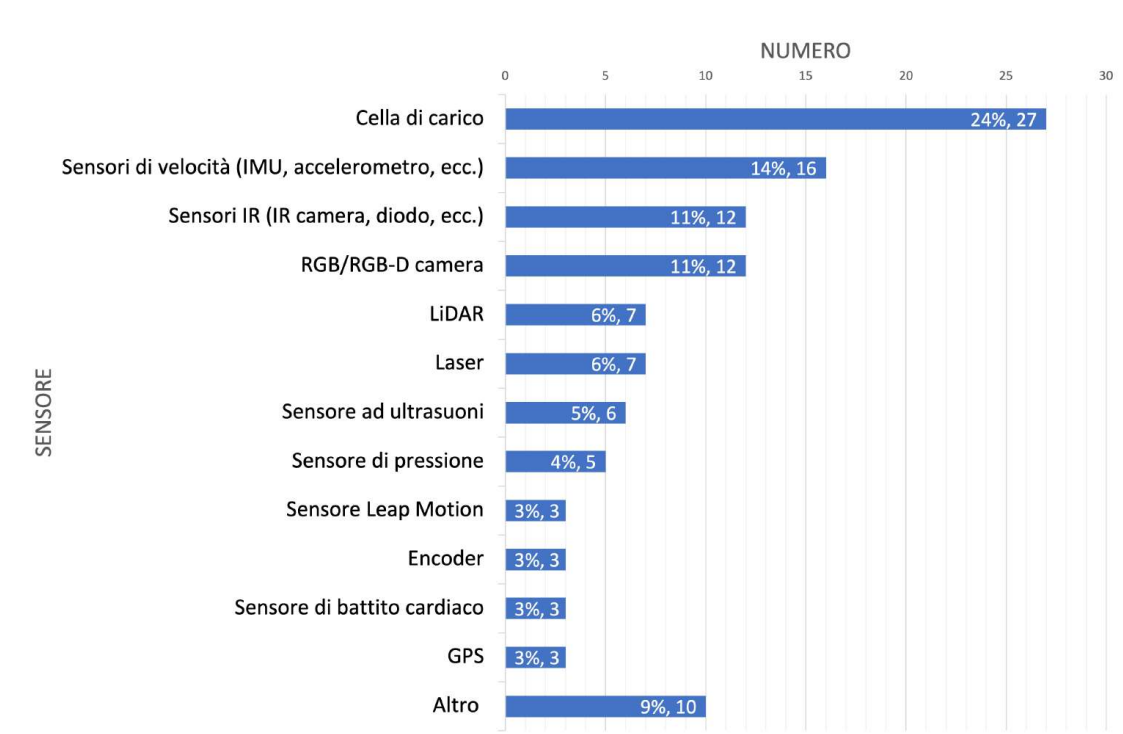


Figura 3.4: Percentuale di utilizzo dei sensori negli studi, per tipologia

¹Vibromotore, microfono, sensore di inclinazione, estensometro, sensore di prossimità.

3.2.1 UTILIZZO DEI SENSORI

Vediamo alcuni esempi rappresentativi di come vengono sfruttati questi sensori.

Cella di carico Questo sensore viene usato per misurare le variazioni di pressione/forza, per poi utilizzare tali misurazioni come input per il controllo della velocità o posizione del walker. In genere vengono applicati nelle maniglie, come in [12], la pressione di questi genera una differenza di potenziale che verrà misurata e successivamente tradotta in forza. In questi casi i sensori vengono rivestiti da un film protettivo e disposti interamente a copertura delle maniglie in modo da coprire tutta la superficie di presa.

Nel caso di [13] il dispositivo è un bastone, le celle vengono quindi applicate nell'impugnatura dello *smart cane*.

Interessante come in [14] vengano sfruttati i sensori di 4 maniglie diverse, in modo da offrire due tipi di posizioni per la deambulazione. Come vediamo dall'immagine Figura 3.5, nel caso (a) i sensori misurano la forza applicata nelle maniglie per trascinare il walker mentre nel caso (b) gli stessi sensori misurano la forza dei movimenti della regione pelvica.

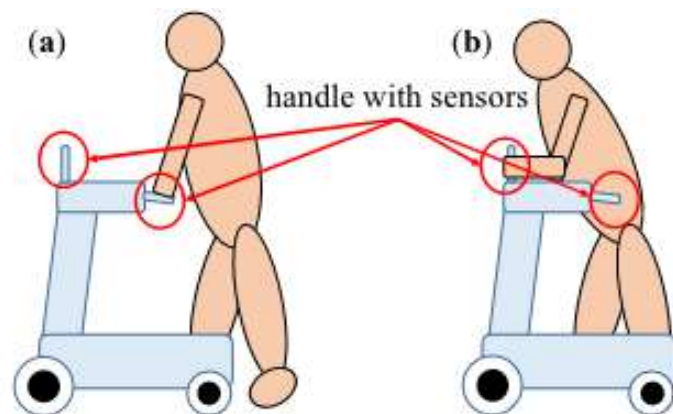


Figura 3.5: Modalità di utilizzo dei sensori di forza[14]

Sensori di velocità Prendiamo in esame alcuni esempi di utilizzo di sensori per la misurazione della velocità. Vediamo che esistono diverse modalità di utilizzo, ad esempio in [15] i sensori inerziali (IMU) vengono applicati direttamente ai piedi del paziente in modo da misurare velocità accelerazione e altri dati di movimento in maniera diretta. Ovviamente questa soluzione può risultare più ingombrante rispetto ad altre in cui il sensore è posizionato nel walker. In [16] accade quanto appena descritto, il sensore è posizionato nell'asse centrale del walker (Figura 3.6), in [17] invece è inserito all'interno del telaio del bastone.

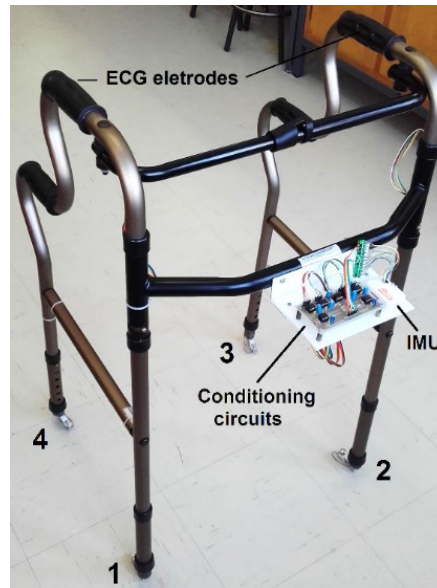


Figura 3.6: Sensore IMU applicato ad un walker a scorrimento[16]

Telecamere IR,RGB,RGB-D La maggior parte degli studi osservati, fa uso di una telecamera. In genere vengono utilizzate sia per catturare immagini ambientali che per estrarre dati dall'utente. In [18] ad esempio viene montata una telecamera RGB per tracciare il movimento dei piedi dell'utente. In [12] invece, si preferisce l'utilizzo di una camera RGB-D per avere una percezione completa del movimento dei piedi dell'utente. I sensori a raggi infrarossi spesso sostituiscono le telecamere RGB/RGB-D per via del loro costo minore.

In [6] viene utilizzata una IR camera con campo visivo a 120° che monitora il movimento dei piedi dell'utente; le sequenze di immagini catturate vengono poi processate da un algoritmo che ne estrae le features per classificare la camminata.

Altri Vediamo ora come vengono impiegati altri sensori.

Il sensore LiDAR viene montato nel walker di [6] all'altezza del polpaccio per effettuare un tracciamento delle gambe. Similmente in [15] serve a tracciare il movimento delle gambe per estrarne i dati relativi all'intenzione.

In [19] a differenza dei due studi precedenti, questo sensore viene sfruttato per tenere monitorato l'ambiente e rilevare eventuali ostacoli. Nello stesso studio il LiDAR è accompagnato da un sonar che funge anch'esso da rilevatore di ostacoli.

In [20] il walker progettato fa uso di 8 sensori ultrasonici sia per il rilevamento di ostacoli che di possibili cadute dell'utente.

In tre casi ([21],[22],[23]) vengono utilizzati dei GPS per localizzare la posizione del walker. In [22],[23] viene anche sfruttato un sensore di battito cardiaco per monitorare la frequenza cardiaca, così come in [16].

3.2. ANALISI DEI SENSORI E DELLE STRATEGIE

Per quanto riguarda le strategie utilizzate, esse si possono riassumere in 5 macrogruppi.

La più utilizzata è la camminata assistita, che consiste nella regolazione (attiva o in base all'intenzione dell'utente) della velocità del walker, oltre che alla rotazione e la frenata, tutto eseguito in modo autonomo, senza che l'utente debba intervenire.

La seconda strategia più utilizzata è quella della raccolta di parametri, essa è molto ricorrente poiché quasi tutti i walker progettati per la riabilitazione (e non solo) ne fanno uso, questa strategia consiste nel collezionare innumerevoli dati riguardo lo stato fisico del paziente e della sua deambulazione, altre volte consiste in un'analisi completa dell'andatura.

L'*obstacle detection* invece, è una strategia di rilevamento degli ostacoli e/o persone attraverso l'utilizzo di diversi sensori (telecamere RGB, LiDAR, ecc.). Le azioni per mettere in sicurezza l'utente dalla presenza di un ostacolo possono essere diverse a seconda del metodo scelto.

La tecnica di *fall detection* consiste nel rilevare la possibilità di caduta prima che essa avvenga, sfruttando in genere un algoritmo che analizza in tempo reale parametri raccolti dai sensori.

L'ultima strategia analizzata è il *path following*, che permette all'utente di seguire un percorso voluto senza effettuare variazioni di esso, viene ampiamente sfruttata dai dispositivi riabilitativi per l'allenamento della camminata del paziente lungo un percorso pre-determinato.

Nella Tabella 3.2 è possibile vedere nello specifico il numero di strategie implementate tra gli studi analizzati, per ogni tipologia mentre nel grafico sottostante (Figura 3.7) vengono mostrate le percentuali di adozione di tali metodi.

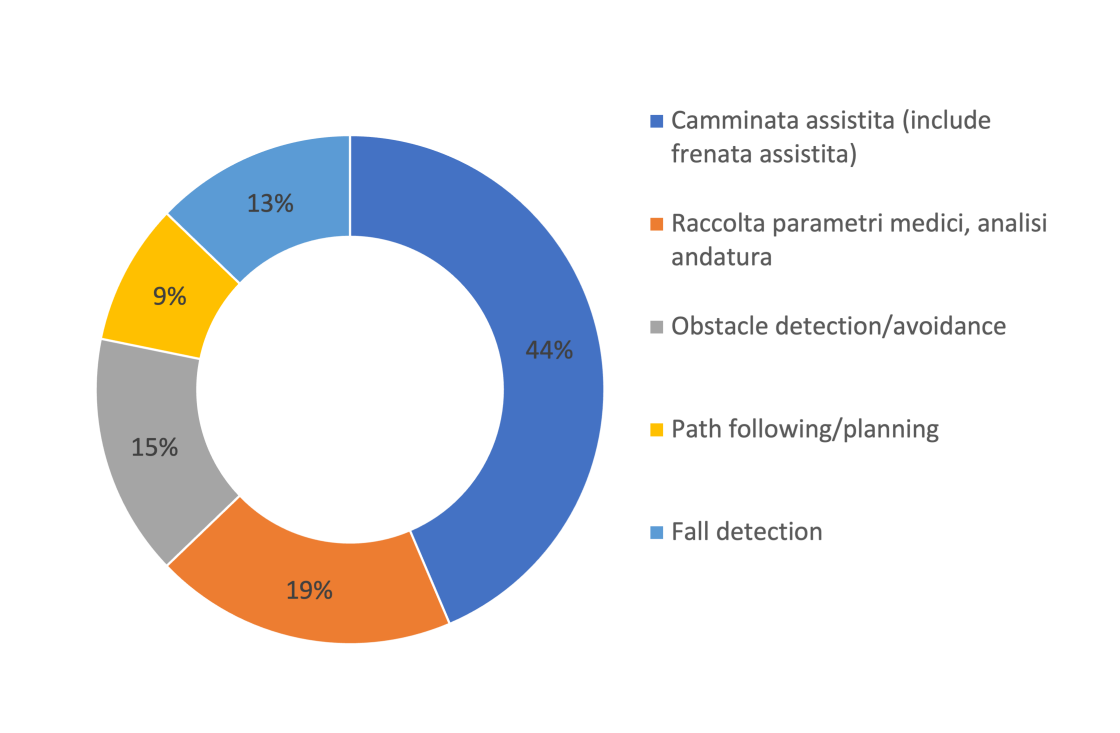


Figura 3.7: Percentuale di strategie adottate per tipologia

Strategia	Numero totale	Studi
Camminata assistita (include frenata assistita)	34	[6],[12],[15],[18-20],[22],[24],[27],[29-35], [38-43],[45],[50-51],[53-57],[60-63]
Raccolta parametri medici, analisi andatura	15	[12-13],[16-17],[22-23],[28],[36-37],[47-49],[52],[58-59]
Obstacle/people detection/avoidance	12	[6],[19-22],[25],[33],[42],[45],[51],[54],[62]
Fall detection	11	[6],[14],[21],[23-24],[26],[34-36],[41],[44]
Path following/planning	7	[20],[25],[29-30],[43],[46],[53]

Tabella 3.2: Numero di strategie adottate per tipologia

La Tabella 3.3 propone l'analisi completa dei 53 articoli. Essa presenta per ogni studio un riassunto della strategia adottata, se presenti i sensori utilizzati e ulteriori caratteristiche rilevanti.

Studio	Strategia	Sensori	Altro
[12]	<p>1) Viene elaborata la posizione delle mani, se non c'è una condizione di sicurezza le ruote si bloccano.</p> <p>2) L'intenzione dell'utente viene tradotta in movimento dal walker.</p> <p>3) Tramite i dati raccolti viene effettuata un'analisi dell'andatura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - IR camera - IR diodi (illuminazione) - Cella di carico - RGB-D camera - Sensore Leap Motion 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote piroettanti - 2 ruote motorizzate
[24]	<p>1) Il dispositivo riconosce il rischio di caduta dalla forza impressa alle maniglie e genera forza per assistere l'utente nel rimanere in piedi.</p> <p>2) Il paziente riceve informazioni tramite feedback vocali.</p> <p>3) Se il dispositivo considera l'utente in sicurezza offre camminata assistita, l'utente può frenare manualmente il walker.</p> <p>4) Il walker permette all'utente di alzarsi-sedersi agevolmente offrendogli stabilità.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 ruote piroettanti, motorizzate - Supporto standing-sitting
[25]	<p>1) Il walker raccoglie ed elabora informazioni spaziali.</p> <p>2) Fornisce feedback tattili tramite le vibrazioni delle maniglie o della cintura vibrante nel caso in cui viene rilevato un ostacolo.</p> <p>3) Fornisce un feedback tattile anche per fornire indicazioni riguardo al percorso da seguire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Laser scanner - Vibromotore 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote piroettanti
[26]	<p>1) Attraverso l'estrazione di dati dalla parte superiore del corpo dell'utente durante la camminata, il modello formalizza 5 tipi di caduta.</p> <p>2) Il walker grazie all'azione dei freni, si posiziona in modo da fornire stabilità all'utente, in maniera differente rispetto al tipo di caduta rilevata.</p>	-	-

[27]	Il walker tramite i sensori di forza nelle maniglie regola il suo angolo e la sua velocità per posizionarsi nel miglior modo, fornendo equilibrio all'utente che sta camminando.	- IMU - Cella di carico	- 2 ruote motorizzate
[28]	Durante la riabilitazione il bastone rileva parametri fisici come accelerazione, angolo e forza, per poi trasmetterli via bluetooth ad un dispositivo esterno.	- IMU - Estensometro	- Bastone
[29]	1) Il walker dispone di 4 programmi differenti per la riabilitazione di pazienti (in genere Ictus). 2) È possibile regolare la velocità e il tipo di percorso da svolgere. 3) I sensori infrarossi rilevano quando l'utente non è pronto per camminare o quando sta per cadere ed il walker si ferma all'istante per fornire supporto.	- IR sensor	- 4 ruote Mecanum motorizzate
[30]	1) Per simulare la passività il walker si muove per quanto possibile alla velocità desiderata dall'utente alternando fasi in cui l'utente controlla la velocità. 2) Il controllo della velocità non è mai attivo se viene verificato che le condizioni di sicurezza mancano.	-	-
[18]	1) Il robot è progettato per fornire supporto nella fase seduto-in piedi. 2) Attraverso il tracciamento dei piedi è possibile stabilire la velocità del walker che andrà a posizionarsi in maniera adeguata rispetto all'utente per assisterne la camminata.	- RGB camera	- 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[31]	1) Il walker fornisce supporto pelvico 2) L'algoritmo permette di tracciare la camminata in ogni direzione. 3) Attraverso il modello generato è possibile assistere la camminata del paziente per una riabilitazione ottimale.	- IR camera - Pelvis motion sensor	- 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti

[17]	I parametri rilevati durante la camminata dell'utente possono essere salvati in una scheda micro-USB oppure inviati tramite bluetooth ad un dispositivo esterno.	- IMU - Cella di carico	- Bastone
[16]	1) Il walker permette di rilevare la frequenza cardiaca, la forza applicata alle gambe di esso, il movimento e l'orientamento del paziente. 2) Le informazioni sono processate in tempo reale e trasmesse esternamente via bluetooth.	- IMU - Cella di carico - e-textile elettrodo (sensore battito cardiaco)	
[15]	L'algoritmo predittivo implementato è in grado di calcolare l'intenzione di movimento dell'utente. La camminata viene classificata in 3 categorie e permette al walker di fornire assistenza alla camminata grazie all'azione delle ruote motorizzate.	- LiDAR - IMU	- 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[21]	1) Attraverso i due sensori vengono rilevati ostacoli nel percorso e l'utente viene avvisato tramite un segnale acustico da uno speaker. 2) Viene fornita un'applicazione che permette, via GPS, all'utilizzatore di orientarsi tramite le mappe e fornisce ad altre persone (es. parenti) la posizione della persona che sta deambulando.	- Sensore di prossimità - Sensore IR - GPS	
[32]	1) Il sensore IMU viene applicato direttamente all'utente tramite una cavigliera. 2) Viene rilevata l'intenzione dell'utente e applicata al walker per assistere la camminata, generando motrice tramite le ruote motorizzate.	- IMU - Cella di carico	- 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti

[33]	<p>1) L'approccio proposto utilizza un modello di apprendimento di rinforzo (RL) e un algoritmo dinamico di pianificazione del movimento locale basato su finestre.</p> <p>2) La soluzione proposta gestisce le correzioni e guida l'utente attraverso l'ambiente senza collisioni durante l'apprendimento e l'aiuto dell'utente quando non è in grado di far funzionare il dispositivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - *IR camera - *IR diodi (illuminazione) - *Cella di carico - *RGB-D camera - *Sensore Leap Motion 	<p>*Il walker su cui viene testato tale approccio è ISR-AIWALKER (Paulo et al., 2017)</p>
[34]	<p>1) Attraverso il tracciamento visivo del movimento e l'orientamento dei piedi viene stimata la posizione del corpo dell'utente.</p> <p>2) Il walker sulla base di questa stima, manterrà una distanza di sicurezza per permettere al paziente l'allenamento in sicurezza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - RGB camera 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 ruote Mecanum motorizzate
[19]	<p>Il walker offre molteplici funzionalità:</p> <p>1) People e obstacle detection</p> <p>2) Stima dell'intenzione dell'utente andando a generare un'assistenza alla camminata.</p> <p>3) Tre modalità di utilizzo: remote control, total control, shared control.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Encoder - LiDAR - Sensore ultrasuoni - Cella di carico - HD camera (RGB camera) 	<ul style="list-style-type: none"> -
[35]	<p>1) Il metodo permette di classificare il movimento umano attraverso un walker in "camminata", "seduta", "in piedi" e 5 tipi di caduta.</p> <p>2) I risultati della classificazione sono stati impiegati per controllare il movimento di un deambulatore (es. RT Walker) attivando i suoi freni in qualsiasi stato di non deambulazione rilevato.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - RGB-D camera 	<ul style="list-style-type: none"> -

[36]	<p>1) La strategia di controllo utilizza i dati di un singolo LRF montato sulla piattaforma, che scansiona l'area dei piedi.</p> <p>2) Il framework incorpora un robusto monitoraggio delle gambe e una stima delle fasi dell'andatura utilizzando un modulo di parametrizzazione e caratterizzazione dell'andatura patologica per l'estrazione dei parametri dell'andatura e la classificazione dell'utente in una classe associata al rischio di caduta. Ogni classe definisce diverse variabili di controllo per il controllo del sistema uomo-robot.</p>	- Laser Finder Range	-
[37]	I test effettuati dimostrano la capacità del walker di raccogliere dati quali il livello delle attività dell'utente (es. performance su diverse inclinazioni del terreno) e la natura dell'ambiente in cui si svolgono queste attività.	- IMU - Sensore ultrasuoni	-
[38]	Tramite l'estrazione dell'immagine 3D del torso il sistema di navigazione regola la velocità del walker in modo da accompagnare il movimento e l'orientamento dell'utente.	- RGB-D camera	- 2 ruote motorizzate
[39]	La strategia di controllo consente una locomozione naturale basata sull'intenzione dell'utente valutata in tempo reale, inoltre l'utente può regolare una velocità di andatura confortevole. L'utilizzo di soli sensori di forza permette una migliore efficienza computazionale.	- *Laser Finder Range - *Cella di carico	*La strategia viene implementata tramite il walker UFES/Brazil (Valadão et al., 2016) - 2 ruote motorizzate
[40]	Il walker permette all'utilizzatore di mantenere l'equilibrio in camminata e fermo in piedi. La caratteristica di questo walker è quella di avvicinarsi o allontanarsi dall'utente attraverso le ruote motorizzate per fornire il massimo equilibrio possibile .	- Giroscopio - Sensore di posizione (Hall sensor)	- 2 ruote motorizzate

[41]	<p>1) Viene stimato il bilanciamento del corpo per mantenere il bilanciamento dell'utente attraverso il walker.</p> <p>2) La frenata automatica non viene utilizzata per evitare gli ostacoli ma per mantenere il walker in una posizione congrua a tenere in equilibrio il paziente.</p> <p>3) La frenata è massima quando viene rilevata la potenziale caduta dell'utente. L'utente può anche frenare manualmente il dispositivo.</p> <p>4) Il walker fornisce la camminata assistita.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Laser scanner - Cella di carico 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[42]	<p>1) Il walker fornisce supporto all'equilibrio dell'utente per la camminata.</p> <p>2) La camminata è soft assisted. Il walker è pensato per piccoli movimenti domestici e non può sostituire un walker con supporto completo per camminate outdoor.</p> <p>3) Il walker è capace di evitare gli ostacoli guidando l'utente in aree libere da essi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - LiDAR - RGB camera 	<ul style="list-style-type: none"> - 3 ruote omnidirezionali piroettanti
[43]	<p>Viene generato un feedback aptico che segnala alla persona di star percorrendo una direzione errata, quando durante la deambulazione il paziente devia dal percorso prestabilito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - LiDAR - *Cella di carico - *Laser Range Finder 	<p>*Per lo sviluppo del controller di ammettenza viene utilizzato il walker UFES/Brazil (Valadão et al., 2016)</p>
[44]	<p>Il sistema è composto da un filo collegato da un lato, ai vestiti o la cintura del paziente e dall'altra estremità alle leve magnetiche del walker. Quando la tensione del filo supera una certa soglia, esso fa scattare il freno del walker, in modo che non possa portare a situazioni pericolose per il paziente.</p>	-	-
[45]	<p>1) Il walker tramite l'intenzione dell'utente rilevata con le celle di carico, adatta la velocità alla camminata.</p> <p>2) Rileva gli ostacoli e fornisce frenata assistita.</p> <p>3) Monitora lo stato dell'utente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Laser scanner - RGB camera 	<ul style="list-style-type: none"> - 3 ruote motorizzate omnidirezionali

[46]	<p>1) L'utente viene guidato attraverso delle informazioni sul percorso fornite tramite feedback aptico.</p> <p>2) Una volta che l'utente si discosta in maniera significativa dal percorso pre-stabilito o si avvicina ad un ostacolo il sistema frenante viene automaticamente azionato per riportare l'utente nel percorso o in situazione di sicurezza.</p>	-	-
[47]	<p>1) Il sistema basato sull'IoT permette di misurare l'andatura durante la riabilitazione.</p> <p>2) Ogni dato raccolto può essere visualizzato via web.</p>	<p>- Accelerometro</p> <p>- Cella di carico</p> <p>- Encoder</p>	-
[48]	<p>Il walker è dotato di un dispositivo che permette di misurare il carico della parte superiore del corpo. Esso implementa il sistema di tracciamento presentato in precedenza (Uegami et al., 2019).</p>	- Cella di carico	-
[49]	<p>1) Il dispositivo permette un movimento libero grazie ai 6 gradi di libertà offerti dal supporto pelvico.</p> <p>2) Il walker permette di rilevare 3 parametri: spazio di lavoro, destrezza e forza.</p> <p>3) Il walker effettua un'analisi su tali parametri permettendo di visualizzarla su un monitor montato su di esso.</p>	- Sensore di pressione	<p>- 2 ruote omnidirezionali</p> <p>- Body weight support</p>
[50]	<p>Attraverso le celle di carico poste sulle maniglie del deambulatore, la forza esercitata viene rilevata e l'algoritmo elabora la direzione desiderata. Il walker tramite le ruote motorizzate intraprende la direzione voluta.</p>	- Cella di carico	- 4 ruote motorizzate

[6]	<p>1) Il walker si avvicina all'utente se chiamato tramite comando vocale. Tramite la pressione delle maniglie si posiziona in maniera congeniale all'utilizzo.</p> <p>2) Per fornire una camminata assistita, traccia l'andatura delle gambe e rileva l'intenzione dell'utente tramite i sensori di pressione.</p> <p>3) Fornisce prevenzione e protezione, prevedendo e rilevando le cadute, andando ad intervenire sui freni delle ruote.</p> <p>4) Rileva gli ostacoli e conduce il paziente a distanza da essi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Encoder - IMU - LiDAR - Termometro IR - Microfono - Sensore di pressione 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote piroettanti - 2 ruote motorizzate
[20]	<p>1) Tramite un'applicazione viene impostata la destinazione desiderata, il walker guiderà l'utente per il raggiungimento di essa.</p> <p>2) Il walker permette una camminata assistita basata sull'intenzione dell'utente.</p> <p>3) Evita gli ostacoli in modo fluido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensore ultrasuoni - IMU - Cella di carico 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 ruote motorizzate di cui 2 piroettanti
[51]	<p>1) Offre supporto del peso corporeo e PAM (pelvic assist mechanism) per assistere la camminata riabilitativa e l'equilibrio.</p> <p>2) Viene offerta la camminata assistita attraverso il rilevamento dell'intenzione del paziente.</p> <p>3) Tramite i sensori ad ultrasuoni vengono rilevati gli ostacoli.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Sensore ultrasuoni 	<ul style="list-style-type: none"> - 4 ruote piroettanti - 2 ruote motorizzate

[52]	<p>1) I sensori utilizzati misurano la pressione esercitata sulle maniglie, la pressione esercitata sul piede e la velocità di camminata.</p> <p>2) I dati collezionati vengono salvati in un database in tempo reale.</p> <p>3) I dati vengono poi classificati e visualizzati in un'apposita applicazione, creata per monitorare i parametri della camminata.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensore di pressione (FSR) - Infrared Speed sensor (IRSS) 	-
[53]	<p>Il paziente viene guidato nel percorso prestabilito attraverso un feedback aptico e tramite il controllo della velocità del walker stesso.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - *Laser Finder Range - *Cella di carico 	<p>*Per lo sviluppo dell'approccio viene utilizzato lo smart walker UFES/Brazil (Valadão et al., 2016)</p>
[54]	<p>L'algoritmo si basa sul metodo random tree. Viene lasciata libertà all'utente in quanto la navigazione rimane passiva sino a quando non viene rilevato un ostacolo valutato come pericoloso per la sicurezza, se l'intenzione rappresenta una potenziale fonte di pericolo la camminata viene assistita per evitare l'ostacolo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - *IR camera - *IR diodi (illuminazione) - *Cella di carico - *RGB-D camera - *Sensore Leap Motion 	<p>*Per lo studio viene utilizzato il walker ISR-AIWALKER (Paulo et al., 2017)</p>
[55]	<p>Il walker integra il riconoscimento dell'intenzione di movimento e fornisce camminata assistita per seguire il paziente in modo sincrono durante la camminata. Offre inoltre un supporto del peso corporeo integrato.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Sensori di pressione 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote piroettanti motorizzate - 3 ruote piroettanti passive - Body weight support
[22]	<p>1) Rilevamento della postura e monitoraggio real time della camminata e di parametri medici (battito cardiaco).</p> <p>2) Camminata assistita sulla base dell'intenzione dell'utente.</p> <p>3) Rilevamento e protezione dalla collisione con ostacoli.</p> <p>4) App per visualizzare lo stato del walker, i parametri e la sua posizione.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensore ultrasuoni - Cella di carico - Giroscopio - Sensore di battito cardiaco - GPS - Sensore IR 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote motorizzate

[56]	<p>1) Il walker offre un'assistenza attiva alla camminata tramite le ruote motorizzate.</p> <p>2) La camminata viene monitorata e l'utente riceve un feedback visivo su di essa tramite un display installato sul walker.</p> <p>3) L'utente può inoltre interagire con il dispositivo tramite comandi vocali.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - RGB camera - Microfono 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[57]	<p>Il walker assiste la mobilità in pendenza quando l'utente cammina su strade in salita o discesa. Quando l'utente cammina su una strada piana il walker è totalmente passivo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Sensore di inclinazione 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 ruota motorizzata - 2 ruote piroettanti
[13]	<p>Il walker è pensato per soddisfare i pazienti che faticano economicamente a sostenere trattamenti riabilitativi, essendo accessibile grazie all'implementazione di pochi sensori a basso costo. Raccoglie parametri medici durante la riabilitazione.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accelerometro - Cella di carico 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[23]	<p>1) Il dispositivo effettua una diagnosi dei parametri medici riguardanti la camminata e non può effettuare chiamate di emergenza nel caso venga rilevata una caduta.</p> <p>2) Il bastone rileva situazioni di FoG e invia dei segnali acustici e vibranti al paziente per aiutare il paziente a superare tale difficoltà.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Sensore di battito cardiaco - Giroscopio - Accelerometro - GPS - Vibromotore 	<ul style="list-style-type: none"> - Bastone

[14]	<p>Per l'applicazione di questi metodi vengono progettate delle apposite maniglie per la raccolta dei segnali provenienti dagli arti superiori. Vengono proposti due algoritmi per il rilevamento delle cadute:</p> <p>1) Stabilisce un modello cinematico basato su due parametri per identificare il controllo dell'ammiettenza e l'analisi dello stato oscillatorio degli arti inferiori.</p> <p>2) Basato sul metodo PLT-SPRT.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Sensore ultrasonico 	-
[58]	<p>Il walker rileva il posizionamento dei piedi (es. troppo distanti dal dispositivo, non centrati, incrocio) e l'utente riceve un feedback sul display montato nel walker o attraverso una luce per la correzione della camminata.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sensore ad ultrasuoni - RGB camera 	-
[59]	<p>Il modello FFLNet permette di estrarre caratteristiche spaziali e temporali della camminata, collezionandole in tempo reale attraverso un sensore LiDAR. Rispetto ad altri approcci questo permette di estrarre le varie caratteristiche in modo più efficienti e in un tempo minore di deambulazione.</p>	- LiDAR	-
[60]	<p>1) Il walker è dotato di una maniglia intelligente che attraverso il riconoscimento dell'intenzione permette di variare la deambulazione adattandola all'intenzione.</p> <p>2) La maniglia può essere utilizzata come braccio robotico per sollevare oggetti pesanti.</p>	- Cella di carico	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ruote motorizzate - 2 ruote piroettanti
[61]	<p>Il modello è basato sulle informazioni della presa. Esso permette di generare velocità e sterzata andando a riconoscere l'intenzione dell'utente per rendere minimo lo sforzo dell'utente necessario alla sterzata o a spingere il walker.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cella di carico - Accelerometro - Sensore di prossimità 	-

[62]	<p>La strategia si basa su un controller dell'ammittenza per generare segnali tattili e visivi per fornire dei feedback sull'ambiente (ostacoli, ecc.), garantendo la sicurezza ed andando a regolare la velocità.</p> <p>La strategia permette di distinguere persone nell'ambiente in modo diverso dagli ostacoli in modo da lasciare libertà all'utente se evitare o meno l'incontro di queste durante il percorso per favorire le interazioni sociali.</p>	- LiDAR	-
[63]	<p>Il metodo proposto evidenzia tramite i risultati dei test l'efficacia e la precisione nell'ottenere l'intenzione della direzione del movimento, l'intenzione della velocità di movimento e l'intenzione di variazione dei parametri appena citati.</p>	- Sensore di pressione	-

Tabella 3.3: Sensori e caratteristiche degli studi

4

Discussione

Questo capitolo della tesi discuterà brevemente i risultati ottenuti nella revisione, fornendo un'interpretazione del materiale analizzato.

Abbiamo visto che il numero di studi in tale ambito è aumentato considerevolmente a partire dal 2010, da questa data fino ad oggi però la situazione risulta stazionaria.

Va considerato che non è sufficiente questa ricerca per determinare un andamento della quantità di ricerche in questo campo in quanto, è stato sfruttato un solo database che pur essendo un punto di riferimento per la comunità scientifica offre comunque una visione limitata nella totalità della letteratura.

Per ciò che concerne la qualità degli studi a nostra disposizione non è possibile utilizzare un criterio oggettivo. Basandoci sui dati temporali possiamo evidenziare che nonostante il problema dal quale nasce la necessità di questi studi (ovvero l'invecchiamento della popolazione), venga dibattuto da relativamente poco, la letteratura a riguardo è già piuttosto consistente in termini di età.

4.1 RISPOSTE AI QUESITI DI RICERCA

In questa sezione vengono discussi i quesiti di ricerca, a cui risponderemo dopo aver ottenuto una panoramica completa degli studi ricercati.

RQ1 Quali sono i diversi approcci e strategie di controllo utilizzate nei dispositivi di camminata per preservare la salute di persone anziane o con disabilità? Dalle analisi effettuate è possibile riscontrare che le strategie utilizzate sono molteplici.

Un metodo molto comune per garantire sicurezza è quello dell'assistenza alla camminata. Per assistenza alla camminata si intendono le azioni di frenata o accelerazione del dispositivo, queste avvengono in maniera autonoma senza che l'utente debba svolgere questo compito attraverso

4.1. RISPOSTE AI QUESITI DI RICERCA

manopole o leve. In generale, queste azioni hanno l'obiettivo di ottenere una posizione ottimale del walker rispetto all'utente per poter fornire sia una velocità adeguata per la deambulazione (cosa che talvolta non è possibile per problematiche fisiche dell'utente), sia per fornire supporto fisico in caso di caduta o mancanza di equilibrio.

Ad esempio in [26] il dispositivo è in grado di classificare diversi tipi di cadute, in base a ciò effettua un'azione frenante con un'intensità adeguata rispetto al tipo di caduta.

In [60] invece il walker rileva l'intenzione dell'utente tramite i sensori di forza presenti nella maniglia e regola la velocità traducendo quest'intenzione in una spinta reale.

Un approccio diverso è quello del rilevamento degli ostacoli, questo può avvenire tramite sensori di vario tipo che discuteremo in seguito.

Anche le metodologie di elaborazione degli ostacoli si differenziano, infatti, se nella maggior parte dei casi l'ostacolo è visualizzato dal walker come un qualsiasi elemento che si presenta ad una certa distanza, ci sono metodi che permettono di riconoscere un ostacolo da una persona, in modo che, nel secondo caso, l'utente possa decidere autonomamente se evitarla oppure avvicinarsi molto ad essa per un'interazione sociale [62].

Dopo che l'ostacolo viene individuato ci sono differenti approcci di controllo, ad esempio il walker può evitare la collisione in maniera autonoma, conducendo il paziente in un'area libera [42].

In modo diverso invece, alcuni dispositivi, possono fornire un feedback specifico per segnalare la presenza di un ostacolo, come nel caso di [25] dove viene progettato un walker specifico per persone cieche; esso è dotato di maniglie vibranti e dispone di una cintura indossabile dall'utente con 6 differenti zone nel quale avviene la vibrazione, ogni zona corrisponde alla posizione dell'ostacolo rispetto alla persona e si attiverà, vibrando, per segnalare la presenza di qualsiasi oggetto. Diversamente dal caso appena citato, il feedback di segnalazione può essere acustico, come in [21], in cui interviene un messaggio dallo speaker del deambulatore o ancora, visivo, come nel caso della strategia di [62].

Alternativamente o in combinazione con le due strategie precedentemente illustrate viene utilizzato anche il metodo del path-following. Questo sistema di assistenza permette di decidere a priori un percorso che si vuole percorrere ed il walker guiderà la persona attraverso di esso.

Nel caso di [20] viene fornita un'applicazione che permette di stabilire una meta nella mappa, il walker diventerà poi vincolato al raggiungimento di questa, cercando di garantire la sicurezza dell'utilizzatore.

Oltre ai metodi più comuni appena citati ne esistono di altri, unici nel loro genere che meritano di essere citati.

In [21] il walker è geolocalizzato e grazie a questo, una persona terza (ad esempio un parente o personale medico) ha la possibilità di monitorare in tempo reale la posizione dell'utente.

Il walker AGoRA [19] permette diverse modalità di utilizzo, il walker può essere guidato totalmente dall'utente, mantenendo comunque la sicurezza in caso di cadute, può essere guidato a distanza

dal terapeuta attraverso un telecomando, può agire autonomamente e infine può essere utilizzato attraverso un controllo condiviso. Attraverso il controllo condiviso vengono calcolate una serie di zone in cui l'utente può rientrare percorrendo un percorso prestabilito, quando l'utente esce dall'area, il walker (rimasto passivo fino a quel momento) interviene riportando il paziente nel percorso.

Strategia differente è quella di [44] dove viene sviluppato un sistema di sicurezza che consiste in un filo collegato al walker da un lato e attraverso una forcina ai vestiti dell'utilizzatore dall'altro, quando la tensione del filo raggiunge una determinata soglia, fa scattare delle leve magnetiche che frenano il walker, questo serve a far sì che la persona non sia mai troppo distante dal walker e possa sempre utilizzarlo come supporto fisico nel caso di mancato equilibrio.

RQ4 Quali sono le funzionalità offerte dagli smart walker utilizzati nell'ambito della riabilitazione medica? I dispositivi adibiti alla riabilitazione medica mirano principalmente alla raccolta di parametri medici utili per valutare lo stato di salute del paziente e la qualità della riabilitazione.

Un esempio è il walker Andante [16] che tramite la strumentazione posseduta permette di rilevare ed elaborare dati quali l'indice e la lunghezza del passo, la frequenza cardiaca, l'equilibrio e la qualità della camminata, la coordinazione motoria, il numero di passi eseguiti in modo errato.

In [48] il walker effettua un'analisi della lunghezza del passo, la massima forza di reazione al suolo per peso corporeo, l'inclinazione, rotazione e ampiezza del centro di massa in direzione verticale e laterale.

Alcuni dispositivi, tramite le misurazioni effettuate, elaborano un'analisi completa dell'andatura. ISR-AIWALKER [12] offre questa funzionalità, esso, tramite la supervisione degli arti inferiori supervisiona la camminata dell'utente e la classifica in uno specifico modello di andatura. Queste tecniche permettono di fornire al personale medico dei criteri per la diagnosi dello stato del paziente oltreché alla valutazione del progresso della terapia riabilitativa.

I deambulatori riabilitativi combinano le funzionalità di monitoraggio appena descritte ad altre tecniche, con lo scopo di ottimizzare l'allenamento motorio.

Per fare ciò vengono utilizzati gli stessi metodi di controllo dei walker assistivi, in questo caso non solo a scopo di preservare la sicurezza ma anche per avere un miglioramento delle performance.

Il walker iRe-Go [51] attraverso i sensori di forza installati nel suo meccanismo di assistenza pelvico, può riconoscere l'intenzione di movimento e direzione dell'utente, in modo che la velocità del dispositivo corrisponda a quella voluta dall'utente.

Come esempio, RoboTrainer [45], tramite delle azioni di controllo spaziali, modifica il proprio comportamento quando durante la deambulazione in un percorso di allenamento viene rilevato un ostacolo. In [58] invece, il dispositivo monitora ed analizza la camminata durante la riabilitazione, esso fornisce un feedback visivo (tramite un'immagine nel display del walker) all'utente nei casi in cui è necessario effettuare una correzione o la persona compie movimenti errati.

RQ2-RQ5 Quali sono i sensori/strumenti che permettono la realizzazione di tali approcci?

La camminata assistita è regolata dall'intenzione dell'utente, questa viene rilevata in genere tramite sensori di pressione e forza, più nello specifico celle di carico.

Le camere RGB e RGB-D vengono utilizzate per molteplici fini: il tracciamento del movimento dei piedi [18]; il rilevamento di oggetti [19]; in altri casi come rilevatore di ostacoli in alternativa al sensore LiDAR [42].

Sensori inerziali, giroscopi e accelerometri sono utilizzati per rilevare dati relativi all'andatura (velocità angolare e accelerazione) [27] [28] [40].

I sensori ad infrarossi vengono utilizzati per rilevare la posizione ed il movimento delle mani [12], rilevare oggetti nelle vicinanze [21] o la velocità di camminata [52].

Il sensore LiDAR viene utilizzato per misurare i movimenti dell'articolazione del ginocchio [15], raccogliere informazioni ambientali [62].

I sensori laser vengono utilizzati per raccogliere informazioni spaziali [25], rilevare velocità e posizione dell'utente [36], riconoscere ostacoli [39] ed effettuare misurazioni sul movimento dei piedi [41].

I sensori ad ultrasuoni permettono di identificare ostacoli nelle vicinanze [19] [20] [51] [22], per rilevare la distanza tra l'utente e il walker [37] e misurare la distanza dei piedi [58].

La strumentazione GPS è usata esclusivamente come localizzatore, per poter tracciare la posizione in tempo reale del walker e permettere all'utilizzatore di orientarsi attraverso una mappa [21] [22] [23].

Altri sensori utilizzati in rari casi sono il sensore di Hall che viene sfruttato per determinare la rotazione e la velocità del walker [40], il microfono per permettere all'utente di interagire con il walker tramite comandi vocali [56], il sensore di inclinazione per misurare la pendenza in strade con dislivello [57], il sensore di prossimità utilizzato per rilevare la presa sulle maniglie del walker [61] ed il sensore di battito cardiaco per misurare la frequenza cardiaca durante l'attività di deambulazione [16] [22] [23].

RQ3-RQ6 Quali sono le criticità che gli smart walker riabilitativi/assistivi presentano? Gli smart walker sono strumenti estremamente utili per la popolazione anziana ed una serie di persone che soffrono patologie che ne compromettono la camminata (o ipovedenti), tuttavia emergono alcune criticità correlate a tali dispositivi.

Uno studio del 2020 ha effettuato una serie di esperimenti per evidenziare che l'uso non corretto di uno smart walker è associato ad una minore stabilità nel paziente durante la camminata, il precario equilibrio di conseguenza comporta un aumento del rischio di caduta [64]. Lo stesso studio ha evidenziato che durante gli esperimenti i pazienti hanno riscontrato difficoltà nell'utilizzo dei deambulatori e hanno segnalato alcuni problemi di progettazione di quest'ultimi.

Un altro problema è quello relativo all'accessibilità, infatti, attualmente è piuttosto complicato reperire uno di questi dispositivi nel mercato, la maggior parte di essi sono in fase di studio e sperimentazione e non è spesso possibile possederne uno se non a scopo sperimentale. Oltre a quanto appena descritto è importante sottolineare che il prezzo di questi strumenti può potenzialmente rivelarsi un ulteriore scoglio, il costo di svariati sensori insieme all'assemblaggio e la ricerca e sviluppo possono tramutarsi in una richiesta di spesa nell'ordine delle migliaia (EUR). Il walker sviluppato dall'ETH nel 2016 prevedeva un potenziale lancio nel mercato ad un prezzo di 3000 franchi svizzeri circa [65].

5

Conclusione

5.1 CONCLUSIONE E LAVORI FUTURI

Nell'ultimo decennio lo sviluppo fatto nell'ambito degli strumenti di deambulazione intelligenti ha avuto un trend estremamente positivo, sia dal punto di vista del numero di studi effettuati che per quanto riguarda la qualità di questi.

Attraverso la revisione sistematica condotta, effettuata secondo i criteri del protocollo PRISMA, è stato possibile avere una panoramica generale sullo stato dell'arte. L'analisi effettuata ha permesso di estrarre le funzionalità fornite da tali strumenti e le tecnologie utilizzate per mettere in atto queste strategie, con particolare attenzione dal punto di vista della sicurezza.

La parte finale di questo lavoro ha risposto, tramite i dati ricavati dalla ricerca, ai quesiti di ricerca prefissati inizialmente. Dalle risposte date sono emerse alcune criticità che possono essere un punto dal quale partire per un ulteriore sviluppo futuro di queste tecnologie. I metodi utilizzati per garantire la sicurezza riscontrati nei diversi studi sono omogenei. È possibile notare che le filosofie di progettazione (design del dispositivo, scelta del metodo per la sicurezza, ecc.) sono svariate ma le differenze tra uno studio e l'altro nella messa in pratica di una determinata strategia (ad esempio tra progetti differenti che implementano il rilevamento di ostacoli) sono minime, a meno di dettagli particolari.

Nonostante le tecnologie applicate siano ottime dal punto di vista della loro efficacia, esiste una problematica relativa all'interazione tra l'utente e il dispositivo. Come evidenziato nel capitolo precedente infatti accade spesso che l'uso non corretto di uno smart walker può aggravare la situazione fisica dell'utilizzatore. È importante quindi nel futuro prossimo andare a migliorare questo deficit, si può pensare ad esempio ad un manuale di corretto utilizzo oppure ad una standardizzazione dei dispositivi in modo da avere un allineamento di essi dal punto di vista della modalità di utilizzo.

Il secondo punto critico riscontrato è l'accessibilità a questi strumenti, come mostrato nell'introduzione

5.1. CONCLUSIONE E LAVORI FUTURI

di questa tesi, l'età media della popolazione mondiale sta aumentando, grazie anche al miglioramento dello stile di vita.

Il fenomeno dell'*aging* avrà un grande impatto soprattutto nelle popolazioni Asiatiche e del Pacifico [66], luoghi nei quali il reddito pro capite (salvo poche eccezioni) e il potere d'acquisto, risulta al di sotto della media mondiale [67].

Sarà importante quindi avere una standardizzazione anche per questo motivo, oltre a puntare ad una scalabilità maggiore, in modo da rendere questi dispositivi, attualmente di nicchia, accessibili a chiunque.

Appendice

La Tabella A1, proposta di seguito, offre una sintesi discorsiva del contenuto dei singoli studi inclusi nella ricerca.

Studio	Titolo	Contenuto
(Paulo et al., 2017)	ISR-AIWALKER: Robotic Walker for Intuitive and Safe Mobility Assistance and Gait Analysis	Viene presentato ISR-AIWALKER, un walker progettato con sensori low-cost. Il dispositivo ha scopo riabilitativo ed effettua un'analisi dell'andatura. Tramite una metodologia "vision-based" classifica la presa dell'utente per assicurare che la camminata venga eseguita in sicurezza.
(Kawazoe et al., 2017)	Development of standing assistive walker for domestic use	Viene presentato un walker per uso domestico, offre assistenza per la transizione standing-sitting. Offre stabilità alla camminata tramite gli attuatori motorizzati
(Wachaja et al., 2017)	Navigating blind people with walking impairments using a smart walker	Viene presentato uno smart walker per la navigazione di persone cieche. Genera un feedback per fornire indicazioni sul percorso, tramite vibrazioni.
(Taghvaei et al., 2017)	Visual human action classification for control of a passive walker	Viene presentato e testato un metodo per la modellizzazione degli stadi di non deambulazione tramite la raccolta di dati della parte superiore del corpo dell'utente estratti con un sensore di profondità. Insieme a questo modello viene fornita una strategia di controllo per la sicurezza del paziente
(da Silva & Sup, 2017)	A Robotic Walker Based on a Two-Wheeled Inverted Pendulum	Viene presentato un walker basato su un pendolo invertito a due ruote, che fornisce equilibrio all'utente.
(Mekki et al., 2017)	Wireless instrumented cane for walking monitoring in Parkinson patients	Viene presentato un bastone intelligente per la riabilitazione e il rilevamento delle prestazioni di pazienti che soffrono di Parkinson.
(Chotikunnan et al., 2017)	The design and construction of surrounding control system for the rehabilitative walker using mecanum wheel	Viene implementato un sistema di controllo implementato in un walker con ruote Mecanum.
(Andreetto et al., 2017)	Path Following for Robotic Rollators via Simulated Passivity	Viene presentato un controller per il path following attraverso l'uso delle ruote motorizzate posteriori del walker.
(Modise et al., 2017)	Human feet tracking in arranging the navigation of a robotic rollator	Viene presentata una soluzione per tracciare il movimento dei piedi in modo da ottenere segnali di comando per uno smart walker.
(Kim et al., 2017)	Control algorithm and evaluation of a powered wheeled walker for tracking a user	Viene proposto un algoritmo di tracciamento dell'utente applicabile a deambulatori intelligenti. Il tracciamento viene eseguito attraverso dei sensori pelvis motion e una stereo camera.

(Gill et al., 2017)	Design of a multi-sensor IoT-enabled assistive device for discrete and deployable gait monitoring	Viene proposto un bastone intelligente che permette di misurare parametri di carico, mobilità e informazioni sulla stabilità.
(Viegas et al., 2018)	Application of force and inertial sensors to monitor gait on legacy walkers	Viene presentato Andante, uno smart walker che monitora e analizza l'andatura in tempo reale.
(Weon & Lee, 2018)	Intelligent robotic walker with actively controlled human interaction	Viene presentato un walker che in base all'intenzione dell'utente controlla semi-attivamente la velocità e la direzione del movimento.
(Aljahdali et al., 2018)	IoT based assistive walker device for frail & visually impaired people	Viene presentato il design di uno smart walker assistivo che riduce il rischio di cadute, per persone deboli e ipovedenti.
(Wang et al., 2018)	Gait Adaptable Human-Robot Interaction System and its Application to a Robotic Walker	Viene presentato un sistema di HRI (Human-Robot interaction).
(Garrote et al., 2018)	Robot-Assisted Navigation for a Robotic Walker with Aided User Intent	Viene proposto un sistema di navigazione assistito.
(Shen & Wang, 2018)	A User's Steps Considered Motion Control Approach of an Intelligent Walking Training Robot	Viene sviluppato un walker per guidare i pazienti secondo un percorso di riabilitazione predefinito. Il dispositivo è progettato per ridurre le cadute durante la riabilitazione.
(Sierra et al., 2018)	Development of an Interface for Human-Robot Interaction on a Robotic Platform for Gait Assistance: AGoRA Smart Walker	Viene presentato AGoRA, un walker per fornire sicurezza all'utente nella camminata.
(Taghvaei & Kosuge, 2018)	Image-based fall detection and classification of a user with a walking support system	Viene presentato un classificatore di immagini del movimento umano.
(Chalvatzaki et al., 2018)	User-Adaptive Human-Robot Formation Control for an Intelligent Robotic Walker Using Augmented Human State Estimation and Pathological Gait Characterization	Viene descritta una strategia di controllo per un sistema umano-robot adattabile all'utente per un dispositivo robotico intelligente di assistenza alla mobilità.
(Gill et al., 2018)	Design of a Smart IoT-Enabled Walker for Deployable Activity and Gait Monitoring	Viene presentato un walker multi-sensore per la raccolta di dati.

(Shen et al., 2018)	Development of a Motorized Robotic Walker Guided by an Image Processing System for Human Walking Assistance and Rehabilitation	Viene presentato un walker guidato da un sistema di processing delle immagini.
(Jiménez et al., 2019)	Recognition of Navigation Commands for a Smart Walker Through Force Sensors	Viene presentata una strategia per l'ottenimento dei comandi di un walker basato su sensori di forza multiassiali.
(Van Lam & Fujimoto, 2019)	Control Method Examination of Two-Wheeled Walker for Walking Assistance	Viene presentato un walker con conformazione a pendolo invertito a due ruote studiato per dare supporto alle persone anziane e disabili nella camminata e alla posizione eretta.
(Oigawa et al., 2019)	An Assitive Walker considering with its User's Gait Difference of Both Feet	Viene presentato un walker assistivo incentrato sull'assistere la camminata dell'utente.
(Palacín et al., 2019)	Extending the Application of an Assistant Personal Robot as a Walk-Helper Tool	Viene presentato un walker mobile a scopo di assistenza personale.
(Jiménez et al., 2019)	Admittance Controller with Spatial Modulation for Assisted Locomotion using a Smart Walker	Viene presentato un controller di ammettenza che genera segnali tattili per indurre il paziente a seguire un percorso predeterminato.
(Choi et al., 2019)	Development of a wheeled walker braking device using the four-bar mechanism	Viene proposto un metodo di frenata attraverso un filo collegato ai vestiti dell'utente.
(Stogl et al., 2019)	Overview of a Robot for a Neuromuscular Training RoboTrainer	Viene presentato RoboTrainer un prototipo di smart walker per la riabilitazione neuromuscolare.
(Andreetto et al., 2019)	Combining Haptic and Bang-Bang Braking Actions for Passive Robotic Walker Path Following	Viene proposta una strategia di path following a basso costo.
(Ogawa et al., 2019)	Proposal of Layer-Based IoT System Construction Method and Implementation to Rolling Stand-up Walker	Viene proposto un sistema di misurazione del carico dell'arto superiore, l'accelerazione e la distanza durante l'andatura.
(Uegami et al., 2019)	Proposal of Rolling Type Training Walker with Gait Handling Device	Viene proposto un walker per allenare la posizione eretta che mira ad una "riabilitazione costante dell'andatura".
(Han, 2019)	Walker robot structural design and performance analysis	Viene presentato uno smart walker con supporto pelvico pensato per le terapie riabilitative.

(Vasage et al., 2020)	Force Sensitive Resistor Based Design and Modeling of Smart Walking Assistance Device by Axial Direction Control for Osteoarthritis	Viene presentato un metodo per l'identificazione della direzione di movimento dell'utente, applicato ad un prototipo di smart walker.
(Zhao et al., 2020)	A Smart Robotic Walker With Intelligent Close-Proximity Interaction Capabilities for Elderly Mobility Safety	Viene presentato uno smart walker che mira ad un utilizzo comodo in situazioni indoor studiato per soggetti anziani.
(Leite et al., 2020)	Prototype of Robotic Device for Mobility Assistance for the Elderly in Urban Environments	Viene presentato un walker per l'assistenza alla popolazione anziana in ambienti urbani.
(Ji et al., 2020)	Design and Analysis of a Smart Rehabilitation Walker With Passive Pelvic Mechanism	Viene presentato iReGo un rehab walker per facilitare la riabilitazione degli arti inferiori.
(Zambrano et al., 2020)	Technological Architecture with Low Cost Sensors to Improve Physical Therapy Monitoring	Viene proposta una soluzione di monitoring wireless per la raccolta di parametri dell'andatura nella riabilitazione attraverso sensori a basso costo.
(Jiménez et al., 2020)	Assistive locomotion device with haptic feedback for guiding visually impaired people	Viene proposto una strategia per guidare persone ipovedenti lungo un percorso desiderato con l'utilizzo di uno smart walker.
(Garrote et al., 2020)	Reinforcement Learning Aided Robot-Assisted Navigation: A Utility and RRT Two-Stage Approach	Viene sviluppato un algoritmo utilizzato per la navigazione assistita nel contesto dell'assistenza tramite smart walker.
(Ji et al., 2021)	Design and Control of an Omni-Directional Robotic Walker Based on HumanMachine Interaction	Viene presentato un walker riabilitativo, nello specifico per l'allenamento della camminata dei pazienti che soffrono di discinesia.
(Chang et al., 2021)	ROS-Based Smart Walker with Fuzzy Posture Judgement and Power Assistance	Viene presentato uno smart walker basato su un controller fuzzy che perette di riconoscere la postura dell'utente.
(Hackbarth & Jacob, 2021)	Walker - An Autonomous, Interactive Walking Aid	Viene presentato Walker, uno smart walker dedicato alla riabilitazione ortopedica.
(Li et al., 2021)	Robotic Walker for Slope Mobility Assistance with Active-Passive Hybrid Actuator	Viene presentato un walker con attuatori attivo-passivi per l'assistenza alla mobilità in salita e discesa.
(Paduraru et al., 2021)	Compact Rolling Walker Mechatronic System for Gait Rehabilitation	Viene presentato un walker per la riabilitazione efficiente della camminata utilizzando materiali a basso costo.

(Haidar Ahmad et al., 2021)	Design and Implementation of an Instrumented walking cane for Detection of Freezing of Gait	Viene proposto una stampella intelligente per la diagnosi e correzione di episodi di Fog (freezing of gait), fenomeno che si verifica nei pazienti che soffrono di Parkinson.
(Ding et al., 2022)	Fall Detection System on Smart Walker Based on Multisensor Data Fusion and SPRT Method	Viene proposto un metodo di rilevamento delle cadute, a basso costo basato sullo sistema PLT-SPRT ed un metodo per il rilevamento della forza degli arti inferiori.
(Naets et al., 2022)	Smart Walker Design for Clinical Rehabilitation	Viene presentato un walker riabilitativo che monitora i piedi del paziente e lo avvisa quando il posizionamento di essi non è corretto.
(Chongyu et al., 2022)	Deep Learning-driven Front-Following within Close Proximity: a Hands-Free Control Model on a Smart Walker	Viene presentato un modello di deep learning chiamato Front-Following Net per la raccolta di parametri medici nella camminata di soggetti anziani.
(Ding et al., 2022)	Intelligent assistance for older adults via an admittance-controlled wheeled mobile manipulator with task-dependent end-effectors	Viene presentato uno smart walker per dare supporto alla popolazione anziana offrendo assistenza nella mobilità.
(Itadera & Cheng, 2022)	In-Hand Admittance Controller for a Robotic Assistive Walker Based on Tactile Grasping Feedback	Viene proposto un i-HAC (in-Hand Admittance Controller), modello di ammettenza come interfaccia uomo robot per walker assistivi.
(Jiménez et al., 2022)	Bringing proxemics to walker-assisted gait: using admittance control with spatial modulation to navigate in confined spaces	Viene presentato un sistema di navigazione per smart walker.
(Zhao et al., 2022)	Gait rehabilitation training robot: A motion-intention recognition approach with safety and convenience	Viene proposto un modello di riconoscimento dell'intenzione di movimento per l'allenamento della camminata in fase di riabilitazione.

Tabella A1: Riassunto degli articoli inclusi nella revisione

Bibliografia

- [1] US Census Bureau. *U.S. Population Estimated at 334,233,854 on Jan. 1, 2023*. Section: Government. URL: <https://www.census.gov/library/stories/2022/12/happy-new-year-2023.html> (visited on 03/10/2023).
- [2] Max Roser, Esteban Ortiz-Ospina, and Hannah Ritchie. “Life Expectancy”. In: *Our World in Data* (May 2013). URL: <https://ourworldindata.org/life-expectancy> (visited on 02/06/2023).
- [3] *Ageing and health*. en. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health> (visited on 03/10/2023).
- [4] *Vision impairment and blindness*. en. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (visited on 02/06/2023).
- [5] *How blind people see the world*. URL: <https://www.bath.ac.uk/case-studies/how-blind-people-see-the-world/> (visited on 02/06/2023).
- [6] Xiaoyang Zhao et al. “A Smart Robotic Walker With Intelligent Close-Proximity Interaction Capabilities for Elderly Mobility Safety”. In: *Frontiers in Neurorobotics* 14 (2020). ISSN: 1662-5218. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2020.575889> (visited on 03/10/2023).
- [7] Lazaros Penteridis et al. “Robotic and Sensor Technologies for Mobility in Older People”. eng. In: *Rejuvenation Res* 20.5 (Oct. 2017), pp. 401–410. ISSN: 1557-8577. DOI: 10.1089/rej.2017.1965.
- [8] Bruno Siciliano and Oussama Khatib, eds. *Springer Handbook of Robotics*. en. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN: 978-3-540-23957-4 978-3-540-30301-5. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-30301-5> (visited on 03/10/2023).
- [9] Christian Werner et al. “Evaluation Studies of Robotic Rollators by the User Perspective: A Systematic Review”. en. In: *Gerontology* 62.6 (2016), pp. 644–653. ISSN: 0304-324X, 1423-0003. DOI: 10.1159/000444878. URL: <https://www.karger.com/Article/FullText/444878> (visited on 03/13/2023).

BIBLIOGRAFIA

- [10] Álvaro GarcíaBustillo et al. “Assistive Devices for Personal Mobility in Parkinson’s Disease: A Systematic Review of the Literature”. en. In: *Movement Disord Clin Pract* 9.8 (Nov. 2022), pp. 1040–1046. ISSN: 2330-1619, 2330-1619. DOI: 10.1002/mdc3.13568. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mdc3.13568> (visited on 03/14/2023).
- [11] Matthew J. Page et al. “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews”. en. In: *BMJ* 372 (Mar. 2021). Publisher: British Medical Journal Publishing Group Section: Research Methods & Reporting, n71. ISSN: 1756-1833. DOI: 10.1136/bmj.n71. URL: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71> (visited on 02/06/2023).
- [12] J. Paulo, P. Peixoto, and U.J. Nunes. “ISR-AIWALKER: Robotic Walker for Intuitive and Safe Mobility Assistance and Gait Analysis”. English. In: *IEEE Transactions on Human-Machine Systems* 47.6 (2017), pp. 1110–1122. ISSN: 2168-2291. DOI: 10.1109/THMS.2017.2759807.
- [13] Georgiana Ionela Paduraru et al. “Compact Rolling Walker Mechatronic System for Gait Rehabilitation”. In: *2021 International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB)*. ISSN: 2575-5145. Nov. 2021, pp. 1–4. DOI: 10.1109/EHB52898.2021.9657685.
- [14] Da-Min Ding et al. “Fall Detection System on Smart Walker Based on Multisensor Data Fusion and SPRT Method”. In: *IEEE Access* 10 (2022). Conference Name: IEEE Access, pp. 80932–80948. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3195674.
- [15] Ihn-Sik Weon and Soon-Geul Lee. “Intelligent robotic walker with actively controlled human interaction”. en. In: *ETRI Journal* 40.4 (2018). Number: 4_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/etrij.2017-0329>, pp. 522–530. ISSN: 2233-7326. DOI: 10.4218/etrij.2017-0329. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4218/etrij.2017-0329> (visited on 12/22/2022).
- [16] Vitor Viegas et al. “Application of force and inertial sensors to monitor gait on legacy walkers”. en. In: *Acta IMEKO* 7.4 (2018). Number: 4, pp. 33–41. ISSN: 2221-870X. URL: <https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko/article/view/IMEKO-ACTA-07%20%282018%29-04-07> (visited on 12/23/2022).
- [17] Satinder Gill et al. “Design of a multi-sensor IoT-enabled assistive device for discrete and deployable gait monitoring”. In: *2017 IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies (HI-POCT)*. Nov. 2017, pp. 216–220. DOI: 10.1109/HIC.2017.8227623.
- [18] Tsholofelo D. Modise, Nico Steyn, and Yskandar Hamam. “Human feet tracking in arranging the navigation of a robotic rollator”. In: *2017 IEEE AFRICON*. ISSN: 2153-0033. Sept. 2017, pp. 88–93. DOI: 10.1109/AFRCON.2017.8095461.
- [19] Sergio D. Sierra et al. “Development of an Interface for Human-Robot Interaction on a Robotic Platform for Gait Assistance: AGoRA Smart Walker”. In: *2018 IEEE ANDESCON*. Aug. 2018, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ANDESCON.2018.8564594.

- [20] Daniel Leite, Karla Figueiredo, and Marley Vellasco. “Prototype of Robotic Device for Mobility Assistance for the Elderly in Urban Environments”. en. In: *Sensors* 20.11 (Jan. 2020). Number: 11 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 3056. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s20113056. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/11/3056> (visited on 12/28/2022).
- [21] Makarem Aljahdali et al. “IoT based assistive walker device for frail & visually impaired people”. In: *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*. Feb. 2018, pp. 171–177. DOI: 10.1109/LT.2018.8368503.
- [22] Yeong-Hwa Chang et al. “ROS-Based Smart Walker with Fuzzy Posture Judgement and Power Assistance”. en. In: *Sensors* 21.7 (Jan. 2021). Number: 7 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 2371. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s21072371. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/7/2371> (visited on 12/28/2022).
- [23] Joelle Haidar Ahmad et al. “Design and Implementation of an Instrumented walking cane for Detection of Freezing of Gait”. In: *2021 IEEE 3rd International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*. Dec. 2021, pp. 125–129. DOI: 10.1109/IMCET53404.2021.9665625.
- [24] Shohei Kawazoe et al. “Development of standing assistive walker for domestic use”. In: *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. Mar. 2017, pp. 1455–1460. DOI: 10.1109/ICIT.2017.7915580.
- [25] Andreas Wachaja et al. “Navigating blind people with walking impairments using a smart walker”. en. In: *Auton Robot* 41.3 (Mar. 2017). Number: 3, pp. 555–573. ISSN: 1573-7527. DOI: 10.1007/s10514-016-9595-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9595-8> (visited on 12/22/2022).
- [26] Sajjad Taghvaei, Yasuhisa Hirata, and Kazuhiro Kosuge. “Visual human action classification for control of a passive walker”. In: *2017 7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)*. Apr. 2017, pp. 1–5. DOI: 10.1109/ICMSAO.2017.7934895.
- [27] Airton R. da Silva and Frank C. Sup. “A Robotic Walker Based on a Two-Wheeled Inverted Pendulum”. en. In: *J Intell Robot Syst* 86.1 (Apr. 2017). Number: 1, pp. 17–34. ISSN: 1573-0409. DOI: 10.1007/s10846-016-0447-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s10846-016-0447-8> (visited on 12/22/2022).
- [28] Fériel Mekki et al. “Wireless instrumented cane for walking monitoring in Parkinson patients”. In: *2017 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. May 2017, pp. 414–419. DOI: 10.1109/MeMeA.2017.7985912.

BIBLIOGRAFIA

- [29] Phichitphon Chotikunnan et al. “The design and construction of surrounding control system for the rehabilitative walker using mecanum wheel”. In: *2017 10th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON)*. Aug. 2017, pp. 1–4. DOI: 10.1109/BMEiCON.2017.8229166.
- [30] Marco Andreetto et al. “Path Following for Robotic Rollators via Simulated Passivity”. In: *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. ISSN: 2153-0866. Sept. 2017, pp. 6915–6922. DOI: 10.1109/IROS.2017.8206615.
- [31] Jung-Yup Kim, Min-Jong Park, and Kiwon Park. “Control algorithm and evaluation of a powered wheeled walker for tracking a user”. en. In: *Advances in Mechanical Engineering* 9.9 (Sept. 2017). Number: 9 Publisher: SAGE Publications, p. 1687814017727250. ISSN: 1687-8132. DOI: 10.1177/1687814017727250. URL: <https://doi.org/10.1177/1687814017727250> (visited on 12/22/2022).
- [32] Lei Wang, Jingang Yi, and Tao Liu. “Gait Adaptable Human-Robot Interaction System and its Application to a Robotic Walker”. In: *2018 IEEE 8th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*. ISSN: 2379-7711. July 2018, pp. 707–712. DOI: 10.1109/CYBER.2018.8688067.
- [33] Luís Garrote et al. “Robot-Assisted Navigation for a Robotic Walker with Aided User Intent”. In: *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*. ISSN: 1944-9437. Aug. 2018, pp. 348–355. DOI: 10.1109/ROMAN.2018.8525674.
- [34] Bo Shen and Shuoyu Wang. “A User’s Steps Considered Motion Control Approach of an Intelligent Walking Training Robot”. In: *2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. ISSN: 2152-744X. Aug. 2018, pp. 1281–1286. DOI: 10.1109/ICMA.2018.8484528.
- [35] Sajjad Taghvaei and Kazuhiro Kosuge. “Image-based fall detection and classification of a user with a walking support system”. en. In: *Front. Mech. Eng.* 13.3 (Sept. 2018). Number: 3, pp. 427–441. ISSN: 2095-0241. DOI: 10.1007/s11465-017-0465-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s11465-017-0465-7> (visited on 12/23/2022).
- [36] Georgia Chalvatzaki et al. “User-Adaptive Human-Robot Formation Control for an Intelligent Robotic Walker Using Augmented Human State Estimation and Pathological Gait Characterization”. In: *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. ISSN: 2153-0866. Oct. 2018, pp. 6016–6022. DOI: 10.1109/IROS.2018.8594360.
- [37] Satinder Gill et al. “Design of a Smart IoT-Enabled Walker for Deployable Activity and Gait Monitoring”. In: *2018 IEEE Life Sciences Conference (LSC)*. Oct. 2018, pp. 183–186. DOI: 10.1109/LSC.2018.8572227.

- [38] Tao Shen et al. “Development of a Motorized Robotic Walker Guided by an Image Processing System for Human Walking Assistance and Rehabilitation”. en. In: American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, Nov. 2018. DOI: 10.1115/DSCC2018-9223. URL: <https://asmedigitalcollection.asme.org/DSCC/proceedings-abstract/DSCC2018/51890/455526> (visited on 12/23/2022).
- [39] Mario F. Jiménez, Anselmo Frizera, and Teodiano Bastos. “Recognition of Navigation Commands for a Smart Walker Through Force Sensors”. en. In: *XXVI Brazilian Congress on Biomedical Engineering*. Ed. by Rodrigo Costa-Felix, João Carlos Machado, and André Victor Alvarenga. IFMBE Proceedings. Singapore: Springer, 2019, pp. 689–694. ISBN: 9789811321191. DOI: 10.1007/978-981-13-2119-1_105.
- [40] Phi Van Lam and Yasutaka Fujimoto. “Control Method Examination of Two-Wheeled Walker for Walking Assistance”. In: *2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*. Vol. 1. Mar. 2019, pp. 673–677. DOI: 10.1109/ICMECH.2019.8722920.
- [41] Kohei Oigawa et al. “An Assistive Walker considering with its User’s Gait Difference of Both Feet”. In: *2019 12th International Conference on Human System Interaction (HSI)*. ISSN: 2158-2254. June 2019, pp. 231–236. DOI: 10.1109/HSI47298.2019.8942634.
- [42] Jordi Palacín et al. “Extending the Application of an Assistant Personal Robot as a Walk-Helper Tool”. en. In: *Robotics 8.2* (June 2019). Number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 27. ISSN: 2218-6581. DOI: 10.3390/robotics8020027. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/8/2/27> (visited on 12/22/2022).
- [43] Mario F. Jiménez et al. “Admittance Controller with Spatial Modulation for Assisted Locomotion using a Smart Walker”. en. In: *J Intell Robot Syst* 94.3 (June 2019). Number: 3, pp. 621–637. ISSN: 1573-0409. DOI: 10.1007/s10846-018-0854-0. URL: <https://doi.org/10.1007/s10846-018-0854-0> (visited on 12/23/2022).
- [44] ChangMin Choi et al. “Development of a wheeled walker braking device using the four-bar mechanism”. en. In: *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik* 64.4 (Aug. 2019). Number: 4 Publisher: De Gruyter, pp. 429–437. ISSN: 1862-278X. DOI: 10.1515/bmt-2018-0032. URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/bmt-2018-0032/html> (visited on 12/22/2022).
- [45] Denis Stogl, Björn Hein, and Michael Mende. “Overview of a Robot for a Neuromuscular Training RoboTrainer”. In: *2019 European Conference on Mobile Robots (ECMR)*. Sept. 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ECMR.2019.8870955.
- [46] Marco Andreetto et al. “Combining Haptic and Bang-Bang Braking Actions for Passive Robotic Walker Path Following”. In: *IEEE Transactions on Haptics* 12.4 (Oct. 2019). Number: 4 Conference Name: IEEE Transactions on Haptics, pp. 542–553. ISSN: 2329-4051. DOI: 10.1109/TOH.2019.2912570.

BIBLIOGRAFIA

- [47] Katsushi Ogawa et al. “Proposal of Layer-Based IoT System Construction Method and Implementation to Rolling Stand-up Walker”. In: *2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. ISSN: 2642-3901. Oct. 2019, pp. 397–402. DOI: 10.23919/ICCAS47443.2019.8971709.
- [48] Kenji Uegami et al. “Proposal of Rolling Type Training Walker with Gait Handling Device”. In: *2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. ISSN: 2642-3901. Oct. 2019, pp. 168–172. DOI: 10.23919/ICCAS47443.2019.8971672.
- [49] Yawei Han. “Walker robot structural design and performance analysis”. In: *2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. Vol. 1. ISSN: 2381-0947. Dec. 2019, pp. 934–937. DOI: 10.1109/IAEAC47372.2019.8997833.
- [50] Akshay Vasage et al. “Force-sensitive Resistor-based Design and Modeling of Smart Walking Assistance Device by Axial Direction Control for Osteoarthritis”. en. In: *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*. Ed. by Hari Vasudevan, Vijaya Kumar N. Kottur, and Amool A. Raina. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer, 2020, pp. 385–394. ISBN: 9789811544859. DOI: 10.1007/978-981-15-4485-9_40.
- [51] Jiancheng (Charles) Ji et al. “Design and Analysis of a Smart Rehabilitation Walker With Passive Pelvic Mechanism”. In: *Journal of Mechanisms and Robotics* 12.3 (Jan. 2020). Number: 3. ISSN: 1942-4302. DOI: 10.1115/1.4045509. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4045509> (visited on 12/28/2022).
- [52] Ericsson Ocas Zambrano et al. “Technological Architecture with Low Cost Sensors to Improve Physical Therapy Monitoring”. In: *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. ISSN: 2166-0727. June 2020, pp. 1–6. DOI: 10.23919/CISTI49556.2020.9140873.
- [53] Mario F. Jiménez et al. “Assistive locomotion device with haptic feedback for guiding visually impaired people”. en. In: *Medical Engineering & Physics* 80 (June 2020), pp. 18–25. ISSN: 1350-4533. DOI: 10.1016/j.medengphy.2020.04.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453320300515> (visited on 12/28/2022).
- [54] Luís Garrote, João Paulo, and Urbano J. Nunes. “Reinforcement Learning Aided Robot-Assisted Navigation: A Utility and RRT Two-Stage Approach”. en. In: *Int J of Soc Robotics* 12.3 (July 2020). Number: 3, pp. 689–707. ISSN: 1875-4805. DOI: 10.1007/s12369-019-00585-0. URL: <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00585-0> (visited on 12/28/2022).
- [55] Jiancheng Ji et al. “Design and Control of an Omni-Directional Robotic Walker Based on Human-Machine Interaction”. In: *IEEE Access* 9 (2021). Conference Name: IEEE Access, pp. 111358–111367. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3103202.

- [56] Johannes Hackbarth and Caspar Jacob. “Walker - An Autonomous, Interactive Walking Aid”. In: *Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*. ASSETS '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Oct. 2021, pp. 1–3. ISBN: 978-1-4503-8306-6. DOI: 10.1145/3441852.3476552. URL: <https://doi.org/10.1145/3441852.3476552> (visited on 12/28/2022).
- [57] Junqiang Li, Lei Zhao, and Tiejun Li. “Robotic Walker for Slope Mobility Assistance with Active-Passive Hybrid Actuator”. In: *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 34.1 (Oct. 2021). Number: 1, p. 100. ISSN: 2192-8258. DOI: 10.1186/s10033-021-00618-8. URL: <https://doi.org/10.1186/s10033-021-00618-8> (visited on 12/28/2022).
- [58] Ben Naets et al. “Smart Walker Design for Clinical Rehabilitation”. In: *2022 2nd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)*. Mar. 2022, pp. 1–5. DOI: 10.1109/IRASET52964.2022.9738158.
- [59] Zhao Chongyu et al. “Deep Learning-driven Front-Following within Close Proximity: a Hands-Free Control Model on a Smart Walker”. In: *2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. May 2022, pp. 812–818. DOI: 10.1109/ICRA46639.2022.9811910.
- [60] Liang Ding et al. “Intelligent assistance for older adults via an admittance-controlled wheeled mobile manipulator with task-dependent end-effectors”. en. In: *Mechatronics* 85 (Aug. 2022), p. 102821. ISSN: 0957-4158. DOI: 10.1016/j.mechatronics.2022.102821. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415822000587> (visited on 12/28/2022).
- [61] Shunki Itadera and Gordon Cheng. “In-Hand Admittance Controller for a Robotic Assistive Walker Based on Tactile Grasping Feedback”. In: *IEEE Robotics and Automation Letters* 7.4 (Oct. 2022). Number: 4 Conference Name: IEEE Robotics and Automation Letters, pp. 8845–8852. ISSN: 2377-3766. DOI: 10.1109/LRA.2022.3188890.
- [62] Mario F. Jiménez et al. “Bringing proxemics to walker-assisted gait: using admittance control with spatial modulation to navigate in confined spaces”. en. In: *Pers Ubiquit Comput* 26.6 (Dec. 2022). Number: 6, pp. 1491–1509. ISSN: 1617-4917. DOI: 10.1007/s00779-021-01521-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s00779-021-01521-8> (visited on 12/28/2022).
- [63] A. Donghui Zhao et al. “Gait rehabilitation training robot: A motion-intention recognition approach with safety and convenience”. en. In: *Robotics and Autonomous Systems* 158 (Dec. 2022), p. 104260. ISSN: 0921-8890. DOI: 10.1016/j.robot.2022.104260. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188902200152X> (visited on 12/28/2022).

BIBLIOGRAFIA

- [64] Sibylle Brunhilde Thies et al. “Are older people putting themselves at risk when using their walking frames?” In: *BMC Geriatrics* 20.1 (Mar. 2020), p. 90. ISSN: 1471-2318. DOI: 10.1186/s12877-020-1450-2. URL: <https://doi.org/10.1186/s12877-020-1450-2> (visited on 04/08/2023).
- [65] *A smart walking aid*. en. Feb. 2016. URL: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2016/02/smart-walking-aid%20.html> (visited on 04/08/2023).
- [66] US Census Bureau. *Census Bureau Releases New Report on Aging in Asia*. en. Section: Government. URL: <https://www.census.gov/newsroom/press-releases/2022/aging-in-asia.html> (visited on 04/12/2023).
- [67] *The size of the Asia and the Pacific economy based on purchasing power parities: results from the International Comparison Program*. en. Apr. 2021. URL: <https://blogs.worldbank.org/opendata/size-asia-and-pacific-economy-based-purchasing-power-parities-results-international> (visited on 04/12/2023).