

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

SCUOLA DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Fisioterapia

Utilizzo di sensori inerziali indossabili nella valutazione motoria del paziente affetto
da malattia di Parkinson: una *Scoping Review*

Tesi di Laurea in Medicina riabilitativa in neurologia

Presentata da:

Gurioli Giorgia

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa

Filippi Maria Vittoria

Anno Accademico 2022/23

ABSTRACT

Background: la malattia di Parkinson è un disturbo neurodegenerativo che implica sia sintomi motori che non motori, invalidanti per la vita del paziente. Per ridurre l'impatto dei sintomi sulla qualità di vita è richiesta una complessa gestione della terapia, che si basa su un'accurata valutazione. Gli strumenti di valutazione sono molteplici, la necessità è quella di individuare metodi validi, accurati e rapidi.

Obiettivo: l'obiettivo della presente scoping review è quello di indagare l'utilizzo di sensori inerziali indossabili nella valutazione dei sintomi motori di pazienti affetti da Malattia di Parkinson.

Metodi: la ricerca è stata condotta sulle principali banche dati PubMed, PEDro, Cochrane Library. Gli studi integrati sono stati scelti sulla base di specifici criteri di inclusione ed esclusione. Non sono state applicate restrizioni riguardo alla tipologia delle pubblicazioni. Sono stati applicati limiti di lingua.

Risultati: tramite il processo di identificazione degli studi sono stati individuati 1124 risultati. Gli studi inseriti nell'elaborato sono 25, pubblicati in un arco temporale compreso tra il 2012 e il 2023.

Conclusioni: gli articoli presi in considerazione reputano i sensori inerziali indossabili come un valido strumento di valutazione dei sintomi motori. La limitazione nel numero di campioni e la scarsa diffusione nella pratica clinica li rendono parte di un campo di studi ancora in fase di sviluppo.

Parole chiave: Malattia di Parkinson, valutazione, disordini motori, sensori inerziali, sensori indossabili.

ABSTRACT

Background: Parkinson's disease is a neurodegenerative disorder involving both motor and nonmotor symptoms that are disabling to the patient's life. Complex therapy management is required to reduce the impact of symptoms on quality of life, which relies on accurate assessment. There are many assessment tools; the need is to identify valid, accurate, and rapid methods.

Objective: the purpose of this scoping review is to investigate the use of wearable inertial sensors in the assessment of motor symptoms of patients with Parkinson's disease.

Methods: the search was conducted on the major databases PubMed, PEDro, Cochrane Library. Integrated studies were chosen based on specific inclusion and exclusion criteria. No restrictions were applied regarding the type of publications. Language restrictions were applied.

Results: Through the process of identifying studies, 1124 results were identified. There are 25 studies included in the compilation, published between 2012 and 2023.

Conclusions: the articles considered reputable wearable inertial sensors as a valuable tool for assessing motor symptoms. The limitation in the number of samples and the low uptake in clinical practice make them part of a field of studies still under development.

Key words: Parkinson's disease, evaluation, motor disorders, inertial sensors, wearable sensors.

INDICE

INTRODUZIONE	7
1. Cap.1 LA MALATTIA DI PARKINSON	8
1.1 Neuropatologia	8
1.2 Patogenesi	10
1.3 Eziologia	10
1.4 Segni e sintomi	11
1.5 Decorso della malattia	13
1.6 Valutazione motoria	15
1.7 Trattamento	17
2. Cap.2 MATERIALI E METODI	18
2.1 Identificazione del quesito di ricerca	18
2.2 Criteri di inclusione	18
2.3 Criteri di esclusione	18
2.4 Strategie di ricerca	19
2.5 Selezione delle fonti di evidenza	21
2.6 Sintesi dei risultati	21
3. Cap.3 RISULTATI	22
3.1 Processo di selezione degli studi	23
3.2 Caratteristiche degli studi inclusi	23
3.3 Risultati dei singoli studi	24
4. Cap.4 DISCUSSIONE	35
4.1 Limiti	40
CONCLUSIONI	41
BIBLIOGRAFIA	43
ALLEGATI	50
Allegato I: Tabella sinottica studi primari.....	50
Allegato II: Tabella sinottica studi secondari.....	60

INTRODUZIONE

La malattia di Parkinson è una sindrome extrapiramidale degenerativa che colpisce il sistema nervoso centrale (SNC), con una progressione graduale ed un decorso prolungato. Da un punto di vista anatomopatologico, presenta le caratteristiche della degenerazione neuronale della *substantia nigra pars compacta* (Snpc), la cui causa risulta essere multifattoriale. Da un punto di vista biochimico vi è una riduzione della quantità di dopamina. I sintomi motori distintivi sono bradicinesia, tremore e rigidità, che hanno come conseguenza disturbi assiali. Queste manifestazioni motorie possono essere precedute o accompagnate da sintomi non motori come disturbi del sonno, sindromi depressive, disturbi vegetativi. La presentazione di questi sintomi può essere alquanto eterogenea da cui ne consegue una progressiva riduzione dell'autonomia dei pazienti. Il trattamento prevede una gestione farmacologica complessa che deve essere impostata tenendo in considerazione gli effetti collaterali (psicosi, allucinazioni, discinesie ed alterazioni del comportamento). Per garantire la miglior qualità di vita possibile al paziente, in ogni fase di malattia, è di fondamentale importanza una valutazione quanto più accurata ed affidabile possibile. Per queste ragioni sono state elaborate numerose scale di valutazione che, però, risultano poco attendibili, utili o fruibili nel campo della riabilitazione. A tal proposito la presente Scoping review si pone l'obiettivo di indagare l'utilizzo di sensori inerziali indossabili nell'ambito della valutazione dei sintomi motori.

CAPITOLO 1: LA MALATTIA DI PARKINSON

Quando si parla di Malattia di Parkinson (MP) si intende una patologia idiopatica che colpisce il sistema nervoso centrale (SNC). È una condizione neurodegenerativa cronica e progressiva, principalmente diffusa nella popolazione anziana ma che, alle volte, si manifesta anche nei pazienti più giovani ¹. La Malattia di Parkinson era originariamente considerata una sindrome motoria ². Ad oggi è riconosciuta come un disordine multisistemico di natura complessa, caratterizzato anche da manifestazioni neurologiche e sistemiche non motorie ^{1,2}. Si tratta della seconda malattia neurodegenerativa più frequente dopo la malattia di Alzheimer ^{1,2,3}, riconosciuta e descritta per la prima volta nel 1817 dal medico inglese James Parkinson che la definì come una paralisi agitante. Si stima che a livello mondiale dai 7 ai 10 milioni di persone siano affette dalla patologia ⁴. Gli uomini tendono ad avere una probabilità di svilupparla 1,5 volte rispetto a quella delle donne ¹. La sua prevalenza aumenta con l'avanzare dell'età infatti: tra i 65 ed i 69 anni è di circa 1%, per poi essere compresa tra 1,5 e 3% nella popolazione di età superiore ad 80 anni. A causa dell'invecchiamento della popolazione si prospetta un aumento notevole, sia dell'incidenza che della prevalenza di malattia, fino ad arrivare oltre il 30% nel 2030 con un conseguente incremento dei costi sociali ed economici ^{3,4}. Questi possono rivelarsi sostanziali soprattutto nelle nazioni più sviluppate in quanto, la durata media della vita risulta essere in continuo aumento ¹.

1.1 Neuropatologia

Macroscopicamente, gli aspetti del cervello dei pazienti affetti dalla MP appaiono irrilevanti, limitandosi alla presenza di una lieve atrofia della corteccia frontale ed in alcuni casi dilatazione ventricolare⁴. La definizione patologica della MP fa riferimento al principale segno distintivo che contraddistingue questa forma di malattia nonché la degenerazione, in particolare dei neuroni dopaminergici situati nella regione ventro-laterale della *pars compacta* della *substantia nigra*, la più grande riserva di proiezioni dopaminergiche dirette ai gangli della base ^{1, 3,4}. L'analisi morfologica di questo

cambiamento indica che il danno legato alle cellule dopaminergiche sia caratterizzato dalla perdita di pigmento mielinico al loro interno. Questo è stato osservato in una sezione trasversa del tronco encefalico ed è espressione della denervazione dopaminergica della via nigrostriatale⁴.

Da un punto di vista morfologico, queste aree cerebrali sono caratterizzate da depigmentazione, perdita neuronale e gliosi¹. La riduzione dei segnali dopaminergici in corrispondenza della via nigrostriatale, che connette la *substantia nigra* con i gangli della base, nello specifico al corpo del nucleo striato, è responsabile della comparsa dei sintomi motori cardinali della MP^{4,5}.

Oltre al coinvolgimento della *substantia nigra*, la neurodegenerazione interessa altre aree cerebrali tra cui: i neuroni noradrenergici del *locus coeruleus*⁴, il nucleo basale di Meynert, i nuclei peduncolopontini, i nuclei del rafe, i nuclei motori dorsali del vago, l'amigdala, l'ipotalamo ed il bulbo olfattivo^{4,6}. Vi è inoltre un deterioramento di sistemi di non dopaminergici tra cui quelli: colinergico, adenosinergico, glutamatergico, GABAergico, noradrenergico, serotoninergico e istaminergico^{4,6,7}. Il loro interessamento potrebbe essere motivo di comparsa dei sintomi non motori⁴.

Microscopicamente, un altro segno distintivo della MP è la presenza dei corpi di Lewy (LBs), anomali aggregati proteici citoplasmatici di α -sinucleina nei corpi neuronali^{4,6}. I meccanismi per cui si verifica questo fenomeno non sono ancora del tutto chiari ma si è visto come rappresenti un *gold standard* per la diagnosi di malattia⁶. Durante la progressione di malattia, si è visto come tale proteina si diffonda in altre regioni cerebrali fino ad arrivare al coinvolgimento di più organi e del sistema nervoso periferico (SNP), compromettendone la funzione. Infatti, è possibile identificare la presenza di aggregati proteici a livello della retina, del bulbo olfattivo, della vescica, dell'utero, del sistema cardiovascolare (aorta e ventricoli nello specifico) del tratto gastro-intestinale e della cute^{4,5,7}. Braak ed i suoi collaboratori hanno proposto un sistema di stadiazione della diffusione dei corpi di Lewy. Hanno osservato come prima di arrivare alle regioni superiori del neurasse, ci sia un coinvolgimento del sistema nervoso enterico, autonomico fino al tronco encefalico. La progressione avviene, quindi, in senso rostro-caudale^{2,7}.

1.2 Patogenesi

Diversi meccanismi cellulari sono implicati nella patogenesi della MP. Quello principale è descritto dall'aggregazione dell' α -sinucleina, elemento centrale per comprendere lo sviluppo della patologia. Sono colpiti anche altri processi tra cui: la disfunzione mitocondriale e la neuroinfiammazione che influenzano la progressione di malattia, le disfunzioni del sistema ubiquitina-poteasoma e del sistema lisosomiale legato all'autofagia che contribuiscono ai deficit di codifica dell' α -sinucleina⁴.

1.3 Eziologia

È ampiamente riconosciuto come la MP sia una condizione multifattoriale, sebbene nella maggior parte dei casi la causa rimanga sconosciuta. Può essere causata dall'azione di fattori ambientali e, negli ultimi anni, sono stati identificati anche fattori genetici^{4,8}. L'età è il fattore che più incide sul rischio di sviluppo della malattia. Infatti, l'incidenza e la prevalenza aumentano con l'invecchiamento e l'età media di insorgenza risulta essere intorno ai 60 anni^{1,4,6,8}. Anche se la MP è solitamente considerata un disordine di natura idiopatica, vi è una minoranza di casi, circa il 10-15%, che presentano una forma ereditaria⁴. È ancora discusso il coinvolgimento dei fattori genetici ma si pensa che il rischio di MP sia in parte determinato da un insieme di fattori poligenici⁴. Secondo alcuni studi, fattori monogenici sono considerati più rari sebbene l'evidenza più convincente, riguardo al coinvolgimento genetico, derivi dalla scoperta del gene SNCA che codifica per l' α -sinucleina, responsabile dello sviluppo di una forma di MP^{6,8}. Il gene che è stato identificato come potenziale responsabile dell'insorgenza della MP è "PARK". Ne sono stati identificati 23 le cui mutazioni possono essere a trasmissione autosomica dominante o recessiva. Il più importante fattore di rischio genetico che predispone alla MP riguarda le mutazioni del gene GBA1 che codifica per la β -glucocerebrosidasi, un enzima lisosomiale responsabile dell'idrolisi dei glucocerebrosidi⁴.

Da più evidenze epidemiologiche sono stati identificati potenziali fattori di rischio ambientali che associati a quelli genetici possono influenzare il rischio generale di malattia^{6,8}. I principali fattori di rischio includono:

- il fumo di sigaretta: è stato ampiamente studiato in relazione alla MP ed ha mostrato risultati consistenti. Dalla maggior parte degli studi epidemiologici condotti a riguardo,

è emerso che il fumo di sigaretta possa ridurre il rischio di sviluppare la patologia. In particolare, viene riportato come il rischio è significativamente ridotto nei fumatori di lunga durata piuttosto che nei soggetti non fumatori. Le ragioni che spiegano tale correlazione non sono ancora del tutto comprese in quanto sono necessari ulteriori approfondimenti per capire se la nicotina possa avere un'azione neuroprotettiva e stimolare il rilascio di dopamina;

- la caffeina: diversi studi hanno indagato gli effetti della caffeina sullo sviluppo della patologia ed è stato riportato come tale sostanza possa ridurre il rischio di insorgenza del 25%. La caffeina si pensa abbia un'azione neuroprotettiva nei pazienti a rischio anche se, ancora, il suo ruolo causale nella prevenzione della MP deve essere confermato. Inoltre, in 2 studi di coorte, è stata descritta una differenza tra uomo e donna: l'associazione tra fattore di rischio e malattia risulta più debole nelle donne.

L'esposizione ai pesticidi: nel 1983 è stata scoperta per la prima volta come l'1-metil 4-fenil 1,2,3,6-tetraidro-piridina (MFTP) sia associata alla degenerazione nigrostriatale. Si è visto come, a seguito dell'iniezione di un farmaco contaminato con la tossina MPTP, le persone sviluppavano i tipici segni della MP.

Le indagini epidemiologiche effettuate riguardo alla relazione tra agenti chimici e MP, sono state estese anche ad altri possibili *markers*, quali: la vita in ambienti rurali, l'occupazione agricola, bere l'acqua di pozzo^{1,4,5,6}. È stata analizzata anche l'esposizione ai metalli pesanti (come ferro, rame, piombo, alluminio, zinco) ma la loro relazione con questa patologia non è ancora sufficientemente supportata⁴.

1.4 Segni e sintomi

Le manifestazioni più importanti, sia dal punto di vista diagnostico che prognostico, sono i sintomi motori, la cui valutazione risulta un elemento chiave anche per il monitoraggio della risposta alla terapia sintomatica. Le caratteristiche cliniche correlate alla malattia di Parkinson sono descritte dall'insorgenza di tremore, bradicinesia e rigidità, associate alla comparsa di instabilità posturale con il progredire della patologia. Il primo passo per la diagnosi è verificare che il paziente sia affetto da una forma di parkinsonismo. Per poter parlare di parkinsonismo è necessario che il paziente presenti bradicinesia combinata alla manifestazione di tremore o rigidità.

Il passo successivo consiste nell'escludere altre cause a cui attribuire questa sindrome. Generalmente una presentazione dei sintomi asimmetrica ed una buona risposta al trattamento con levodopa sono importanti aspetti che permettono di distinguere la MP da altre forme di parkinsonismo^{4,7}.

La bradicinesia consiste in un rallentamento generale dei movimenti spontanei. I pazienti riportano difficoltà nello svolgere le usuali attività quotidiane. Risultano compromessi tutti gli aspetti del movimento: il timing di attivazione, l'esecuzione, l'ampiezza e la direzione. Si denota un abbassamento nel tono della voce che risulta monotono (ipofonia) ed una ipersalivazione, dovuta ad una compromissione della deglutizione. Ancora prima di eseguire un esame obiettivo, la bradicinesia si può manifestare tramite la riduzione dell'espressione facciale (ipomimia) e dell'attività palpebrale. Negli arti superiori (AASS) si manifesta distalmente con una diminuzione della destrezza; a ciò consegue una scrittura micrografica. I soggetti che presentano questo sintomo esprimono estrema difficoltà nello svolgere compiti simultanei o sequenziali. Si ipotizza che la bradicinesia dipenda da un ritardo nell'attivazione muscolare e da una incapacità di sostenere la contrazione durante tutto l'arco dell'azione motoria^{3,4,5,7}.

Il tremore è presente in 75 casi di MP su 100. Viene tipicamente descritto con il termine "*pill rolling*" ed ha una frequenza di 4-6 battiti al secondo. Solitamente si limita maggiormente ad un emilato corporeo e si manifesta a livello dei segmenti corporei distali, colpendo soprattutto gli AASS. È presente a riposo mentre tende a migliorare o scomparire durante lo svolgimento di un'azione. Il tremore è un sintomo che si attribuisce principalmente alla mancanza di dopamina ed all'integrità delle vie efferenti che dai gangli della base si estrinsecano fino al talamo. La MP, nel caso in cui il sintomo prominente sia il tremore, viene definita ipercinetica^{3,4,5,7}.

La rigidità tende a manifestarsi, in primo luogo, a livello dei cingoli scapolare e pelvico, per poi diffondersi fino al collo e al tronco. Viene definita "a tubo di piombo" o plastica. È valutata dagli esperti tramite una mobilizzazione passiva, durante la quale, il paziente assume una posizione di rilassamento. Ciò che conferma la presenza di rigidità è la comparsa di una resistenza velocità indipendente, caratterizzata da piccoli scatti. Questo fenomeno è detto a "ruota dentata". La rigidità tende a colpire

maggiormente i muscoli flessori, per questa ragione i pazienti affetti da MP manifestano un atteggiamento camptocormico. Questa postura consiste in un atteggiamento flessorio di capo e tronco, con riduzione dei movimenti pendolari degli AASS, che si trovano addotti e in lieve flessione di gomiti. Gli arti inferiori (AAII) si presentano con una flessione di ginocchia. La conseguenza di questo atteggiamento è l'anteposizione del baricentro che causa il fenomeno della festinazione nonché il continuo tentativo di raggiungere una stabilità. Da questo deriva l'instabilità posturale che aumenta esponenzialmente il rischio caduta dei pazienti, riducendone l'autonomia e di conseguenza la qualità della vita. Nel caso in cui questo sia il sintomo predominante, la MP viene definita sindrome acinetico-rigida^{3,4,5,7}.

La forma ipercinetica risulta avere un decorso clinico più favorevole rispetto alla forma acinetico-rigida.

I sintomi non motori contribuiscono a dare certezza alla diagnosi. È emerso come i pazienti affetti da MP abbiano sperimentato, negli anni precedenti alla diagnosi, depressione, stipsi, anosmia e disturbi del sonno nella fase REM. Questa categoria di sintomi è molto diffusa e non prevede necessariamente la comparsa di MP, ma aiuta i clinici con la formulazione della diagnosi⁴.

Altri sintomi non motori che i pazienti manifestano durante lo sviluppo della malattia possono essere deficit cognitivi, che vanno ad influire sulla sfera dell'attenzione, dell'esecuzione, della percezione visuo-spaziale e della memoria. Risultano essere diffusi anche disturbi neuropsichiatrici come ansia, depressione, apatia e psicosi⁴.

1.5- Decorso della malattia

Il decorso ha una variabilità temporale dai 10 ai 25 anni. Sintomi motori debilitanti, deterioramento cognitivo, età avanzata e assenza di tremore all'esordio sono fattori predittivi di un rapido declino.

Il decorso della malattia viene descritto da 3 fasi principali:

- Fase premotoria
- Fase motoria
- Fase avanzata

Inoltre, si tratta di un decorso caratterizzato da un'ampia eterogeneità.

La fase premotoria inizia a partire da 10 a 14 anni prima della diagnosi. È costituita da sintomi che hanno un impatto significativo sulla qualità di vita dei pazienti contribuendo all'isolamento sociale. Questi sintomi comprendono iposmia, dolore, affaticamento, ipotensione ortostatica, incontinenza, costipazione, sindromi depressive e disfunzioni sessuali. Nei pazienti possono, inoltre, manifestarsi disturbi come sonnolenza diurna, diminuzione del riposo notturno e sindrome delle gambe senza riposo^{1,4,5}.

La fase motoria si manifesta solitamente, in un solo emilato corporeo, con il tremore a riposo della mano, dolore alla spalla e riduzione dei movimenti pendolari dell'arto superiore. Con il passare del tempo la rigidità comincia a diffondersi bilateralmente, colpendo principalmente i muscoli del tronco ed inducendo la comparsa di sintomi assiali.

La fase avanzata è descritta da instabilità posturale, deterioramento cognitivo, demenza, deficit autonomici ed effetti collaterali dell'assunzione di farmaci (psicosi, discinesie). L'instabilità posturale è uno dei sintomi che più compromette l'autonomia dei pazienti, in quanto comporta un rischio caduta 9 volte superiore a quello di soggetto di pari età. Il trattamento farmacologico non risulta molto efficace nel contrastare il deterioramento dell'attività posturale, ma risultano validi la stimolazione cerebrale profonda e l'esercizio fisico. Questi hanno l'obiettivo di incrementare le attività funzionali ed i gesti motori. Non si è tutt'ora certi delle cause associate all'instabilità posturale, ma si è ipotizzato che sia dovuta principalmente ad un deficit dell'elaborazione sensoriale a livello centrale^{1,4,5}.

In questa fase di malattia inizia a manifestarsi la tipica andatura parkinsoniana caratterizzata dalla festinazione ovvero, il continuo tentativo di mantenere il baricentro all'interno della base di appoggio. Può essere di due tipologie: in propulsione o in retropulsione. La festinazione è spesso un elemento predittivo di un successivo sintomo caratteristico della fase avanzata: il freezing. Quest'ultimo è descritto dai pazienti come la sensazione di avere i piedi incollati al suolo e si verifica all'inizio di un gesto motorio, in concomitanza al passaggio in spazi stretti o affollati e in corrispondenza di cambi di direzione⁴.

I deficit cognitivi che insorgono in questa fase si ipotizza che derivino da una diminuzione dell'eccitazione corticale del nucleo caudato. Comprendono perdita di memoria, confusione di pensiero e demenza che vengono esacerbati dalla terapia farmacologica⁴.

Nelle fasi avanzate della malattia i pazienti probabilmente saranno costretti all'utilizzo di una carrozzina o destinati all'allettamento. Si tratta di una fase in cui non vi è più risposta alla terapia farmacologica e per questo motivo è opportuno intervenire con l'unico scopo di promuovere il benessere del paziente, sia dal punto di vista fisico che mentale, fornendo sostegno ai caregiver⁴.

1.6 Valutazione motoria

Una corretta valutazione motoria è indispensabile per un'adeguata impostazione della terapia farmacologica. Per soddisfare tale necessità, sono ad oggi presenti numerosi strumenti che hanno l'obiettivo di valutare i sintomi motori.

La prima scala di valutazione, elaborata nel 1967, è la Hoehn e Yahr (HY) che individua 5 stadi a cui corrispondono livelli di cura diversi:

- Stadio I: coinvolgimento unilaterale in cui la disabilità funzionale è minima o assente
- Stadio II: interessamento bilaterale senza coinvolgimento dell'equilibrio
- Stadio III: malattia da lieve a moderata, qualche instabilità posturale indipendente
- Stadio IV: malattia conclamata, ancora in grado di deambulare autonomamente
- Stadio V: pz confinato in sedia a rotelle o allettato, perdita totale dell'autonomia

Nel 1987, Fahn and Elton, guidano una *task force* che elabora la Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), costituita da 6 parti integrali, di cui la III parte specifica per i disturbi motori. Nel 2008 è stata modificata da Goetz, che ne ha aumentato gli item e variato alcuni punteggi. Si tratta della MDS-UPDRS⁹.

In seguito, sono state introdotte altre scale che valutano i sintomi motori. La Short Parkinson's Evaluation Scale-Scale/Scales for Outcomes in Parkinson's Disease (SPES/SCOPA), una misura coerente e in grado di fornire dati clinimetrici di qualità. La Parkinson's Disease Composite Scale (PDSC) è uno strumento pratico, affidabile e preciso nel valutare in modo completo i pazienti. La Berg Balance Scale (BBS) è uno strumento di screening per determinare il rischio di caduta e la necessità di un

intervento di riabilitazione. Il Global Mobility Task (GMT), misura la compromissione motoria e valuta gli effetti dei programmi riabilitativi. Il Five Times Sit to Stand Test (FTSTS) determina complessivamente il rischio caduta pur essendo uno strumento rapido e facile da somministrare. Il Dynamic Gait Index (DGI) e il Timed Up and Go Test (TUG) sono utili nel rilevare, con precisione e sicurezza, i cambiamenti nel tempo dei deficit del cammino e dell'equilibrio⁹.

Da un'analisi degli studi è emerso come nessuno di questi strumenti di valutazione riporti in modo completo ed adeguato i sintomi dei pazienti affetti da MP. Per questo è nata la necessità di ampliare la metodologia di valutazione includendo la tecnologia *low-cost* accessibile a qualsiasi utenza: i sensori inerziali. Il campo della tecnologia è già ampiamente utilizzato nella valutazione motoria ed esistono laboratori specializzati che si avvalgono di complessi sistemi di *motion-analysis*, che non risultano però di semplice accessibilità.

L'unità di misurazione inerziale (IMU) che viene utilizzata in questo campo è, nella maggior parte dei casi, composta da: un accelerometro, un giroscopio ed un magnetometro. Un accelerometro è uno strumento in grado di misurare l'accelerazione di un corpo determinando l'inerzia di una massa in movimento, soggetta a forze esterne. Il componente principale di questo strumento è un trasduttore, un'unità in grado di captare i movimenti e trasformare il segnale meccanico in uno elettrico (MEMS). Il trasduttore è quindi in grado di quantificare l'accelerazione di un corpo e, integrando i segnali, di misurare velocità e posizionamento nello spazio. Solitamente, 3 accelerometri triassiali sono integrati in modo da ottenere un dispositivo 3D che valuta tre assi ortogonali simultaneamente. Il giroscopio è anch'esso composto da un'unità MEMS, in grado di misurare la velocità angolare su 3 assi ortogonali contemporaneamente. L'ultimo componente è un magnetometro il cui compito è quello di misurare la forza del campo magnetico terrestre per monitorare la posizione corporea.

Questa tipologia di sensore, grazie alle dimensioni ridotte e al basso costo dei suoi componenti, è un dispositivo facilmente indossabile e *low-cost*. Ha rivoluzionato il mondo dell'analisi del movimento permettendo una valutazione rapida ed affidabile, sia in ambiente clinico che quotidiano¹⁰.

1.7-Trattamento

La terapia, nella MP, ha l'obiettivo di garantire al paziente la miglior qualità di vita possibile in ogni fase di malattia. È importante una presa in carico precoce, in modo da poter gestire al meglio la progressione della patologia. L'esercizio e la fisioterapia sono la chiave nel miglioramento dei sintomi assiali, come l'equilibrio, la deambulazione e l'instabilità posturale, che tendono a risentire poco della terapia farmacologica.

Il trattamento si basa sulla somministrazione di una terapia farmacologica che, con l'avanzare della malattia, diventa sempre più complessa e meno efficace. È fondamentale la gestione del dosaggio in relazione agli effetti collaterali tra cui: sonnolenza, allucinazioni, discinesie e disturbi del comportamento. Quando i sintomi sono controllati dai farmaci, il paziente si definisce in fase "ON", al contrario si definisce fase "OFF" quel periodo in cui i farmaci hanno esaurito il loro effetto. Nelle fasi precoci e nei pazienti di giovane età, l'inizio del trattamento prevede la prescrizione dei farmaci che agiscono sugli agonisti della dopamina per stimolarne la produzione.

Il costituente principale delle terapie, anche in quelle di recente sviluppo, è la levodopa, la quale agisce principalmente ripristinando i livelli di dopamina nel corpo striato. Possono inoltre essere utilizzati altri farmaci, in grado di agire sui neurotrasmettitori responsabili dei sintomi non motori descritti^{1,3,4,7}.

CAPITOLO 2- MATERIALI e METODI

Per lo svolgimento di questa revisione sono state utilizzate le linee guida proposte nell'ultima versione del PRISMA Extension per le Scoping Review (PRISMA-ScR). L'obiettivo di questo elaborato è di riportare ciò che è presente in letteratura riguardo l'utilizzo di sensori indossabili nella valutazione motoria di pazienti affetti da MP.

2.1 Identificazione del quesito di ricerca

E' stata formulata la seguente domanda di ricerca: “ cosa si conosce della letteratura esistente riguardo l'utilizzo di sensori indossabili nella valutazione motoria di pazienti affetti da MP”

2.2 Criteri di inclusione

Sono stati inclusi gli studi che rispettavano i seguenti requisiti di popolazione, concetto e contesto.

.Tipologia di partecipanti. Sono stati inclusi individui di qualsiasi età e genere aventi diagnosi di Malattia di Parkinson.

.Concetto. Qualsiasi tipo di studio che analizzasse la valutazione motoria di equilibrio, reazioni posturali, cammino, andatura e passaggi posturali dei pazienti affetti da MP tramite sensori indossabili.

.Contesto. Qualsiasi contesto.

.Tipologia di fonti. Questo elaborato ha preso in considerazione qualsiasi tipo di studio, pubblicazione o revisione che riguardasse l'utilizzo di sensori indossabili nella valutazione dei sintomi motori di pazienti affetti da MP.

.Sono state applicate restrizioni di lingua. Sono stati selezionati studi in lingua inglese.

2.3 Criteri di esclusione

Non sono stati considerati studi che non soddisfano i criteri di inclusione sopra indicati. Nello specifico: altre patologie neurologiche, utilizzo di sensori con finalità di

trattamento, impiego di sensori nella valutazione dell'arto superiore, dei sintomi non motori e manifestazioni quali tremore, bradicinesia e simili.

2.4 Strategia di ricerca

Le ricerche sono state condotte a partire da giugno 2023 e si sono concluse a settembre. La ricerca della letteratura è stata condotta sulle seguenti banche dati: PubMed, PEDro, Cochrane Library. Le strategie di ricerca sono state differenti in base alla modalità di ricerca consentita da ogni banca dati elettronica. Non è stato applicato nessun tipo di filtro. Le parole chiave che sono state utilizzate per l'analisi della letteratura sono le seguenti: "Parkinson's disease" "Parkinson" "evaluation" "assessment" "motor disorder" "motor system disorder" "motor symptoms" "sensor" "wearable sensor" "inertial sensors" "wearable inertial sensor" "smartphone" "wii" "smartwatch" combinate attraverso gli opportuni operatori booleani.

Nella banca dati PubMed la ricerca ha portato ai seguenti risultati:

- Parkinson's disease AND evaluation AND wearable sensor 265 records in un arco temporale compreso tra il 2012 ed il 2023
- Parkinson's disease AND assessment AND wearable sensors 256 records in un arco temporale compreso tra il 2009 ed il 2023
- Parkinson's disease AND assessment AND inertial sensors 172 records in un arco temporale compreso tra il 2007 ed il 2023
- Parkinson's disease AND evaluation AND motor disorders AND wearable sensors 48 records in un arco temporale compreso tra il 2012 ed il 2023
- Parkinson's disease AND assessment AND motor disorder AND wearable sensor 30 records in un arco temporale compreso tra il 2009 ed il 2023
- Parkinson's disease AND assessment AND motor system disorder AND wearable inertial sensor 22 records in un arco temporale compreso tra il 2009 ed il 2023
- Parkinson's disease AND evaluation AND motor system disorder AND wearable inertial sensor 13 records in un arco temporale compreso tra il 2013 ed il 2023
- Parkinson's disease AND assessment AND smartwatch 18 records in un arco temporale compreso tra il 2011 ed il 2023

- Parkinson's disease AND assessment AND wii 20 record in un arco temporale compreso tra il 2011 ed il 2023

Su PEDro è stata eseguita una ricerca semplice che ha portato ai seguenti risultati:

- Parkinson*, assessment, inertial sensor 0 records
- Parkinson, evaluation, inertial sensor 0 records
- Parkinson*, assessment, motor disorder, sensor 0 records
- Parkinson, evaluation, motor disorder, sensor 0 records
- Parkinson, evaluation, motor disorder 4 records
- Parkinson*, assessment, motor disorder 9 records
- Parkinson*, assessment, wii 9 records
- Parkinson, evaluation, sensors 1 record
- Parkinson*, assessment, sensors 2 records
- Parkinson, evaluation, smartphone 0 records
- Parkinson, evaluation, motor symptom 4 records

Su Cochrane Library è stata eseguita prima una ricerca semplice

- Parkinson's disease AND assessment AND sensor che ha prodotto 155 trials

Successivamente è stata effettuata una ricerca avanzata utilizzando operatori booleani su "search manager"

- #1 Parkinson's disease
- #2 Parkinson syndrome
- #3 assessment
- #4 evaluation
- #5 motor disorder
- #6 motor system disorder
- #7 sensor

➔ stringa di ricerca (#1 OR #2) AND (#3 OR #4) AND (#5 OR #6) AND #7

La quale ha totalizzato 26 trial clinici.

Sono stati identificati ulteriori 6 record analizzando la bibliografia degli articoli selezionati.

2.5 Selezione delle fonti di evidenza

Una volta completata la strategia di ricerca i risultati sono stati raggruppati in un unico file da cui sono stati rimossi i duplicati. La selezione degli studi è stata eseguita manualmente, senza avvalersi dell'utilizzo di *software*.

2.6 Sintesi dei risultati

I risultati sono stati sintetizzati in modo schematico nelle tabelle sinottiche allegate. (Allegato I e Allegato II).

CAPITOLO 3-RISULTATI

3.1 Processo di selezione degli studi

Il numero totale di articoli che è stato ottenuto attraverso la mappatura della letteratura è di 1124 articoli suddivisi nelle seguenti banche dati: 862 su PubMed, 236 su Cochrane Library, 20 su PEDro e 6 ulteriori record analizzando la bibliografia degli articoli. Per ogni ricerca effettuata su PubMed sono stati presi in considerazione i primi 175 risultati, mentre per le ricerche effettuate sulle altre banche sono stati presi in considerazione tutti i record. In seguito al processo di screening e di lettura degli abstract sono stati selezionati 60 articoli. L'analisi del testo completo ha permesso una definizione più accurata del tipo di studio e della pertinenza con il quesito di ricerca, di 60 articoli ne sono stati esclusi 32 che non rispecchiavano i criteri di eleggibilità e 3 di cui non erano rintracciabili full text. Nel complesso sono stati inclusi 25 studi, pubblicati in un arco temporale dal 2012 al 2023.

La sintesi del processo di identificazione degli studi è esposta nel diagramma di flusso PRISMA, realizzato secondo il modello delle linee guida PRISMA Statement 2020.

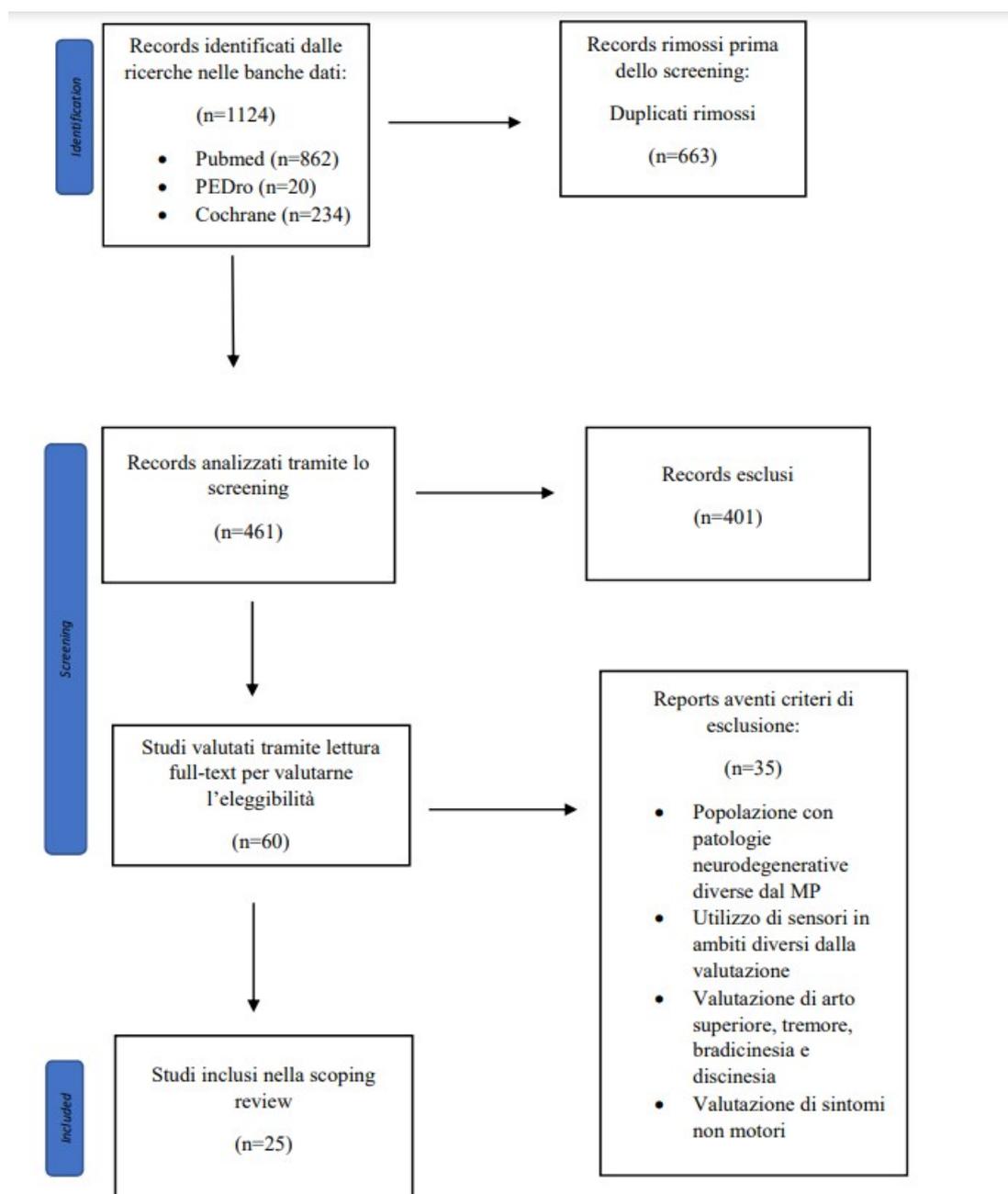


Figura I- PRISMA *flow* diagram

3.2- Caratteristiche degli studi inclusi

Per il raggiungimento dell'obiettivo di questa scoping review sono stati presi in esame 25 articoli in lingua inglese. Di questi: 5 provengono dall'Italia, 4 dall'Inghilterra, 3 dalla Germania, 2 dalla Cina, 2 dagli Stati Uniti, 2 dalla Grecia, 1 dalla Spagna, 1 dalla Svizzera, 1 dal Portogallo, 1 dal Brasile, 1 dall'Australia, 1 dal Giappone e 1 dal Messico.

3.3-Risultati dei singoli studi

Uno studio condotto da Lu nel 2020 discute i recenti sviluppi sull'utilizzo dei sensori indossabili nel monitoraggio e valutazione dei sintomi motori e non motori. Vengono analizzate le esperienze sia dei clinici che dei pazienti in modo da espandere la conoscenza rispetto a tutte le applicazioni a cui queste nuove tecnologie possono far fronte. Secondo recenti ricerche questi sensori hanno la stessa efficacia delle scale di valutazione usate nei pazienti affetti da MP. Il vantaggio di questi dispositivi è stato identificato nella capacità di eliminare le limitazioni delle scale in termini di somministrazione, per quanto riguarda oggettività, accuratezza e sensibilità. Inoltre, sfruttando tale tecnologia non vi sono limitazioni temporali per la valutazione che avviene costantemente in modo da garantire un quadro più completo possibile agli esperti. I sensori non fanno altro che raccogliere parametri cinematici spaziotemporali e trasmetterli a modelli algoritmici elaborati tramite *machine learning* che permettono ai clinici di valutare tali risultati.

La locomozione è uno dei *marker* principali della progressione della malattia ed è il primo indicatore di instabilità posturale. Usualmente la valutazione del cammino viene effettuata tramite il TUG. Esso, viene effettuato in condizioni che non riflettono oggettivamente quelle di vita quotidiana del paziente e spesso il risultato viene influenzato dalle emozioni. Per l'analisi del cammino vengono utilizzati sensori posizionati in diverse parti del corpo (petto, bacino, coscia, gamba e piedi) in modo da rilevare parametri cinematici e dinamici come: lunghezza del passo, simmetria, ritmo e ampiezza, che permettano una valutazione attendibile ¹¹.

Mariani nel 2012 sostiene che la deambulazione è una delle funzioni più sensibili agli stati *ON/OFF*, perciò una delle più importanti da valutare. Viene utilizzato un sensore *on-shoe* che valuta parametri in 3 dimensioni e risulta utile nel dimostrare quale tra il TUG test ed un test di deambulazione più lungo sia maggiormente efficace ed attendibile. Si tratta di un dispositivo fissato ai lacci delle scarpe, composto da un accelerometro triassiale, un giroscopio, un *controller* ed una batteria. I dati sono raccolti in una scheda SD. I parametri che vengono analizzati sono: velocità, lunghezza del passo, angolo di sterzata, fase di oscillazione e lunghezza del percorso.

Dai risultati ottenuti si ipotizza che il TUG test sia inadeguato per valutare le variazioni del cammino. Inoltre, i dati si dimostrano essere significativi sia per un percorso di 40m che per uno di 200m, evitando l'eccessiva affaticabilità del paziente ¹². Nel 2013 Maeztler nel suo studio evidenzia come si sia reso necessario un sistema di valutazione che riesca a catturare anche i più piccoli cambiamenti dei sintomi con lo scopo di gestire al meglio il trattamento erogato al paziente. I sintomi assiali come instabilità posturale e deficit del cammino, tra cui *freezing of gait* (FOG), solitamente compaiono tardivamente nella MP. Le tecnologie innovative hanno permesso la loro rilevazione anche nelle fasi precoci di malattia. Per quanto riguarda il cammino, gli studi analizzati hanno applicato dispositivi in diverse posizioni corporee. Nella gamba sono utilizzati per valutare la lunghezza del passo, che comparata con l'analisi video degli esperti, risulta combaciare perfettamente. *Pressure insole* relativamente alla variabilità del cammino, parametro predittivo per il rischio caduta. Nella zona lombare analizzano la variabilità del passo e movimenti del tronco. I dispositivi sono inoltre stati applicati sui polsi per valutare l'oscillazione degli arti superiori che risulta ridursi nei pazienti affetti da MP. L'utilizzo di questa tecnologia risulta essere efficace soprattutto nella rilevazione dei parametri relativi al FOG: è un sintomo che si manifesta raramente durante le visite in cui i pazienti sono sottoposti alla somministrazione di scale, in condizioni ideali. I dispositivi indossabili sono in grado di rilevare le variabili spazio-temporali che precedono questo evento, con una sensibilità al 73%. Nel caso della valutazione dell'equilibrio, i dispositivi vengono collocati vicino al centro di massa (CoM), nella zona lombare o nel bacino. I parametri analizzati attraverso l'utilizzo di un sensore indossabile nella zona lombare permettono di valutare le variazioni oscillatorie del tronco. I risultati sono comparabili con quelli ottenuti da laboratori specializzati. Nel caso dell'utilizzo di 2 dispositivi angolari collocati nella stessa zona, si è riusciti a capire che: le persone con MP, durante la statica, presentano una maggiore antero-posteriore e medio-laterale deviazione della velocità angolare del tronco. I dispositivi indossabili, come accelerometri o smartphone, sono strumenti poco invasivi, economici e che offrono una raccolta oggettiva di dati prolungata nel tempo. Ad oggi non sono ancora parte della routine clinica ma ci si aspetta che questo cambi nell'immediato futuro ¹³.

Lo *step climbing* e la difficoltà nell'inizio della marcia sono aspetti che condizionano l'autonomia delle persone affette da MP. Bonora, nel 2015, attraverso un dispositivo inerziale studia gli *Anticipatory Postural Adjustemt* (APA) che precedono le funzioni in esame. Gli APA sono meccanismi di controllo posturale fondamentali: precedono una situazione dinamica, includono interazioni complesse tra fattori biomeccanici e neurali volti a mantenere la stabilità posturale, contrastando le forze destabilizzanti a cui il corpo è continuamente sottoposto. Essi risentono delle modificazioni dei comportamenti motori e dei disturbi neurologici, per questo analizzarli aiuta a valutare la progressione della malattia. Gli APA, solitamente, vengono valutati attraverso l'elettromiografia o complessi sistemi di *motion-analysis* come una piattaforma stabilometrica, per questo era necessario trovare un metodo di facile gestione ed a basso costo. Vengono analizzati 11 pazienti affetti da MP e 20 soggetti sani muniti di 2 sensori ciascuno, uno posizionato nella zona lombare a livello di L2-L4, l'altro nell'arto inferiore che inizia il passo. I movimenti richiesti sono: iniziare la deambulazione e successivamente effettuare un gradino. I risultati vengono elaborati tramite un algoritmo e dimostrano come il sistema sia abile a discriminare soggetti sani da soggetti malati. La validità del metodo è stata verificata comparando i risultati ottenuti da una piattaforma stabilometrica¹⁴.

Nel 2015, Ellis ha esplorato l'utilizzo dell'unità di misurazione inerziale (IMU) presente nell'*Apple iPod Touch*. Questo metodo prevede però la necessità di assicurare lo *smartphone* alla persona, inoltre viene richiesta la presenza di un esperto per fornire indicazioni sulle azioni da eseguire¹⁵. Su, nel 2021 elabora uno studio volto a testare la validità di un'applicazione che può essere utilizzata sui sistemi *iPhone iOS platform*. Fino a questo momento è stata applicata solo su soggetti sani¹⁶. 52 pazienti affetti da MP sono stati valutati tramite le convenzionali scale di valutazione come la UPDRS III. I pazienti devono eseguire il compito secondo le indicazioni espresse dall'*app*. Essa indica di percorrere 2 traiettorie di 20 metri: vengono percorsi 10 metri seguiti da una curva di 180 gradi e ritorno al punto di partenza. Il primo percorso è effettuato camminando normalmente, mentre l'altro aggiungendo una progressione di difficoltà. I parametri del cammino sono stati registrati tramite l'*app* e dispositivi indossabili affidabili. Secondo i risultati ottenuti, che sono stati comparati con quelli di dispositivi

già validati, l'*app* è in grado di valutare accuratamente la velocità del passo e la sua variabilità. L'utilizzo dell'*app* si diffonderà maggiormente in futuro, prendendo gradualmente in considerazione tutti i parametri caratteristici del cammino¹⁷.

Arora nel 2015 effettua uno studio primario per analizzare la capacità di un'applicazione, fruibile su *smartphone Android*, di valutare alcuni sintomi motori: cammino e postura. Sono stati arruolati 10 soggetti affetti da MP e 10 soggetti sani. Essi, hanno utilizzato l'*app* per un mese, eseguendo gli esercizi indicati dalla stessa per quattro volte al giorno. Gli *outcome* sono stati comparati a quelli ottenuti dai pazienti nella UPDRS; l'errore calcolato tra i 2 risultati ha una differenza di 0.16 deviazioni standard (SD), dimostrando un'alta validità metodologica. Questa risulta essere una tecnologia promettente per il miglioramento della valutazione nella MP, dovranno essere condotti ulteriori studi con campioni più ampi¹⁸.

Hubble nel 2015 effettua una revisione per verificare l'utilizzo dei sensori indossabili nella valutazione dell'equilibrio e della stabilità durante il cammino. Le domande che si è posto riguardano quale tipo di sensore sia migliore per analizzare queste caratteristiche biomeccaniche e quale posizionamento corporeo sia il più idoneo. Il parametro più calcolato per verificare la stabilità dei pazienti è stato l'*harmonic ratio* (HR), la maggioranza dei dispositivi è stata posizionata nel capo e nella regione lombare. Nonostante questi risultati, l'ambito di ricerca è considerato ancora in fase di sviluppo, necessita di un aumento dei campioni presi in esame per avere dati più significativi¹⁹.

Nel 2016 Godinho elenca le tecnologie disponibili in modo da compararle e classificarle. Il primo dispositivo indossabile preso in considerazione è il *Mobility Lab System*, un *device* che appare come un orologio composto da 6 sensori di cui un accelerometro, un giroscopio e un magnetometro. Lo strumento è capace di monitorare l'oscillazione posturale, variazioni nel movimento del tronco, transizioni posturali e analisi dei parametri del cammino. *Physilog* è un dispositivo che non necessita di calibrazione e appare alquanto minimale. È utilizzato per raccogliere dati su cammino, postura, attività fisica e bradicinesia. Dimostra di avere un'elevata sensibilità nella valutazione della deambulazione e delle sue variazioni. *StepWatch 3* è un dispositivo di piccole dimensioni che si posiziona sulla caviglia e invia dati ad un monitor, raccolti

a intervalli di 1 minuto. Viene utilizzato per registrare cambiamenti nelle attività ambulatoriali. *TriTrac RT3* è un accelerometro triassiale utilizzato soprattutto per registrare dati durante le attività di vita quotidiana, fuori da un ambiente clinico, con una capacità di durata di 21 giorni. Si tratta di uno strumento accurato nel distinguere i diversi livelli di mobilità dei pazienti affetti da MP. *McRoberts Dynaports*, è un dispositivo capace di registrare tutti i parametri riguardanti l'attività di deambulazione come numero e lunghezza dei passi, velocità, ritmo. Inoltre, è in grado di valutare il *Phase Coordination Index*, cioè la coordinazione bilaterale durante il cammino. Viene utilizzato anche per monitorare il rischio caduta.

Axivity 3 (AX3), composto anch'esso da un accelerometro triassiale, è uno strumento valido per identificare il rischio cadute: da questo dispositivo è emerso che i pazienti a rischio caduta hanno un pattern di cammino con meno variazioni rispetto ai *non-fallers*. L'utilizzo degli ultimi due dispositivi in questione può essere sia di tipo clinico che quotidiano.

Kinesia™ è un anello che viene indossato in un dito della mano, in grado di comunicare con un ulteriore componente che si trova su un polso. Viene considerato soprattutto nella valutazione del tremore²⁰.

Espay nel 2016 effettua una revisione sulle delibere della *International Parkinson and Movement Disorders Society Task Force* riguardo alla tecnologia. Ciò che è emerso riguardo a questo nuovo campo di studio, è che: i sistemi dovrebbero essere sviluppati come piattaforme aperte ed essere integrati con i sistemi medici di raccolta dati, visto che dispositivi diversi sono impossibilitati a comunicare fra loro, adatti per riuscire a captare variazioni sia per sintomi motori sia per quelli non motori. Successivamente sarà necessaria l'integrazione con la pratica clinica²¹.

Schlachetzki nel 2017 ha condotto uno studio trasversale per rilevare quanto oggettivamente lo strumento valuti i parametri del cammino dei pazienti affetti da MP. Sono stati presi in considerazione 190 soggetti affetti da MP e 101 casi controllo. Le caratteristiche prese in considerazione sono quelle tipiche del cammino parkinsoniano: passi corti, andatura non lineare e instabilità posturale. I risultati ottenuti hanno evidenziato una significativa differenza tra i parametri del cammino del gruppo di studio e di quello di controllo, dimostrando la validità dei sensori. 63 soggetti sono poi

stati riesaminati entro un periodo di 17 mesi. Si è dedotto che i risultati sono in linea con la valutazione effettuata tramite la UPDRS-III, dimostrando l'affidabilità di questa tecnologia²².

Ornelas nel 2018 ha sviluppato un modello inferenziale che riuscisse a valutare nel modo più oggettivo e riproducibile possibile uno degli item della MDS-UPDRS: la *leg agility*. Le sue caratteristiche ad oggi sono descritte solo dalla visione dell'esperto.

Ai 50 pazienti selezionati sono stati posizionati 2 sensori inerziali alle caviglie. I risultati hanno dimostrato che questo modello è in grado di quantificare e valutare le caratteristiche biomeccaniche che descrivono l'item specifico del *leg agility*²³.

Mileti nel 2018 effettua un'analisi in cui arruola 26 pazienti per il gruppo studio e 11 nel gruppo di controllo. Ogni individuo è stato munito di due unità IMU nei piedi e 8 sensori resistivi, 4 per ogni piede. Ai soggetti è stato chiesto di effettuare un percorso di 20 metri, alla loro velocità, e sono stati esaminati sia nella fase OFF che in quella ON. Confrontati i risultati il *Machine Learning* (ML) che è stato scelto per elaborare i parametri spazio-temporali raccolti dai sensori, ha dimostrato di avere un'alta adattabilità anche ai diversi stati farmacologici²⁴.

Lorenzo Brognara nel 2019 effettua una revisione per fare chiarezza sull'utilizzo dei sensori inerziali nella valutazione del cammino in ambiente clinico, negli ultimi 10 anni. La difficoltà nella deambulazione è uno dei sintomi che più condiziona la qualità di vita dei pazienti. Il cammino degli individui con MP è caratterizzato da alterazioni dei principali parametri spazio-temporali, velocità, ritmo e lunghezza del passo. Essi vengono tutt'ora valutati nella scala di valutazione *gold-standard* nell'ambito della malattia di Parkinson, la UPDRS. Il numero di sensori inerziali utilizzati nei diversi studi varia da un minimo di 1 ad un massimo di 8. Quando viene utilizzato un solo sensore è spesso posizionato in zona lombare, altre posizioni comuni sono in entrambe le caviglie o in entrambi i piedi. Considerato ciò, non è ancora stata trovata una combinazione di posizionamento, numero di dispositivi e di parametri considerati unificata in grado di garantire l'*outcome* migliore¹⁰.

Ghislieri nel 2019 studia con una revisione l'applicazione dei sensori specifica per la valutazione dell'equilibrio e delle oscillazioni in statica. In stabilometria l'utilizzo di questi dispositivi non è ancora diventato uno standard, in quanto non si è certi

dell'accuratezza delle unità IMU, per questo il *gold standard* rimane la piattaforma stabilometrica. Il tipo di sensore maggiormente usato è stato un commerciale IMU, nello specifico un *Opal APDM Wearable Technologies*. A seguire sono stati considerati accelerometri 3D e accelerometri ad una o due dimensioni fatti autonomamente. Il posizionamento che ha prevalso è stato quello nella zona lombare, meno frequenti caviglia/malleolo, sterno, polsi e fronte. Viene considerato un campo di innovazione assai promettente²⁵.

Ferraris nel 2019 presenta un dispositivo per la valutazione dell'instabilità posturale e del livello di compromissione degli arti inferiori. Il *software* si avvale di un computer windows e presenta un'interfaccia di facile utilizzo, in cui i pazienti vengono guidati dal *software* nello svolgere i test della UPDRS. Sono stati inseriti gli item adatti ad un ambiente casalingo: *Leg Agility (LA)*, *Arising from chair (AC)* and *Posture (Po)*. La stabilità posturale viene valutata monitorando gli spostamenti del centro di massa. Il sistema è stato testato su un gruppo di 14 individui affetti da MP e 20 individui di controllo sani. I risultati comparati con un sistema *gold-standard* hanno dimostrato la validità del sistema utilizzato. Essendo la prima volta che un sistema ottico *low-cost* valuta i pazienti tramite una UPDRS automatizzata, sono necessari ulteriori studi con un ampliamento dei campioni²⁶.

Rehman nel 2019, non essendoci ancora un modello unificato per la valutazione del cammino, decide di investigare su che impatto hanno i vari protocolli sui due modelli di (ML) più utilizzati: il *support vecto machine (SVM)* e il *random forest (RF)*.

93 soggetti affetti da PD e 103 soggetti sani sono stati sottoposti a 2 protocolli: *four times along a 10 m walkway (intermittent walk-IW)* e *walking for 2 min on a 25 m oval circuit (continuous walk-CW)*. Tutti i soggetti indossavano un *accelerometro triassiale* nella zona lombare. I dati sono stati presentati a due diversi *software* *GAITRite* e *Axivity*. I parametri presi in considerazione sono stati 14, raggruppati in 5 classi: tempo, ritmo, asimmetria, variabilità e controllo posturale. I risultati hanno dimostrato che la combinazione tra protocollo CW e *software Axivity* ha ottenuto la performance migliore per quanto riguarda la classificazione. Entrambi i modelli di ML sono risultati validi. Viste le differenze evidenziate in questo studio, per ottenere una

valutazione più accurata e riproducibile possibile è necessario unificare protocolli e modelli di analisi²⁷.

De Oliveira Gondim nel 2020 effettua una revisione per individuare un protocollo comune nella valutazione dei parametri spazio-temporali del cammino tramite sensori indossabili. Non è stato possibile identificare delle linee guida standardizzate, ma è stato possibile evidenziare come ancora una volta il posizionamento più comune fosse quello più vicino al CoM, nella zona lombare ed all'altezza di L3-L4-L5. I dispositivi più utilizzati risultano sempre essere accelerometri triassiali, nello specifico AX3. I vantaggi dell'impiego di questa tecnologia risultano essere: costi minori, maneggiabilità, utilizzo pluricontestuale e possibilità di interpretazione dei risultati anche da personale non esperto. Continuano, però, a dimostrare minore accuratezza, precisione rispetto ai metodi validati, e ad essere particolarmente suscettibili a rumori e fattori esterni²⁸.

Gatsios nel 2020 verifica l'utilizzo dell'*mHealth platform*, composta da uno *smartphone*, uno *smartwatch* e in un paio di *smart insole*. 65 soggetti hanno portato a termine il protocollo, utilizzando la piattaforma collegata ad un *app Android* per circa 14 giorni. I risultati hanno confermato l'utilità del sistema nel collezionare i dati registrati dai sensori e nel valutare i sintomi della MP, in particolare la deambulazione e FOG²⁹.

Anand nel 2020 analizza l'utilizzo di sensori inerziali indossabili posizionati nei piedi, polsi, nella zona lombare e sternale, in 35 pazienti. Si avvale dell'utilizzo di un sensore *Opal*, composto da una IMU, un accelerometro triassiale, un giroscopio e un magnetometro. Questo dispositivo raccoglie 98 parametri in 2 minuti di camminata, successivamente elaborati dal *APDM Mobility Lab software*. I pazienti sono stati prima valutati attraverso la UPDRS. In particolare sono stati confrontati i punteggi ottenuti nella III parte (esclusivamente la parte che si occupa dei parametri riguardanti l'equilibrio e la postura) con i parametri misurati dai sensori dimostrando che: i dati più significativi sono stati raccolti dai sensori sui polsi e nella zona lombare/sternale. I sensori inerziali analizzati si sono mostrati attendibili nel raccogliere i parametri delle fluttuazioni dei sintomi motori in esame³⁰.

Del Din nel 2021 elabora una revisione sullo stato delle ricerche riguardo ai *Body Worn Sensor* (BWS). Questo studio ha messo in evidenza alcuni limiti di questi dispositivi: il loro utilizzo nella valutazione dell'equilibrio, delle oscillazioni in statica e della stabilità nei cambi di direzione è ancora confinato ad un ambiente clinico sotto supervisione di un esperto. Il motivo è la difficoltà a distinguere le posizioni dei segmenti corporei, per esempio la posizione seduta da una statica senza movimenti. Per questo la valutazione costante in un ambiente reale rimane una sfida, ancora avviene con un supporto video³¹.

Varghese nel 2021 ha condotto uno studio sulla validità dell'utilizzo degli *smartwatch* prodotti dalla Apple, come strumenti di rilevazione e valutazione dei disordini motori di individui affetti da MP. 260 pazienti hanno indossato 2 *smartwatch*, uno in ogni polso, ed hanno eseguito un esame neurologico condotto da un esperto. Il gruppo di controllo è composto da 89 soggetti sani. I dati vengono elaborati in un'app disponibile sul sistema *iOS*. I risultati hanno dimostrato la validità di questo dispositivo, ma per essere integrato nella routine clinica necessita di un'approvazione dei dispositivi medici³².

Rodriguez-Martin nel 2022, analizza un sensore che è il risultato di 12 anni di sviluppo, lo *STAT-ON™*, in grado di raccogliere informazioni sui sintomi motori anche in ambiente non clinico. La valutazione da parte dei medici risulta essere complicata e limitata dal fatto che le visite sono di solito effettuate ogni 6-9 mesi per una durata di circa 20 minuti. Prima della visita possono essere assunti farmaci che limitano i sintomi e in aggiunta può manifestarsi il cosiddetto effetto "*Hawthorne*" (variazione del comportamento in presenza di osservatori). Uno dei sintomi cardinali dei pazienti con PD è il *Freezing of Gait*, valutarlo è importante soprattutto per poter prescrivere una corretta terapia ai pazienti ed evitare il rischio caduta, ma è complicato in quanto risulta essere un sintomo contesto dipendente. Per la valutazione del FoG sono stati elaborati vari questionari come il "*freezing of gait questionnaire*" (FoGQ) e il "*new freezing of gait questionnaire*" (NFoG-Q), ampiamente criticati da alcuni esperti. Per queste ragioni l'utilizzo di sensori indossabili è fondamentale nella raccolta di parametri che permettono una valutazione accurata. I dispositivi con un'approvazione medica sul mercato globale risultano essere 4: *STAT-ON™*, *Kinesia*

360™, PD Monitor™, Personalized Kinetigraph™ (PKG™). Non è possibile comparare oggettivamente le varie tecnologie in quanto si avvalgono di posizionamenti nel corpo differenti e diverse basi di elaborazione dati. L'unica comparazione possibile è stata fatta tra STAT-ON™ e PKG™ da Granh², in cui STAT-ON™ risulta avere recensioni cliniche migliori. STAT-ON™ è un dispositivo che si posiziona al bacino, punto più vicino al CoM, scelta ponderata a seguito di numerose ricerche. È composto da: un dispositivo indossabile composto da due *accelerometri triassiali* con un peso di 86 grammi, una cintura e una stazione di ricarica con durata della batteria di circa 7 giorni. I parametri vengono trasferiti tramite un sistema *bluetooth* e vengono convertiti tramite un *software* in grafici di facile consultazione riguardo alla distribuzione dei sintomi nel periodo indagato.

Il punto di forza di questo dispositivo è il posizionamento vicino al CoM. Questo però è, al tempo stesso, anche una limitazione perchè non vengono registrati tutti i movimenti sintomatici delle estremità. Un punto a sfavore è la debolezza dell'algoritmo relativo alla valutazione del FoG, che in futuro può essere migliorato grazie allo sviluppo delle tecniche di ML. Nonostante alcune limitazioni, STAT-ON™ si è dimostrato un metodo di raccolta dati utile e attendibile per dare una svolta alla valutazione dei pazienti affetti da MP³³.

Tsakanikas nel 2023 decide di combinare 2 degli elementi più utilizzati nell'analisi del cammino: una IMU e una *instrumented insole*. 19 pazienti sono stati reclutati e hanno indossato una *instumented insole* con 16 sensori di pressione incorporati e 5 sensori di cui: 2 nei polsi, 1 nella caviglia e uno nel bacino, che vanno a comporre l'IMU. Il test consiste in un "Walk Straight and Turn Test"³⁴, mentre gli esperti eseguono la valutazione tramite l'item 3.10 del *MDS-UPDRS questionnaire*. I risultati ottenuti evidenziano che i parametri ottenuti dai due sistemi, se combinati attraverso metodi di *machine learning*, offrono una visione più accurata del cammino del paziente in confronto all'utilizzo di un solo metodo. Inoltre, è ipotizzato che l'utilizzo dell'IMU sia più adatto ad un ambiente domestico, mentre l'*insole strumented* ad un contesto clinico³⁵.

Tam ha pubblicato nel 2023 una revisione sistematica sui dispositivi indossabili che vengono utilizzati negli ospedali inglesi per la valutazione dei pazienti colpiti da MP.

La revisione è stata condotta dopo aver compreso il loro potenziale di migliorare il processo di valutazione dei pazienti e di ridurre i costi della loro gestione. Da questo studio è emerso che: ciò che i clinici si aspettano dall'utilizzo di questi dispositivi è ottenere la massima oggettività nella valutazione. Si è visto come la maggioranza utilizza un accelerometro posizionato nella regione lombare, più nello specifico la maggior parte si avvale dell'AX3³⁶.

Oyama nel 2023 presenta un nuovo tipo di sensore il *Verily Study Watch* (VSW), un sensore che alla vista risulta essere un orologio e raccoglie dati durante tutto l'arco della giornata. Al suo interno contiene un *software* (VME) che valuta diversi sintomi motori dando indicazioni sui movimenti da eseguire al paziente, tra cui instabilità posturale e cammino. Sono stati arruolati 96 pazienti che hanno accettato di indossare il VSW. I risultati hanno dimostrato che questo è un dispositivo valido ed accurato, soprattutto per aiutare i pazienti ad identificare l'alternarsi degli stati ON/OFF, dando un aiuto ulteriore ai medici al fine di personalizzare al meglio il trattamento³⁷.

CAPITOLO 4- DISCUSSIONE

Vengono ora analizzati con approccio critico i vari studi per verificarne la pertinenza verso l'obiettivo di questa revisione d'ambito, ovvero esaminare l'utilizzo dei sensori indossabili nella valutazione motoria di pazienti affetti da MP.

Lu mette in risalto le qualità di questi dispositivi, che hanno la potenzialità di andare oltre i limiti delle scale dovuti alla soggettività della somministrazione. I sensori non risentono di limitazioni temporali come, invece, accade per la valutazione clinica. Essi non fanno altro che raccogliere parametri cinematici spazio-temporali a cui viene attribuito un significato dopo l'elaborazione tramite modelli inferenziali.

La deambulazione è un'attività funzionale fondamentale per determinare il grado di indipendenza del paziente. È anche uno dei compiti motori più sensibile agli stati farmacologici ON/OFF, di cui risentono gli individui affetti da questo disordine neurodegenerativo. Per queste ragioni è necessaria una sua valutazione approfondita.

Mariani, Schlachetzki, e Tsakanikas hanno focalizzato il loro studio su questo aspetto, identificando diversi strumenti di valutazione con la medesima validità. Mariani impiega un dispositivo *On-shoe* che raccoglie i parametri in 3 dimensioni. L'obiettivo è quello di verificare la capacità del TUG di rilevare le variazioni della deambulazione. Le caratteristiche prese in considerazione sono state: velocità, lunghezza del passo, angolo di sterzata, fase di oscillazione e lunghezza del percorso. È emerso dall'analisi di tali risultati è che il TUG test non sia idoneo a captare le precoci variazioni, indici di un cambiamento nella fase di progressione della malattia. Il dispositivo ha dimostrato un'elevata affidabilità, dimostrando come un *continuous walking test* sia maggiormente attendibile. Schlachetzki si pone il quesito di quanto oggettivamente i sensori riescano a fornire una valutazione delle caratteristiche tipiche del cammino parkinsoniano. I parametri raccolti dai dispositivi sono stati comparati con i punteggi ottenuti dalla somministrazione della UPDRS-III, attestandone la veridicità. Tsakanikas sperimenta l'utilizzo di due tipologie di dispositivi diverse: un'unità IMU ed una *instrumented insole*. Il test consiste in un "*Walk Straight and Turn Test*". I risultati ottenuti dalla tecnologia sono, anche in questo caso, confrontati con i punteggi della UPDRS-III che accerta l'efficacia del metodo^{12,22,35}.

Uno dei sintomi direttamente proporzionale al rischio caduta è il FoG. Per questo motivo è fondamentale che le nuove tecnologie siano in grado di quantificare il rischio a cui il paziente è sottoposto, in modo da permettere ai clinici di erogare un trattamento il quanto più individualizzato possibile. Maetzler, Gatsios e Rodriguez Martin hanno prodotto degli studi che hanno come scopo quello di indagare tale impiego. Maetzler mette in evidenza come i sintomi assiali, tra cui il FoG, siano sintomi ad insorgenza tardiva e soltanto la tecnologia permette una rilevazione nelle fasi precoci. Il FoG spesso non si presenta durante le valutazioni in ambienti clinici, in quanto le scale di valutazione sono, il più delle volte, somministrate in condizioni ideali. Per queste ragioni sono stati esaminati vari studi, in cui i sensori sono stati collocati in corrispondenza del CoM. I risultati hanno evidenziato come, queste, siano tecnologie economiche, poco invasive ed affidabili. Gatsios propone un nuovo sistema di valutazione: *mHealth platform*. Il sistema di valutazione sfrutta 3 tipologie di sensori: uno *smartphone*, uno *smartwatch* ed un paio di *smart insole*. Tutti i dati vengono elaborati attraverso l'algoritmo di un'applicazione supportata da un sistema *Android*, in grado di quantificare i sintomi motori, in particolare la deambulazione e il FoG. Rodriguez Martin presenta il risultato di 12 anni di studio: lo STAT ON TM. Questa tipologia di sensore permette di valutare il FoG e quindi di quantificare il rischio caduta in ambiente quotidiano. La capacità di valutazione da remoto risulta fondamentale per la rilevazione di questo sintomo contesto-dipendente, che, in precedenza, veniva analizzato tramite la somministrazione di questionari FoGQ e NFoG-Q. Risulta essere uno dei 4 dispositivi globali ad aver ricevuto un'approvazione medica. È composto da due accelerometri triassiali posizionati in regione lombare, in prossimità del CoM. Questo permette una valutazione attendibile seppur con qualche limite dovuto al collocamento, distante dalle estremità, ed all'algoritmo^{13,29,33}.

Altre abilità motorie che, se compromesse, inficiano l'autonomia e la sicurezza nell'esecuzione di attività quotidiane sono equilibrio e stabilità posturale. Hubble, Ghislieri, Ferraris ed Anand si sono occupati di applicare queste tecnologie alla valutazione di tali ambiti. Hubble ha cercato di analizzare i parametri ed il collocamento presi in considerazione negli studi revisionati. È emerso che i dispositivi vengano maggiormente posizionati nella regione cranica frontale e nel rachide

lombare. L'*harmonic ratio* è il parametro che meglio permette ai dispositivi di quantificare il grado di compromissione dell'attività di *balance*. Ghislieri, nella revisione effettuata, ha constatato come, in posturologia, l'utilizzo di piattaforme stabilometriche sia ancora il metodo più utilizzato, grazie alla sua elevata affidabilità. Tuttavia, i sensori indossabili vengono considerati parte di un ambito con elevate potenzialità. Sono già state testate, con ottimi risultati, varie tipologie di sensori come *Opal*, accelerometri tridimensionali, bidimensionali e monodimensionali. Ferraris presenta una nuova tipologia di valutazione che si avvale di un'interfaccia *Windows*. Si tratta di un *software* che permette ai pazienti di eseguire un'auto-somministrazione della scala UPDRS per quanto riguarda gli item *Leg Agility (LA)*, *Arising from chair (AC)* and *Posture (Po)*. Viene inoltre valutata l'instabilità posturale tramite lo spostamento del centro di massa. Anand ha effettuato uno studio sperimentale basandosi sull'utilizzo del sensore *Opal* e del *APDM Mobility Lab software*. Il termine di paragone utilizzato sono stati i punteggi degli item riguardanti equilibrio e postura della UPDRS-III. I risultati considerati più attendibili sono stati ricondotti ad un collocamento del sensore a livello lombare e ulno-radiale distale^{19,25,26,30}.

Lo sviluppo della tecnologia mobile permette di sfruttare l'unità IMU degli *smartphone* e degli *smartwatch*, che consiste in un accelerometro 3D, un giroscopio 3D ed un compasso digitale. Ellis nel 2015 ha introdotto questo specifico ambito testando l'utilizzo dell'*Apple iPod Touch*. Il suo utilizzo ha dato buoni risultati, nonostante la presenza di limitazioni dovute al collocamento del dispositivo. Nel 2021 Su effettua studi sperimentali sull'utilizzo di un'*App* supportata dalle piattaforme *iPhone iOS*. Vengono confrontati i risultati elaborati dall'applicazione multimediale con i punteggi della scala UPDRS. L'utilizzo di questa piattaforma si è rivelato attendibile per la valutazione della velocità e della variabilità del passo. Arora nel 2015 affida la valutazione della deambulazione e di attività posturali ad un'applicazione fruibile sui sistemi operativi *Android*. È stato possibile attribuire validità a questa metodologia confrontando i risultati con la UPDRS somministrata. Varghese nel 2021 ha esaminato l'impiego degli *smartwatch Apple* per la registrazione delle variazioni dei sintomi motori. 260 soggetti affetti da MP hanno indossato 2 *smartwatch* e si sono sottoposti ad un esame neurologico. I dati, sono stati successivamente elaborati da

un'applicazione supportata da sistemi *iOS*. Questi dispositivi hanno dimostrato la loro validità, ma ancora non hanno ricevuto l'approvazione per essere utilizzati come dispositivi medici. Oyama nel 2023 presenta il VSW come dispositivo di valutazione remota composto dal software VME. Il paziente interagisce con il dispositivo, il quale indica i movimenti da eseguire in modo da registrare risultati volti a descrivere uno specifico quadro motorio. È risultato valido nella valutazione dello stato motorio e particolarmente efficace nella distinzione degli stati farmacologici, aiutando gli esperti nella personalizzazione del trattamento^{15,17,18,32,37}.

Oltre ai sintomi assiali già presi in considerazione, i pazienti affetti da MP riscontrano difficoltà nel passaggio da un'attività statica ad una dinamica. Questo dipende dalla corretta attivazione degli APA, la cui azione viene inibita dai disordini neurologici. Bonora nel 2015 sperimenta l'applicazione dei sensori indossabili nella valutazione degli APA e dello *step climbing* che fino ad allora venivano esaminati attraverso l'elettromiografia o complessi metodi di *motion-analysis*. Ai pazienti sottoposti a questa valutazione, è stato richiesto di deambulare e salire un gradino, muniti di un sensore posizionato nella gamba che inizia la marcia ed uno nella zona lombare. I risultati, prodotti dall'algoritmo che ha elaborato i dati, sono stati dimostrati validi grazie alla comparazione con gli esiti dell'esame effettuato sulla piattaforma stabilometrica¹⁴.

Ciò che garantisce l'affidabilità e la validità di queste tecnologie sono i modelli di analisi statistica e gli algoritmi che elaborano i dati raccolti dai sensori attribuendo loro un significato. La disciplina che sviluppa i modelli in grado di svolgere queste operazioni è la *Machine Learning* (ML). Otelas e Mileti nel 2018 hanno effettuato degli studi che vanno ad indagare questo campo. Otelas sviluppa un modello inferenziale in grado di garantire risultati oggettivi e validi nell'interpretazione dell'item *leg agility* della UPDRS, alimentato dai dati che vengono raccolti da due sensori inerziali posizionati alle caviglie. Mileti ha condotto uno studio sperimentale avvalendosi di un modello statistico che ha garantito risultati validi e in grado di distinguere le diverse fasi farmacologiche^{23,24}.

Dopo aver analizzato vari elaborati sull'applicazione di queste tecnologie in via di sviluppo, è nata l'esigenza di identificare una metodologia di utilizzo unificata

riguardo a posizione, numero di sensori e protocolli di valutazione. Godinho nel 2016 ha effettuato una revisione che volta ad esplorare tutti i tipi di sensori disponibili in commercio. Di questi ne definisce la metodologia di utilizzo più affine ed il sintomo motorio che meglio riesce a valutare in base sia alle caratteristiche dell'*hardware* che del *software*. Brognara ha prodotto uno studio che riassume le caratteristiche comuni degli studi analizzati. I parametri spazio-temporali analizzati di frequente sono: velocità, ritmo e lunghezza del passo. I dispositivi vengono spesso posizionati nella regione lombare e nelle estremità degli arti inferiori. Il numero è considerato variabile tra un minimo di 1 e un massimo di 8 sensori¹⁰. Rehman, considerata l'assenza di protocolli standardizzati, indaga l'applicazione di due diversi modelli statistici l'SVM e il RF combinati a diversi percorsi di valutazione (IW e CW), e a due tipologie di sensori diversi *GAITRite* e *Axivity*. I parametri analizzati sono stati raggruppati in 5 macro-classi: tempo, ritmo, asimmetria, variabilità e controllo posturale. Si è concluso che entrambe i modelli statistici sono validi, ma la combinazione che ha prodotto l'outcome con meno errore è stata CW-Axivity²⁷. De Oliveira e Tam, identificano come collocamento più diffuso quello nella regione lombare (L3-L4-L5), in corrispondenza del CoM. Axivity è la tipologia di sensore che ha dimostrato avere una maggiore rilevanza. Attualmente il campo dei sensori indossabili risulta essere ancora in fase di sviluppo. Nonostante i risultati promettenti, ci sono ancora delle limitazioni che non ne consentono un utilizzo diffuso nella pratica clinica^{28,36}. Espay riassume le delibere della *International Parkinson and Movement Disorders Society Task Force* che dichiara come sia necessario integrare nella pratica quotidiana questa tecnologia. Complice di ciò, è anche la condizione di sviluppo di questi sistemi di valutazione su piattaforme incapaci di interagire con i sistemi medici di raccolta dati²¹. Del Din espone alcuni limiti che devono essere superati da questi dispositivi, sfruttando la continua ricerca che contraddistingue questo ambito di interesse. Secondo i suoi studi, la valutazione dell'equilibrio e della stabilità posturale necessita tutt'ora di supervisione e di un supporto video che viene analizzato da un esperto. Questo consegue alla difficoltà dei sensori di distinguere la posizione dei segmenti corporei in situazioni similari di statica³¹.

4.1-Limiti

Il lavoro condotto presenta dei limiti oggettivi. Il numero di soggetti considerati nei campioni è ridotto, è auspicabile che vengano condotti studi con campioni più numerosi. Trattandosi di una tesi di laurea il lavoro di ricerca degli studi, selezione ed estrazione dei contenuti è stato svolto da una sola persona. Per questo motivo non è stata necessaria la formulazione di un protocollo di revisione ed eventuale registrazione. Nell'elaborato sono stati inclusi studi la cui affidabilità scientifica non risulta attestabile.

CONCLUSIONI

La MP è un disturbo cronico progressivo degenerativo che colpisce il sistema nervoso centrale. I sintomi motori che ne derivano sono la causa del declino qualitativo della vita del paziente. Per tale ragione è di fondamentale importanza identificare strumenti di valutazione adeguati.

Dalla mappatura della letteratura è emerso che la maggior parte delle fonti sia concorde nel considerare valido l'utilizzo di sensori inerziali indossabili nella valutazione motoria dei pazienti affetti da MP. Dall'analisi di precedenti studi ne è conseguito che, le scale di misura, utilizzate nella valutazione motoria di tali soggetti, siano poco attendibili, fruibili o utili nell'ambito della riabilitazione. Per questa ragione ha iniziato a diffondersi l'idea che la tecnologia potesse riuscire a superare i limiti a cui erano sottoposte le scale convenzionali. I sensori sono in grado di valutare oggettivamente i sintomi motori anche in ambiente quotidiano, evitando le limitazioni temporali a cui sono sottoposte le visite cliniche. Un aspetto considerevole è l'eliminazione del fattore emozionale che spesso compromette, in positivo o in negativo, la performance del paziente. La tecnologia permette di ridurre al minimo la soggettività della valutazione, in quanto la somministrazione delle scale è operatore-dipendente. Un'opinione condivisa da più autori, è che questo sia un ambito clinico ancora in via di sviluppo, che necessita di ulteriori approfondimenti, soprattutto con lo scopo di individuare una metodologia di utilizzo standardizzata. 15 studi sono concordi nell'affermare che il collocamento prediletto risulta essere nella regione lombare, seguito dalla zona sternale, dalla caviglia/malleolo e dai polsi. Il numero di dispositivi che viene posizionato sui segmenti corporei risulta essere variabile, sia in base alle caratteristiche fisiche del sensore, sia in base al sintomo oggetto di studio. Non risulta essere presente un protocollo di valutazione, ogni elaborato applica questi dispositivi a diversi test (TUG, IW, CW). Validità ed affidabilità dei risultati prodotti da questi strumenti sono state verificate attraverso la somministrazione di sistemi *gold standard*. Grazie al continuo sviluppo della tecnologia, è possibile sfruttare oggetti di uso quotidiano per registrare dati sulle variazioni sintomatologiche. 4 elaborati si sono occupati di dimostrare l'efficacia dell'utilizzo di *smartphone* e *smartwatch*,

definendoli idonei alla valutazione. La possibilità di monitorare i sintomi in modo continuo permette la massima individualizzazione del trattamento farmacologico. Seppur i risultati enunciati dagli studi siano alquanto promettenti, ad oggi sono necessarie ulteriori ricerche volte a perfezionare l'utilizzo dei sensori inerziali indossabili, in modo che possano essere integrati nella *routine* clinica.

BIBLIOGRAFIA

¹ Beitz JM. Parkinson's disease: a review. *Front Biosci (Schol Ed)*. 2014 Jan 1;6(1):65-74. doi: 10.2741/s415. PMID: 24389262.

² Samuel D. Kim, Natalie E. Allen, Colleen G. Canning and Victor S.C. Fung. B.L. Day and S.R. Lord. *Handbook of Clinical Neurology*. Vol. 159 (3rd series) Balance, Gait, and Falls- Chapter 11. Editors <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00011-2> Copyright © 2018 Elsevier B.V. All rights reserved

³ Homayoun H. Parkinson Disease. *Ann Intern Med*. 2018 Sep 4;169(5): ITC33-ITC48. doi: 10.7326/AITC201809040. PMID: 30178019.

⁴ Stoker TB, Greenland JC, editors. *Parkinson's Disease: Pathogenesis and Clinical Aspects* [Internet]. Brisbane (AU): Codon Publications; 2018 Dec 21. PMID: 30702835.

⁵ Poewe W. The natural history of Parkinson's disease. *J Neurol*. 2006 Dec;253 Suppl 7:VII2-6. doi: 10.1007/s00415-006-7002-7. PMID: 17131223.

⁶ Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease. *Lancet*. 2015 Aug 29;386(9996):896-912. doi: 10.1016/S0140-6736(14)61393-3. Epub 2015 Apr 19. PMID: 25904081.

⁷ Cova I, Priori A. Diagnostic biomarkers for Parkinson's disease at a glance: where are we? *J Neural Transm (Vienna)*. 2018 Oct;125(10):1417-1432. doi: 10.1007/s00702-018-1910-4. Epub 2018 Aug 25. PMID: 30145631; PMCID: PMC6132920.

⁸ Tysnes OB, Storstein A. Epidemiology of Parkinson's disease. *J Neural Transm* (Vienna). 2017 Aug;124(8):901-905. doi: 10.1007/s00702-017-1686-y. Epub 2017 Feb 1. PMID: 28150045.

⁹ Opara J, Małeckı A, Małeckı E, Socha T. Motor assessment in Parkinson's disease. *Ann Agric Environ Med*. 2017 Sep 21;24(3):411-415. doi: 10.5604/12321966.1232774. Epub 2017 May 11. PMID: 28954481.

¹⁰ Brognara L, Palumbo P, Grimm B, Palmerini L. Assessing Gait in Parkinson's Disease Using Wearable Motion Sensors: A Systematic Review. *Diseases*. 2019 Feb 5;7(1):18. doi: 10.3390/diseases7010018. PMID: 30764502; PMCID: PMC6473911.

¹¹ Lu R, Xu Y, Li X, Fan Y, Zeng W, Tan Y, Ren K, Chen W, Cao X. Evaluation of Wearable Sensor Devices in Parkinson's Disease: A Review of Current Status and Future Prospects. *Parkinsons Dis*. 2020 Sep 23;2020:4693019. doi: 10.1155/2020/4693019. PMID: 33029343; PMCID: PMC7530475.

¹² Mariani B, Jiménez MC, Vingerhoets FJ, Aminian K. On-shoe wearable sensors for gait and turning assessment of patients with Parkinson's disease. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2013 Jan;60(1):155-8. doi: 10.1109/TBME.2012.2227317. PMID: 23268531.

¹³ Maetzler W, Domingos J, Srulijes K, Ferreira JJ, Bloem BR. Quantitative wearable sensors for objective assessment of Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2013 Oct;28(12):1628-37. doi: 10.1002/mds.25628. Epub 2013 Sep 12. PMID: 24030855.

¹⁴ Bonora G, Carpinella I, Cattaneo D, Chiari L, Ferrarin M. A new instrumented method for the evaluation of gait initiation and step climbing based on inertial sensors: a pilot application in Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil*. 2015 May 5;12:45. doi: 10.1186/s12984-015-0038-0. PMID: 25940457; PMCID: PMC4419387.

¹⁵ Ellis RJ, Ng YS, Zhu S, Tan DM, Anderson B, Schlaug G, Wang Y. A validated smartphone-based assessment of gait and gait variability in Parkinson's disease. *PLoS One*. 2015 Oct 30;10(10):e0141694. doi: 10.1371/journal.pone.0141694.

¹⁴Manor B, Yu W, Zhu H, Harrison R, Lo O, Lipsitz L, Trivison T, Pascual-Leone A, Zhou J. Smartphone app-based assessment of gait during normal and dual-task walking: demonstration of validity and reliability. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018 Jan 30;6(1):e36. doi: 10.2196/mhealth.8815.

¹⁶ Grahn F,. Evaluation of Two Commercial Sensor Systems for Monitoring Parkinsonism Their Possible Influence on Management of Parkinson's Disease. Institute of Neuroscience Physiology Sahlgrenska Academy University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden (2022). p. 1–51.

¹⁷Su D, Liu Z, Jiang X, Zhang F, Yu W, Ma H, Wang C, Wang Z, Wang X, Hu W, Manor B, Feng T, Zhou J. Simple Smartphone-Based Assessment of Gait Characteristics in Parkinson Disease: Validation Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2021 Feb 19;9(2):e25451. doi: 10.2196/25451. PMID: 33605894; PMCID: PMC7935653.

¹⁸ Arora S, Venkataraman V, Zhan A, Donohue S, Biglan KM, Dorsey ER, Little MA. Detecting and monitoring the symptoms of Parkinson's disease using smartphones: A pilot study. *Parkinsonism Relat Disord*. 2015 Jun;21(6):650-3. doi: 10.1016/j.parkreldis.2015.02.026. Epub 2015 Mar 7. PMID: 25819808.

¹⁹ Hubble RP, Naughton GA, Silburn PA, Cole MH. Wearable sensor use for assessing standing balance and walking stability in people with Parkinson's disease: a systematic review. *PLoS One*. 2015 Apr 20;10(4):e0123705. doi: 10.1371/journal.pone.0123705. PMID: 25894561; PMCID: PMC4403989.

²⁰ Godinho C, Domingos J, Cunha G, Santos AT, Fernandes RM, Abreu D, Gonçalves N, Matthews H, Isaacs T, Duffen J, Al-Jawad A, Larsen F, Serrano A, Weber P, Thoms A, Sollinger S, Graessner H, Maetzler W, Ferreira JJ. A systematic review of

the characteristics and validity of monitoring technologies to assess Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil.* 2016 Mar 12;13:24. doi: 10.1186/s12984-016-0136-7. Erratum in: *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13(1):71. PMID: 26969628; PMCID: PMC4788909.

²¹ Espay AJ, Bonato P, Nahab FB, Maetzler W, Dean JM, Klucken J, Eskofier BM, Merola A, Horak F, Lang AE, Reilmann R, Giuffrida J, Nieuwboer A, Horne M, Little MA, Litvan I, Simuni T, Dorsey ER, Burack MA, Kubota K, Kamondi A, Godinho C, Daneault JF, Mitsi G, Krinke L, Hausdorff JM, Bloem BR, Papapetropoulos S; Movement Disorders Society Task Force on Technology. Technology in Parkinson's disease: Challenges and opportunities. *Mov Disord.* 2016 Sep;31(9):1272-82. doi: 10.1002/mds.26642. Epub 2016 Apr 29. PMID: 27125836; PMCID: PMC5014594.

²² Schlachetzki JCM, Barth J, Marxreiter F, Gossler J, Kohl Z, Reinfelder S, Gassner H, Aminian K, Eskofier BM, Winkler J, Klucken J. Wearable sensors objectively measure gait parameters in Parkinson's disease. *PLoS One.* 2017 Oct 11;12(10):e0183989. doi: 10.1371/journal.pone.0183989. PMID: 29020012; PMCID: PMC5636070.

²³ Ornelas-Vences C, Sánchez-Fernández LP, Sánchez-Pérez LA, Martínez-Hernández JM. Computer model for leg agility quantification and assessment for Parkinson's disease patients. *Med Biol Eng Comput.* 2019 Feb;57(2):463-476. doi: 10.1007/s11517-018-1894-0. Epub 2018 Sep 13. PMID: 30215213.

²⁴ Mileti I, Germanotta M, Di Sipio E, Imbimbo I, Pacilli A, Erra C, Petracca M, Rossi S, Del Prete Z, Bentivoglio AR, Padua L, Palermo E. Measuring Gait Quality in Parkinson's Disease through Real-Time Gait Phase Recognition. *Sensors (Basel).* 2018 Mar 20;18(3):919. doi: 10.3390/s18030919. PMID: 29558410; PMCID: PMC5876748.

- ²⁵ Ghislieri M, Gastaldi L, Pastorelli S, Tadano S, Agostini V. Wearable Inertial Sensors to Assess Standing Balance: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2019 Sep 20;19(19):4075. doi: 10.3390/s19194075. PMID: 31547181; PMCID: PMC6806601.
- ²⁶ Ferraris C, Nerino R, Chimienti A, Pettiti G, Cau N, Cimolin V, Azzaro C, Priano L, Mauro A. Feasibility of Home-Based Automated Assessment of Postural Instability and Lower Limb Impairments in Parkinson's Disease. *Sensors (Basel)*. 2019 Mar 5;19(5):1129. doi: 10.3390/s19051129. PMID: 30841656; PMCID: PMC6427119.
- ²⁷ Rehman RZU, Del Din S, Shi JQ, Galna B, Lord S, Yarnall AJ, Guan Y, Rochester L. Comparison of Walking Protocols and Gait Assessment Systems for Machine Learning-Based Classification of Parkinson's Disease. *Sensors (Basel)*. 2019 Dec 5;19(24):5363. doi: 10.3390/s19245363. PMID: 31817393; PMCID: PMC6960714.
- ²⁸ de Oliveira Gondim ITG, de Souza CCB, Rodrigues MAB, Azevedo IM, de Sales Coriolano MDGW, Lins OG. Portable accelerometers for the evaluation of spatio-temporal gait parameters in people with Parkinson's disease: an integrative review. *Arch Gerontol Geriatr*. 2020 Sep-Oct;90:104097. doi: 10.1016/j.archger.2020.104097. Epub 2020 May 13. PMID: 32531644.
- ²⁹ Gatsios D, Antonini A, Gentile G, Marcante A, Pellicano C, Macchiusi L, Assogna F, Spalletta G, Gage H, Touray M, Timotijevic L, Hodgkins C, Chondrogiorgi M, Rigas G, Fotiadis DI, Konitsiotis S. Feasibility and Utility of mHealth for the Remote Monitoring of Parkinson Disease: Ancillary Study of the PD_manager Randomized Controlled Trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020 Jun 29;8(6):e16414. doi: 10.2196/16414. PMID: 32442154; PMCID: PMC7367523.
- ³⁰ Anand V, Bilal E, Ho B, Rice JJ. Towards motor evaluation of Parkinson's Disease Patients using wearable inertial sensors. *AMIA Annu Symp Proc*. 2021 Jan 25;2020:203-212. PMID: 33936392; PMCID: PMC8075509.

³¹ Del Din S, Kirk C, Yarnall AJ, Rochester L, Hausdorff JM. Body-Worn Sensors for Remote Monitoring of Parkinson's Disease Motor Symptoms: Vision, State of the Art, and Challenges Ahead. *J Parkinsons Dis.* 2021;11(s1):S35-S47. doi: 10.3233/JPD-202471. PMID: 33523020; PMCID: PMC8385520.

³² Varghese J, Alen CMV, Fujarski M, Schlake GS, Sucker J, Warnecke T, Thomas C. Sensor Validation and Diagnostic Potential of Smartwatches in Movement Disorders. *Sensors (Basel).* 2021 Apr 30;21(9):3139. doi: 10.3390/s21093139. PMID: 33946494; PMCID: PMC8124167.

³³ Rodríguez-Martín D, Cabestany J, Pérez-López C, Pie M, Calvet J, Samà A, Capra C, Català A, Rodríguez-Moliner A. A New Paradigm in Parkinson's Disease Evaluation With Wearable Medical Devices: A Review of STAT-ONTM. *Front Neurol.* 2022 Jun 2;13:912343. doi: 10.3389/fneur.2022.912343. PMID: 35720090; PMCID: PMC9202426.

³⁴ Chatzaki C, Skaramagkas V, Kefalopoulou Z, Tachos N, Kostikis N, Kanellos F, Triantafyllou E, Chroni E, Fotiadis DI, Tsiknakis M. Can Gait Features Help in Differentiating Parkinson's Disease Medication States and Severity Levels? A Machine Learning Approach. *Sensors (Basel).* 2022 Dec 16;22(24):9937. doi: 10.3390/s22249937. PMID: 36560313; PMCID: PMC9787905.

³⁵ Tsakanikas V, Ntanis A, Rigas G, Androutsos C, Boucharas D, Tachos N, Skaramagkas V, Chatzaki C, Kefalopoulou Z, Tsiknakis M, Fotiadis D. Evaluating Gait Impairment in Parkinson's Disease from Instrumented Insole and IMU Sensor Data. *Sensors (Basel).* 2023 Apr 12;23(8):3902. doi: 10.3390/s23083902. PMID: 37112243; PMCID: PMC10143543

³⁶Tam W, Alajlani M, Abd-Alrazaq A. An Exploration of Wearable Device Features Used in UK Hospital Parkinson Disease Care: Scoping Review. *J Med Internet Res.* 2023 Aug 18;25:e42950. doi: 10.2196/42950. PMID: 37594791.

³⁷ Oyama G, Burq M, Hatano T, Marks WJ Jr, Kapur R, Fernandez J, Fujikawa K, Furusawa Y, Nakatome K, Rainaldi E, Chen C, Ho KC, Ogawa T, Kamo H, Oji Y, Takeshige-Amano H, Taniguchi D, Nakamura R, Sasaki F, Ueno S, Shiina K, Hattori A, Nishikawa N, Ishiguro M, Saiki S, Hayashi A, Motohashi M, Hattori N. Analytical and clinical validity of wearable, multi-sensor technology for assessment of motor function in patients with Parkinson's disease in Japan. *Sci Rep.* 2023 Mar 14;13(1):3600. doi: 10.1038/s41598-023-29382-6. PMID: 36918552; PMCID: PMC10015076.

Allegato I: Tabella sinottica studi primari

Studio	Tipologia di studio	Obbiettivo	Tipologia di sensore	Risultati/Conclusioni
Mariani B, 2012	Studio osservazionale Analitico trasversale 10 soggetti affetti da MP e 10 soggetti di controllo	Presentare un nuovo tipo di sensore “ <i>on-shoe</i> ” che valuta i parametri spazio-temporali del cammino durante il TUG e altri test del cammino.	<i>On-shoe</i> composto da un accelerometro triassiale, un giroscopio, un controller ed una batteria.	I risultati hanno indicato un’elevata accuratezza soprattutto nei parametri di velocità del passo 2.8 ± 2.4 cm/s e lunghezza del passo 1.3 ± 3.0 cm. Sono inoltre stati presi in considerazione nuovi parametri come: la sterzata, l’oscillazione del tronco e la lunghezza del percorso. Si è dimostrata quindi la validità di questi dispositivi sia per un utilizzo clinico sia per uno quotidiano.

Arora S, 2015	Studio sperimentale 10 soggetti affetti da MP e 10 controllo	Verificare l'accuratezza di una <i>App</i> nella valutazione di cammino e postura.	Smartphone Android	I pazienti hanno utilizzato l' <i>app</i> per un mese, eseguendo gli esercizi guidati per 4 volte al giorno. I risultati comparati con i punteggi della UPDRS si sono dimostrati validi.
Bonora G, 2015	Studio sperimentale Trial clinico randomizzato 11 soggetti affetti da MP e 20 casi controllo	Dimostrare la validità del metodo proposto per la valutazione degli APA sia per quanto riguarda il cammino, sia per lo <i>step climbing</i>	TMA Tecnobody	Il metodo in questione è stato comparato con i risultati di una piattaforma stabilometrica che ne ha dimostrato la validità nell'analizzare gli APA durante la marcia.

<p>Schlachetzki J, 2017</p>	<p>Studio osservazionale Analitico longitudinale e trasversale 63 pazienti affetti da MP per lo studio longitudinale 190 soggetti affetti da MP e 101 di controllo per lo studio trasversale</p>	<p>Dimostrare la validità dei sensori nel raccogliere dati sugli aspetti biomeccanici della deambulazione.</p>	<p>Shimmer Sensing</p>	<p>I risultati ottenuti da entrambi gli studi sono stati comparati con i punteggi nella UPDRS-III, dimostrando l'accuratezza di tale metodo.</p>
---------------------------------	--	--	----------------------------	--

Mileti I, 2018	Studio sperimentale 26 pazienti affetti da MP e 11 di controllo	Analizzare l'utilizzo di un modello di ML per la valutazione delle 4 fasi del passo	IMU e sensori resistivi	I dati raccolti dalla combinazione dei vari dispositivi sono stati elaborati da un modello di ML che ha dimostrato, oltre alla validità, una particolare adattabilità anche agli stati farmacologici <i>ON/OFF.</i>
-------------------	---	--	----------------------------	---

Ornelas C, 2018	Studio sperimentale 50 soggetti affetti da MP	Indagare l'utilizzo di un nuovo modulo di elaborazione dati per la valutazione dell'item <i>leg agility</i>	IMU	I pazienti si sono sottoposti al test indossando 2 sensori posizionati nelle caviglie. I risultati hanno confermato che si tratta di un metodo valido per la valutazione e la quantificazione delle variabili biomeccaniche del <i>leg agility test</i> .
Rehman RZU, 2019	Studio osservazionale analitico trasversale 93 pazienti affetti da MP senza compromissione cognitiva e 103 soggetti nel gruppo di controllo	Comparazione fra 2 tipologie di sensori, 2 protocolli di valutazione e 2 modelli di elaborazione dati	GAITRite e Axivity	Dallo studio è risultato che la combinazione che ha ottenuto la performance di valutazione migliore è stata Axivity e SVM, con protocollo CW.

Ferraris C, 2019	Studio sperimentale 14 soggetti affetti da MP e 20 di controllo	Dimostrare l'accuratezza di un sistema di UPDRS automatizzata in ambiente non clinico	Interfaccia con computer e sistema operativo windows	Il sistema in questione consiste in una UPDRS auto- somministrata dal paziente, somministrando solo gli item compatibili per un ambiente non clinico. I risultati sono stati comparati con un sistema gold- standard che ne ha appurato la validità.
---------------------	---	---	--	--

Gatsios D, 2020	Studio sperimentale Trial clinico randomizzato 65 soggetti affetti da MP	Valutare la validità dell' <i>mHealth technology</i>	Smartwatch, smartphone e <i>smart insole</i>	65 pazienti hanno indossato per 14 giorni i sensori, smartwatch, smartphone e smart insole, un'app sul sistema operativo Android ha elaborato i dati dimostrando la validità della tecnologia, in particolare nella valutazione dicammino e FoG.
Su D, 2021	Studio sperimentale 52 pazienti con età tra 25-80 anni, a cui è stata diagnosticata MP e abili alla deambulazione	Verificare la validità di una <i>app</i> per smartphone	Smartphone iOS	Questa <i>app</i> è in grado di registrare la velocità e la variabilità del cammino, che è stato valutato in percorsi di 20m con una curva.

Varghese J, 2021	Studio sperimentale 260 pazienti affetti da MP e 89 controlli	Analizzare l'affidabilità degli smartwatch Apple nella valutazione dei sintomi motori	Smartwatch Apple	I dati sono elaborati da un modello di ML tramite un' <i>app</i> sul sistema operativo iOS. Si è dimostrata la validità dello strumento che deve, però, attendere la certificazione di approvazione come dispositivo medico.
---------------------	---	---	---------------------	--

Anand V, 2021	Studio sperimentale Reclutati 35 pazienti affetti da MP	Valutare l'attendibilità del sensore e verificare quale collocazione dei sensori risultava avere gli <i>outcome</i> migliori	Opal	È stato richiesto ai pazienti di indossare diversi sensori collocati sui polsi, sterno, zona lombare e piedi. I risultati ottenuti sono stati comparati con i punteggi ottenuti dalla somministrazione della UPDRS, ciò ha dimostrato la validità del sensore, soprattutto se posizionato nella zona lombare e nei polsi.
---------------	--	--	------	---

Tsakanikas V,2023	Studio sperimentale 19 soggetti con MP	Analizzare un metodo basato sulla combinazione di 2 sensori per la valutazione della deambulazione	IMU sensor e <i>Instrumented</i> <i>Insole</i>	I risultati ottenuti dalla combinazione dell'utilizzo delle due tipologie di sensori hanno fornito un quadro di valutazione più completo rispetto ai MDS- UPDRS questionnaire somministrati dagli esperti.
Oyama G, 2023	Studio sperimentale 96 pazienti affetti da MP	Verificare la validità del VSW	VSW	Questo nuovo tipo di sensore è stato ritenuto valido nella valutazione dei sintomi motori ed inoltre anche ben tollerato.

Allegato II: Tabella sinottica studi secondari

Studio	Tipologia di studio	Obbiettivo	Tipologia di sensore	Risultati/Conclusione
Maetzler W, 2013	Revisione	Analizza i diversi collocamenti dei sensori in base al sintomo da valutare.	Accelerometro triassiale Smartphone	Questa tecnologia permette di captare anche le minime variazioni sintomatiche, in modo da poter gestire la malattia già nelle fasi precoci e di poter prevedere la comparsa di episodi di FOG. I sensori sono strumenti a basso costo che permettono una valutazione prolungata nel tempo.
Espay A.J., 2016	Revisione	Raccogliere gli enunciati della <i>International Parkinson and Movement Disorders Society Task Force</i> sulla tecnologia		Le delibere sono a favore di questo campo di innovazione e ritengono necessario che vengano integrate maggiormente con la pratica clinica.
Godinho C, 2016	Revisione sistematica	Classificazione dei sensori indossabili disponibili		Ogni sensore, tenendo conto dell'hardware e dell'adattabilità, viene utilizzato per valutare specifici sintomi.

Hubble R, 2015	Revisione sistematica	Utilizzo dei sensori nella valutazione dell'equilibrio e delle stabilità posturale		Da questa revisione è emerso che il parametro più misurato è stato l'harmonic ratio. Il collocamento dei sensori risultato più idoneo è stato sulla nuca e nella zona lombare.
Ghislieri M, 2019	Revisione sistematica	Impiego dei sensori nella valutazione di equilibrio e delle oscillazioni del tronco in statica		Nell'ambito della posturologia per la valutazione ci si avvale di una piattaforma stabilometrica, considerata il <i>gold standard</i> . I risultati ottenuti dalla valutazione dei sensori sono stati comparati con quelli di una piattaforma, dimostrando la validità del metodo.

Brognar a L, 2019	Revisione	Riassunto delle tecnologie disponibili degli ultimi 10 anni, in modo da identificare un protocollo di utilizzo		La deambulazione è una delle facoltà che compromette maggiormente l'autonomia dei pazienti, per questo è importante valutarne anche i più piccoli cambiamenti. I sensori indossabili risultano un valido strumento, ma la loro collocazione e il numero continua ad essere molto variabile.
Lu R, 2020	Revisione	Raccogliere le esperienze di pazienti e clinici in modo da espandere le conoscenze su questo ambito di interesse		I sensori permettono di oltrepassare i limiti a cui sono sottoposte le scale nella valutazione dei parametri. Tuttavia le connessioni <i>bluetooth</i> e i <i>software</i> necessari non permettono l'utilizzo in autonomia a persone anziane.

De Oliveira G, 2020	Revisione	Ricerca di un protocollo unificato per quanto riguarda l'utilizzo dei sensori		Non è stato possibile identificare un unico protocollo, ma ancora una volta il collocamento nella zona lombare risulta essere il più utilizzato. Il sensore maggiormente impiegato è Axivity.
Del Din S, 2021	Revisione	Stato delle ricerche per quanto riguarda i BWS.		Risultano ancora vari limiti nell'utilizzo di questa tecnologia. Nella valutazione dell'equilibrio e della stabilità posturale i pazienti necessitano di supervisione, a causa delle difficoltà di tali tecnologie a riconoscere il posizionamenti dei vari segmenti corporei durante la statica.

Rodríguez,2022	Revisione	Presentare uno specifico sensore	STAT ON™	Questo sensore è il risultato di 12 anni di studi. Il punto di forza e il punto debole coincidono: viene posizionato vicino al CoM. I risultati analizzati lo identificano come un valido strumento per la valutazione del cammino di pazienti affetti da MP, in particolare del FoG.
Tam W, 2023	Scoping review	Sensori indossabili utilizzati negli ospedali in UK		Di tutti gli articoli presi in considerazione, il sensore più utilizzato è risultato essere l'Axivity posizionato nella regione lombare.