



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## **Università degli Studi di Genova**

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

### **Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici**

A.A. 2022/2023

Campus Universitario di Savona

**“L’utilizzo dello smartphone nella valutazione della funzionalità del ginocchio: quali applicazioni permettono le misurazioni più accurate?”**

Candidato: Dott. FT Tommaso Tagliaferri

Relatore: Dott. FT OMPT Luca Francini

## Sommario

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>1.INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.MATERIALI E METODI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Disegno dello studio .....	6
2.2 Strategie di ricerca.....	6
2.3 Stringa di ricerca.....	7
2.4 Selezione degli articoli.....	8
<b>3.RISULTATI.....</b>	<b>9</b>
3.1 Processo di selezione degli articoli.....	9
3.2 Flow Chart di selezione degli articoli.....	9
3.3 Tabella sinottica degli articoli selezionati.....	10
<b>4.DISCUSSIONE .....</b>	<b>19</b>
4.1 Proprietà psicometriche degli strumenti per valutare il ROM .....	19
4.2 Utilità clinica delle app per misurare il ROM .....	20
4.3 Sintesi dei risultati.....	21
4.4 Applicazioni analizzate .....	21
4.4.1 Dr.Goniometer .....	22
4.4.2 Knee Goniometer .....	25
4.4.3 Angle.....	27
4.4.4 Misura di Apple iPhone .....	21
4.4.5 Coach's Eye .....	28
4.4.6 Simple Goniometer .....	30
4.4.7 My Proprioception .....	30
4.4.8 i-Goni .....	31
4.4.9 PT Goniometer .....	32
4.4.10 Web app apposita .....	33
4.4.11 Goniometer Pro.....	33
4.4.12 Curovate.....	34
4.5 Possibili implicazioni cliniche.....	34
4.6 Limiti e punti di forza dello studio .....	35
<b>5.CONCLUSIONI .....</b>	<b>36</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>37</b>

## ABSTRACT

**Background:** Nella riabilitazione dei disordini muscoloscheletrici del ginocchio la misurazione del ROM rappresenta frequentemente un parametro clinico molto rilevante. Negli ultimi anni sono in aumento le pubblicazioni che studiano l'utilizzo dello smartphone come strumento per valutare la funzionalità dei principali distretti corporei, compreso il ginocchio. Questo studio ha cercato di riassumere le evidenze presenti in letteratura riguardo all'utilizzo di applicazioni per smartphone sviluppate appositamente per essere degli strumenti validi ed accessibili nella misurazione del ROM di ginocchio.

**Obiettivo:** Lo scopo di questo elaborato è quello di indagare l'efficacia delle applicazioni per smartphone nella valutazione del ROM del ginocchio, confrontando quelle esistenti al fine di individuare le maggiormente utili al Fisioterapista.

**Disegno di studio:** revisione narrativa della letteratura.

**Materiali e metodi:** la revisione narrativa ha utilizzato la banca dati MEDLINE tramite il motore di ricerca Pubmed. Nell'analisi sono stati inclusi studi che fanno riferimento ad applicazioni specifiche per smartphone, senza l'utilizzo di software per pc o di analisi del movimento, comparate con strumenti di misura convenzionali. Sono stati esclusi studi in lingue diverse da italiano e inglese. La ricerca è stata condotta da Ottobre 2022 a Maggio 2023.

**Risultati:** la ricerca effettuata ha condotto inizialmente all'identificazione di 287 record. Successivamente alla lettura del titolo ne sono stati esclusi 229, poi dopo la lettura degli abstract ne sono stati esclusi altri 16. Dei rimanenti 42 articoli ne sono poi stati esclusi 27 in seguito alla lettura del full-text. Sono stati pertanto inclusi 15 articoli per la stesura della revisione.

**Conclusioni:** dalla revisione sono emerse 12 app, delle quali solamente 6 sono attualmente disponibili per il download. Data l'analisi degli studi, sembra che le applicazioni Dr.Goniometer e Angle siano quelle attualmente più consigliate per un loro utilizzo in clinica, con la prima disponibile solo per dispositivi iOS e la seconda solo per dispositivi Android. Entrambe possono essere usate sia in contesti statici che dinamici come il cammino.

## 1. INTRODUZIONE

L'utilizzo degli smartphone nella pratica clinica dei professionisti sanitari è in continuo aumento negli ultimi anni grazie al crescente numero di applicazioni che vengono sviluppate, rendendo così lo smartphone un vero e proprio dispositivo medico [1]. Le applicazioni che possono essere usate nell'ambito della salute umana attualmente disponibili sono numerose, e la maggior parte di esse fa uso di hardware propri degli smartphone (ad esempio fotocamera o giroscopio) per ottenere delle misure utili per la pratica clinica [2], in particolare per la goniometria articolare.

Per quanto riguarda il ginocchio, l'abilità del clinico nella misurazione dell'arco di movimento è una componente fondamentale per monitorare il progresso della riabilitazione, in seguito ad esempio a riparazione chirurgica o artroplastica [3], in quanto molto frequentemente può essere presente una sua riduzione nelle più comuni patologie muscoloscheletriche di questo distretto. Il range di movimento, sia attivo che passivo, rappresenta spesso una delle misure di outcome più rilevanti, soprattutto in quanto un adeguato ROM di ginocchio è una componente necessaria per molte attività funzionali della vita quotidiana, ad esempio il cammino e il fare le scale [4].

Data la rilevanza clinica dell'articolarietà passiva e attiva di ginocchio nel processo di guarigione delle patologie muscoloscheletriche di questo distretto è presente la necessità del clinico di misurarlo, e solitamente nella sua misurazione lo strumento più utilizzato è il goniometro standard, anche se nel corso del tempo sono stati progettati e sviluppati degli strumenti digitali. Tra i vari strumenti digitali disponibili il più conosciuto ed utilizzato è l'inclinometro digitale, attualmente più accurato rispetto alla goniometria standard o alla estimazione visiva del ROM da parte del clinico [5]. Tuttavia, la maggior parte dei clinici non ha accesso a questo tipo di strumenti, spesso molto costosi o difficilmente reperibili sul mercato, rendendo così più difficile una accurata misurazione di un importante parametro clinico delle problematiche di ginocchio.

La necessità di avere degli strumenti pratici e di facile reperibilità per misurare il ROM di ginocchio ha fatto sì che negli anni venissero sviluppate molte applicazioni per smartphone proprio con questo fine. La particolare caratteristica delle applicazioni per smartphone è

infatti la loro estrema praticità ed accessibilità, rendendole degli strumenti fruibili dalla maggior parte dei professionisti sanitari e dal facile e rapido utilizzo [6].

Nonostante la loro praticità, questo tipo di strumenti necessita ancora di essere propriamente validato al fine di poter garantire una corretta accuratezza e precisione rispetto agli attuali strumenti di misura più convenzionali [7]. Tuttavia, l'utilizzo delle applicazioni per smartphone nella misurazione del ROM di ginocchio è un fenomeno via via sempre più diffuso tra i clinici, e lo scopo di questo elaborato sarà quello di esaminare criticamente la letteratura per individuare quali sono le app attualmente disponibili e quali tra esse permettono le misurazioni più accurate.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Disegno dello studio

Lo scopo di questo elaborato è quello di rispondere, mediante una revisione narrativa della letteratura esistente, al seguente quesito clinico:

*“Quali applicazioni per smartphone permettono le misurazioni del ROM del ginocchio più accurate?”*

La revisione si articola nelle seguenti fasi:

**FASE 1:** elaborazione del quesito clinico

**FASE 2:** identificazione delle parole chiave

**FASE 3:** sviluppo della stringa di ricerca

**FASE 4:** conduzione della ricerca sulla banca dati selezionata

**FASE 5:** selezione degli articoli secondo i criteri prestabiliti

**FASE 6:** sintesi ed elaborazione dei risultati e conclusioni

La ricerca degli studi si è posta come obiettivo quello di identificare in modo completo, oggettivo e riproducibile il maggior numero possibile di lavori che rispondano al quesito clinico, rispettando i criteri di eleggibilità prestabiliti. È stato ritenuto importante rendere la ricerca il più sensibile possibile per non escludere nessuno dei potenziali studi rilevanti in relazione al quesito clinico.

### 2.2 Strategia di ricerca

La revisione ha utilizzato la banca dati MEDLINE tramite il motore di ricerca Pubmed. Non sono stati posti vincoli temporali per la selezione degli articoli.

Per identificare le key-words più appropriate, si è proceduto preventivamente alla lettura di alcuni tra gli articoli più rilevanti presenti in letteratura. Le parole chiave identificate sono state quindi combinate tra loro tramite l'utilizzo degli operatori booleani AND e OR e sono stati inoltre inseriti i rispettivi Mesh Terms nella stringa di ricerca per non escludere articoli rilevanti per la revisione.

**Parole chiave:** range of motion, articular; arthrometry, articular; knee; knee joint; lower extremity; smartphone; mobile applications; cell phone;

## 2.3 Stringa di ricerca

Banca dati	Pubmed
<b>Stringa</b>	<pre> ((((((((((((range of motion, articular[MeSH Terms]) OR ("joint range of motion"[All Fields])) OR ("range of motion"[All Fields])) OR ("rom"[All Fields])) OR ("prom"[All Fields])) OR ("joint angle"[All Fields])) OR ("joint range"[All Fields])) OR ("angular measurement"[All Fields])) OR ("angle"[All Fields])) OR ("arthrometry, articular"[MeSH Terms])) OR ("arthrometry"[All Fields])) AND (((((((("knee"[MeSH Terms]) OR ("knee joint"[MeSH Terms])) OR ("knee"[All Fields])) OR ("knee joint"[All Fields])) OR ("knee joints"[All Fields])) OR ("lower extremity"[MeSH Terms])) OR ("lower extremity"[All Fields])) OR ("lower limb"[All Fields])))) AND (((((((((((("smartphone"[MeSH Terms]) OR ("mobile applications"[MeSH Terms])) OR ("smartphone"[All Fields])) OR ("smartphone apps"[All Fields])) OR ("mobile application"[All Fields])) OR ("smartphone app"[All Fields])) OR ("mobile applications"[All Fields])) OR ("app"[All Fields])) OR ("phone app"[All Fields])) OR ("cell phone"[MeSH Terms])) OR ("smart phone"[All Fields])) OR ("smart phones"[All Fields])) OR ("smartphones"[All Fields])) OR ("iphone"[All Fields])) OR ("phone app"[All Fields])) OR ("cell phone"[All Fields])) OR ("phone"[All Fields])) OR ("apps"[All Fields])) OR ("inclinometer"[All Fields])) OR ("digital inclinometer"[All Fields])) </pre>
<b>Risultati</b>	287

Tabella 1, stringa di ricerca

## **2.4 Selezione degli articoli**

La selezione degli articoli si basa sui seguenti parametri di inclusione ed esclusione

Tipo di articoli: sono stati inclusi tutti i tipi di disegno, purchè studi in lingua italiana o inglese. Sono stati infatti esclusi gli studi in lingue diverse e gli studi dei quali non era possibile accedere al full-text.

Tipo di strumenti utilizzati: sono stati esclusi tutti gli studi che non menzionavano una app per smartphone reperibile tra i più comuni app store tra gli strumenti utilizzati nella misurazione del ROM di ginocchio. Sono stati infatti esclusi studi che consideravano l'utilizzo di software di terze parti esterni allo smartphone per elaborare i dati, studi riguardo l'utilizzo di un inclinometro digitale, studi che prevedevano l'uso di sensori di movimento esterni allo smartphone e studi di software di terze parti che utilizzavano fotografie fatte da uno smartphone.

Misure di outcome: sono stati inclusi tutti gli studi che menzionavano la valutazione tramite smartphone del rom di ginocchio. Sono stati esclusi studi che non facevano riferimento a questo distretto, studi che non misuravano il ROM ma il Joint Position Sense e studi che valutavano l'utilizzo dello smartphone nella misurazione dell'allineamento posturale.

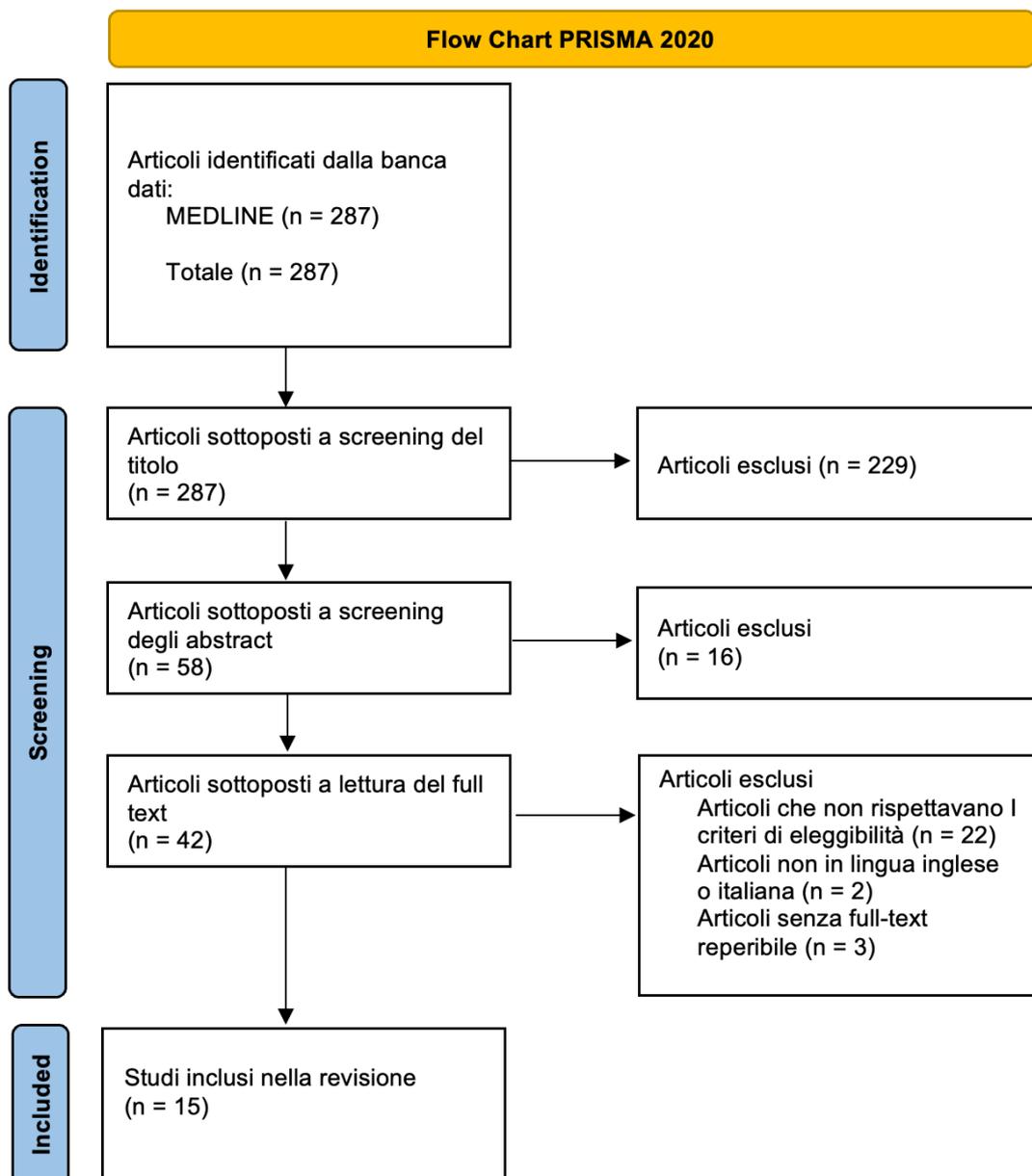
### 3. RISULTATI

#### 3.1 Processo di selezione degli articoli

La ricerca effettuata ha condotto alla iniziale identificazione di 287 record. Come primo passaggio sono stati esclusi 229 articoli in seguito allo screening del titolo. Dopo la lettura degli abstract sono stati esclusi 16 articoli. In seguito alla lettura dei full-text dei rimanenti 42 articoli ne sono stati esclusi 27. Sono stati quindi inclusi 15 articoli per la stesura della revisione.

Di seguito sono riportate la flow chart di selezione degli articoli e la tabella sinottica degli articoli inclusi nella revisione.

#### 3.2 Flow Chart di selezione degli articoli



### 3.3 Tabella sinottica degli articoli selezionati

Autore ed anno	Tipo di studio	Intervento	Strumenti utilizzati	Risultati
Ravi B. et al, 2020	Studio trasversale (cross-sectional)	Misurazione del grado di inclinazione su un dinamometro isocinetico in angoli compresi tra 90° e 165° per simulare un ginocchio, utilizzando un inclinometro digitale e un goniometro standard comparandoli con le misure ottenute da tre diverse app per smartphone	Goniometro standard, dinamometro isocinetico Biodex System 4 Pro, inclinometro digitale Snowspring comparati con applicazione "Misura" di Apple iPhone, PT Goniometer ed una applicazione web sviluppata appositamente per lo studio	Alto livello di reliability, accuracy e precision intra-operatore tra le misure ottenute dagli strumenti convenzionali (goniometro standard e inclinometro digitale) e le misure ottenute mediante app che utilizzano il sensore di movimento inerziale dello smartphone, anche se sono necessari ulteriori studi per quanto riguarda altre articolazioni, soprattutto con più gradi di movimento.

Milani P. et al, 2014	Revisione sistematica	Revisione sistematica della letteratura per trovare applicazioni per smartphone validate per la goniometria di vari segmenti corporei	Motore di ricerca Pubmed per reperire gli articoli	Sono state rilevate 12 applicazioni utilizzabili per la goniometria di vari segmenti corporei, delle quali 2 (“Angle”, “Dr.Goniometer”) sono state validate per la misurazione del ROM di ginocchio e una (“Knee Goniometer”) è stata sviluppata appositamente per questo distretto. Tuttavia, emerge la necessità di ulteriori studi per la goniometria durante fasi dinamiche, ad esempio durante il cammino o nell’esecuzione di esercizi funzionali
Hahn S. et al, 2021	Revisione sistematica	Revisione sistematica della letteratura per determinare quali applicazioni per smarphone sono valide ed affidabili per misurare il ROM nelle articolazioni dell’arto inferiore	Motori di ricerca Pubmed e Cochrane Library per reperire gli articoli, QUADAS-2 per valutarne la qualità	Eccellente reliability delle applicazioni “Coach’s Eye”, “Dr.Goniometer” e “Goniometer Pro” nella misura della articolarietà in flessione di ginocchio. Buona validity per l’app “Dr.Goniometer”, mentre per le app “Goniometer Pro” e “Coach’s Eye” i risultati sono misti. Le applicazioni “Simple Goniometer”, “Angle”, “MyProprioception” e “i-Goni” sono state analizzate da un solo studio che ha rilevato eccellenti risultati sia per la reliability che la validity. Per l’estensione di ginocchio sono stati ottenuti eccellenti risultati utilizzando “Dr.Goniometer”, riportati in uno studio con basso rischio di bias. Data la non

				<p>disponibilità di “Simple Goniometer” e “i-Goni” sui più comuni app store al momento della revisione, “Dr.Goniometer” e “Angle” sono raccomandati per la misura del rom in flessione di ginocchio, con la prima raccomandata anche per l’estensione.</p>
<p>Pereira L.C. et al, 2016</p>	<p>Studio trasversale (cross-sectional)</p>	<p>Misurazione del ROM in flessione ed estensione di ginocchio, ripetuta 3 volte per direzione, in 20 soggetti sani e 20 post-chirurgici. Inoltre, la stessa misura è stata ottenuta una singola volta per direzione in un ulteriore terzo gruppo di 20</p>	<p>Goniometro universale a braccio lungo, comparato con le misure ottenute dalla app “Knee Goniometer”</p>	<p>L’applicazione “Knee Goniometer” basata sull’accelerometro dello smartphone può essere considerata uno strumento affidabile per la misurazione del ROM di ginocchio in un contesto clinico ortopedico. La flessione di ginocchio è risultata essere più affidabile dell’estensione, e l’applicazione ha dimostrato di possedere una migliore correlazione tra le varie misure sia intra che interoperatore rispetto al goniometro universale, per una singola misurazione del ROM attivo.</p>

		pazienti post chirurgici o post trauma.		
Castle H. et al, 2018	Studio trasversale (cross-sectional)	Su un gruppo di 27 pazienti post protesi di ginocchio è stato misurato il ROM del ginocchio da parte di Fisioterapista, Chirurgo ortopedico e amico/familiare del paziente	Goniometro universale a braccio lungo, comparato con le misure ottenute dalla app "Dr.Goniometer"	Lo studio dimostra che l'app per smartphone "Dr.Goniometer" è uno strumento valido ed affidabile per misurare il ROM di ginocchio nei pazienti con protesi totale o monocompartimentale.
Dietz M.J. et al, 2017	Studio trasversale (cross-sectional)	Misurazione del ROM di ginocchio su due gambe di cadavere, comparando i risultati dei vari metodi di misura con quelli di una	Stima visiva del ROM, goniometro universale a braccio lungo e accelerometro dello smartphone comparati con imaging radiografico	I risultati dello studio suggeriscono che l'accelerometro dello smartphone non è inferiore agli altri strumenti di misura, dimostrando deviazioni simili ad essi rispetto agli standard radiografici. Inoltre, la misura non sembra essere influenzata dal tipo di operatore che la raccoglie.

		radiografia eseguita allo stesso arco di movimento		
Mousavi S.H. et al, 2020	Studio trasversale (cross-sectional)	Misurazione degli angoli su un piano sagittale delle articolazioni dell'arto inferiore, praticato su 20 runner di sesso femminile, comparando un'app per smartphone e un sistema di analisi 3D del movimento	Sistema di motion capture 3D Vicon Bonita v2.2 a 3 fotocamere, applicazione per smartphone "Coach's Eye"	Lo studio riporta che l'applicazione "Coach's Eye" garantisce misure affidabili del ROM del ginocchio durante la fase di appoggio nella corsa, ma non durante la fase di stacco dal suolo.
Ferriero G. et al, 2012	Studio trasversale (cross-sectional)	Misurazione del ROM di ginocchio utilizzando una app per smartphone, su un soggetto sano	Dinamometro isocinetico, goniometro universale standard, applicazione per smartphone "Dr.Goniometer"	Lo studio dimostra che l'app "Dr.Goniometer" è un affidabile strumento per la misura del ROM di ginocchio, seppur necessitando di ulteriori studi a supporto dell'utilizzo di questa app in altri contesti clinici e non statici.

		seduto con la gamba destra fissata ad un dinamometro isocinetico, e poi comparato con il risultato ottenuto mediante un goniometro universale nella stessa posizione		
Jones A. et al, 2014	Studio trasversale (cross-sectional)	Su 36 partecipanti volontari misurazione del ROM di ginocchio durante 3 affondi	Goniometro universale, applicazione per smartphone "Simple Goniometer"	Lo studio dimostra una concurrent validity presente tra il goniometro standard e l'app "Simple Goniometer", anche se sono necessari ulteriori studi per confermarla anche ad archi di movimento più ampi, oltre che le intra ed inter rater reliability.
Shah N. et al, 2022	Studio trasversale (cross-sectional)	Misura del ROM di ginocchio su un paziente sano, utilizzando un goniometro standard e vari	Goniometro universale, app "Curovate" installata su Samsung S7, iPhone11, iPhone XR, iPad Pro	Lo studio dimostra una forte correlazione positiva tra i vari dispositivi comparati tra loro e con il goniometro universale, anche se sono necessari ulteriori studi con campioni più ampi.

		dispositivi elettronici con la medesima app installata		
Ockendon M. et al, 2012	Studio trasversale (cross-sectional)	Comparazione della misura del ROM di ginocchio di 5 soggetti sani ottenuta mediante un goniometro standard e un'app per smartphone	Goniometro universale, applicazione per smartphone "Knee Goniometer"	Lo studio riporta che l'app "Knee Goniometer" fornisce misure affidabili ed ha una eccellente validity se comparata con il goniometro convenzionale.
Romero-Franco N. et al, 2020	Studio trasversale (cross-sectional)	Valutazione del ROM e del JPS di ginocchio e caviglia su 20 soggetti sani e fisicamente attivi, utilizzando un software di analisi fotografica ed una app per smartphone.	Fotocamera Canon 8 M pixel, AutoDESK® AutoCAD, applicazione per smartphone "My Proprioception"	La app utilizzata nello studio è risultata essere uno strumento valido ed affidabile per valutare il ROM di ginocchio.

<p>Milanese S. et al, 2014</p>	<p>Studio trasversale (cross-sectional)</p>	<p>Misurazione di 18 differenti angolazioni della flessione-estensione di ginocchio su 6 soggetti sani volontari, ripetute tre volte l'una, utilizzando sia il goniometro standard che una app per smartphone.</p>	<p>Goniometro standard universale, applicazione per smartphone "Knee Goniometer"</p>	<p>Sia il goniometro che la applicazione sono risultati essere strumenti affidabili per misurare i vari gradi di flessione del ginocchio, indipendentemente dall'esperienza del clinico che registrava la misura. La app mostra una minore variabilità nelle misure ripetute rispetto al goniometro universale nonostante le misure non differiscano di molto tra i due strumenti. Grazie a questo dato, lo studio conclude che l'app "Knee Goniometer App" potrebbe essere superiore al goniometro universale in scenari clinici nei quali è necessaria una maggiore affidabilità nella misura del ROM di ginocchio.</p>
<p>Mehta S.P. et al, 2016</p>	<p>Studio trasversale (cross-sectional)</p>	<p>Su 60 pazienti con osteoartrosi o PTG, misurazione del ROM attivo di ginocchio utilizzando un goniometro universale ed una app per smartphone.</p>	<p>Goniometro universale, applicazione "i-Goni" per smartphone</p>	<p>Lo studio dimostra una maggiore affidabilità ed errori di misura inferiori rispetto al goniometro universale.</p>

Parati M. et al, 2023	Studio trasversale (cross- sectional)	Misurazione del ROM di ginocchio durante il cammino utilizzando un goniometro digitale e due applicazioni per smartphone. Lo studio è stato condotto su un campione di 22 pazienti affetti da morbo di Parkinson, 22 pazienti post-ictus e 8 soggetti sani.	Goniometro digitale, applicazione per smartphone “Dr.Goniometer”, applicazione per smartphone “Angles”.	Lo studio dimostra l'utilità clinica delle due applicazioni per smartphone nella valutazione del ROM di ginocchio in pazienti neurologici.
--------------------------	--	---	--	--

## 4.DISCUSSIONE

### 4.1 Proprietà psicometriche degli strumenti per valutare il ROM

Quella del Range of Motion (ROM) dell'articolazione del ginocchio è una misura fondamentale nella valutazione e nel trattamento delle più comuni patologie muscoloscheletriche dell'arto inferiore. Tale misura può essere utilizzata infatti come un Clinician Reported Outcome Measure (ClinROM), ovvero tutti quegli esami fisici, letture di esami strumentali e valutazioni che solo il clinico può fare. L'utilizzo del ROM come ClinROM è vantaggioso soprattutto nel caso in cui ci sia la necessità di un parametro utile, oggettivo e standardizzato per valutare la risposta al trattamento di un paziente con una patologia muscoloscheletrica al ginocchio, consentendo inoltre una comunicazione più efficace tra i professionisti sanitari. In questo modo, i risultati della valutazione del ginocchio possono infatti essere facilmente trasmessi ad altri fornitori di servizi sanitari e terapisti coinvolti nella cura del paziente. Ciò permette un coordinamento più efficace del trattamento del paziente, così come una valutazione accurata della risposta al trattamento nel tempo. Essendo la misura del ROM di ginocchio un ClinROM, la comprensione delle proprietà psicometriche degli strumenti di misura è essenziale per garantire la qualità degli stessi quando vengono utilizzati nella ricerca e nella pratica clinica: infatti, senza una corretta valutazione della reliability e della validity degli strumenti di misura, i risultati della ricerca potrebbero essere inaffidabili e i trattamenti clinici potrebbero essere inappropriati.

Quando si parla di "Reliability" di uno strumento di misura si intende la sua consistenza interna, ovvero il grado di accordo tra ripetizioni diverse della stessa misura in pazienti che non hanno subito alcun cambiamento, e si misura in tre contesti: nel tempo (test-retest reliability), tra diverse persone nella stessa occasione (inter-rater reliability) e dalla stessa persona in diverse occasioni (intra-rater reliability). Uno strumento di misura può tuttavia presentare quello che viene chiamato errore di misura, parametro che rappresenta l'errore sistematico e casuale dello score non attribuibile a cambiamenti nel costrutto da misurare; esso può essere misurato con lo Standard Error Measure (SEM) che rappresenta la misura di quanto siano distanti i risultati di misurazioni ripetute, quindi la deviazione standard intorno ad una singola misurazione. Può essere misurato inoltre con il coefficiente di varianza e con il Bland Altman Method. Per le variabili continue, come i gradi di articolarietà del ginocchio, le misure della reliability sono prevalentemente due, ovvero il Coefficiente di Correlazione Interclasse (ICC) e il Coefficiente di Correlazione di Pearson. Nello specifico, l'ICC descrive

la somiglianza di unità nello stesso gruppo, e tiene in considerazione la varianza dovuta alle differenze sistematiche tra i valori “veri” dei pazienti, la varianza dovuta alle differenze tra gli osservatori e la varianza residuale.

Con il termine “Validity” invece si intende la misura in cui uno strumento è in grado di misurare realmente il costrutto che si è prefissato di misurare. Ci sono vari tipi di validità: di contenuto, di criterio e di costrutto. La validità di contenuto è il grado in cui il contenuto di uno strumento di misura riflette adeguatamente il costrutto che vuole misurare. La validità di criterio è invece la misura di quanto i punteggi di uno strumento riflettono adeguatamente i punteggi ottenuti misurando il costrutto in oggetto con il Gold Standard. La validità di criterio può essere concorrente quando lo score dello strumento in esame riflette lo score del Gold Standard (misurato nello stesso momento) ed è tipica di strumenti che si prefiggono scopi valutativi/diagnostici, ad esempio la valutazione del ROM di ginocchio. La validità predittiva è invece quando lo score dello strumento predice lo score futuro del Gold Standard ed è tipica di strumenti che si prediligono scopi predittivi. Quando invece si fa riferimento alla validità di costrutto si intende la misura di quanto uno strumento, in assenza di un Gold Standard del costrutto, fornisce lo score atteso rispetto alle conoscenze sul costrutto.

Sono inoltre presenti due ulteriori proprietà psicometriche degli strumenti di misura: la responsività, ovvero quanto uno strumento sia in grado di valutare un cambiamento, e l'interpretabilità, ovvero quanto si riesca a dare un valore qualitativo ad uno quantitativo ottenuto da uno strumento di misura.

Ai fini della revisione, è doveroso citare anche lo Small Detectable Change (SDC), ovvero il minimo cambiamento rilevabile da uno strumento di misura, e il Minimal Important Change (MIC), ovvero il minimo cambiamento nello score del costrutto ritenuto importante dal paziente o dal clinico nel caso dei ClinROM.

#### **4.2 Utilità clinica delle app per misurare ROM**

Rispetto agli strumenti tradizionali di misurazione del ROM del ginocchio, tra i quali i più comuni sono il goniometro universale standard o gli inclinometri digitali e non, le applicazioni per smartphone offrono numerosi vantaggi in termini di accessibilità, praticità e rapidità di utilizzo, potendone rappresentare inoltre un'alternativa più economica. La caratteristica che

conferisce alle app per smartphone la loro maggiore praticità rispetto agli strumenti convenzionali è il fatto che possono essere portate ovunque, essendo installate su uno smartphone, e offrono una maggiore rapidità di utilizzo che garantisce risultati immediati. Sui vari app store inoltre i costi di acquisto delle app sviluppate con lo scopo di misurare il ROM di ginocchio sono spesso molto bassi e sono numerose quelle gratuite, andando così a ridurre i costi per gli operatori che necessitano di uno strumento pratico ma economico. Tra le applicazioni riportate in letteratura, le modalità di misurazione del ROM sono prevalentemente di due tipi: ci sono applicazioni che utilizzano il giroscopio e l'accelerometro dello smartphone sul quale vengono installate, e applicazioni che invece sfruttano la fotocamera per misurare il ROM mediante il rilevamento di punti di repere, per poi calcolare gli angoli tra di essi.

### **4.3 Sintesi dei risultati**

Lo scopo di questa revisione revisione narrativa è stato quello di condurre una ricerca al fine di individuare se in letteratura sono presenti degli studi che dimostrano la presenza di applicazioni per smartphone affidabili e utilizzabili nella pratica clinica per misurare il ROM del ginocchio. Sono stati quindi inclusi 15 studi, dei quali 2 sono revisioni sistematiche finalizzate all'individuare quali sono le applicazioni per smartphone disponibili e di queste le migliori per misurare il ROM di varie articolazioni, tra le quali quella del ginocchio, e 13 sono studi trasversali cross-sectional che invece comparano una o più applicazioni con uno o più Gold Standard. Le proprietà psicometriche delle singole app più valutate dalla letteratura emersa sono la reliability e la validity.

### **4.4 Applicazioni analizzate**

Dai 15 studi scelti per la revisione sono emerse 12 applicazioni per smartphone, per la maggior parte scaricabili dai più comuni app store ed utilizzabili senza la necessità di una connessione internet. Delle 12 applicazioni quelle che sfruttano l'accelerometro e l'inclinometro dello smartphone sul quale sono installate sono le più comuni, meno rappresentate invece le app che fanno uso della fotocamera e dei punti di repere. Di seguito nella discussione verranno analizzate le varie applicazioni, spiegandone il funzionamento e la modalità di utilizzo e sintetizzando ciò che dalla letteratura è emerso riguardo ognuna di esse.

#### **4.4.1 Dr.Goniometer**

Dr.Goniometer è una applicazione per smartphone che utilizza la fotocamera del dispositivo sul quale è installata per fotografare le articolazioni del paziente ad un determinato range di movimento per poi misurarne il ROM una volta che il clinico ha selezionato dei punti di reperi direttamente sulla fotografia, mostrando visivamente le linee che collegano i punti di reperi distali al fulcro dell'articolazione con quest'ultimo.

Questa applicazione viene citata nella revisione sistematica di Milani P et al. [8], condotta con lo scopo di trovare le applicazioni validate per la misura del ROM di varie articolazioni del corpo. Tra queste, la revisione ha identificato Dr.Goniometer come l'unica applicazione validata per la misura del ROM articolare mediante la fotocamera dello smartphone, nello specifico per la misura della flessione del ginocchio.

Tra gli studi inclusi in questa revisione è presente anche un'altra revisione sistematica che fa riferimento all'applicazione Dr.Goniometer, di Hahn S et al. [9] pubblicata nel 2021. Lo scopo di questa revisione era quello di determinare quali applicazioni per smartphone sono valide ed affidabili per misurare il ROM delle articolazioni dell'arto inferiore, includendo studi che facessero riferimento appunto alla reliability e alla validity delle varie applicazioni in questione. Da questa revisione emerge che per misurare il ROM di ginocchio l'applicazione Dr.Goniometer ha una eccellente reliability per quanto riguarda la flessione, oltre che una buona validity, ottenendo ottimi risultati anche nella misura dell'estensione, risultando così l'unica applicazione affidabile in entrambe le direzioni di movimento.

Nel 2011 Castle H et al. [10] hanno invece condotto uno studio trasversale (cross sectional) con comparazione in cieco per determinare la concurrent reliability e la validity di Dr.Goniometer, comparando le misure ottenute dall'app con quelle rilevate da un clinico utilizzando un goniometro standard. I ricercatori hanno reclutato 27 pazienti che avevano avuto un intervento di protesizzazione totale o monocompartimentale di ginocchio da 3 a 5 anni prima dello studio. Le persone incaricate di prendere le misure erano invece 4: due fisioterapisti e due ortopedici. Nessuno di loro era a conoscenza delle misure rilevate dagli altri 3. Il ROM di ginocchio, sia in massima flessione che in massima estensione, è stato ottenuto fotograficamente con Dr.Goniometer posizionando i punti di reperi sul malleolo laterale, sul condilo femorale laterale e sul fulcro dell'articolazione dell'anca; il confronto è stato fatto posizionando un goniometro universale in base ai medesimi punti di reperi. Per

quanto riguarda la validità, l'app e il goniometro standard hanno dimostrato eccellente correlazione per la flessione ( $r=0.94$ ) e l'estensione ( $r=0.90$ ). La reliability intra-rater ha ottenuto valori alti per la flessione con un ICC di 0.990, minori per l'estensione con un ICC di 0,897. La reliability inter-rater invece ha dimostrato un eccellente grado di accordo tra le misure con un ICC di 0.990 e una differenza media di 5°, e un buon grado di accordo per l'estensione con un ICC di 0.899 e una differenza media di 3°. In conclusione, da questo studio emerge che Dr.Goniometer potrebbe essere una applicazione valida e affidabile da usare in clinica per misurare il ROM di ginocchio di pazienti sottoposti a protesizzazione.

Di Dr.Goniometer è stata studiata la reliability anche da Ferriero G et al. [11] nel 2013, comparando i risultati della misura del ROM di ginocchio fatta usando l'app e un goniometro standard su uno dei 10 soggetti sani partecipanti allo studio con la gamba destra vincolata ad un dispositivo isocinetico posizionato a vari angoli di flesso-estensione. Gli incaricati di prendere le misure erano 4, 2 fisioterapisti esperti e 2 studenti del primo anno di fisioterapia, per valutare se l'esperienza clinica potesse influenzare la reliability di Dr.Goniometer. Ognuno dei 4 osservatori ha scattato 25 fotografie al ginocchio posto a 20° di flessione e altre 25 al ginocchio posto a 80° per valutare la costanza nella misura di Dr.Goniometer. Successivamente, i 4 clinici hanno scattato 10 immagini ciascuno a 35°, 45° e 60° di flessione, utilizzate insieme alle precedenti immagini per valutare la reliability e la correlazione tra misure sia intra che inter-rater. Successivamente delle 35 immagini per ogni ginocchio è stato misurato il ROM da altri 10 operatori utilizzando Dr.Goniometer, ripetendo le misure dopo una settimana. Considerando la prima valutazione del ROM, ovvero quella del soggetto posto in una posizione vincolata di flessione di ginocchio ed analizzata dai 2 fisioterapisti esperti e dai 2 meno esperti, dalla analisi statistica è emerso che l'ICC aveva valori superiori a 0.95 sia per la correlazione inter che intra-rater, considerato adeguato per assicurare una ragionevole validity dell'applicazione, considerando tuttavia che i valori più discordanti erano stati tutti ottenuti dai 2 operatori meno esperti. Nella seconda parte, ovvero l'analisi delle 35 immagini, sono stati scelti solo operatori esperti in quanto i novizi erano meno affidabili. Dall'analisi statistica è emerso che, anche in questo caso, l'ICC aveva valori maggiori di 0.99 sia per la intra che per la inter-rater reliability. Lo studio conclude quindi che Dr.Goniometer potrebbe essere una applicazione affidabile nella misura del ROM di ginocchio, anche se a rischio di essere influenzata nella misura dall'esperienza del clinico che la utilizza.

L'ultimo studio, presente in questa revisione che cita Dr.Goniometer è quello di Parati M et al. [12], pubblicato quest'anno. Lo studio è di tipo cross-sectional, e si pone numerosi obiettivi: esaminare la capacità di misurare il ROM di ginocchio di due app per smartphone durante una fase dinamica (nello specifico durante il cammino), di essere in grado di farlo su soggetti patologici, di valutarne la intra-rater reliability, inter-rater reliability, concurrent validity comparando le due app con un goniometro elettronico e di testarne l'usabilità da una prospettiva clinica e non. I partecipanti erano 66 e divisi in due gruppi, 44 pazienti neurologici (22 con Morbo di Parkinson e 22 emiparetici post ictus) e 22 controlli sani, tutti sopra i 40 anni e capaci di camminare senza necessità di assistenza. Il ROM invece è stato misurato da 4 fisioterapisti in cieco l'uno con l'altro, due esperti e due novizi, utilizzando due applicazioni per smartphone compresa Dr.Goniometer, confrontandole con un goniometro elettronico posizionato e fissato lateralmente al ginocchio del partecipante. La intra-rater reliability è stata dichiarata essere da buona ad eccellente per entrambe le app e la inter-rater reliability da moderata ad eccellente. In particolare, Dr.Goniometer relativamente alla intra-rater reliability ha dimostrato di possedere in tutti i gruppi un'ICC>0.82, uno SEM da 2.0 a 4.1 e un MDC da 5.6 a 11.4. Riguardo alla inter-rater reliability invece sono stati rilevati in tutti i gruppi valori dell'ICC>0.69, uno SEM da 3.7 a 4.9 ed un MDC da 10.3 a 13.6. Riguardo la concurrent validity comparando Dr.Goniometer con il goniometro elettronico, l'app ha ottenuto coefficienti di correlazione da 0.61 a 0.78. Infine, la maggior parte dei soggetti che ha utilizzato l'app per lo studio ha trovato entrambe le app facili da usare senza la necessità di assistenza tecnica per la misurazione del ROM, riportando una buona usability. Lo studio conclude quindi che Dr.Goniometer potrebbe essere utilizzata in clinica, meglio se da clinici esperti, per misurare il ROM di ginocchio anche in fasi dinamiche, necessitando tuttavia di ulteriori supporti in letteratura.

Le principali limitazioni di questa applicazione sono la disponibilità solo per dispositivi Apple [9] che ne limita quindi l'accessibilità da parte di clinici che possiedono dispositivi Android o con altri sistemi operativi. Riguardo alle caratteristiche del paziente, su dei soggetti con un ginocchio molto gonfio o deforme potrebbe essere più difficile garantire una misurazione accurata del ROM [10, 11] utilizzando Dr.Goniometer. Inoltre, secondo uno studio una minore esperienza del clinico che osserva potrebbe portare a una scarsa precisione del posizionamento dei landmark anatomici sull'immagine dalla quale si vuole misurare il ROM [12].

#### 4.4.2 Knee Goniometer

Knee Goniometer è un'applicazione che sfrutta i sensori inerziali dello smartphone per misurare il ROM del ginocchio, posizionandolo sulla tibia del paziente per calcolarne il grado di inclinazione e fornendone una stima visiva mediante una interfaccia che simula un goniometro tradizionale, permettendo all'osservatore di scegliere il lato dal quale si posiziona e il lato del paziente che sta testando.

Questa applicazione è tra quelle che la revisione sistematica del 2014 di Milani P et al. [8] hanno individuato essere le più affidabili.

Nel 2016 invece Pereira LC et al. [13] hanno condotto uno studio cross-sectional per comparare le misure ottenute da questa app, installata su un iPhone 4s, con quelle ottenute utilizzando un goniometro standard. La popolazione selezionata per partecipare allo studio era costituita da 60 soggetti in totale: 20 soggetti sani volontari senza precedenti problematiche al ginocchio, 20 pazienti in fase postoperatoria di chirurgia di ginocchio e un terzo gruppo di 20 pazienti con recenti traumi o interventi chirurgici al ginocchio. Ai primi due gruppi è stato misurato il ROM in flessione ed estensione, entrambe sia attive che passive, per tre volte per direzione con intervalli tra i 2 e 10 minuti; nel terzo gruppo invece la misura è stata singola, per escludere l'affaticabilità del soggetto nel caso delle misure ripetute. Gli osservatori erano tre professionisti della salute: un ortopedico, un neolaureato in medicina e un fisioterapista ortopedico. Lo scopo dello studio era analizzarne la reliability, sia intra che inter-rater, utilizzando l'ICC. Riguardo la intra-rater reliability i valori medi dell'ICC erano maggiori per l'app rispetto al goniometro in tutte le direzioni ad eccezione della flessione nel primo gruppo di postoperatori. I punteggi dell'ICC erano infatti eccellenti, tra 0.86 e 0.99 in entrambe i primi due gruppi. Riguardo la inter-rater reliability i punteggi dell'ICC erano da bassi a molto bassi nel gruppo dei soggetti sani e nel gruppo di postoperatori, in range rispettivamente tra 0.00 e 0.54 e 0.05 e 0.68. Nel terzo gruppo di postoperatori misurati una sola volta invece l'ICC aveva valori da bassi a buoni, tra 0.72 e 0.86, risultando così superiore al goniometro standard. In conclusione, dallo studio emerge che Knee Goniometer può essere uno strumento affidabile per la misura del ROM di ginocchio, soprattutto per la flessione, e che possiede delle intra ed inter-rater reliability migliori rispetto al goniometro standard per una singola misurazione del ROM attivo.

Knee Goniometer è stata confrontata con il goniometro standard anche in un altro studio cross-sectional del 2012, di Ockendon M et al. [14], con lo scopo di testarne le inter e intra-rater reliability. In questo studio 5 soggetti sani sono stati selezionati tra volontari dai 30 ai 40 anni, senza precedenti patologie al ginocchio, e valutati da due osservatori in cieco l'uno con l'altro. I soggetti sono stati posti supini con dei cunei di varia altezza sotto al ginocchio da testare per simulare vari gradi di deformità. Sono stati misurati 3 diversi angoli di flessione del ginocchio tra 5 e 45 gradi, utilizzando sia l'app che il goniometro, per un totale di 120 coppie di misure (arto sano e arto con cunei sotto al ginocchio). Dai risultati delle analisi delle misurazioni è emerso che la intra-rater reliability dell'app aveva punteggi migliori, con una variabilità di  $\pm 4.6$  gradi rispetto ai  $\pm 9.6$  del goniometro. Anche per la inter-rater reliability i punteggi erano migliori per l'app, con una variabilità di  $\pm 2.7$  gradi rispetto ai  $\pm 8.4$  gradi del goniometro. Infine, la validity di Knee Goniometer comparata con il goniometro standard era di  $\pm 7.6$  gradi, con una differenza media di 0.38 gradi. Lo studio conclude quindi che l'app può essere uno strumento valido ed affidabile da usare in clinica se comparato al goniometro standard.

L'ultimo studio di questa revisione riguardo a Knee Goniometer è quello di Milanese S et al. [15] del 2014, che indaga le intra e inter-rater reliability dell'app oltre che la concurrent validity, comparandola con un goniometro standard. Gli osservatori, 3 studenti di fisioterapia e 3 fisioterapisti con almeno 7 anni di pratica clinica, hanno misurato il ROM del ginocchio destro di 6 soggetti sani volontari senza storia di patologie al ginocchio. In totale, gli osservatori hanno registrato 3 misure per ogni strumento di 18 posizioni diverse di flessione di ginocchio. Sia la inter che la intra-rater reliability hanno dato valori alti, con punteggi di ICC superiori a 0.96 per entrambe, senza particolari differenze tra gli osservatori esperti e non. Riguardo al SEM, sono stati riportati punteggi di 2.7 gradi per il goniometro standard e 1.4 gradi per l'app. In conclusione anche questo studio riporta come l'app Knee Goniometer possa essere uno strumento più affidabile rispetto al goniometro standard, indipendentemente dal grado di esperienza del clinico che la utilizza.

Tra le principali limitazioni nell'utilizzo di Knee Goniometer, dalla letteratura esaminata emerge che la reliability dell'app è stata studiata solamente su soggetti adulti, quindi il suo utilizzo su pazienti pediatriche potrebbe non essere affidabile [13]. Il suo utilizzo su pazienti in scarico inoltre non fornisce misure che rispecchiano il comportamento del ginocchio in situazioni di carico o in contesti funzionali [13].

#### **4.4.3 Angle**

Angle è un'applicazione per smartphone validata per la misura del ROM di ginocchio che si basa sull'accelerometro per mostrare l'angolo di inclinazione in relazione al piano orizzontale. Lo smartphone deve essere posizionato sulla tibia prossimale e sul femore distale, a quel punto l'app calcola il grado di flessione del ginocchio sommando le due misure [8].

Nella revisione sistematica del 2021 di Hahn S et al. [9] questa app viene indicata tra quelle che posseggono una reliability e una validity eccellenti per quanto riguarda la misura del ROM in flessione di ginocchio.

Nello studio cross-sectional pubblicato quest'anno da Parati M et al. [12] già citato nel capitolo 4.1.1, di questa app sono state valutate la inter e intra-rater reliability e la concurrent validity. La intra-rater reliability ha ottenuto in tutti i gruppi dei valori di ICC tra 0.79 e 0.97, un MDC tra 6.9 e 11.4 gradi ed uno SEM tra 2.5 e 3.3 gradi. La inter-rater reliability invece ha ottenuto in tutti i gruppi dei valori di ICC tra 0.71 e 0.92 ed un MDC tra 9.3 e 13.7 gradi, con uno SEM tra 3.4 e 5.0 gradi. Anche la concurrent validity ha ottenuto risultati soddisfacenti, con punteggi tra 0.76 e 0.85. Lo studio conclude quindi che Angle potrebbe essere una applicazione valida ed affidabile da utilizzare in clinica per misurare il ROM di ginocchio.

Relativamente ai limiti di questa app è da sottolineare come potrebbe essere difficile il suo utilizzo da parte di soggetti non professionisti della salute, in contesti quindi differenti da quello clinico [12].

#### **4.4.4 Misura di Apple iPhone**

Tra le applicazioni preinstallate nel sistema operativo iOS dei dispositivi Apple è presente Misura, un'app in grado di raccogliere vari dati e misure sfruttando la fotocamera e l'inclinometro dello smartphone. Tra queste è presente la misura del grado di inclinazione del dispositivo lungo l'asse z tra i tre assi di movimento tridimensionale (x, y, z) sfruttando il giroscopio e l'accelerometro propri del dispositivo.

In uno studio del 2020 di Ravi B et al. [16] questa funzione di Apple è stata comparata con un'altra applicazione per iPhone, una web app sviluppata appositamente dal team che ha

condotto lo studio ed un goniometro universale, scelto come reference standard nella misurazione del ROM di ginocchio, valutato su un soggetto con una gamba vincolata ad un dinamometro isocinetico. Nella prima parte dello studio sono state prese tre misure per ognuno di sei angoli tra 90 e 165 gradi con l'app Misura, un'altra app per iPhone e il goniometro standard da un unico osservatore. L'app Misura in questo caso aveva un coefficiente di varianza e una deviazione standard inferiore al goniometro universale, suggerendo un alto grado di reliability oltre che di precisione.

Nel 2018 di questa funzione è stata valutata la affidabilità anche da Dietz MJ et al. [17], comparando poi i risultati ottenuti dai due strumenti di misura anche con una radiografia eseguita allo stesso ROM articolare. Questo studio è stato condotto su cadaveri. Sei ortopedici hanno misurato il ROM di ginocchio a tre differenti gradi di flessione, utilizzando sia l'app che il goniometro, oltre che ad una stima visiva. Successivamente, una radiografia è stata eseguita per misurare esattamente il ROM del ginocchio al fine di utilizzarlo come riferimento. Lo studio ha rilevato che la funzione Misura dello smartphone non era inferiore alle altre tecniche di misura utilizzate, dimostrando simile deviazione standard dai valori radiografici ottenuti.

Per poter utilizzare questa app in clinica servono ulteriori studi che ne valutino la reliability e la validity, considerando anche il limite del sistema operativo che ne vincola l'utilizzo solo ai possessori di un device Apple.

#### **4.4.5 Coach's Eye**

Coach's Eye è una applicazione per smartphone nata con lo scopo di registrare dei filmati, poi divisibili nei vari frame, per analizzare gli schemi motori degli atleti durante dei gesti sport specifici. Questa app permette infatti di andare ad analizzare la postura e la posizione nello spazio dell'atleta, fornendo anche una funzione per tracciare delle linee sul frame selezionato e calcolare così gli angoli tra tali linee, permettendo di poterne misurare l'ampiezza e quindi anche il ROM di varie articolazioni, tra le quali anche quella del ginocchio.

Coach's Eye viene citata nella revisione sistematica di Hahn S et al. [9] del 2021 tra le applicazioni disponibili per misurare il ROM di ginocchio. Dalla revisione emerge infatti che Coach's Eye è tra le app che presentano dei risultati eccellenti riguardo la reliability nella

misura della flessione di ginocchio: infatti, i valori dell'ICC riguardo alla inter-rater reliability erano di 0.93, e riguardo alla intra-rater reliability tra 0.97 e 0.99. Valori misti invece sono stati ritrovati per quanto riguarda la validity a causa di studi con elevato rischio di bias e ampi Limits of Agreement. Studi che analizzano l'utilizzo di Coach's Eye per la misura del ROM in estensione non erano inclusi nella revisione.

Nel 2020 anche Mousavi S et al. [18] hanno invece investigato la reliability e la validity di Coach's Eye, però in un contesto dinamico: hanno comparato l'app con un sistema di motion capture 3D per misurare la cinematica dell'arto inferiore in soggetti che corrono su un treadmill. Lo studio, di tipo cross-sectional, comprendeva l'analisi di 20 soggetti con determinate caratteristiche: assenza di storia di patologia al ginocchio, età tra i 18 e i 40 anni, runner con almeno 10km al mese per i precedenti 6 mesi, esperienza nella corsa su treadmill. L'analisi del movimento è stata fatta utilizzando un sistema di motion capture 3D, il Vicon Bonita v2.2, e Coach's Eye. Con entrambe gli strumenti di misura è stato valutato il ROM dell'anca, del ginocchio e della caviglia, quest'ultima sia in dorsiflessione/plantaflessione che inversione/eversione. Ogni articolazione è stata valutata in due momenti: al touchdown (TD, fase di appoggio) e al toe-off (TO, fase di stacco da terra). Di Coach's Eye è stata valutata la criterion validity, la test-retest reliability e la intra-rater e inter-rater reliability. La criterion validity nella misura del ROM di ginocchio ha ottenuto risultati buoni, con punteggi dell'ICC di 0.68 al TD e 0.61 al TO. La test-retest reliability ha invece ottenuto punteggi di ICC eccellenti, ovvero di 0.81 al TD e 0.91 al TO, con uno SEM di 1.44 al TD e 1.90 al TO e un MDC di 3.99 al TD e 4.97 al TO. Anche la intra-rater reliability ha ottenuto risultati eccellenti, con punteggi di ICC di 0.99 al TD e 0.97 al TO, SEM 0.43 al TD e 1.1 al TO, e MDC di 1.19 al TD e 3.04 al TO. Infine, riguardo alla inter-rater reliability i risultati sono eccellenti, con punteggi di ICC di 0.93 sia al TD che al TO, un SEM di 0.97 al TD e 1.60 al TO e un MDC di 2.7 al TD e 4.44 al TO. Lo studio conclude quindi che Coach's Eye è una applicazione valida ed affidabile per misurare il ROM di ginocchio in soggetti che corrono su treadmill in fase di appoggio (TD) ma non in fase di stacco dal suolo (TO).

Relativamente a questa app, tra i possibili limiti del suo utilizzo vi è il fatto di dover posizionare lo smartphone in modo tale da poter avere il migliore e più preciso punto di vista, e attualmente non esiste una standardizzazione di parametri come altezza, distanza e angolo dello smartphone rispetto al soggetto da analizzare [18].

#### **4.4.6 Simple Goniometer**

Simple Goniometer è una applicazione per device Apple con sistema operativo iOS che misura il ROM di una articolazione comparando l'inclinazione dei segmenti prossimali e distali rispetto ad essa.

Simple Goniometer è stata indicata come una applicazione affidabile per quanto riguarda la misurazione del ROM di flessione di ginocchio nella revisione sistematica di Hahn S et al. [9] del 2021, dalla quale è emersa una sua eccellente inter-rater reliability con punteggi di ICC maggiori di 0.93, così come una altrettanto eccellente validity.

Questa app è stata comparata con un goniometro universale nel 2014 da Jones A et al. [19], con lo scopo di testarne la concurrent validity e la reliability mediante uno studio cross-sectional. Per lo studio sono stati reclutati 36 partecipanti volontari, ai quali è stato misurato il ROM del ginocchio da due operatori (un fisioterapista ed un fisiologo dell'esercizio) durante un affondo, ripetuto tre volte da ogni soggetto. Per misurare il ROM due operatori hanno utilizzato un goniometro universale e la app, posizionata 10 centimetri prossimalmente al bordo superiore della rotula e successivamente 10 centimetri distalmente al bordo inferiore, al fine di ottenere le due inclinazioni necessarie all'app per calcolare l'angolo da esse costituito. Dallo studio è emerso che i punteggi ottenuti dall'app Simple Goniometer dimostravano la presenza di una concurrent validity e una reliability se comparata con il goniometro universale, necessitando però di ulteriore approfondimento in letteratura per quanto riguarda la intra e la inter-rater reliability.

Attualmente, dagli studi selezionati per questa revisione, non è emersa una chiara presenza di una intra-rater reliability di questa applicazione, limitandone quindi le possibilità di un utilizzo accurato.

#### **4.4.7 My Proprioception**

Come molte applicazioni presenti in questa revisione, anche My Proprioception sfrutta i sensori inerziali dello smartphone sul quale è installata per identificare l'angolo di inclinazione del dispositivo e quindi il ROM della articolazione in oggetto.

Questa app viene citata nella revisione sistematica di Hahn S et al. [9] che ne evidenzia una inter e intra-rater reliability eccellenti, con punteggi di ICC di 0.99 per entrambe, oltre che ad

una eccellente validity, ponendola tra le applicazioni validate per la misura del ROM in flessione di ginocchio.

Romero-Franco N et al. [20] hanno studiato la concurrent validity e la reliability di My Proprioception nel 2020 mediante uno studio cross-sectional. L'app è stata testata su 20 soggetti sani non sedentari, e su essi sono stati valutati il ROM e il Joint Position Sense del ginocchio e della caviglia sia con l'app che con un software di foto analisi. Riguardo al ginocchio, i partecipanti sono stati testati in un movimento dal massimo grado di flessione fino al massimo grado di estensione. I dati ottenuti dai due strumenti sono stati comparati per misurarne la validity; la reliability invece è stata valutata dalla ripetizione della misura una settimana dopo da parte dello stesso operatore per quanto riguarda la inter-rater e da un secondo operatore per la intra-rater. La correlazione tra i due strumenti di misura era molto alta e positiva per il ROM di ginocchio, dimostrando una eccellente validity. Per quanto riguarda la reliability, sia la intra-rater che la inter-rater hanno ottenuto punteggi di ICC maggiori di 0.81, risultando entrambe eccellenti. Lo studio conclude quindi riportando come My Proprioception possa rappresentare uno strumento valido ed affidabile per misurare il ROM di ginocchio.

Dalla letteratura emerge tuttavia la necessità di ulteriori studi per poterne raccomandare l'utilizzo anche su soggetti non sani [20].

#### **4.4.8 i-Goni**

Tra le applicazioni che utilizzano i sensori inerziali dello smartphone vi è anche i-Goni, che misura il ROM di una articolazione in due tempi misurando il grado di inclinazione prima prossimalmente e poi distalmente alla articolazione da valutare e calcolando così l'angolo tra i due segmenti.

Nel 2021 Hahn S et al [9] hanno identificato questa app tra quelle utili per la misurazione del ROM di ginocchio, in quanto possedeva una intra-rater reliability ottima sia in flessione (punteggio di ICC 0.97) sia in estensione (punteggio di ICC 0.94) ed una altrettanto eccellente validity.

Questa applicazione è stata studiata anche da Mehta S et al. [21] nel 2016 mediante uno studio cross-sectional per valutarne vari parametri, tra i quali anche la riproducibilità dei

risultati al test-retest, la concurrent validity, lo SEM e il MDC nella misura del ROM di ginocchio. Per lo studio sono stati selezionati 60 partecipanti con osteoartrosi o protesi totale di ginocchio, sui quali è stato misurato il ROM attivo del ginocchio in flessione ed estensione utilizzando sia un goniometro standard che l'app per smartphone i-Goni. Le misure del ROM con i-Goni sono state ottenute posizionando lo smartphone sul femore distale, registrando il grado di inclinazione, e successivamente facendo scivolare lo smartphone sul ginocchio fino ad arrivare sulla tibia prossimale e registrando a quel punto il secondo grado di inclinazione, permettendo così all'app di calcolare il ROM. I dati sono stati raccolti da uno studente di fisioterapia ed un fisioterapista esperto. In seguito alla analisi dei dati raccolti, i-Goni ha dimostrato di possedere una eccellente reliability al test-retest del ROM di ginocchio, con punteggi di ICC di 0.97 per la flessione e 0.94 per l'estensione. Lo SEM ha ottenuto valori di 2.72 per la flessione e 1.18 per l'estensione, e il MDC ha ottenuto valori di 6.3 in flessione e 2.72 in estensione. Lo studio conclude quindi che i-Goni ha dimostrato di possedere una maggiore riproducibilità con degli errori di misura più piccoli rispetto al goniometro standard, rappresentando quindi una utile applicazione per la misura del ROM di ginocchio.

Attualmente, nonostante gli studi a supporto, sono necessari ulteriori evidenze per quanto riguarda l'utilizzo di i-Goni per la misura del ROM di ginocchio in popolazioni senza patologie attuali o pregresse in questo distretto [21].

#### **4.4.9 PT Goniometer**

PT Goniometer è un'applicazione per smartphone che utilizza i sensori inerziali del dispositivo per misurare il grado di inclinazione e quindi il ROM di una articolazione, permettendo di scegliere a priori gli assi di movimento prima di prendere la misura [16].

Questa app è stata studiata da Ravi B et al. [16] nel 2020, comparandone i risultati ottenuti dalle misure del ROM con quelli di altre due applicazioni ed un goniometro standard sul ginocchio di un partecipante vincolato ad un dinamometro isocinetico. Dallo studio è emerso che l'app possiede una Deviazione Standard e un coefficiente di varianza inferiori ad uno, suggerendo un alto livello di reliability e precisione.

Al momento dello studio citato che la analizzava, questa app era disponibile solo sul App Store di Apple, vincolandone l'utilizzo ai soli possessori di dispositivi con sistema iOS.

#### **4.4.10 Web app apposita**

Questa applicazione è stata sviluppata appositamente da Ravi B et al. [16] per compararne l'affidabilità nella misura del ROM di ginocchio con altre app e reference standard (goniometro universale ed inclinometro digitale). L'applicazione è stata sviluppata online su un sito apposito, che sfrutta i sensori inerziali del telefono per misurarne il grado di inclinazione e, una volta salvato il valore iniziale, permette di registrarne un secondo misurando in questo modo la variazione di inclinazione tra i due, e quindi il ROM. L'applicazione è attualmente disponibile presso il sito <https://manak.github.io/web-goniometer/>.

Nello studio già citato fatto dagli sviluppatori dell'app [16], ne sono infatti state testate reliability e validity, confrontandola con il ROM del ginocchio di un partecipante allo studio vincolato ad un dinamometro isocinetico posto a dei gradi prestabiliti. Sono stati infatti selezionati 6 angoli di inclinazione, ognuno misurato 5 volte, per un totale di 30 misure. In seguito, la web app è stata confrontata anche con un inclinometro digitale, su varie misure registrate ad intervalli di 10 gradi l'una. In seguito alla analisi statistica dei dati raccolti, lo studio conferma un alto grado di reliability e validity della web app per la misura del ROM in tutti i gradi di movimento.

Pur non essendo vincolata ad un particolare tipo di sistema operativo, questa app necessita di una connessione internet stabile per permettere al suo utilizzatore di accedere al sito che consente la misura, quindi il suo utilizzo non è possibile in modalità offline.

#### **4.4.11 Goniometer Pro**

Goniometer Pro è un'applicazione per smartphone nata con lo scopo di misurare il ROM di varie articolazioni sfruttando i sensori inerziali del telefono, registrando il grado di inclinazione del dispositivo in due momenti (ad inizio e fine ROM disponibile) e calcolandone quindi la differenza e di conseguenza il ROM.

Dalla revisione sistematica del 2021 di Hahn S et al.[9] è emerso che l'app possiede una inter e intra-rater reliability eccellenti nella misura del ROM in flessione di ginocchio, con ICC di 0.99 per entrambe in più di uno studio. Riguardo la validity invece i risultati della revisione sono misti, con sostanziali bias e Limits of Agreement molto ampi.

Attualmente dalla letteratura non emergono particolari evidenze riguardo i limiti di questa app, anche se tuttavia la scarsità di studi che la analizzano e ne verificano reliability e validity potrebbe comportare una ancora non del tutto affidabile utilità clinica.

#### **4.4.12 Curovate**

Curovate è una applicazione per smartphone che sfrutta i sensori inerziali del dispositivo sul quale è installata per misurare il ROM del ginocchio registrando la variazione dell'inclinazione del dispositivo nello spazio. Inoltre, questa app mostra visivamente all'utilizzatore come prendere la misura del ROM con dei tutorial su schermo, guidandolo nel processo e salvandone i risultati per compararli in seguito con ulteriori misure.

Curovate è stata studiata in uno studio cross-sectional [22] che si poneva di valutare se quest'app potesse essere utile per misurare il ROM di ginocchio nel caso di un paziente che deve eseguire riabilitazione in autonomia, ovvero se è uno strumento valido ed affidabile al fine di consentire una corretta misura di questo outcome anche dal paziente stesso. Per questo studio è stato scelto un paziente sano di 23 anni senza storia di patologie al ginocchio. Sono state selezionate 4 posizioni in flessione e 4 in estensione di ginocchio e ne è stato misurato il ROM con un goniometro standard e 4 smartphone diversi con installata Curovate su ognuno. Ciascuna di queste posizioni è stata testata due volte con ogni dispositivo, per un totale di 80 misure. La correlazione tra le misure è risultata forte, con valori del Coefficiente  $r$  di Pearson maggiori di 0.99 tra tutti i dispositivi, sia smartphone con smartphone che smartphone con goniometro. Lo studio conclude che da questi test preliminari e dalla forte correlazione delle misure tra i vari dispositivi e il goniometro, Curovate potrebbe essere un'app utile per misurare il ROM di ginocchio.

Tra i potenziali limiti dell'app vi è la possibilità di non posizionare lo smartphone nel medesimo punto per misure successive del ROM nella stessa direzione di movimento, andando così a ridurre la reliability [22].

#### **4.5 Possibili implicazioni cliniche**

Tra le 12 applicazioni per smartphone analizzate nello studio i metodi di valutazione del ROM sono prevalentemente due, ovvero mediante l'uso dei sensori inerziali del dispositivo e mediante un rilevamento fotografico del ROM mediante l'uso di punti di repere, con la prima delle due modalità molto più rappresentata e diffusa sia in letteratura che sui vari store

di applicazioni. Infatti, ad utilizzare la modalità fotografica sono solamente 3 applicazioni su 12: Dr.Goniometer, Angle, Coach's Eye.

Nonostante i risultati positivi dei vari studi che le analizzavano, non tutte le applicazioni incluse nello studio sono attualmente disponibili per il download, e tra le disponibili solo una è presente sugli app store sia per dispositivi Apple che Android, ovvero Curovate. Misura di iPhone e Dr.Goniometer sono disponibili solamente per dispositivi iOS, mentre Angle e Goniometer Pro sono disponibili solamente per dispositivi Android. Tutte le altre applicazioni non sono attualmente disponibili, ad eccezione della Web App sviluppata da Ravi B et al. [16] che è utilizzabile accedendo al sito web tramite il link fornito dagli sviluppatori, senza distinzioni tra i vari sistemi operativi ma con la necessità di una connessione internet stabile.

Tra le applicazioni attualmente disponibili i risultati emersi da questa revisione sono prevalentemente riguardo la misurazione del ROM di ginocchio in contesti statici, ovvero con la misura del grado di flessione/estensione su un paziente fermo. Solamente 3 delle 12 applicazioni sono state studiate in contesti dinamici e funzionali: Coach's Eye [18], Dr.Goniometer [22] e Angle [22].

In conclusione, escluse le applicazioni non più disponibili sui vari app store, tra le rimanenti Dr.Goniometer sembra la migliore per misurare il ROM di ginocchio per possessori di dispositivi con sistema operativo iOS, mentre Angle sembra la migliore invece per possessori di dispositivi Android, con la prima delle due applicazioni che può essere utilizzabile anche per la misura in contesti dinamici e funzionali come il cammino.

La migliore modalità di misurazione del ROM utilizzando uno smartphone sembra quindi essere quella fotografica dati i risultati di questo studio, sebbene attualmente non sia la più rappresentata tra tutte le applicazioni disponibili.

#### **4.6 Limiti e punti di forza dello studio**

La revisione narrativa condotta ha permesso di esplorare il tema della misura del ROM di ginocchio utilizzando app per smartphone. Tuttavia, è importante sottolineare che in letteratura sono ancora presenti pochi studi a riguardo, il che potrebbe limitare la completezza della ricerca e dei risultati ottenuti.

Inoltre, è importante notare che gli articoli selezionati sono stati presi in considerazione solamente da un singolo database, ovvero Pubmed. Questo potrebbe limitare la diversità e la varietà delle fonti utilizzate nella revisione.

Un'altra limitazione della revisione riguarda la selezione degli articoli solamente in lingua italiana o inglese, che potrebbe escludere importanti studi condotti in altre lingue. Tuttavia, è comune che le ricerche scientifiche di rilevanza internazionale vengano pubblicate in queste due lingue, il che fa sì che la maggior parte degli studi di riferimento sia disponibile in italiano o inglese.

Infine, la revisione narrativa può soffrire di limitazioni legate alla soggettività dell'autore che la conduce. Infatti, la selezione degli articoli e l'interpretazione dei risultati potrebbero essere influenzate dalle convinzioni e dalle preferenze personali dell'autore della revisione. Pertanto, è importante valutare i risultati della revisione in modo critico e oggettivo.

## **5.CONCLUSIONI**

Dai risultati di questa revisione narrativa della letteratura è emerso che attualmente la migliore applicazione per smartphone disponibile per misurare il ROM del ginocchio sembra essere Dr.Goniometer, raccomandata quindi per un utilizzo in clinica da parte del professionista non solo in una fase statica ma eventualmente anche in una fase dinamica come il cammino. Essendo vincolato il suo utilizzo solo ai dispositivi con sistema operativo iOS, l'alternativa per Android che sembra essere la migliore è Angle, utilizzabile anch'essa in contesti dinamici anche se meno presente in letteratura e con meno studi di validazione rispetto a Dr.Goniometer. Tuttavia, la letteratura riguardo questo argomento è ancora molto ridotta, perciò per poter raccomandare ulteriormente le seguenti applicazioni sono necessari più studi e di maggiore qualità.

## BIBLIOGRAFIA

1. Terry M. Medical Apps for Smartphones. *Telemed J E Health* 2010;16:17-22.
2. Edlin JC, Deshpande RP. Caveats of smartphone applications for the cardiothoracic trainee. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013;146(6):1321-1326.
3. Holzgreve F, Maurer-Grubinger C, Isaak J, et al. The acute effect in performing common range of motion tests in healthy young adults: a prospective study. *Sci Rep*. 2020;10(1).
4. Rowe PJ, Myles CM, Walker C, Nutton R. Knee joint kinematics in gait and other functional activities measured using flexible electrogoniometry: how much knee motion is sufficient for normal daily life? *Gait Posture*. 2000;12(2):143-155.
5. Hancock GE, Hepworth T, Wembridge K. Accuracy and reliability of knee goniometry methods. *J Exp Orthop*. 2018;5(1):46.
6. Ockendon M, Gilbert RE. Validation of a novel smartphone accelerometer-based knee goniometer. *J Knee Surg* 2012;25:341-345.
7. Mobile Medical Applications. Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff. U.S. Department of Health and Human Services. Food and Drug Administration. Center for Devices and Radiological Health.
8. Milani P, Coccetta CA, Rabini A, Sciarra T, Massazza G, Ferriero G. Mobile smartphone applications for body position measurement in rehabilitation: a review of goniometric tools. *PM R*. 2014 Nov;6(11):1038-43. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.05.003. Epub 2014 May 15. PMID: 24844445.
9. Hahn S, Kröger I, Willwacher S, Augat P. Reliability and validity varies among smartphone apps for range of motion measurements of the lower extremity: a systematic review. *Biomed Tech (Berl)*. 2021 Nov 15;66(6):537-555. doi: 10.1515/bmt-2021-0015. PMID: 34768316.
10. Castle H, Kozak K, Sidhu A, Khan RJK, Haebich S, Bowden V, Fick DP, Goonatillake H. Smartphone technology: a reliable and valid measure of knee movement in knee replacement. *Int J Rehabil Res*. 2018 Jun;41(2):152-158. doi: 10.1097/MRR.000000000000276. PMID: 29465474.
11. Ferriero G, Vercelli S, Sartorio F, Muñoz Lasa S, Ilieva E, Brigatti E, Ruella C, Foti C. Reliability of a smartphone-based goniometer for knee joint goniometry. *Int J Rehabil Res*. 2013 Jun;36(2):146-51. doi: 10.1097/MRR.0b013e32835b8269. PMID: 23196790.
12. Parati M, Gallotta M, De Maria B, Pirola A, Morini M, Longoni L, Ambrosini E, Ferriero G, Ferrante S. Video-based Goniometer Applications for Measuring Knee Joint Angles during Walking in Neurological Patients: A Validity, Reliability and Usability Study. *Sensors (Basel)*. 2023 Feb 16;23(4):2232. doi: 10.3390/s23042232. PMID: 36850828; PMCID: PMC9960424.

13. Pereira LC, Rwakabayiza S, Lécureux E, Jolles BM. Reliability of the Knee Smartphone-Application Goniometer in the Acute Orthopedic Setting. *J Knee Surg.* 2017 Mar;30(3):223-230. doi: 10.1055/s-0036-1584184. Epub 2016 May 24. PMID: 27218479.
14. Ockendon M, Gilbert RE. Validation of a novel smartphone accelerometer-based knee goniometer. *J Knee Surg.* 2012 Sep;25(4):341-5. doi: 10.1055/s-0031-1299669. PMID: 23150162.
15. Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coe D, O'Sullivan W, McCormack S. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther.* 2014 Dec;19(6):569-74. doi: 10.1016/j.math.2014.05.009. Epub 2014 Jun 4. PMID: 24942491.
16. Ravi B, Kapoor M, Player D. Feasibility and reliability of a web-based smartphone application for joint position measurement. *J Rehabil Med.* 2021 May 10;53(5):jrm00188. doi: 10.2340/16501977-2780. PMID: 33337502; PMCID: PMC8814887.
17. Dietz MJ, Sprando D, Hanselman AE, Regier MD, Frye BM. Smartphone assessment of knee flexion compared to radiographic standards. *Knee.* 2017 Mar;24(2):224-230. doi: 10.1016/j.knee.2016.11.014. Epub 2017 Feb 5. PMID: 28179062; PMCID: PMC5359022.
18. Mousavi SH, Hijmans JM, Moeini F, Rajabi R, Ferber R, van der Worp H, Zwerver J. Validity and reliability of a smartphone motion analysis app for lower limb kinematics during treadmill running. *Phys Ther Sport.* 2020 May;43:27-35. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.02.003. Epub 2020 Feb 8. PMID: 32062587.
19. Jones A, Sealey R, Crowe M, Gordon S. Concurrent validity and reliability of the Simple Goniometer iPhone app compared with the Universal Goniometer. *Physiother Theory Pract.* 2014 Oct;30(7):512-6. doi: 10.3109/09593985.2014.900835. Epub 2014 Mar 25. PMID: 24666408.
20. Romero-Franco N, Jiménez-Reyes P, González-Hernández JM, Fernández-Domínguez JC. Assessing the concurrent validity and reliability of an iPhone application for the measurement of range of motion and joint position sense in knee and ankle joints of young adults. *Phys Ther Sport.* 2020 Jul;44:136-142. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.05.003. Epub 2020 May 16. PMID: 32506036.
21. Mehta SP, Barker K, Bowman B, Galloway H, Oliashirazi N, Oliashirazi A. Reliability, Concurrent Validity, and Minimal Detectable Change for iPhone Goniometer App in Assessing Knee Range of Motion. *J Knee Surg.* 2017 Jul;30(6):577-584. doi: 10.1055/s-0036-1593877. Epub 2016 Nov 28. PMID: 27894147.
22. Shah N, Grunberg C, Hussain Z. Can a Patient use an App at Home to Measure Knee Range of Motion? Utilizing a Mobile App, Curovate, to Improve Access and Adherence to Knee Range of Motion Measurements. *Int J Sports Phys Ther.* 2022 Apr 1;17(3):541-547. doi: 10.26603/001c.33043. PMID: 35391859; PMCID: PMC8975558.